

به نام خداوند بخشنده مهربان



دانشکده: علوم زمین

گروه: پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس کوه‌پنج،

شرق پاریز، کرمان

نگارنده:

عاطفه الله‌بخشی‌پور

استاد راهنما:

دکتر مسعود علی‌پوراصل

شهریور ۱۳۹۷

شماره: ۱۳۰۵۰  
تاریخ: ۹۷/۶/۱۹

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم عاطفه الله بخشی پور با شماره دانشجویی ۹۴۰۲۶۰۴ رشته زمین شناسی، گرایش پترولوژی و زمین شناسی اقتصادی، تحت عنوان "کانی شناسی ، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس کوه پنج، شرق پاریز ، کرمان" که در تاریخ ۹۷/۰۶/۱۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: س.ا.ک.س.....)	<input checked="" type="checkbox"/>
مردود	<input type="checkbox"/>
نوع تحقیق:	<input type="checkbox"/> نظری <input type="checkbox"/> عملی

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

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

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

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم،

آن دو فرشته ای که از خواسته هایمان گذشتند، سختی ها را به جان خریدند و خود را سپری بلای  
مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده ام برسم. نمیتوانم



مویهایشان را که در راه عزت من سفید شد،  
سیاه کنم پس پروردگارا تو فیتم ده که هر لحظه  
سگر گزارشان باشم و ثانیه های عمرم را در  
عصای دست بودنشان بگذرانم. من  
صدای خدارا از صدای قلب عزیزانم

می شنوم، مادر، پدر، برادر، خواهرم به خاطر وجودتان خدارا هزاران هزار بار شکر کنم.

## مشکر و قدردانی

جناب آقای دکتر علی پور استاد راهنمای کرامی: شاکر و شنایی بخش تاریکی جان، هستی و عظمت اندیشه رانور می بخشید. چگونه سپاس گویم مهربانی و لطف شما را که سرشار از معرفت و اخلاق است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه شما من توان سپاس است و نه کلام و وصف.

از اساتید با کمال و شایسته؛ جناب آقای دکتر فردوست، آقای دکتر موسیوند، آقای دکتر صادقیان، آقای دکتر قاسمی و آقای دکتر رضایی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از بیچ لگی در این عرصه بر من دریغ ننمودند کمال مشکر و قدردانی را دارم باشد که این پایان نامه بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید. معاونت محترم اکتشافات شرکت ملی صنایع مس ایران، جناب آقای مهندس تقی زاده، و جناب آقای مهندس ایرانش از لطف بی دریغ شما در راستای کمک و بهمدلی در طول انجام این پژوهش صمیمانه سپاس گزارم.

از هم کلاسی ها و دوستانم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند قدردانی می کنم.

## تعهد نامه

اینجانب عاطفه الله‌بخشی پور دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی اقتصادی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس کوه‌پنج، شرق پاریز، کرمان" به راهنمایی جناب آقای دکتر مسعود علیپور متعهد می‌شوم.

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

## تاریخ

## امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

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

## چکیده

کانسار مس کوه‌پنچ در استان کرمان و در ۶۵ کیلومتری جاده اصلی سیرجان- بردسیر واقع شده است. از نظر موقعیت تکتونیکی در قسمت جنوبی کمربند آتشفشانی نفوذی ارومیه- دختر و در نوار ماگمایی دهج- ساردوئیه قرار دارد. توده‌ی نفوذی با ترکیب داسیت تا گرانودیوریت به درون توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن شامل گدازه‌ها و آذرآواری‌های ریوداسیتی تزریق شده است. دایک‌های مشتق شده از این توده‌ی نفوذی ترکیب گرانودیوریت، دیوریت و داسیتی را نشان می‌دهند. دگرسانی‌های گرمابی موجود در منطقه شامل پتاسیک، فیلیک، آرژیلیک، پروپیلیتی است که با دگرسانی‌های سریسیتی و سیلیسی همراهی می‌شوند. کانه‌زایی در این کانسار به صورت درونزاد و برونزاد رخ داده است. کانه‌های درونزاد به ترتیب فراوانی شامل پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، هماتیت، گالن، اسفالریت، به مقدار جزعی بورنیت و ندرتاً مولیبدنیت می‌باشند. کانه‌ها در منطقه‌ی برونزاد شامل هماتیت، گوتیت، لیمونیت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا و به مقدار کم کالکوسیت و کوولیت است. ساخت‌های کانی‌سازی شامل داربستی (استوک‌ورک)، رگه- رگچه‌ای و گاهاً پراکنده و برشی می‌باشند و بافت غالب کانه‌زایی دانه‌پراکنده، داربستی و رگه- رگچه‌ای است. مطالعات ژئوشیمی نشان می‌دهد که ماگمای سازنده سنگ‌های آذرین منطقه در قلمرو کالک‌آلکالن پتاسیم متوسط تا بالا و از نظر درجه اشباع از آلومینیم، مت‌آلومین و پرآلومین قرار می‌گیرند، و از نظر موقعیت زمین‌ساختی به کمان‌های آتشفشانی مرتبط هستند. بر اساس نتایج نمودارهای عنکبوتی و سایر ویژگی‌های ژئوشیمیایی ماگمای سازنده این سنگ‌ها خصوصیات ماگماهای آداکیتی پر سیلیس را نشان می‌دهد. مقادیر متوسط مس و مولیبدن به ترتیب ۰/۲۱ درصد و ۴۳ گرم در تن است. همبستگی میان مس و مولیبدن مثبت است، ولی همبستگی آنها با عناصر سرب، روی و آهن منفی می‌باشد. براساس مطالعات میانبارهای سیال کوارتز، دمای همگن‌شدگی از ۲۱۴/۹ تا ۵۶۹/۹۵ (بطور متوسط ۳۵۶) درجه سانتی‌گراد و میزان شوری نیز از ۰/۳۵ تا ۶۹/۳۸ (بطور متوسط ۲۷/۱۵) درصد وزنی معادل نمک طعام تغییر می‌کند که فرایند عادی سرد شدن سیال و اختلاط سیال

ماگمایی با سیالات جوی مهمترین فرایندهای ته‌نشست هستند. براساس دمای همگن‌شدگی و شوری، فشار به‌دام افتادن میانبارهای سیال کمتر از ۷۰۰ بار می‌باشد و عمق جایگزینی از حدود ۴۰۰ متر تا بیش از ۱۴۲۰ متر رخ داده است. در مجموع با توجه به مطالعات انجام شده می‌توان گفت کانسار کوه‌پنج یک کانسار مس پورفیری است.

**کلمات کلیدی:** کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی، میانبارهای سیال، مس پورفیری، کوه‌پنج.



## فهرست مقالات مستخرج از این پایان نامه

- کانه‌زایی و ریزدماسنجی میانبارهای سیال کانسار مس کوه‌پنج، کرمان، همایش ماگماتیسم سنوزوئیک فلات ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، دی‌ماه ۱۳۹۶.
- سنگ‌شناسی و ژئوشیمی کانسار مس کوه‌پنج، شرق پاریز، کرمان، همایش ماگماتیسم سنوزوئیک فلات ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، دی‌ماه ۱۳۹۶.

# فهرست مطالب

## فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه ..... ۲
- ۲-۱- آشنایی با منطقه ..... ۳
- ۱-۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ..... ۲
- ۱-۲-۲- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی ..... ۵
- ۱-۲-۳- وضعیت معیشتی منطقه مورد مطالعه ..... ۶
- ۱-۲-۴- زمین‌ریخت‌شناسی ..... ۶
- ۱-۳-۱- مروری بر مطالعات پیشین ..... ۸
- ۱-۳-۱-۱- مطالعات انجام شده در جهان ..... ۸
- ۱-۳-۱-۲- مطالعات انجام شده در بخش جنوبی کمربند ارومیه- دختر ..... ۹
- ۱-۳-۱-۳- مطالعات انجام شده در منطقه‌ی مورد مطالعه ..... ۱۰
- ۱-۴-۱- طرح مسئله و هدف از پژوهش ..... ۱۲
- ۱-۵-۱- روش انجام این تحقیق ..... ۱۳
- ۱-۵-۱-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع ..... ۱۴
- ۱-۵-۱-۲- مطالعات صحرایی ..... ۱۴
- ۱-۵-۱-۳- مطالعات آزمایشگاهی و دستگاہی ..... ۱۵
- ۱-۵-۱-۴- مطالعات دفتری و پردازش و تفسیر داده‌ها ..... ۱۶

## فصل دوم: زمین‌شناسی

- ۱-۲- مقدمه ..... ۱۸
- ۲-۲- کمان ماگمائی ارومیه- دختر ..... ۱۹
- ۲-۳- زمین‌شناسی عمومی و زمین‌شناسی اقتصادی کمربند مس پورفیری کرمان (دهج- ساردوئیه) ..... ۲۱
- ۲-۴- زمین‌شناسی ورقه ۱:۰۰,۰۰۰ چهارگنبد ..... ۲۶
- ۲-۴-۱- پالئوزئیک ..... ۲۷

- ۲۸..... ۲-۴-۲- مزوزوئیک
- ۲۸..... ۳-۴-۲- سنوزوئیک
- ۳۱..... ۵-۲- زمین‌شناسی اقتصادی ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ چهارگنبد
- ۳۲..... ۶-۲- زمین‌شناسی کانسار مس کوه‌پنج
- ۳۴..... ۱-۶-۲- سنگ‌های آذرین بیرونی
- ۳۸..... ۲-۶-۲- سنگ‌های آذرین نفوذی

### فصل سوم: دگرسانی و کانه‌زایی

- ۴۸..... ۱-۳- مقدمه
- ۴۹..... ۲-۳- بررسی انواع دگرسانی‌های موجود در کانسار مس کوه‌پنج
- ۵۲..... ۱-۲-۳- دگرسانی پتاسیک
- ۵۵..... ۲-۲-۳- دگرسانی کوارتز- سربستی (فیلیک)
- ۵۹..... ۳-۲-۳- دگرسانی پتاسیک اورپرینت شده توسط دگرسانی فیلیک و آرژیلیک
- ۶۱..... ۴-۲-۳- دگرسانی آرژیلیک
- ۶۵..... ۵-۲-۳- دگرسانی پروپلیتیک
- ۶۷..... ۶-۲-۳- دگرسانی سیلیسی
- ۶۹..... ۳-۳- کانه‌زایی
- ۶۹..... ۱-۳-۳- کانه‌زایی مس درونزاد
- ۷۱..... ۲-۳-۳- کانه‌زایی مس برونزاد

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

- ۷۶..... ۱-۴- مقدمه
- ۷۶..... ۲-۴- کانی‌های سولفیدی در منطقه مورد مطالعه
- ۷۷..... ۱-۲-۴- پیریت ( $FeS_2$ )
- ۸۰..... ۲-۲-۴- کالکوپیریت ( $CuFeS_2$ )
- ۸۱..... ۳-۲-۴- کالکوسیت ( $CuS_2$ )
- ۸۲..... ۴-۲-۴- کوولیت ( $CuS$ )
- ۸۳..... ۵-۲-۴- گالن ( $PbS$ )

۸۴	.....	۴-۲-۶- اسفالریت (ZnS)
۸۴	.....	۴-۲-۷- بورنیت ( $Cu_5FeS_4$ )
۸۵	.....	۴-۳-۳- کانی‌های اکسیدی در منطقه مورد مطالعه
۸۵	.....	۴-۳-۱- مگنتیت ( $Fe_3O_4$ )
۸۶	.....	۴-۳-۲- هماتیت ( $Fe_2O_3$ )
۸۸	.....	۴-۳-۳- گوتیت ( $FeOOH$ )
۸۹	.....	۴-۳-۴- لیمونیت ( $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ )
۹۰	.....	۴-۴- کانی‌های کربناته در منطقه مورد مطالعه
۹۰	.....	۴-۴-۱- مالاکیت ( $Cu_2CO_3(OH)_2$ )
۹۱	.....	۴-۴-۲- آزوریت $Cu_2(OH)_2CO$
۹۲	.....	۴-۵- کانی‌های سیلیکاته در منطقه مورد مطالعه
۹۳	.....	۴-۶- کانی‌های باطله
۹۳	.....	۴-۶-۱- کوارتز
۹۴	.....	۴-۶-۲- کانی‌های رسی
۹۵	.....	۴-۶-۳- سریسیت
۹۵	.....	۴-۷- ساخت و بافت
۹۶	.....	۴-۷-۱- ساخت و بافت‌های اولیه
۹۷	.....	۴-۷-۲- ساخت و بافت‌های ثانویه
۹۷	.....	۴-۸- بررسی انواع رگه‌های عقیم و کانه‌دار در منطقه‌ی مورد مطالعه
۱۰۴	.....	۴-۹- توالی پاراژنتیکی

### فصل پنجم: ژئوشیمی

۱۱۰	.....	۵-۱- مقدمه
۱۱۱	.....	۵-۲- ویژگی‌های پترولوژیکی و ژئوشیمیایی سنگ‌های دربرگیرنده کانسار
۱۱۵	.....	۵-۳- نامگذاری سنگ‌های منطقه‌ی کوه‌پنج
۱۱۹	.....	۵-۴- تعیین سری ماگمایی سنگ‌های محدوده‌ی کوه‌پنج
۱۲۱	.....	۵-۵- درجه اشباع از آلومین

- ۵-۶- نمودارهای عنکبوتی و تعیین منشأ ماگمای سازنده ..... ۱۲۲
- ۵-۷- تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آذرین محدوده‌ی کوه‌پنج ..... ۱۲۵
- ۵-۷-۱- آداکیت‌ها ..... ۱۲۸
- ۵-۷-۲- منشاء آداکیت‌ها: ..... ۱۲۹
- ۵-۷-۳- تقسیم‌بندی آداکیت‌ها بر اساس محتوای سیلیس ..... ۱۳۳
- ۵-۸- ژئوشیمی کانسنگ‌های کوه‌پنج ..... ۱۳۴
- ۵-۸-۱- تحلیل‌های ژئوشیمیایی عناصر مهم در کانسار کوه‌پنج ..... ۱۳۵
- ۵-۸-۲- بررسی تغییرات غلظت عناصر کانه‌ساز براساس عمق در مغزه‌های حفاری ..... ۱۳۶
- ۵-۸-۳- ضریب همبستگی و ارتباط ژئوشیمیایی بین عناصر ..... ۱۴۰
- ۵-۸-۴- ژئوشیمیایی عناصر خاکی کمیاب ..... ۱۴۲
- ۵-۹- بررسی کانسار از نظر باروری با استفاده از دیاگرام (1982) Baldwin and Pearce ..... ۱۴۳
- ۵-۱۰- مقایسه‌ی عیار عناصر کانه‌ساز منطقه‌ی کوه‌پنج با انواع کانسارهای پورفیری ..... ۱۴۴

### فصل ششم: میانبارهای سیال

- ۶-۱- مقدمه ..... ۱۴۸
- ۶-۲- کلیاتی در مورد میانبارهای سیال ..... ۱۴۹
- ۶-۳- روش نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها ..... ۱۵۱
- ۶-۴- پتروگرافی میانبارهای سیال ..... ۱۵۳
- ۶-۴-۱- شکل ظاهری میانبارهای سیال ..... ۱۵۳
- ۶-۴-۲- اندازه میانبارهای سیال ..... ۱۵۴
- ۶-۴-۳- انواع میانبارهای سیال ..... ۱۵۵
- ۶-۵- مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال ..... ۱۵۹
- ۶-۵-۱- شوری سیالات ..... ۱۶۳
- ۶-۵-۲- دمای به دام افتادن میانبارهای سیال ..... ۱۶۴
- ۶-۶- محاسبه چگالی، فشار و عمق به‌دام افتادن میانبارهای سیال ..... ۱۶۶
- ۶-۷- تعیین نوع کمپلکس‌های احتمالی ..... ۱۷۱
- ۶-۸- تعیین نوع کانسار احتمالی ..... ۱۷۲

۹-۶- تعیین عوامل فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسار ..... ۱۷۳

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

۱-۷- مقدمه ..... ۱۷۶

۲-۷- ویژگی‌های مهم کانه‌زایی مس کوه‌پنج ..... ۱۷۶

۳-۷- مقایسه ویژگی‌های کانسار مس کوه‌پنج با تیپ‌های معروف کانسارهای مس پورفیری ..... ۱۸۰

۴-۷- مقایسه ویژگی‌های کانسار مس کوه‌پنج با برخی از کانسارهای مس پورفیری در ایران و

جهان ..... ۱۸۱

۵-۷- الگوی تشکیل کانسار مس کوه‌پنج ..... ۱۸۴

۶-۷- نتیجه‌گیری ..... ۱۹۰

۷-۷- پیشنهادهای ..... ۱۹۱

منابع فارسی ..... ۱۹۳

منابع لاتین ..... ۱۹۵

پیوست ..... ۲۰۵

# فهرست شکل‌ها

## فصل اول

- شکل ۱-۱. نقشه موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به کانسار مس کوه‌پنج. ۳.....
- شکل ۱-۲. نمایی از جاده خاکی منتهی به منطقه مورد مطالعه. ۴.....
- شکل ۱-۳. نمایی از پوشش گیاهی منطقه‌ی کوه‌پنج. ۵.....
- شکل ۱-۴. (الف) تصویر صحرایی و (ب) تصویر ماهواره‌ای مربوط به ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه. ۷.....
- شکل ۱-۵. توزیع جهانی کانسارهای مس پورفیری. ۹.....

## فصل دوم

- شکل ۱-۲. کمر بند کوهزایی و متالوژنی آلپ-همالیا. ۱۹.....
- شکل ۲-۲. (الف) جایگاه کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان (KCMA) در ایران. (ب) موقعیت کانسار مس کوه‌پنج در کمان ماگمایی سنوزوئیک ایران. ۲۲.....
- شکل ۲-۳. توزیع کانسارهای مس پورفیری در کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان (KCMA). ۲۳.....
- شکل ۲-۴. نقشه لیتوساختاری از مجموعه‌ی ماگمایی سنوزوئیک کرمان (KCMA) و موقعیت کانسارها و اندیس‌های مهم مس پورفیری. ۲۳.....
- شکل ۲-۵. تکامل زمانی ذخایر مس پورفیری ایران. ۲۵.....
- شکل ۲-۶. نقشه زمین‌شناسی منطقه چهارگنبد، و موقعیت منطقه مورد مطالعه (☆). ۲۷.....
- شکل ۲-۷. موقعیت معادن مس وجود در ورقه‌ی چهارگنبد. ۳۲.....
- شکل ۲-۸. نقشه‌ی زمین‌شناسی بزرگ‌مقیاس کانسار مس کوه‌پنج. ۳۴.....
- شکل ۲-۹. تصویر هوایی بر گرفته از گوگل‌ارث منطقه‌ی مس کوه‌پنج. ۳۵.....
- شکل ۲-۱۰. گدازه‌های ریوداسیتی با بافت پورفیری-میکرولیتی. ۳۶.....
- شکل ۲-۱۱. تصاویر مربوط به واحدهای گدازه و آذرآواری و دایک دیوریتی در منطقه‌ی مورد مطالعه. ۳۸.....
- شکل ۲-۱۲. تصاویر مربوط به سنگ‌های داسیتی تحت تأثیر دگرسانی آرژیلیک. ۴۰.....
- شکل ۲-۱۳. تصاویر مربوط به داسیت‌های مغزه‌های لاگینگ شده. ۴۱.....
- شکل ۲-۱۴. (الف) تصویر نمونه دستی و میکروسکوپی مربوط به مغزه‌ی گرانودیوریتی. ۴۲.....

- شکل ۲-۱۵. دورنمایی از دایک‌های موجود در منطقه..... ۴۳
- شکل ۲-۱۶. تصاویر نمونه‌دستی و میکروسکوپی مربوط به دایک داسیتی موجود در منطقه..... ۴۴
- شکل ۲-۱۷. تصاویر نمونه‌دستی و میکروسکوپی مربوط به دایک آندزیتی - دیوریتی..... ۴۴
- شکل ۲-۱۸. تصاویر نمونه‌دستی و میکروسکوپی مربوط به دایک گرانودیوریتی - داسیتی..... ۴۵

### فصل سوم

- شکل ۳-۱. موقعیت کانسار کوه‌پنج، سرچشمه و سایر کانسارها بر روی تصاویر (Landsat-8)..... ۴۹
- شکل ۳-۲. ترتیب تشکیل دگرسانی‌های مختلف بر اساس کاهش اکتیوایی  $K^+/H^+$ ..... ۵۱
- شکل ۳-۳. نمودار روابط زمان - عمق انواع تیپ دگرسانی در سیستم‌های مس پورفیری..... ۵۱
- شکل ۳-۴. نقشه دگرسانی محدوده کانسار مس کوه‌پنج..... ۵۲
- شکل ۳-۵. ارتباط فازهای گرمایی پتاسیم فلدسپار - بیوتیت - کلریت در  $350^\circ$  درجه سانتیگراد..... ۵۴
- شکل ۳-۶. تصاویر نمونه‌دستی و میکروسکوپی مربوط به دگرسانی پتاسیک..... ۵۵
- شکل ۳-۷. تصویر صحرایی سنگی با ساخت داربستی تحت تأثیر دگرسانی فیلیک..... ۵۷
- شکل ۳-۸. تصاویر میکروسکوپی نمونه‌هایی تحت تأثیر دگرسانی فیلیک قرار..... ۵۸
- شکل ۳-۹. تصاویر نمونه‌دستی و مقاطع نازک مربوط به دگرسانی سیلیسی و سریسیتی..... ۵۸
- شکل ۳-۱۰. تصویر صحرایی مربوط به گمانه‌ی ۶، دگرسانی پتاسیک اورپرینت شده توسط دگرسانی فیلیک..... ۵۹
- شکل ۳-۱۱. تصاویر مربوط به دگرسانی پتاسیک اورپرینت شده توسط دگرسانی فیلیک و آرژیلیک..... ۶۰
- شکل ۳-۱۲. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده..... ۶۰
- شکل ۳-۱۳. تصاویر صحرایی نمایانگر دگرسانی‌های آرژیلیک حدواسط، پیشرفته و پروپیلیتیک..... ۶۲
- شکل ۳-۱۴. تصاویر مربوط به دگرسانی آرژیلیک (غنی از آهن) همراه با ساخت داربستی..... ۶۲
- شکل ۳-۱۵. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده..... ۶۳
- شکل ۳-۱۶. تصاویر صحرایی و میکروسکوپی مربوط به دگرسانی آرژیلیک حدواسط..... ۶۴
- شکل ۳-۱۷. نمودار پراش پرتو ایکس که بیانگر دگرسانی آرژیلیک حدواسط می‌باشد..... ۶۴
- شکل ۳-۱۸. دورنمایی از دگرسانی‌های پروپیلیتیک و آرژیلیک به همراه توف‌های ائوسن..... ۶۶
- شکل ۳-۱۹. الف) تصاویر صحرایی و میکروسکوپی مربوط به دگرسانی پروپیلیتیک..... ۶۶
- شکل ۳-۲۰. الف) نمایش دگرسانی سیلیسی و انواع دیگر دگرسانی‌های منطقه..... ۶۸



- شکل ۳-۲۱. تصویر میکروسکوپی نمونه‌ی داسیت پورفیری با دگرسانی سیلیسی ..... ۶۸
- شکل ۳-۲۲. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده مبین دگرسانی سیلیسی ..... ۶۹
- شکل ۳-۲۳. انواع ساخت‌های کانه‌زایی در گمانه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه ..... ۷۱
- شکل ۳-۲۴. تصاویر صحرایی از ساخت‌های همراه با کانه‌زایی در منطقه‌ی مورد مطالعه ..... ۷۳
- شکل ۳-۲۵. حضور کانی‌های اکسیدی، کربناته و سیلیکاته مس در کانی‌سازی سوپرژن ..... ۷۴
- شکل ۳-۲۶. مقطع شماتیک مربوط به زون‌های مختلف به همراه کانه‌ها و تغییرات عناصر فلزی ..... ۷۴

### فصل چهارم

- شکل ۴-۱. نمایش حضور اشکال مختلف کانی پیریت در زیر میکروسکوپ ..... ۷۸
- شکل ۴-۲. انواع اشکال حضور پیریت در مقاطع نازک صیقلی ..... ۷۹
- شکل ۴-۳. نمایش مقاطع نازک صیقلی مربوط کانی کالکوپیریت ..... ۸۱
- شکل ۴-۴. کالکوسیت‌های تشکیل شده در حاشیه‌ی کالکوپیریت طی فرایند سوپرژن ..... ۸۲
- شکل ۴-۵. نمایشی از تشکیل کولیت در حاشیه‌ی کالکوپیریت ..... ۸۳
- شکل ۴-۶. تصویر میکروسکوپی مربوط به بورنیت تشکیل شده در حاشیه‌ی کالکوپیریت ..... ۸۵
- شکل ۴-۷. انواع اشکال حضور مگنتیت در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه ..... ۸۶
- شکل ۴-۸. (الف) تصویر ساب میکروسکوپی از کانی هماتیت به همراه گوتیت ..... ۸۷
- شکل ۴-۹. تصویر نمونه‌ی مغزه‌ی حاوی کانی اولیژیست ..... ۸۸
- شکل ۴-۱۰. تصویر میکروسکوپی با حضور کانی گوتیت ..... ۸۹
- شکل ۴-۱۱. تصویر میکروسکوپی و ساب میکروسکوپی پیریت در حال تبدیل به گوتیت و هماتیت ..... ۹۰
- شکل ۴-۱۲. تصویر نمونه‌ی صحرایی و میکروسکوپی مربوط به حضور مالاکیت در سطح ..... ۹۱
- شکل ۴-۱۳. تصویر نمونه‌دستی مربوط به آزوریت (آبی) و لیمونیت (نارنجی تا زرد) ..... ۹۲
- شکل ۴-۱۴. نمونه دستی مربوط به کانی‌های زون سوپرژن ..... ۹۲
- شکل ۴-۱۵. (الف) تصاویر مربوط به اشکال مختلف حضور کوارتز در سنگ‌های منطقه ..... ۹۴
- شکل ۴-۱۶. تصویر نمونه دستی از رگه‌ی نوع D و هاله‌ی سیلیسی - سریسیتی اطراف آن ..... ۹۵
- شکل ۴-۱۷. الگوی زمانی از توالی‌های رگچه‌ای در انواع کانسارها ..... ۹۸
- شکل ۴-۱۸. تصاویر مربوط به رگچه‌های منفرد و متقاطع مگنتیت در سنگ‌های منطقه ..... ۹۹

- شکل ۴-۱۹. تصویر میکروسکوپی مربوط به رگچه‌ی A<sub>2</sub> ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۲۰. تصاویر مربوط به همراهی کانی پیریت و کالکوپیریت در رگه‌ی نوع D ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۲۱. انواع رگچه‌های نوع D ..... ۱۰۳

### فصل پنجم

- شکل ۵-۱. تصویر هوایی مربوط به منطقه‌ی کوه‌پنج موقعیت و نقاط ارتفاعی نمونه‌ها ..... ۱۱۱
- شکل ۵-۲. طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین نفوذی منطقه با استفاده از نمودار یانگ و میدلموست ..... ۱۱۶
- شکل ۵-۳. نمودار رده‌بندی میدلموست برای پورفیری‌های KCMA ..... ۱۱۷
- شکل ۵-۴. ماهیت سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه در نمودار کولینس و همکاران ..... ۱۱۸
- شکل ۵-۵. نمودارهای مربوط به نامگذاری سنگ‌های خروجی منطقه ..... ۱۱۹
- شکل ۵-۶. تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی منطقه ..... ۱۲۰
- شکل ۵-۷. تعیین سری ماگمایی سنگ‌های محدوده‌ی کوه‌پنج ..... ۱۲۰
- شکل ۵-۸. موقعیت توده‌های نفوذی منطقه براساس درجه‌ی اشباع از آلومین ..... ۱۲۲
- شکل ۵-۹. توزیع عناصر کمیاب در منطقه‌ی کوه‌پنج ..... ۱۲۴
- شکل ۵-۱۰. الگوی عناصر کمیاب در منطقه‌ی کوه‌پنج و کانسارهای تیپ کوه‌پنج و جبال بارز ..... ۱۲۵
- شکل ۵-۱۱. نمودارهای تعیین جایگاه تکتونیکی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه ..... ۱۲۶
- شکل ۵-۱۲. موقعیت سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی کانسار کوه‌پنج و کانسارهای میدوک و پرکام ..... ۱۲۶
- شکل ۵-۱۳. الف) نمودار Th/Ce در مقابل Th برای نمونه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه ..... ۱۲۸
- شکل ۵-۱۴. نمودار Sr/Y در مقابل Y برای کانسار کوه‌پنج، کانسارهای تیپ کوه‌پنج و جبال بارز ..... ۱۳۱
- شکل ۵-۱۵. نمودار تعیین ماهیت آداکیتی سنگ‌های منطقه‌ی کوه‌پنج ..... ۱۳۱
- شکل ۵-۱۶. دیاگرام‌های Rb/Sr در مقابل Nb/U و Rb/Sr در مقابل La/Ce ..... ۱۳۲
- شکل ۵-۱۷. نمودار La/Sm در مقابل La برای کانسار کوه‌پنج و پورفیری‌های KCMA ..... ۱۳۲
- شکل ۵-۱۸. نمودار تمایز انواع آداکیت‌ها از مارتین و همکاران ..... ۱۳۳
- شکل ۵-۱۹. نمودار تغییرات میزان عیار عناصر نسبت به عمق در گمانه KOP-2 ..... ۱۳۸
- شکل ۵-۲۰. نمودار تغییرات میزان عیار عناصر نسبت به عمق در گمانه KOP-6 ..... ۱۳۹
- شکل ۵-۲۱. مقایسه‌ی تغییرات غلظت عناصر در گمانه‌های ۲ و ۶ ..... ۱۴۰
- شکل ۵-۲۲. منطقه‌بندی ژئوشیمیایی عنصری در کانسار مس پورفیری مینرال پارک، آریزونا ..... ۱۴۲

شکل ۵-۲۳. رفتار عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های سنگ و کانسنگ..... ۱۴۳

شکل ۵-۲۴. نمودار Baldwin and Pearce (1982) جهت تقسیم‌بندی اقتصادی کانسار..... ۱۴۴

### فصل ششم

شکل ۶-۱. مقطع لیتوژئوشیمیایی و دگرسانی مربوط به دو گمانه‌ی ۶ و ۲..... ۱۵۲

شکل ۶-۲. نمودار فراوانی اشکال مختلف میانبارهای سیال در کانسار مس کوه‌پنج..... ۱۵۴

شکل ۶-۳. نمودار فراوانی انواع میانبارهای سیال به همراه فراوانی آنها در هر کدام از نمونه‌های کوه-

پنج..... ۱۵۷

شکل ۶-۴. انواع میانبارهای سیال به همراه اشکال مختلف حضور آنها در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۱۵۸

شکل ۶-۵. هیستوگرام فراوانی میزان شوری برای نمونه‌های کوه‌پنج..... ۱۶۴

شکل ۶-۶. هیستوگرام فراوانی دمای همگن شدن میانبارهای سیال منطقه‌ی مورد مطالعه..... ۱۶۵

شکل ۶-۷. نمودار دمای همگن شدن و شوری ۷۹ کانسار مس پورفیری دنیا..... ۱۶۶

شکل ۶-۸. نمودار دما - شوری جهت تعیین چگالی محلول‌های  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  اشباع از بخار..... ۱۶۷

شکل ۶-۹. نمودار تعیین فشار- بخار محلول بر حسب دمای همگن شدن و شوری..... ۱۶۸

شکل ۶-۱۰. تصویر تأثیر عمق جایگیری توده نفوذی و ارتباط کانه‌زایی با گرادیان زمین‌گرمایی..... ۱۶۹

شکل ۶-۱۱. طرح شماتیک از عمق تقریبی جایگزینی سامانه‌های پورفیری خوشه میدوک، کانسار

سرچشمه و کوه‌پنج..... ۱۷۰

شکل ۶-۱۲. نمودار دما- فشار- عمق جهت تعیین عمق تشکیل کانسار..... ۱۷۱

شکل ۶-۱۳. نمودار دمای همگن‌شدگی- شوری سیالات جهت تعیین کمپلکس موثر در حمل

عناصر..... ۱۷۲

شکل ۶-۱۴. نمودار دمای همگن شدن- میزان شوری سیالات در گیر در کانسارهای مختلف..... ۱۷۳

شکل ۶-۱۵. موقعیت نمونه‌های مربوط به منطقه مورد مطالعه در نمودار شوری در مقابل دمای همگن

شدن..... ۱۵۹

### فصل هفتم

شکل ۷-۱. نمودار توزیع فراوانی انواع سنگ‌های موجود در کانسارهای مس پورفیری..... ۱۷۸

شکل ۷-۲. طرح تکاملی از بسته شدن اقیانوس نئوتتیس و برخورد آلپ- هیمالیا..... ۱۸۵

شکل ۷-۳. مدل تشکیل ماگماهای آداکیتی و کالک‌آلکالن تیپ کوه‌پنج ناشی از ذوب پوسته‌ی

زیرین..... ۱۸۶

شکل ۷-۴. تصویر شماتیک نحوه تشکیل دگرسانی و کانی‌زایی‌ها در کانسار مس پورفیری کوه‌پنج... ۱۸۹

## فهرست جداول

- جدول ۵-۱. مقادیر اکسید عناصر اصلی، عناصر فرعی و کمیاب در نمونه‌های سنگی کوه‌پنج..... ۱۱۳
- جدول ۵-۲. مقایسه خصوصیات ژئوشیمیایی سنگ‌های کانسار کوه‌پنج با ماگماهای آداکیتی..... ۱۲۹
- جدول ۵-۳. اکسیدهای اصلی، عناصر کمیاب و کمیاب خاکی حاصل از آنالیز ۳ نمونه‌ی کانسنگ..... ۱۳۴
- جدول ۵-۴. پارامترهای آماری عناصر بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی ۴۸۳ نمونه سنگ..... ۱۳۶
- جدول ۵-۵. مقادیر ضرایب همبستگی به روش پیرسن بر پایه لگاریتم داده‌های ژئوشیمیایی..... ۱۴۱
- جدول ۵-۶. مقایسه عیار عناصر Cu، Au، Mo، Ag کانسار کوه‌پنج با انواع کانسارهای پورفیری..... ۱۴۵
- جدول ۶-۱. مشخصات نمونه‌های مورد مطالعه به همراه کانه‌ها و عمق برداشت هر یک از نمونه‌ها..... ۱۵۳
- جدول ۶-۲. نتایج مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال کوارتز در منطقه کوه‌پنج..... ۱۵۹
- جدول ۶-۳. مقایسه سیالات کانه‌ساز کوه‌پنج با چند کانسار مس پورفیری در ارومیه- دختر جنوبی..... ۱۶۴
- جدول ۷-۱. مقایسه ویژگی‌های کانسار کوه‌پنج با کانسارهای مس پورفیری مدل مونزونیتی و دیوریتی..... ۱۸۰
- جدول ۷-۲. مقایسه ویژگی‌های کانسار مس کوه‌پنج با برخی از کانسارهای مس پورفیری ایران..... ۱۸۱
- جدول ۷-۳. مقایسه ویژگی‌های کانسار مس کوه‌پنج با تعدادی از کانسارهای مس پورفیری جهان..... ۱۸۳

فصل اول

کلمات

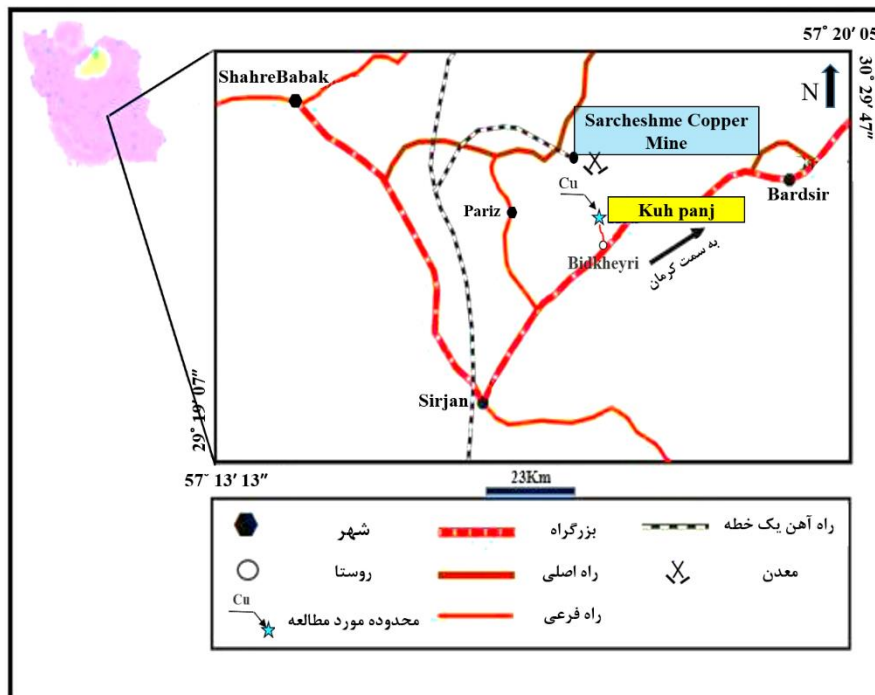
## ۱-۱- مقدمه

ذخایر پورفیری منابع اصلی مس، مولیبدن و رنیم می‌باشند و مقادیر بالایی از طلا، نقره و دیگر فلزات را فراهم می‌کنند (Sillito, 2010). در میان این عناصر، مس در شمار نخستین فلزاتی است که توسط انسان شناخته و به کار گرفته شده است و عنصری است که در صنعت بعنوان فلزی پایه کاربردهای بسیار گسترده‌ای دارد. از بین کانسارهای مهم مس (کانسارهای رگه‌ای، اسکارن، رسوبی، سولفید توده‌ای، سولفیدی ماگمایی، IOCG و پورفیری) کانسارهای مس پورفیری به دلیل ذخیره زیاد و هزینه ناچیز بهره‌برداری حائز بیشترین اهمیت هستند. همچنین امروزه بخش اعظم مس جهان از کانسارهای مس پورفیری بدست می‌آید. پیشرفت تکنولوژی، دستیابی به روش‌های استحصال مواد معدنی را در عیارهای کمتر از یک درصد نیز امکان‌پذیر ساخته است و بدین ترتیب روز به روز به اهمیت استراتژیک ذخایر پورفیری افزوده می‌شود. ایران به لحاظ مس از پتانسیل معدنی بسیار خوبی برخوردار است. اغلب کانسارهای شناخته شده‌ی مس پورفیری ایران در کمربند ماگمایی سنوزوئیک ارومیه- دختر ( e.g., (McInnes et al., 2003; Shafiei et al., 2008, 2009; Hou et al., 2011; Richards et al., 2012 و مخصوصاً بطور گسترده در بخش جنوب‌شرقی کمان واقع شده‌اند، به گونه‌ای که از آن با عنوان کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان نیز یاد می‌شود (KCMA; Shafiei et al., 2009). کانسار کوه‌پنج نیز در این کمان واقع است. کارهای اکتشافی در منطقه کوه‌پنج توسط شرکت ملی صنایع مس ایران در سال ۱۳۸۹ انجام شده و تحقیق حاضر طی هماهنگی با این شرکت صورت پذیرفته است. بدون شک شناخت واقعی یک ذخیره یا نشانه معدنی زمانی امکان‌پذیر است که کلیه عوامل مؤثر در تشکیل آن مورد شناسایی و بررسی علمی قرار بگیرد. در این تحقیق کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس کوه‌پنج مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۱-۲- آشنایی با منطقه

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

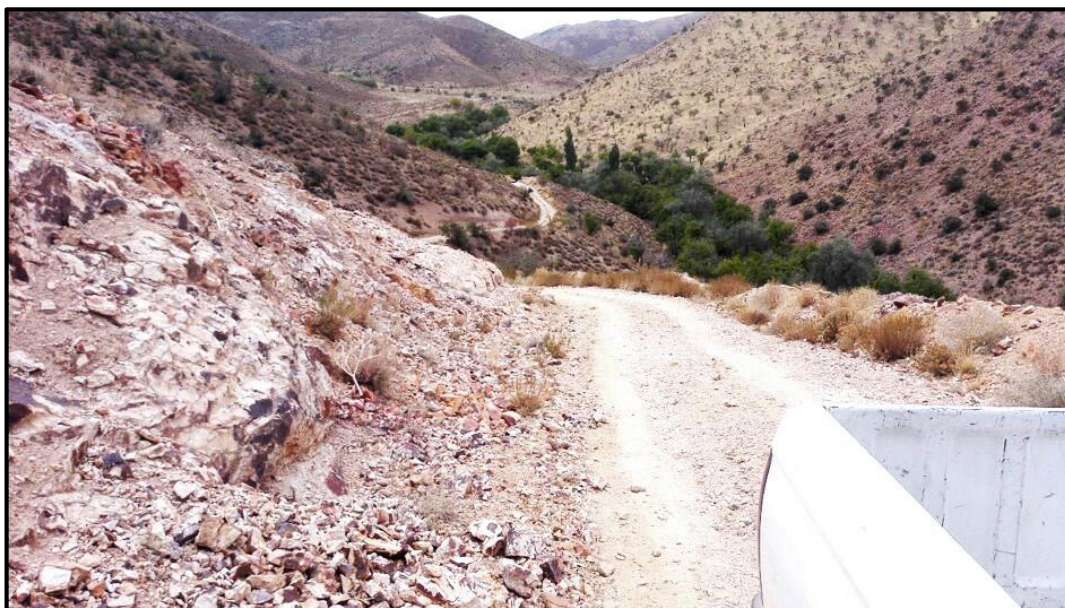
منطقه مورد مطالعه بین طول‌های  $56^{\circ}03'26''$  و  $56^{\circ}04'54''$  شرقی و عرض‌های  $29^{\circ}51'55''$  و  $29^{\circ}52'49''$  شمالی، در استان کرمان و در شرق شهرستان پاریز و جنوب شرق معدن مس سرچشمه واقع شده است (شکل ۱-۱). این محدوده در نقشه‌های ۱:۲۵۰,۰۰۰ سیرجان (سهیلی، ۱۳۷۴) و ۱:۱۰۰,۰۰۰ چهارگنبد (خان‌ناظر و همکاران، ۱۳۵۰) واقع می‌باشد. به لحاظ راه دسترسی منطقه‌ی کوه‌پنچ در ۶۵ کیلومتری شهرستان سیرجان واقع شده است که بعد از روستای بیدخیری جاده‌ی فرعی به سمت شمال با طی مسافتی حدود ۴ کیلومتر امکان دسترسی به محدوده را امکان‌پذیر می‌نماید. روستای بیدخیری، بزرگترین روستای منطقه است که مجهز به ایستگاه پمپ بنزین و متصل به شبکه برق سراسری است. از دیگر روستاهای اطراف این منطقه می‌توان به روستاهای گودبید و کهن‌روز اشاره نمود.



شکل ۱-۱. نقشه موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به کانسار مس کوه‌پنچ.

راه‌های منتهی به کانسار از طرف مجتمع مس سرچشمه بدین صورت هستند:

- سرچشمه- پاریز- سه‌راهی سیرجان- گردنه خانه‌سرخ جمعاً به طول ۱۰۰ کیلومتر + ۱۰ کیلومتر جاده خاکی فرعی می‌باشد.
  - جاده‌ی سرچشمه به رفسنجان، سه‌راهی شاهزاده عباس- جواهران- اسماعیلی- گهیدج- کهن‌دوز- پیرمراد- دره‌ی کودبید که به طول ۳۰ کیلومتر می‌باشد.
- در داخل محدوده راه‌هایی به‌منظور انتقال دستگاه حفاری توسط یوگسلاوها برای دسترسی به چاه‌های منطقه در سال ۱۹۷۱ احداث گردیده، برخی از این راه‌ها در حال حاضر بازسازی شده و دسترسی به محدوده‌ی اکتشافی کوه‌پنج را ممکن ساخته‌اند (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲. نمایی از جاده خاکی منتهی به منطقه مورد مطالعه.



## ۱-۲-۲- شرایط آب وهوایی و پوشش گیاهی

ریخت کوهستانی به همراه بارندگی کم، موجب گشته تا کشاورزی تنها در محدود بخش‌هایی از ورقه چهارگنبد رونق داشته باشد. مهمترین رودخانه در این برکه، رودخانه سرخ است که در حین گذر از پهنای برکه به آب‌های روان از دامنه شمالی کوه "چهلتن" و دامنه جنوبی "کوه پنچ" می‌پیوندد (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۸). آب و هوای منطقه کوهستانی است بطوریکه دارای تابستان‌های نسبتاً گرم و زمستان‌های سرد و خشک است. نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به کوه پنچ، ایستگاه مجتمع مس سرچشمه است. میزان بارش سالانه در منطقه ۲۹۶ میلیمتر است و در سال مجموعاً ۵۳ روز یخبندان وجود دارد. حداقل دمای هوا در دی‌ماه ۷- درجه و حداکثر دما در مردادماه حدود ۳۷/۵ درجه سانتیگراد است و رطوبت نسبی بطور متوسط ۴۷ درصد می‌باشد (خالقی، ۱۳۸۰). پوشش گیاهی طبیعی علاوه بر درختکاری‌های گردو در دره‌ها، شامل درختچه‌های ترکیبی از بادام با بادام‌های وحشی و زرشک وحشی است. علاوه بر این گون پوشش اصلی ارتفاعات محسوب می‌شود (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳. نمایی از پوشش گیاهی منطقه‌ی کوه پنچ.

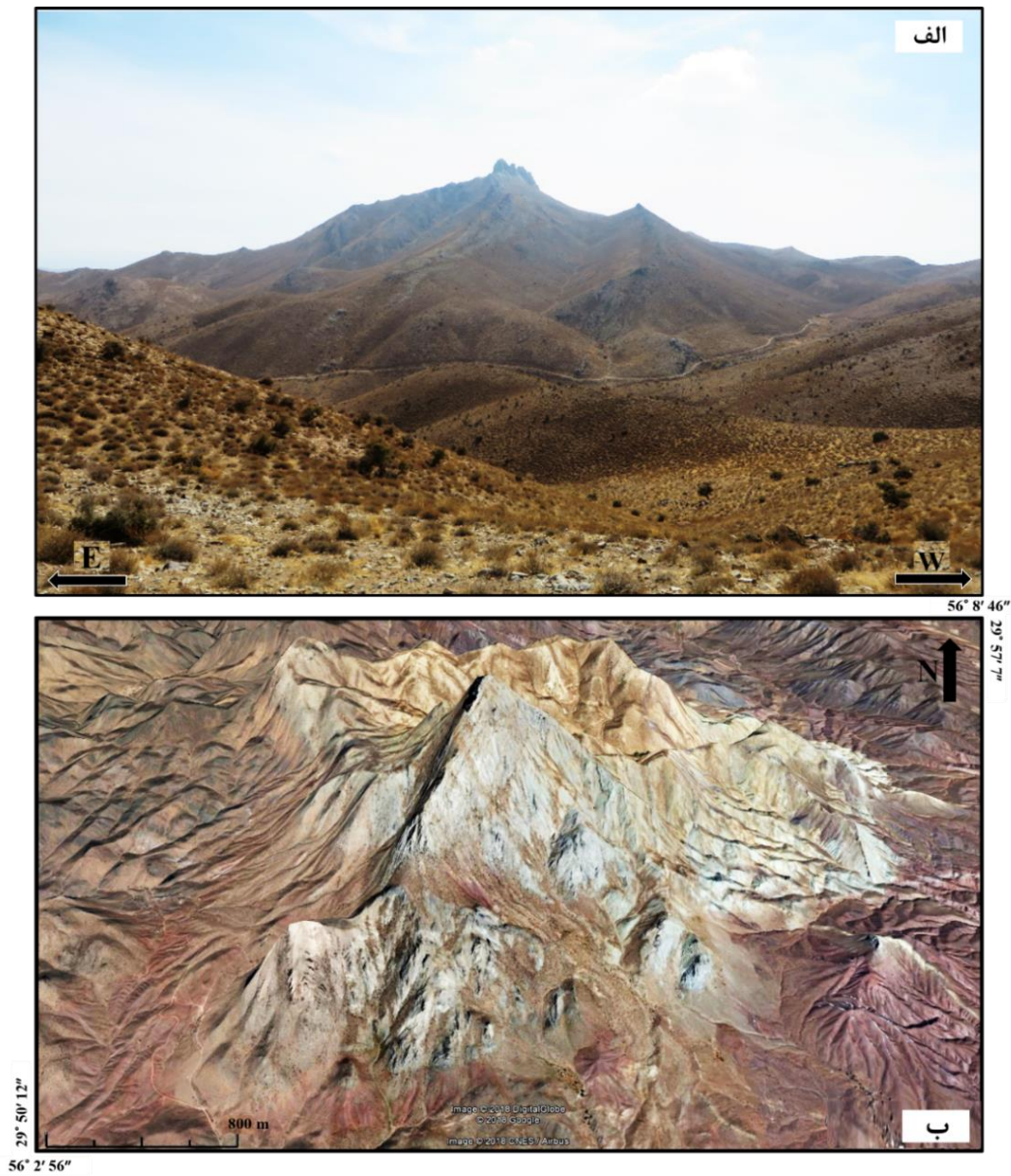
### ۱-۲-۳- وضعیت معیشتی منطقه مورد مطالعه

به لحاظ جمعیتی منطقه‌ی کوه‌پنج دارای دو یا سه خانه‌باغی و عاری از سکنه دائمی می‌باشد. در ماه‌های بهار و تابستان جمعیت کوچکی از عشایر چادرنشین را نیز به خود جلب می‌نماید که عمدتاً در کناره‌های دره‌ی اصلی متمرکز می‌شوند. محصولات کشاورزی روستای کودبید (با یک خانوار جمعیت) که در نزدیکی کانسار واقع است، سیب، گردو، بادام و انگور می‌باشد. رودخانه فصلی که از میان زون‌های دگرسانی در دره‌ی اصلی عبور می‌کند دارای روندی شمال‌شرقی- جنوب‌غربی است و آبراهه‌های فرعی منطقه به این رودخانه منتهی می‌شوند؛ این آبراهه‌ها به نوبه‌ی خود باعث زهکشی منطقه شده و آب مورد نیاز کشاورزی منطقه را تأمین می‌کنند.

### ۱-۲-۴- زمین‌ریخت‌شناسی

منطقه از لحاظ ریخت‌شناسی، خشن و دارای دره‌های عمیق می‌باشد. مرتفع‌ترین نقطه‌ی منطقه، قله‌ی اصلی قله کوه‌پنج است که دارای ارتفاع ۳۱۲۶ متر از سطح دریا می‌باشد. از عوامل کنترل‌کننده‌ی اصلی زمین‌ریخت‌شناسی منطقه مورد بررسی می‌توان به فرایندهای زمین‌ساختی، فرسایش و سنگ‌شناسی اشاره کرد. وجود دره‌های عمیق با دیواره‌های بلند و پرشیب؛ به شکل V در نقاط با سنگ‌های سخت و پایدار (بخش شرقی- شمال شرقی)، و دره‌های U شکل در نقاط با سنگ‌های سست و ناپایدار، شاخص این منطقه است. در مناطقی که آذرآواری‌های سست و توفها وجود دارند، به علت فرسایش-پذیری این نوع سنگ‌ها شاهد توپوگرافی نسبتاً هموار و دره‌های پهن و دیواره‌های کوتاه شده هستیم. دایک‌ها مورفولوژی خشنی را به نمایش گذاشته‌اند. همچنین بعضی واحدهای سنگی، به دلیل سیلیسی شدن سنگ‌ها برجسته مانده است. شیب زیاد توپوگرافی سبب ایجاد پیچ و خم‌های فراوان در راه دسترسی از جاده‌ی اصلی به محدوده می‌باشد که امکان دسترسی به منطقه را فقط از طریق خودروهای صحرایی میسر می‌نماید. پوشش گیاهی در امتداد رودخانه اصلی منطقه نسبتاً غنی است. به همین دلیل

ضخامت خاک فوقانی در این قسمت بیشتر است، ولی در بخش‌های مرتفع ضخامت آن کم می‌باشد.  
 شکل (۴-۱) نمایی از ریخت‌شناسی منطقه را به نمایش می‌گذارد.



شکل ۴-۱. الف) تصویر صحرایی و ب) تصویر ماهواره‌ای مربوط به ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

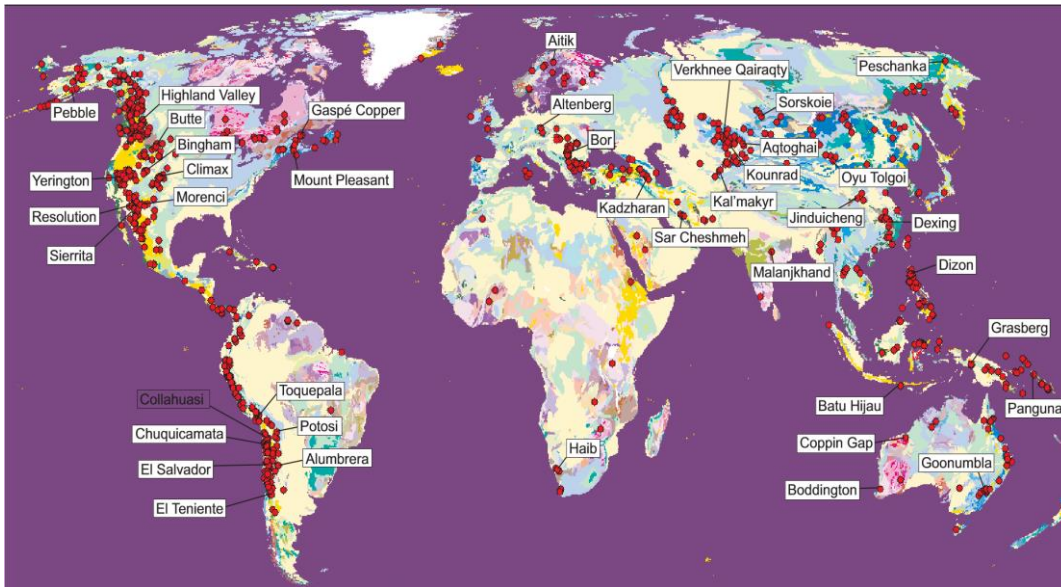
### ۱-۳- مروری بر مطالعات پیشین

در ارتباط با کانه‌زایی‌های مس پورفیری در جهان و ایران مطالعات زیادی انجام گرفته است. در این قسمت تنها به ذکر پاره‌ای از مهمترین آنها که در ارتباط نزدیک با موضوع پژوهش می‌باشد، اکتفا شده است:

#### ۱-۳-۱- مطالعات انجام شده در جهان

سیستم‌های مس پورفیری در بسیاری از کمربندهای کوه‌زایی در سراسر جهان گزارش شده‌اند (e.g., Qu et al., 2001; Hou and Cook, 2009; Richards, 2009)، (شکل ۱-۵). مطالعات زیادی در دنیا در مورد پارامترهای مختلف در کانسارهای مس پورفیری انجام شده است و در رابطه با عوامل کنترل‌کننده در مورد کانسارهای مس پورفیری در بین محققین بحث‌های زیادی وجود دارد (Chiaradia, 2014; Chiaradia et al., 2012; Cooke et al. 2005; Lee et al., 2012, 2014; Richards, 2011, 2013; Wilkinson, 2013; Sun et al. 2011, 2013; Mungall, 2002; Sillito, 2010). سیلیتو (2013) ویژگی‌های شاخص سیستم‌های مس پورفیری را توصیف نموده و اطلاعات مفیدی را در این راستا در اختیار محققین قرار داده است. ریچاردز (Richards, 2015) تکامل تکتونیکی، ماگمایی و متالورژیک ناحیه تتیان را از فروانش تا برخورد مورد بررسی قرار داده است. سان و همکاران (Sun et al., 2015) کانسارهای پورفیری و ماگماهای اکسیدی مربوط به آنها را بررسی کرده‌اند. پلوتینسکایا و همکاران (Plotinskaya et al., 2018) تجمع فلزات گرانبها (طلا، نقره و عناصر گروه پلاتین) در اثر فرایندهای برونزاد را در کانسار مس پورفیری میخوسکو (اورال جنوبی، روسیه) مورد بررسی قرار داده و سه تیپ کانه‌زایی را برای این کانسار تشریح کرده‌اند. وانگ و همکاران (Wang et al., 2018) تشکیل کانسارهای مس پورفیری جنوب تبت را به ماگماهای پس از برخورد نسبت داده‌اند. علاوه بر موارد ذکر شده تعداد

زیادی از مطالعات مربوط به کانسارهای مختلف در سطح جهان، به پورفیری‌ها اختصاص دارد که از برخی از آنها در نگارش فصول بعدی استفاده شده است.



شکل ۱-۵. توزیع جهانی کانسارهای مس پورفیری از کایرخام و دون (Kirkham and Dunne, 2000).

### ۱-۳-۲- مطالعات انجام شده در بخش جنوبی کمربند ارومیه- دختر

تاکنون مطالعات قابل توجهی بر روی کانسارهای مس در کمربند مس کرمان انجام شده است (سریکو همکاران (Saric et al., 1973)؛ دیمیتریویچ (Dimitrijevic, 1973)؛ حسن‌زاده (Hassanzadeh, 1993)؛ تقی‌پور، ۱۳۸۶؛ شفیعی، ۱۳۸۶، محمدزاده، ۱۳۸۷؛ عینعلی، ۱۳۹۲؛ پارساپور و همکاران (Parsapoor et al., 2014)؛ محمددوست و همکاران (Mohammaddoost et al., 2017)). هزارخانی (Hezarkhani, 2006) با انجام مطالعات سیالات درگیر بر روی کانسار مس پورفیری ریگان در نزدیکی بم نشان داد که تحول سیستم هیدروترمال به‌گونه‌ای بوده که امکان تشکیل کانسار اقتصادی وجود نداشته است. شفیعی (۱۳۸۶) در رساله دکتری خود ضمن بررسی ساختارهای بزرگ‌مقیاس، ژئوشیمی و ماگماتیسم در کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان، رهیافت‌های فلززایی و اکتشافی برای این ناحیه

پیشنهاد نموده است. اسدی و همکاران (Asadi et al., 2014) به بررسی ذخایر مس بارور و نابارور در بخش جنوب شرقی کمربند آتشفشانی- ماگمایی ایران مرکزی پرداخته‌اند. بیراندپور و همکاران (Beiranvand Pour, 2015) از طریق داده‌های لندست (Landsat-8)، دگرسانی هیدروترمال منطقه‌ی معدنی سرچشمه را تهیه کردند. زراسوندی و همکاران (Zarasvandi, 2015) عناصر نادر خاکی در سیستم‌های مس پورفیری اقتصادی و نیمه اقتصادی کمربند ماگمایی ارومیه- دختر را بررسی کردند. آقازاده و همکاران (Aghazadeh et al., 2015) توزیع زمانی- مکانی و تقسیمات تکتونیکی کنسارهای مس پورفیری ایران با استفاده از سن سنجی اورانیوم- سرب و رنیوم- اوسمیم مولیبدنیت را ارائه کرده‌اند. انصاری و همکاران (Ansari et al., 2017) خصوصیات ژئوشیمیایی و پترولوژی کمپلکس گرانودیوریتی چهارگنبد را مورد بررسی قرار داده‌اند. محمد دوست (۱۳۹۶)، در رساله دکتری خود ضمن بررسی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی به بررسی ایزوتوپی سیالات گرمابی کانه‌ساز در توده‌های پورفیری اقتصادی و غیراقتصادی در خوشه میدوک پرداخته است. گلستانی و همکاران (Golestani et al., 2018) بر روی سنگ‌های آذرین نفوژن کنسار مس پورفیری ایجو مطالعات ژئوشیمیایی و ایزوتوپی (اورانیوم- سرب و استرانسیوم- نئودیمیم) انجام داده‌اند. علاوه بر موارد ذکر شده مطالعات بی‌شمار دیگری نیز در این منطقه انجام شده که از حوصله‌ی این تحقیق خارج است.

### ۱-۳-۳- مطالعات انجام شده در منطقه‌ی مورد مطالعه

- اولین مطالعات اکتشافی متمرکز متعلق به مطالعات اکتشافی یوگسلاوها (1970-1974) میلادی بوده است که قسمت اعظم کمربند پورفیری کرمان را شامل بوده است. این مطالعات که در نهایت منجر به معرفی مناطق مختلفی از سیستم‌های پورفیری در کمربند کرمان شده است توانسته قدم‌های اولیه مناسبی از این نوع کانی‌سازی‌ها در پی‌آمد یک مطالعات ناحیه‌ای ایجاد نماید.

- خان‌ناظر و همکاران (۱۳۵۰)، چهارگوش ۱:۱۰۰،۰۰۰ چهارگنبد را تهیه کردند. ایشان سنگ‌های کوه‌پنج را گرانودیوریت‌های پس از میوسن پایانی معرفی کرده‌اند که به درون توف‌های ائوسن تزریق شده‌اند.
- سهیلی (۱۳۷۴)، چهارگوش ۱:۲۵۰،۰۰۰ سیرجان را برپایه‌ی اطلاعات ورقه‌های ۱:۱۰۰،۰۰۰ پاریز، چهارگنبد، بردسیر، سیرجان، بلورد و بافت تهیه کرده است و در محدوده مس کوه‌پنج گرانودیوریت با سن پس از الیگوسن گزارش شده است.
- خالقی و شهاب‌پور (۱۳۷۹)، با بررسی توزیع ژئوشیمیایی عناصر مس، مولیبدن، سرب و روی در کانسار مس پورفیری کوه‌پنج، ضمن توصیف نقش pH در تمرکز عنصر مولیبدن در خاک، بر اهمیت مولیبدن، به عنوان ردیاب در مجموعه پورفیری، تأکید کرده است. همچنین معلوم گردید که دو عنصر مس و روی، بدلیل تحرک بیشتر می‌توانند به عنوان راهنمای کانسارسازی در مقیاس ناحیه‌ای مورد استفاده قرار گیرند.
- خالقی (۱۳۸۰)، مطالعه زمین‌شناسی، اکتشاف ژئوشیمیایی نیمه‌تفصیلی و بررسی پتانسیل معدنی کانسار مس پورفیری کوه‌پنج، را مورد مطالعه قرار داده است و نقاطی را جهت انجام عملیات حفاری پیشنهاد نموده است.
- شرکت ملی صنایع مس ایران (۱۳۸۶)، گزارش نهایی مطالعات زمین‌شناسی و دگرسانی محدوده کوه‌پنج را در قالب نمونه‌گیری‌های سنگ به منظور بررسی ژئوشیمیایی سطحی کانسار مس کوه‌پنج انجام داده است.
- بابایی (۱۳۸۸)، با استفاده از روش‌های چند متغیره پیشرفته جهت مدل‌سازی اکتشافی منطقه سرچشمه و کوه‌پنج، این منطقه را مورد مطالعه قرار داده و نقشه‌ی پتانسیل معدنی جهت استخراج تهیه نموده است.

- روشنی رودسری (۱۳۹۱)، در قالب پایانامه کارشناسی ارشد اکتشاف معدن با موضوع: بررسی همبستگی ژئوشیمیایی عناصر در سیستم‌های عددی باز و بسته مطالعه موردی کانسار مس کوه‌پنج (استان کرمان) روی این منطقه مطالعه انجام داده‌اند. این تحقیق بر پایه داده‌های سنگ شیمیایی سطحی انجام گرفته و آنومالی‌های مس و عناصر همراه را در منطقه مس کوه‌پنج گزارش کرده‌اند.
- روشنی و همکاران (Roshani et al., 2013)، تشخیص آنومالی‌های ژئوشیمیایی با استفاده از آنالیز تابع تمایز در کانه‌زایی مس پورفیری کوه‌پنج را انجام داده‌اند. هدف از این مطالعه جداکردن آنومالی از زمینه بوده است.

#### ۱-۴- طرح مسئله و هدف از پژوهش

با توجه به جایگاه عنصر مس در دنیای امروز و پتانسیل ایران برای تولید آن در آینده، ضرورت نگاه تازه به مبحث اکتشافات مس در ایران بیش از پیش نمایان می‌شود، چراکه افزایش روزافزون تقاضا برای مس از سوئی و سیر نزولی تولید سالانه مس در کشورهایی که جزء بزرگترین تولیدکنندگان این عنصر صنعتی هستند از سوی دیگر، نگاه سرمایه‌گذاری پرمفعت، برای پرکردن شکاف عرضه و تقاضا را معطوف ذخایر جدید خواهد کرد. استفاده از چنین بستری، مستلزم شناسایی دقیق و به دور از حدس و گمان تمامی ذخایر مس کشور، اعم از کانسارها و اندیس‌های مس می‌باشد، زیرا با توجه به سیر نزولی عیار کانسنگ مس و سیر صعودی تقاضا در خارج و نیز ورود و ارتقاء روز افزون تکنولوژی معدنی در داخل کشور، احتمال اقتصادی شدن بسیاری از اندیس‌های کوچک و کم‌عیار مس وجود دارد. این امر جز با ورود مستمر و برنامه‌ریزی شده زمین‌شناسی اقتصادی به مبحث اکتشافات مس کشور محقق نخواهد شد، چرا که بدون تحلیل‌های دقیق زمین‌شناسانه، داده‌های حاصل از بیش از ۹۴۵ هزار متر حفاری در سال، علاوه بر پرهزینه بودن، پراکنده، پرخطا و توجیه‌ناپذیر خواهند بود. کمربند ولکانیکی-پلوتونیک ارومیه- دختر مستعد شکل‌گیری کانسارهای مس پرفیری در ایران است. بخشی از این



مجموعه که در استان کرمان واقع است، کمر بند دهج- ساردوئیه نام دارد. در چند سال اخیر فعالیت‌های اکتشافی گسترده‌ای در این مجموعه ماگمایی صورت گرفته است. سرچشمه، میدوک و دره‌زار، دره‌آلو و چاه فیروزی از جمله مهمترین کانسارهای این محدوده به شمار می‌روند. این کانسارها و دیگر اندیس‌های تازه شناخته شده در منطقه، این کمر بند را از نظر اقتصادی مهم و قابل تأمل کرده‌اند. کانسار مس کوه‌پنج نیز که در بخش جنوب‌شرقی این کمر بند واقع شده است، نیازمند مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی بیشتری است. اهداف این پژوهش از دیدگاه زمین‌شناسی اقتصادی به شرح زیر است:

- بررسی دگرسانی و کانه‌زایی تعیین سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی منطقه مورد مطالعه.
- بررسی کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنزی کانی‌ها در کانسار.
- تعیین ماهیت و سرشت ماگما، نوع توده نفوذی و موقعیت تکتونیکی توده نفوذی.
- تعیین ویژگی‌های ژئوشیمیایی کانسار.
- مطالعه دما، شوری، ترکیب و منشاء سیالات کانسار ساز براساس مطالعه سیالات درگیر.
- مشخص کردن عوامل کنترل‌کننده‌ی ماده‌ی معدنی.
- تعیین مستعد یا غیر مستعد بودن منطقه برای فعالیت‌های اکتشافی تکمیلی.
- ارائه کلیدهای اکتشافی جهت بهینه‌سازی فعالیت‌های اکتشافی در منطقه.

## ۱-۵- روش انجام این تحقیق

انجام این تحقیق طی چند مرحله صورت گرفته است که در زیر مختصراً به آن می‌پردازیم.

## ۱-۵-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع

در انجام این پژوهش، گردآوری و مطالعه منابع و اطلاعات موجود بصورت زیر انجام شده است:

- مطالعات کتب و مقالات مرتبط با موضوع مورد نظر و گردآوری اطلاعات از طریق سازمان‌های تحقیقاتی، کتابخانه، سایت‌های معتبر علمی و غیره.
- گردآوری نقشه‌های زمین‌شناسی و نقشه‌های توپوگرافی منطقه معدنی و گزارش و مقالات مرتبط با منطقه مورد نظر و نواحی اطراف و همچنین کانه‌زایی مشابه در جهان.
- برنامه‌ریزی برای انجام مطالعات صحرایی.
- ارتباط با زمین‌شناسان با تجربه داخلی و خارجی جهت تهیه منابع معتبر.

## ۱-۵-۲- مطالعات صحرایی

مطالعات صحرایی به شرح زیر صورت گرفته است:

- بازدید مقدماتی به منظور آشنایی با محدوده مورد مطالعه.
- شناسایی واحدهای مختلف سنگی و ارتباط آنها با یکدیگر.
- بررسی افق‌های کانه‌زایی و ارتباط آنها با سنگ‌های میزبان.
- مطالعه شکل هندسی، ساخت و بافت ماده معدنی.
- بررسی ارتباط کانه‌زایی با پدیده‌های مختلف ساختاری مثل گسل و چین‌خوردگی.
- انجام عملیات نمونه‌برداری از نقاط مختلف محدوده با توجه به تغییرات سنگ‌شناسی، کانه‌زایی، دگرسانی، و دیگر تغییرات قابل مشاهده در طی انجام پروسه نمونه‌برداری.

### ۱-۵-۳- مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی

پس از نمونه برداری با توجه به اهداف مطالعه، بررسی‌های مختلف به شرح زیر روی نمونه‌های سنگ انجام شد:

- تهیه ۱۷ عدد مقطع نازک، از نمونه‌های سنگی سطحی و انجام مطالعات پتروگرافی بر روی آنها.
- تهیه ۲۲ مقطع نازک صیقلی: ۱۵ عدد مقطع نازک صیقلی از مغزه‌های حفاری شرکت مس و ۷ عدد مقطع نازک صیقلی مربوط به نمونه‌گیری‌های سطحی، ۳ عدد مقطع صیقلی و سپس مطالعه بافت و پارائنز کانه‌ها، به همراه بررسی پتروگرافی این مقاطع.
- مطالعه ۵ نمونه به روش پراش اشعه ایکس (XRD) به منظور شناسایی کانی‌های مجهول موجود در سنگ‌های منطقه، فازهای کانه‌زایی و مطالعه دگرسانی در شرکت مطالعات مواد معدنی زرآرما.
- انتخاب ۱۳ نمونه‌ی سنگ به منظور تعیین میزان غلظت اکسید عناصر اصلی به روش ذوب قلیایی و تجزیه با دستگاه ICP-OES، و عناصر کمیاب و خاکی کمیاب، به روش انحلال در چهار اسید و تجزیه با دستگاه‌های ICP-MS/OES بوده است.
- ارسال ۳ نمونه به منظور تجزیه به روش غال‌گذاری (FA: Fire assay) جهت بررسی میزان طلای نمونه‌ها.
- تهیه ۵ نمونه مقطع دوبرصیقلی و ارسال نمونه‌ها جهت مطالعات سیال‌درگیر به شرکت مطالعات و پژوهش آذین‌زمین پویا.
- دریافت داده‌های ژئوشیمیایی ۴۸۳ نمونه‌ی سنگ و کانسنگ مربوط به دوگمانه‌ی اکتشافی از شرکت ملی صنایع مس ایران که برای عناصر مس، مولیبدن، آهن، سرب و روی به روش جذب اتمی تجزیه شده‌اند.

#### ۱-۵-۴- مطالعات دفتری و پردازش و تفسیر داده‌ها

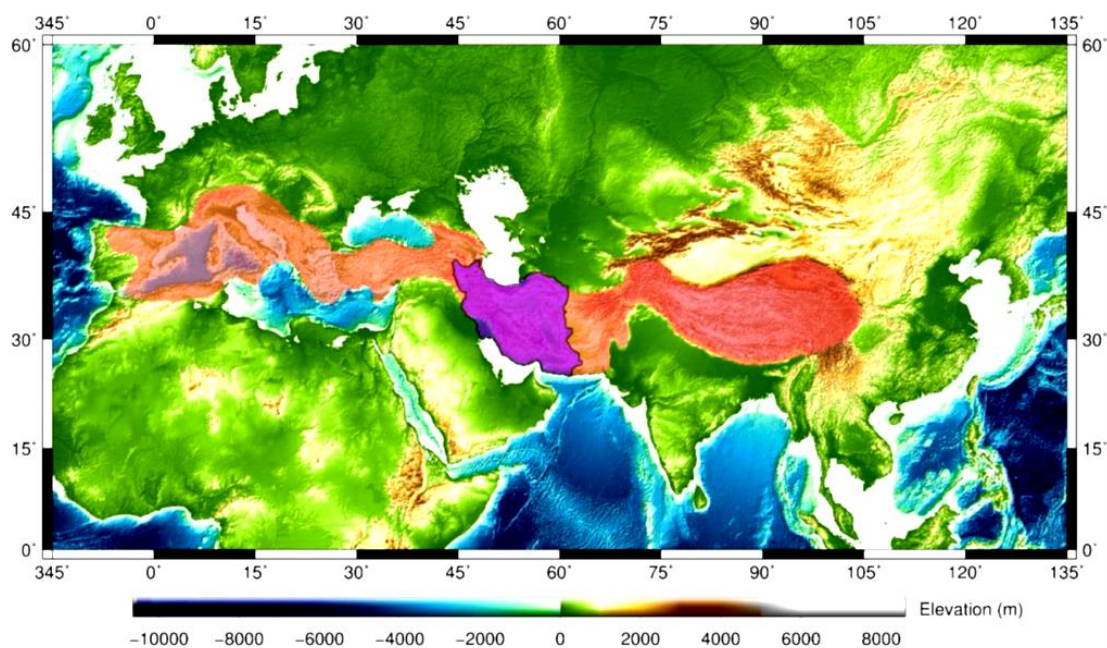
نتایج حاصل از مراحل قبلی با مطالعه کتاب‌های مرجع، مقالات و نیز استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری، دسته‌بندی پردازش و تلفیق گردیده و در نگارش پایان‌نامه مورد استفاده قرار گرفته است که شامل مراحل زیر می‌باشد:

- تجزیه و تحلیل و تلفیق داده‌های حاصل از بررسی‌های صحرایی، مطالعات مقاطع میکروسکوپی و داده‌های ژئوشیمیایی.
- ترسیم نقشه‌های جغرافیایی، زمین‌شناسی، دگرسانی و نیمرخ زمین‌شناسی و معدنی گمانه‌ها با استفاده از نرم افزارهای Grapher و Arc Gis .
- تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از تجزیه نمونه‌ها با استفاده از نرم افزارهای تخصصی GCD Kit، SPSS، Grapher، Igpert.
- تلفیق داده‌های فوق‌الذکر با داده‌های حاصل از مطالعه مقالات و کتب مربوطه، به‌منظور ارائه مدل کانه‌سازی در منطقه و نیز مقایسه‌ی این کانه‌زایی با نهشته‌های مشابه در جهان.
- نگارش فصول پایان‌نامه.

## فصل دوم

# زمین شناسی و پروگرامی

بطور کلی کانسارهای پورفیری در چند محیط تکتونیکی اصلی دیده می‌شوند: جزایر قوسی و کمان قاره‌ای و یا در محیط‌های درون قاره‌ای (Hou et al., 2003; Cooke et al., 2005; Sillito, 2010; Wang et al., 2012, 2015). این سیستم‌ها معمولاً در طول کمربندهایی خطی شکل که موازی با امتداد کوهزایی هستند، یافت می‌شوند و از چندده تا چند صد و حتی چند هزار کیلومتر، طول دارند (Sillito and Perelló, 2005). کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا نیز نمونه‌ای از این کمربندها است که از شرق بلغارستان شروع و بعد از طی ترکیه و ایران تا پاکستان ادامه دارد (Shafiei et al., 2009; Shafiei, 2010)، (شکل ۱-۲). بخش عمده‌ی ذخایر نوع پورفیری در طول این کمربند پراکنده هستند، اما در برخی از بخش‌ها تمرکز بیشتری دارند که عبارتند از: کارپاتیان- بالکان- رودوف، ترکیه شرقی- قفقاز کوچک- شمال غرب ایران، جنوب شرق ایران- جنوب غرب پاکستان، تبت جنوبی و جنوب شرق تبت- هند و چین (Richards, 2015). کانسار کوه‌پنج نیز یکی از کانسارهای مس پورفیری واقع در کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا و به‌طور ویژه بخش جنوبی کمان ماگمایی ارومیه- دختر (کمربند مس کرمان) است. در این کمان، کانسارها و اندیس‌های مس پورفیری بسیاری ثبت شده است، که این امر نشان‌دهنده‌ی اهمیت بالای این منطقه می‌باشد. در این فصل با استفاده از اطلاعات موجود، ابتدا زمین‌شناسی ناحیه‌ای، چینه‌شناسی، زمین‌شناسی اقتصادی و زمین‌شناسی ساختمانی ناحیه‌ی مورد مطالعه توصیف شده است و سپس ویژگی‌های زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و معدنی کانسار مس کوه‌پنج توضیح داده شده است.



شکل ۲-۱. کمربند کوهزایی و متالورژی آلپ- هیمالیا، که ایران در قسمت میانه این کمربند واقع است (محمد دوست، ۱۳۹۶).

## ۲-۲- کمان ماگمایی ارومیه - دختر

کمان ماگمایی ارومیه- دختر (سهند- بزمان) به لحاظ وجود کانسارهای مختلف و بلاخص کانسارهای مس از اهمیت زیادی برخوردار است. اعتقاد بر این است که فرورانش نئوتتیس از ژوراسیک تا ترشیری فرایند کلیدی در تشکیل ماگماتیسم کمانی در ارومیه- دختر و زون سنندج- سیرجان بوده است (Berberian and Berberian, 1981; Alavi, 1994; Baharifar et al., 2004; Omrani et al., 2008; Verdell et al., 2011). بطور کلی کمربند آلپ- هیمالیا طی ۲ رویداد کوهزایی اصلی شکل گرفته است؛ یکی اواسط مزوزوئیک پیشین و دومی در سنوزوئیک پیشین تا عهد حاضر که نشان دهنده‌ی بسته شدن اقیانوس نئوتتیس است. اقیانوس نئوتتیس به واسطه‌ی وجود بخش‌های قاره‌ای کوچک و جزایر کمانی متعدد شناخته شده، که امروزه بین خط درزهای چندگانه در امتداد کمربند عریض کوهزایی نئوتتیس فشرده می‌شوند. همچنین مجموعه‌ی گوناگونی از تیپ‌های کانی‌سازی همراه این کمربند است؛ از جمله کانسارهای مسیو-سولفید با سنگ میزبان ولکانیکی، کانسارهای پورفیری مس و مس- طلا و

کانسارهای اپی ترمال سولفیداسیون بالا و پایین، اما کانسارهای پورفیری و اپی ترمال بزرگ شامل روسیا مونتانا (Rosia Montana) در رومانی، کوپلر (Copley) در ترکیه، ساریگونی، سونگون و سرچشمه در ایران و... می‌باشند. به نظر می‌رسد بسیاری از این کانسارها به سمت پایان دوران فرورانش و یا عمدتاً همزمان با رویدادهای برخوردی (ساریگونی، سرچشمه)، (Richards et al., 2006; Shafeibafti et al., 2009) یا حتی پس از شروع برخورد تا نزدیک به ده‌ها میلیون سال ایجاد شده‌اند (Richards et al., 2012). کمان ماگمایی ارومیه- دختر بعنوان بخشی از کمربند کوه‌زایی آلپ- هیمالیا، میزبان معدن بزرگ سرچشمه و معدن کوچکتر میدوک در بخش جنوب‌شرق کمربند و معدن بزرگ مس پورفیری سونگون است. سنگ‌های نفوذی کالک‌آلکانل ائوسن- میوسن آن از شمال غرب تا جنوب شرق ایران ادامه دارند. این مجموعه بعنوان یک کمان ماگمایی نوع آند شناخته شده است (Berberian et al., 1982; Shahabpour, 1982).

قربانی و همکاران (۱۳۹۳) زون ارومیه- دختر را براساس ماگماتیسیم ترسیری به سه قسمت به ترتیب زیر تقسیم کرده‌اند.

(۱) ارومیه- دختر شمالی: محور تفرش- رزن- تکاب- سهند

(۲) ارومیه- دختر میانی: تفت- کاشان- قم.

(۳) ارومیه- دختر جنوبی: محور دهج- ساردوئیه (منطقه کرمان)

در ارومیه- دختر شمالی نمود ماگماتیسیم ترسیر بخصوص ولکانیسم ائوسن و توده‌های نفوذی ائوسن- الیگوسن کمتر از بخش میانی و جنوبی است. این محور از ناحیه تفرش آغاز و تا رزن و از آنجا به جنوب زنجان و سرانجام از ناحیه تکاب به شاهین‌دژ و ارومیه گذر می‌کند و در نهایت به کشور ترکیه ختم می‌شود. بطور کلی در محور ارومیه- دختر شمالی ماگماتیسیم ائوسن و ائوسن- الیگوسن پسین کم‌رنگ و ناچیز می‌باشد، ولی فعالیت‌های آتشفشانی الیگومیوسن قابل توجه‌تر هستند. در بخش میانی ارومیه- دختر که از ناحیه تفت آغاز و تا قم ادامه می‌یابد، بنا بر نظر قربانی (۱۳۹۳)، ولکانیسم و پیشروی دریا



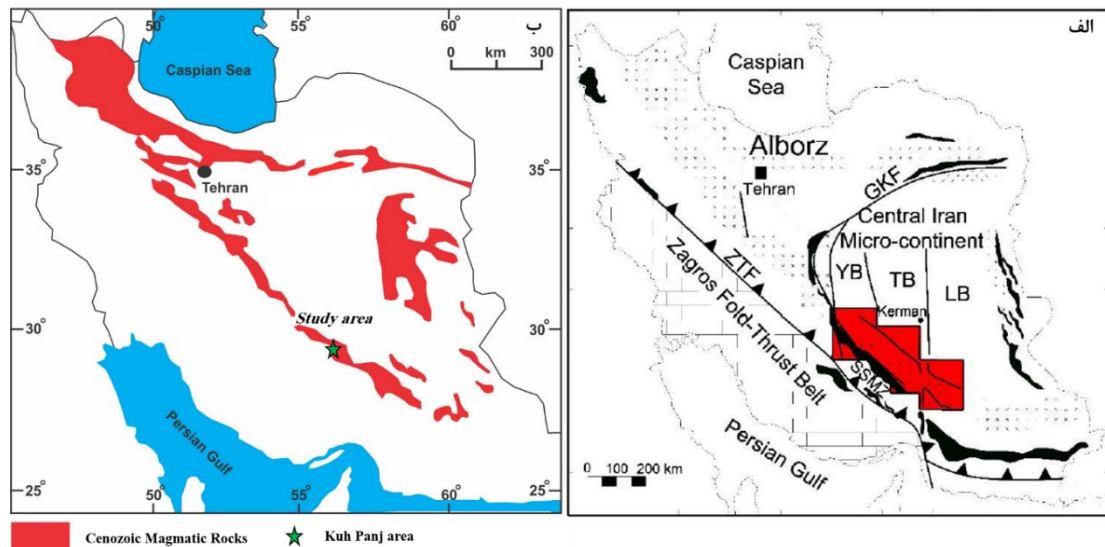
در زمان ائوسن افزایش یافته و توالی‌های هم‌ارز سری سبز (رسوبی- ولکانیکی) نهشته شده است. این فعالیت بیشتر فلسیک، از نوع فراتوماگماتیک و به شدت انفجاری بوده است. در زون ارومیه- دختر جنوبی، تقریباً تمام فازهای ماگمایی ترسیر نظیر ائوسن میانی، ائوسن- الیگوسن، الیگو- میوسن، میو- پلیوسن و کواترنر را می‌توان مشاهده کرد. به‌طور کلی در منطقه کرمان گسترده‌ترین فعالیت‌های ماگماتیسم چه از نظر زمانی و چه از نظر مکانی را می‌توان پیگیری کرد. در ادامه به توضیح جامع‌تر این بخش از ارومیه- دختر که منطقه‌ی مورد مطالعه در آن واقع شده است پرداخته شده است.

## ۲-۳- زمین‌شناسی عمومی و زمین‌شناسی اقتصادی کمربند مس پورفیری

### کرمان (دهج - ساردوئیه)

بخش جنوب‌شرقی کرمان ماگمایی ارومیه- دختر که منطبق بر ناحیه کرمان است با حضور ذخایر شناخته شده‌ای همچون سرچشمه، میدوک، دره‌زار، درآلو، چاه فیروزه و چندین پتانسیل و اندیس معرفی شده‌ی مس پورفیری، تحت عنوان کرمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان (KCMA) شناخته می‌شود (Shafiei, 2008). این کمربند علیرغم داشتن سیر تکامل تکتونیکی نسبتاً مجزا از سایر بخش‌های کرمان ماگمایی ارومیه- دختر به دلیل قرار گرفتن در بخش جنوب‌شرقی این کرمان و پیروی از روندی مشابه با روند آن به عنوان بخش جنوب‌شرقی کرمان ماگمایی ارومیه- دختر در نظر گرفته می‌شود. در تأیید این مطلب می‌توان به وجود ماگماتیسم کالک‌آلکانل مربوط به دوره مزوزوئیک (Berberian and Berberian, 1981) در حاشیه شمالی نئوتتیس (بخش شمالی زون سنندج- سیرجان) اشاره کرد، درحالی‌که هیچ اثری از ماگماتیسم مزوزوئیک در کرمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان که بخش جنوبی این کمربند را تشکیل داده است تا ائوسن وجود ندارد. همچنین، شفیع‌ی (2008) تأکید می‌کند که یکی از مهمترین شواهد مبتنی بر جدا بودن کرمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان از بخش‌های مرکزی و شمال‌غربی کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر در دوره ائوسن، حضور پهنه‌های افیولیتی در مجاورت بلافضل کرمان

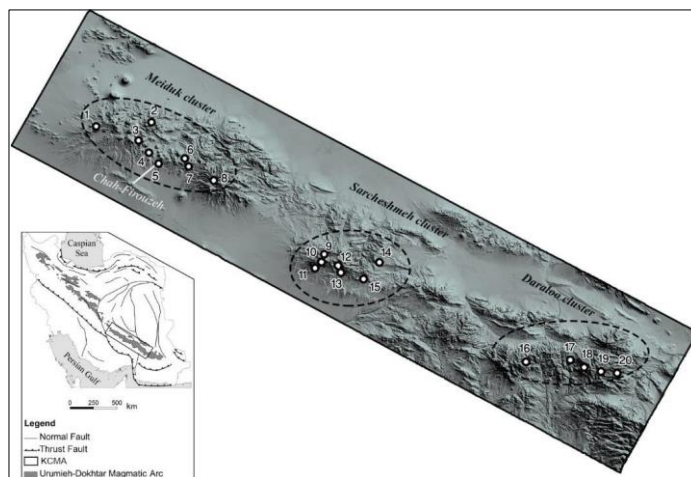
ماگمائی سنوزوئیک کرمان و عدم حضور آنها در مجاورت با بخش‌های مرکزی و شمال غربی کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر است (شکل ۲-۲-الف).



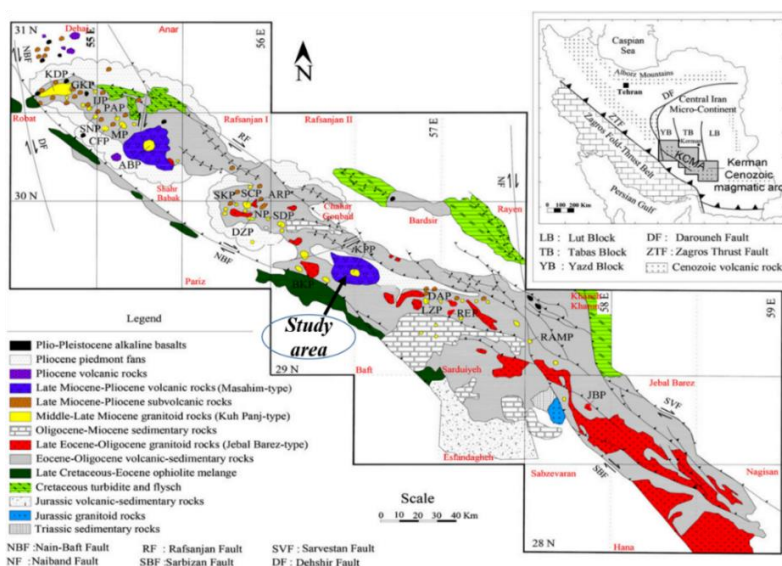
شکل ۲-۲. الف) جایگاه کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان (KCMA) در ایران در حاشیه‌ی جنوبی خردقاره ایران مرکزی و ارتباط آن با مجموعه‌های افیولیتی اطراف خرد قاره‌ی ایران مرکزی (شفیعی، ۱۳۸۶). ب) موقعیت کانسار مس کوه پنج در سنگ‌های ماگمایی سنوزوئیک ایران (با تغییر از Stokclin, 1968).

### - توزیع مکانی ذخایر پورفیری در کمربند مس پورفیری کرمان:

کانسارها و نشانه‌های مس پورفیری در کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان در سه خوشه اصلی تمرکز یافته‌اند که به ترتیب از شمال غرب به سمت جنوب شرق عبارتند از: خوشه میدوک، خوشه سرچشمه و خوشه درآلو (شکل ۲-۳). کانسار مس کوه پنج به همراه کانسار مس پورفیری سرچشمه که بزرگترین معدن مس ایران و از جمله معادن بزرگ مس دنیا است در این کمربند و در خوشه‌ی سرچشمه واقع هستند. در شکل (۲-۴) نقشه‌ی زمین‌ساختاری از مجموعه‌ی ماگمایی سنوزوئیک کرمان (KCMA) و موقعیت معادن، کانسارها و اندیس‌های مس پورفیری آورده شده است (Shafiei et al., 2008).



شکل ۲-۳. توزیع کانسارهای مس پورفیری در کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان (KCMA) در سه خوشه میدوک، سرچشمه و درآلو. ۱: کدر، ۲: گود کلواری، ۳: ایجو، ۴: سرنو، ۵: چاه فیروزه، ۶: پرکام (سارا)، ۷: میدوک، ۸: آبدر، ۹: سرچشمه، ۱۰: نوچون، ۱۱: سرکوه، ۱۲: سلپک، ۱۳: دره زار، ۱۴: کوه پنچ، ۱۵: باغ خشک، ۱۶: درآلو، ۱۷: سرمشک، ۱۸: بندرهنزا، ۱۹: گروه، ۲۰: باب ترش (Mohammaddoost et al., 2017).



شکل ۲-۴: نقشه لیتوساختاری از مجموعه‌ی ماگمایی سنوزوئیک کرمان (KCMA) که در آن موقعیت کانسارها و اندیس‌های مهم مس پورفیری نشان داده شده است (Shafiei et al., 2009). موقعیت کمان ماگمایی کرمان در داخل کمان ماگمایی ارومیه-دختر در ایران و توزیع کانسارهای اصلی مس پورفیری نشان داده شده است. حروف اختصاری مورد استفاده: کانسارها و اندیس‌ها AP: اندیس آبدر، DAP: کانسار درآلو، DZP: کانسار دره زار، GKP: اندیس گود کلواری، IJP: اندیس ایجو، KDP: اندیس کدر، KPP: اندیس کوه پنچ، LZP: اندیس لاله زار، MP: کانسار میدوک، NP: اندیس نوچون، RAMP: اندیس رضی آباد میانی، SCP: کانسار سرچشمه، SKP: اندیس سرکوه، SNP: اندیس سرنو، SP: اندیس سارا. گسلها DF: گسل دهشیر، RF: گسل رفسنجان، NBF: گسل نائین-بافت، SBF: گسل سیزواران، NF: گسل ناپیند، SVF: گسل سروستان. معرفها KCMA: مجموعه ماگماتیک سنوزوئیک کرمان، LB: بلوک لوت، TB: بلوک مورد طبس (Asadi et al., 2014).

## - توزیع زمانی ذخایر پورفیری در کمربند مس پورفیری کرمان:

براساس مطالعات سنسنجی آقازاده و همکاران (Aghazadeh et al., 2015) تشکیل ذخایر مس پورفیری در کمربند مس کرمان در دو مرحله قدیمی (الیگوسن بالایی) و جوان تر (میوسن) رخ داده است. مرحله قدیمی کانه‌زایی مس پورفیری در کمربند کرمان در حدود ۲۷ تا ۲۹ میلیون سال قبل (الیگوسن بالایی) رخ داده است. در این دوره کانسار بندرهنزا در شرق قسمت میانی منطقه تشکیل شده است. بعد از این دوره وقفه‌ای در تشکیل ذخایر مس پورفیری دیده می‌شود که حدود ۹ میلیون سال طول کشیده است و سپس مرحله دوم کانه‌زایی مس پورفیری در ۱۸ میلیون سال پیش آغاز شده است. مرحله دوم کانه‌زایی مس پورفیری تا ۱۲ میلیون سال طول کشیده و تا ۶ میلیون سال پیش انجام شده است. کانه‌زایی در مرحله دوم خود قابل دسته بندی به سه گروه اولیه، میانی و تأخیری است (شکل ۲-۵).

### کانسارهای مرحله اولیه (۱۵ الی ۱۸ میلیون سال پیش):

کانسارهای باغ خشک، چاه فیروزه، دره‌زار و سرکوه در مرحله اولیه تشکیل شده‌اند و از نظر تناژ و عیار متوسط تا کم هستند. این ذخایر در بخش شمال غربی کمربند مس کرمان پراکنده شده‌اند. ترکیب توده‌های پورفیری در این کانسارها از دیوریت تا گرانودیوریت تغییر می‌کند. به استثنای کانسار دره‌زار در سایر کانسارها زون غنی شده سوپرژنی دیده نمی‌شود (شکل ۲-۵).

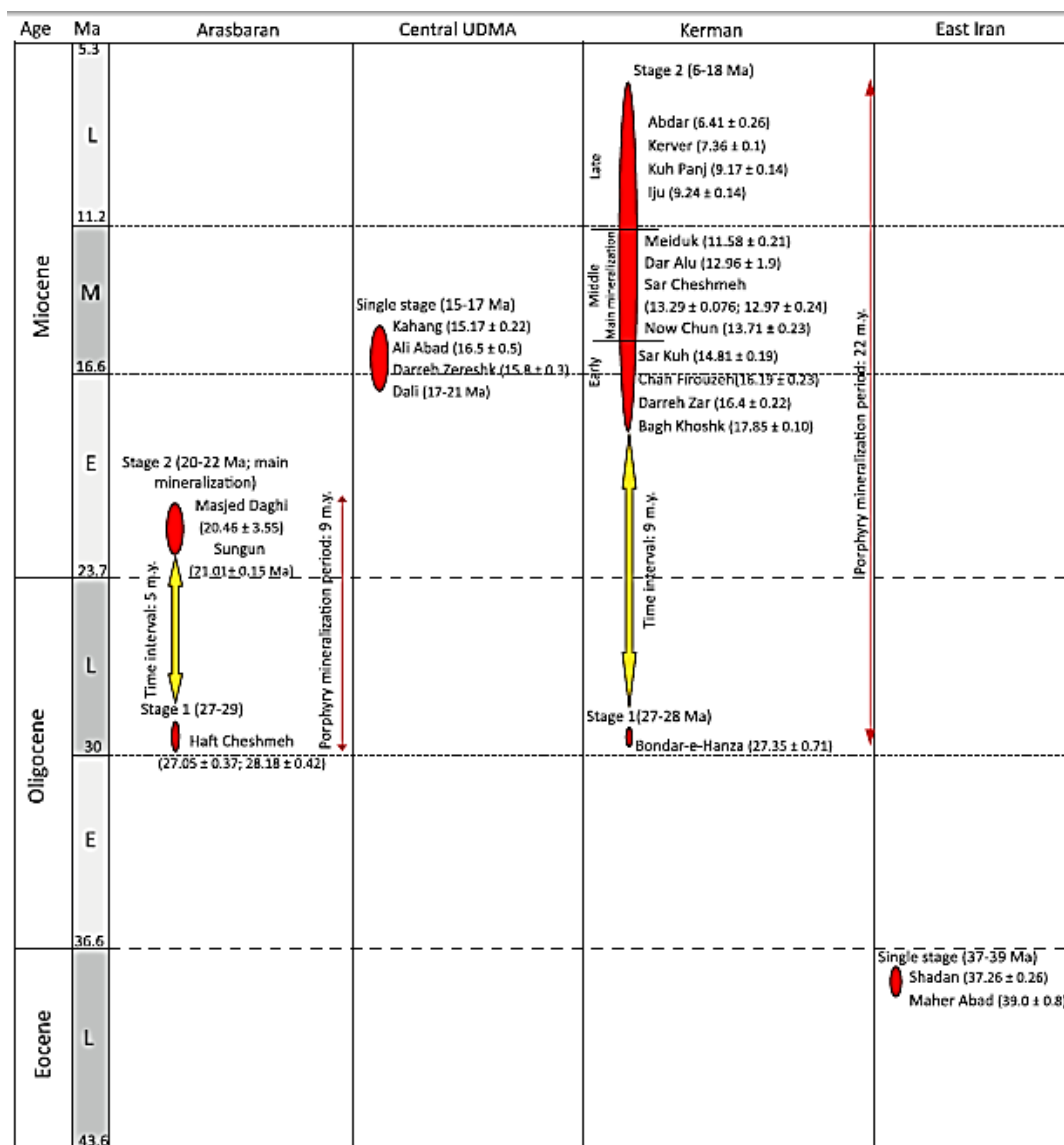
### کانسارهای مرحله میانی (۱۱ الی ۱۴ میلیون سال پیش):

بزرگترین ذخایر کمربند مس کرمان در این مرحله تشکیل شده‌اند که شامل کانسارهای بزرگ پورفیری مانند سرچشمه و نیز کانسارهای میدوک، درآلو و نوچون هستند. این کانسارها در بخش‌های مرکزی و

شمال غربی کمربند پراکنده شده‌اند و ترکیب غالب توده پورفیری همراه با کانه‌زایی گرانودیوریتی است. منطقه کانی‌سازی غنی‌شده سوپرژنی در اغلب ذخایر این گروه به خوبی توسعه یافته است (شکل ۲-۵).

### کانسارهای مرحله تأخیری (۶ الی ۹ میلیون سال پیش):

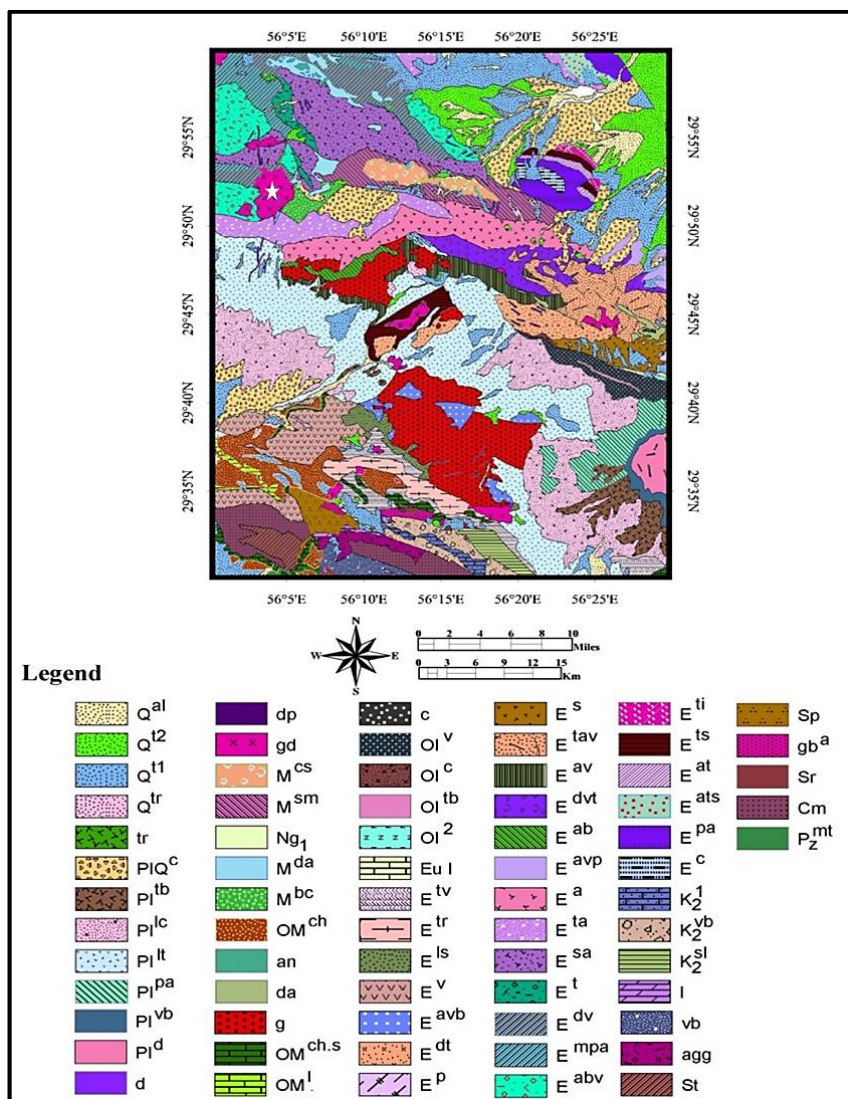
کانسارهای پورفیری ایجو، کوه‌پنچ، کروور و آبدار در این مرحله تشکیل شده‌اند. این کانسارها در تمام قسمت‌های کمربند مس کرمان پراکنده‌اند. عیار و تناژ این ذخایر به ترتیب، کم و کم تا متوسط می‌باشد. ترکیب توده پورفیری همراه از دیوریت تا کوارتزیدیوریت تغییر می‌کند (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵. تکامل زمانی ذخایر مس پورفیری ایران (Aghazadeh et al., 2015).

## ۲-۴- زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ چهارگنبد

سنگ‌های موجود در ورقه چهارگنبد که محدوده کانی‌سازی کوه‌پنج را شامل می‌شود اغلب سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن می‌باشند که از شمال تا جنوب منطقه گسترش دارند. همچنین نهشته‌های نئوژن چه به صورت سنگ‌های آتشفشانی و چه بصورت نهشته‌های کربناتی و یا آواری عمدتاً برونزد دارند. بخش‌های جنوبی منطقه نیز قلمرو آمیزه‌های رنگین است. عمده‌ترین واحد نفوذی منطقه یک توده‌ی نیمه‌عمیق گرانودیوریتی متعلق به میوسن پایینی است. همچنین سنگ‌های نفوذی گرانیت- گرانودیوریت و سنگ‌های نیمه‌عمیق آندزیتی تا داسیت پورفیر که متعلق به زمان پس از ائوسن- الیگوسن می‌باشند در منطقه گسترش زیادی از خودشان نشان می‌دهند. شکل (۲-۶) نقشه زمین- شناسی منطقه چهارگنبد را نشان می‌دهد (Khan nazer, 1995).



شکل ۲-۶. نقشه زمین‌شناسی منطقه چهارگنبد، که منطقه مورد مطالعه (☆) بر روی آن مشخص شده است (Khan nazer, 1995).

شرح مختصر واحدهای زمین‌شناسی در محدوده‌ی ورقه‌ی ۱:۱۰۰،۰۰۰ چهارگنبد از قدیم به جدید به صورت زیر است:

#### ۲-۴-۱- پالئوزئیک

برونزد بسیار کوچکی از نهشته‌های دگرگونه شامل دولومیت‌های بلورین خاکستری رنگ همراه با سنگ‌های شیستی سبز و آبی‌رنگ (سرسیت- کلریت- شیست) به چشم می‌خورد که کهنسال‌ترین سنگ برونزد در منطقه است (شکل ۲-۶).

## ۲-۴-۲- مزوزوئیک

زون آمیزه افیولیتی با روند شمال غربی - جنوب شرقی در حدفاصل دو زون ارومیه - دختر و سندج - سیرجان وجود دارد. بخشی از این زون در جنوب ورقه چهارگنبد گذشته و سنگ‌های آن در کوه خرسی برونزدگی پیدا کرده است (شکل ۲-۶). این مجموعه با پیکره‌های سنگی جوان‌تر همبری عادی نداشته و تقریباً در همه جا در سطح همبری نوعی زون برشی (Sheared zone) دیده می‌شود. آمیزه رنگی در این منطقه از پیکره‌های سنگی گسسته و تکه‌تکه شده‌ای پیدایش یافته که درون زمین‌های الترامافیک سرگردان است. سنگ‌های الترامافیک در سنجش با سنگ‌های آذرآوری و گدازه‌های برشی شده برونزد بسیار کمتری دارد. بطور کلی با توجه به عدم وجود مرز عادی مجموعه آمیزه رنگین با واحدهای درونگیر سنگ‌های کانی‌سازی شده که عموماً ولکانیک‌های ائوسن و خصوصاً کوارتز دیوریت نفوذی متعلق به میوسن و بعد از میوسن است از ذکر جزئیات واحدهای لیتولوژیکی این واحدها (آمیزه‌ی رنگین) خودداری شده است.

## ۲-۴-۳- سنوزوئیک

### الف - ائوسن

لیتولوژی‌های مربوط به دوره ائوسن که در نقشه یکصد هزارم چهارگنبد اطراف کانی‌سازی کوه‌پنج را احاطه کرده‌اند به شرح زیر می‌باشد:

- واحد آندزیت‌بازالت و برش ولکانیکی ( $E^{abv}$ ): این واحد که بصورت گسترده‌ای قسمت‌های جنوبی و جنوب غرب منطقه‌ی کوه‌پنج را می‌پوشاند بوسیله‌ی واحد کوارتز دیوریت کانه‌ساز قطع می‌گردد (شکل ۲-۶). بطوریکه یک استوک بزرگ از واحد کوارتز دیوریت را نیز در خود جای داده است. این گدازه بصورت پیروکسن آندزیت با ردیف‌هایی از گدازه‌های آندزیت پورفیری و آندزیت‌بازالتی است که ضخامتی حدود ۱۶۰ متر را دارا هستند.



- واحد مگاپورفیریت آندزیت ( $E^{mpa}$ ): واحدی با کلاست‌های درشت مگاپورفیری در متن یک سنگ آندزیتی است. بطور دقیق‌تر این واحد شامل فنوکریست‌های پلاژیوکلاز به درازای ۲ تا ۳ سانتی‌متر می‌باشند. این واحد با لایه‌بندی ضخیم تا بسیار ضخیم در بیشتر نقاط فرسایش یافته و در حدود ۲۵۰ متر ضخامت دارد.

- واحد گدازه‌های آندزیتی زیردریایی - حفره‌دار ( $E^{sa}$ ): این واحد با ساخت بالشی سطح حفره‌دار درست کرده که با ضخامت حدود ۵۰۰ متر هسته‌ی ناودیس گهدیج را در شمال منطقه‌ی کوه‌پنج‌پدیدار کرده است. لایه‌هایی از توف-برش آندزیتی و نهشته‌های پیروکلاست فلسیک تا حدواسط را با رنگ‌های سبز و خاکستری در این واحد سنگی می‌توان دید. بافت غالب در این گدازه‌های سنگی بافت میکرولیتی است. در جنوب روستای گهدیج عدسی‌هایی از گدازه‌های آندزیت-بازالتی دگرسان‌شده قرمزرنج در بخش قاعده‌ای این واحد دیده می‌شود (شکل ۲-۶).

- واحد توف‌های رنگارنگ، توف‌های ماسه‌ای و توفیت ( $E^t$ ): این واحد در قسمت‌های شمالی کانی‌سازی کوه‌پنج‌رخمون دارد و شامل ماسه‌سنگ توفی قهوه‌ای-زرد، لایه متوسط توف‌های فلسیک سبز و آبی و نیز لایه‌هایی از توفیت‌های سبزرنگ است (شکل ۲-۶). بافت بیشتر سنگ‌ها کلاستیک شیشه‌ای و کلاستیک لیتیکی می‌باشد که معمولاً اپیدوتیزه و اکسیده‌شده و ترکیب شیمیایی آن‌ها فلسیک است. توفیت‌های اکسیده شده با ترکیب آندزیتی را نیز در میان آن‌ها می‌توان دید.

- ردیف‌هایی از توف برشی - داسیتی و هیالوپرفیرداسیت ( $E^{dv}$ ): این واحد که در نقشه زمین-شناسی چهارگنبد حد شمالی کوارتزیدیوریت گنبدی‌شکل بالا آمده را محدود کرده شامل قسمت‌هایی از زون دگرسانی کانی‌سازی شده کوه‌پنج را نیز شامل می‌شود (شکل ۲-۶). رنگ این واحد خاکستری متمایل به آبی است. یک نمونه از توف‌های موجود در این واحد دارای بافت پورفیری و پورفیروکلاستیک-جریانی بوده و فنوکریست و فنوکلاست‌های آن شامل بلورهای درشت پلاژیوکلاز (حدود آندزین) است که به تیغه‌های ریز سریستی و گاه کانی رسی تبدیل شده‌اند. ماتریکس این سنگ از سیلیس حاصل از

دگرسانی، شیشه و پلاژیوکلازهای میکرولیتی است. هیالوداسیت‌های موجود در این واحد سنگی بافت پورفیریتیک با زمینه‌ی تمام شیشه‌ای دارد و فنوکریست‌های آن پلاژیوکلاز و کمی کوارتز می‌باشد که در زمینه‌ای از فلدسپار تجزیه شده، اکسید آهن (شیشه‌ی اکسیده شده) کوارتز و شیشه‌ی جریان‌ی قرار دارند. جریان‌های شیشه‌ای گاه به زمینه سنگ حالت سنگ ایگنمبریتی می‌دهد.

### ب- الیگوسن

در دامنه جنوبی کوه چهل تن نهشته‌هایی شامل کنگلومرا با میان لایه‌هایی از توف- برش داسیتی بصورت باریکه‌ای شرقی- غربی برونزد دارد که در قسمت غربی با همبری ناپیوسته زاویه‌دار بر روی سنگ‌های ائوسن جای گرفته این مجموعه با یک کنگلومرای قاعده‌ای قرمز رنگ با سیمان ماسه‌ای سخت نشده (Q1c) آغاز شده که در دامنه جنوبی کوه خاکستری جنوب روستای گوک با همبری ناهمساز نهشته‌های ائوسن را می‌پوشاند پیکره اصلی این مجموعه را کنگلومراهایی به رنگ خاکستری روشن می‌سازد که به‌ندرت لایه‌بندی مشخصی از خود نشان می‌دهد (شکل ۲-۶).

### پ- الیگومیوسن

سنگ‌های الیگومیوسن در منطقه کوه‌پنج عموماً رخساره آواری دارد. در کناره کوه‌پنج سنگ‌های برشی- کنگلومرا به رنگ قرمز- ارغوانی با افق‌های ماسه‌سنگی، سیلتستون قرمز رنگ ( $OM^{bc}$ ) برونزد دارد این سنگ‌ها بعنوان واحدی در بخش پائینی نهشته‌های نئوژن (معادل لایه‌های قرمز رنگ میوسن) در نظر گرفته شده است و سن قاعده آن را می‌توان حتی تا الیگوسن نیز بشمار آورد به سوی خاور این واحد برشی- کنگلومرائی، توسط ماسه‌سنگ‌های قرمز رنگ با تیغه‌بندی رسوبی، مارن‌های گچ‌دار همراه با کمی کنگلومرا و برش  $M^{sm}$  پوشیده می‌شود که در بخش‌های شرقی‌تر از ضخامت آن کاسته و رفته رفته به صفر می‌رسد. در شرق کوه‌پنج و در یال شمالی ناودیس- گهدیج در میان این دو واحد تخریبی- آواری سنگ‌هایی متشکل از توف- برش داسیتی، توف‌های سنگی و کریستال توف به رنگ سبز روشن- خاکستری روشن برونزد دارد که بیشترین ضخامت آن‌ها تا ۵۵ متر نیز می‌رسد ( $M^{da}$ ). بالاترین واحد

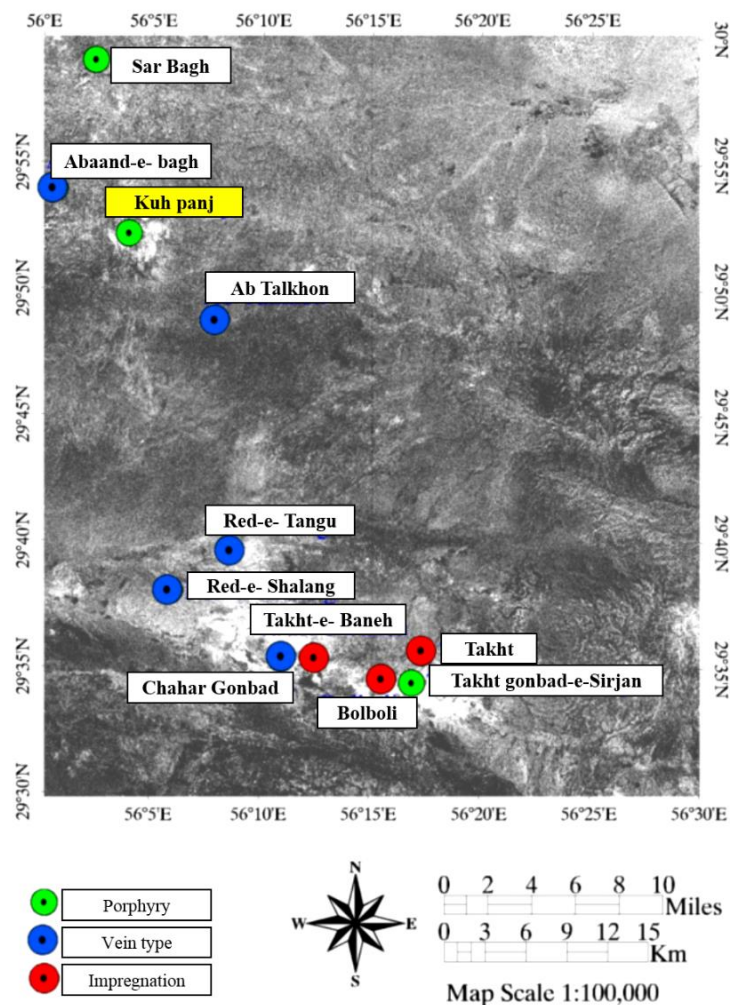
سنگی نهشته‌های نئوژن را در هسته‌ی ناودیس «ماه خاتونی» در ضلع شمالی جاده سیرجان- کرمان می‌توان دید (شکل ۲-۶).

### ت- پلیوسن

گرچه در محدوده مورد مطالعه (کوه‌پنج) برونزدی از سنگ‌های پلیوسن دیده نمی‌شود ولی در خارج از محدوده‌ی مس کوه‌پنج مجموعه آتشفشانی بیدخوان کوه‌های بلندی را به همین نام پدیدار کرده است. این مجموعه آتشفشانی که بصورت شعاعی گسترش دارد فرآورده فعالیت استراتوولکانی است که دهانه و بخشی از آن در ورقه بردسیر قرار گرفته است. بطور خلاصه می‌توان از واحدهایی چون توف برش- آگلومرا- لاپیلی توف با ترکیبات داسیتی- تراکیتی - پومیس- لاهارها و گاه آندزیت- بازالت و هورنبلندهای بازالتی نام برد (شکل ۲-۶).

### ۲-۵- زمین‌شناسی اقتصادی ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ چهارگنبد

در بیشتر نقاط کمربند کرمان و خصوصاً در منطقه چهارگنبد کانی‌سازی مس مهمترین رخداد کانی‌زایی است. این کانی‌سازی بطور عموم شامل رگه‌های مس که در پیوند با توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق کوآرتزدیوریتی میوسن بوجود آمده است. محلول‌های گرمابی این ماگماتیسم پس از جایگیری در مراحل پایانی به درون درزه‌ها و درزها (از راه گسله اصلی) که بصورت کانال هدایت‌کننده محلول‌های گرمابی عمل کرده‌اند نفوذ نموده و به توسط پدیده دگرسانی با سنگ دیواره سبب تشکیل رگه کانه‌های فلزی (کالکوپریت و پیریت) گردیده است. بطور پراکنده کانه‌های مالاکیت و آزوریت در منطقه یافت می‌شوند. در منطقه کوه‌پنج علاوه بر کانه‌های مس، سرب (گالن) نیز بطور فرعی دیده می‌شود. دیگر کانی‌سازی‌های مهم در منطقه‌ی چهارگنبد، در شکل (۷-۲) آورده شده است. شاخص‌های دیگر معدنی در منطقه عبارت است از تراورتن (مرمریت تنگوئییه) و زئولیت در منطقه‌ی گازجرد.



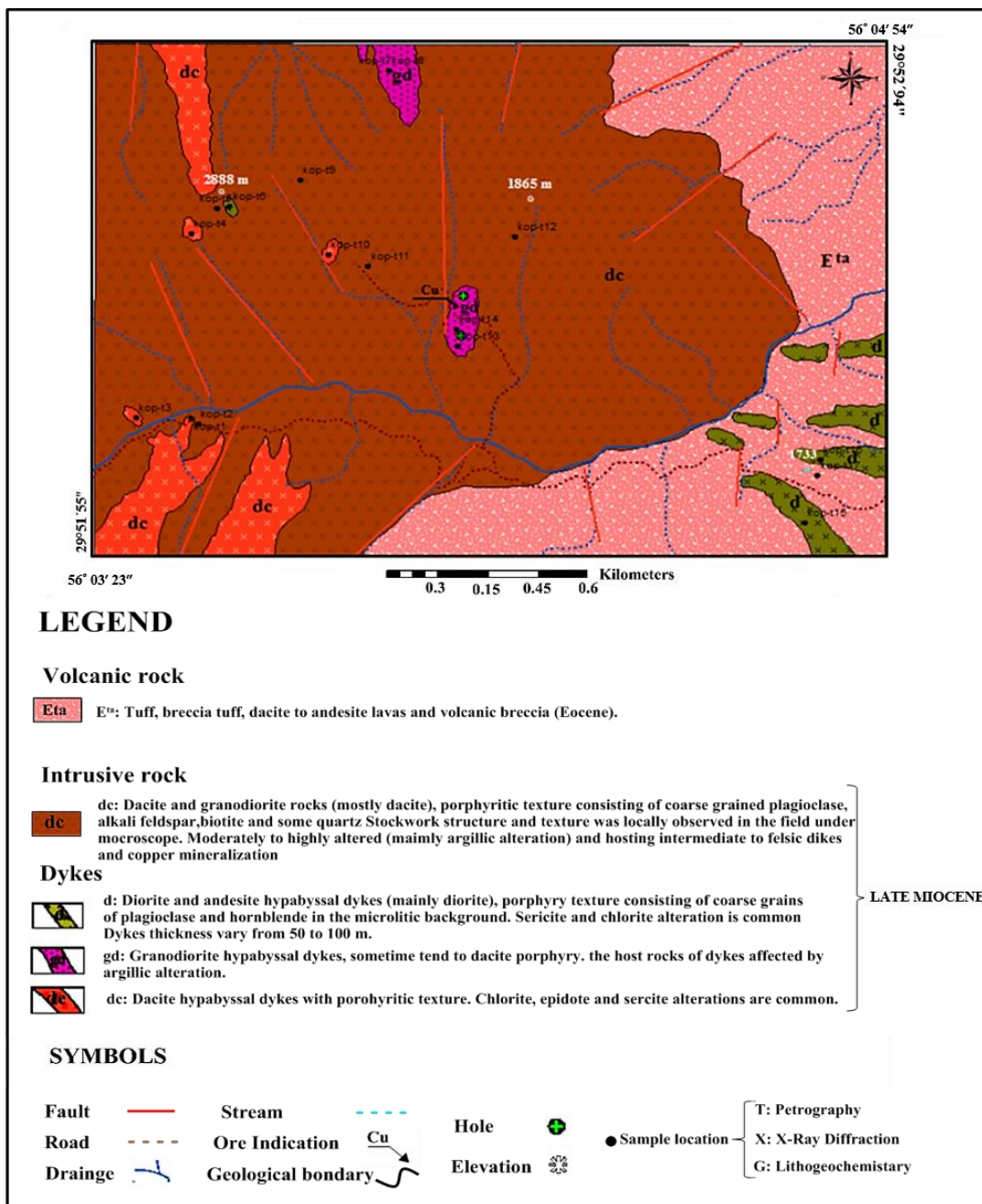
شکل ۲-۷. موقعیت معادن مس وجود در ورقه‌ی چهارگنبد و به طور مشخص کانسار کوه‌پنج (شفاغتی‌پور، ۱۳۹۰).

## ۲-۶- زمین‌شناسی کانسار مس کوه‌پنج

منطقه‌ی کانسار مس کوه‌پنج بخش کوچکی از ورقه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ چهارگنبد را در بخش شمال‌غربی آن در بر می‌گیرد. برپایه‌ی اطلاعات زمین‌شناسی این ورقه، توده‌ی نفوذی با ترکیب کوارتزیدیوریت با سن پس از میوسن پایانی در محدوده‌ی کوه‌پنج گزارش شده است. در چهارچوب پژوهش حاضر بر پایه‌ی تصاویر ماهواره‌ای، توپوگرافی و پیمایش‌های صحرائی نقشه‌ی زمین‌شناسی بزرگ‌مقیاس تهیه گردید (شکل ۲-۸). سنگ‌های رخنمون‌یافته در منطقه‌ی مورد مطالعه شامل سنگ‌های آتشفشانی (توف، توف برشی، برش‌های ولکانیکی و گدازه‌های آندزیتی-ریوداسیتی) مربوط به دوران

اوسن و توده‌های نیمه‌عمیق و نفوذی (داسیت و گرانودیوریت) و دایک‌ها (داسیتی، گرانودیوریتی، دیوریتی) متعلق به میوسن پایانی می‌باشند. در تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی و نیمرخ‌های زمین‌شناسی معدنی از اطلاعات ۱۷ نمونه‌ی مقطع نازک از رخنمون‌های سنگی و ۲۲ نمونه نازک- صیقلی از مغزه‌های حفاری نیز استفاده شده است. به‌طور کلی سنگ‌های محدوده‌ی مس کوه‌پنج در دو گروه اصلی جای می‌گیرند:

- سنگ‌های آذرین خروجی شامل سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌ها،
- سنگ‌های آذرین نفوذی شامل توده‌ی نیمه‌عمیق تا نفوذی و دایک‌ها.



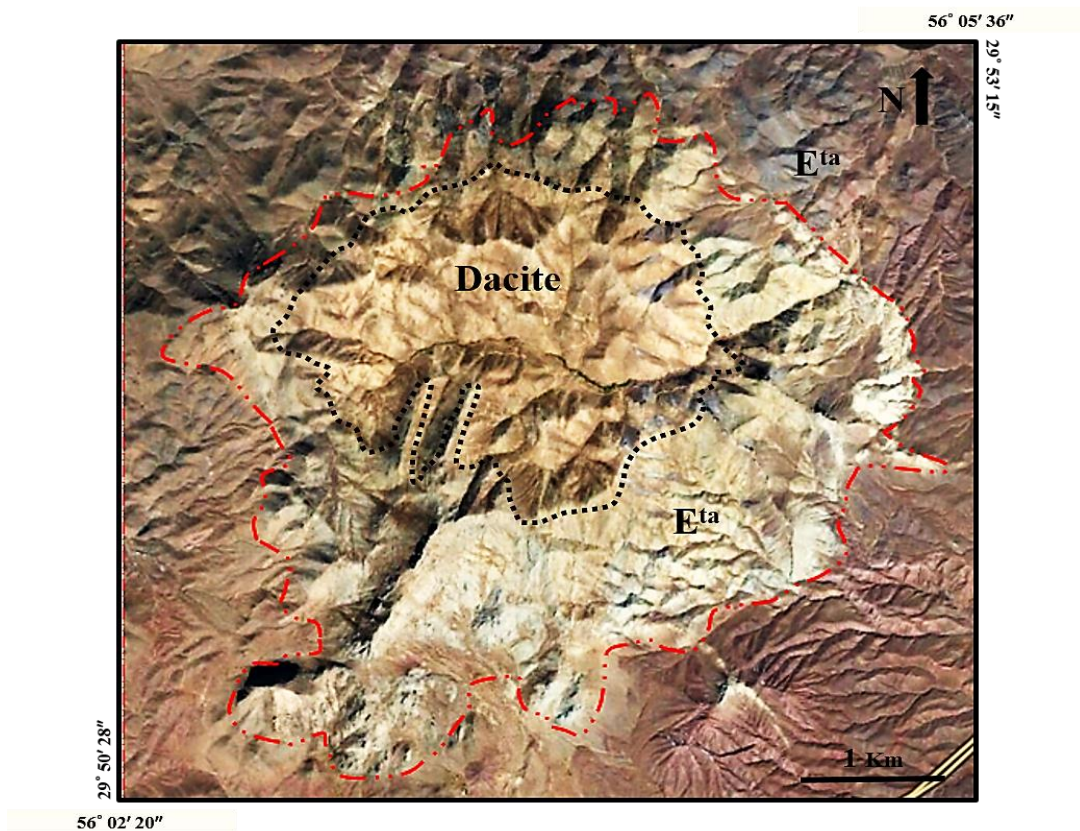
شکل ۲-۸. نقشه‌ی زمین‌شناسی بزرگ‌مقیاس کانسار مس کوه پنج.

## ۲-۶-۱- سنگ‌های آذرین خروجی

سنگ‌های آتشفشانی (E<sup>ta</sup>) در دو گروه قابل تقسیم هستند:

- گدازه‌هایی با ترکیب ریوداسیت- آندزیت.

- واحدهای آذرآواری: شامل توفهای ریوداسیتی- آندزیتی، توفبرش و برشهای ولکانیکی. توفها و گدازههای ائوسن میزبان نفوذیهای منطقه‌ی مورد مطالعه هستند و به عبارتی واحد اصلی دربرگیرنده توده نیمه‌عمیق داسیتی به شمار می‌روند. این سنگ‌ها در حاشیه‌ی سیستم کوه‌پنج، با رنگ قرمز- قهوه‌ای قابل تشخیص می‌باشند (شکل ۲-۹). در زیر به توصیف هر یک از این واحدها پرداخته شده است.

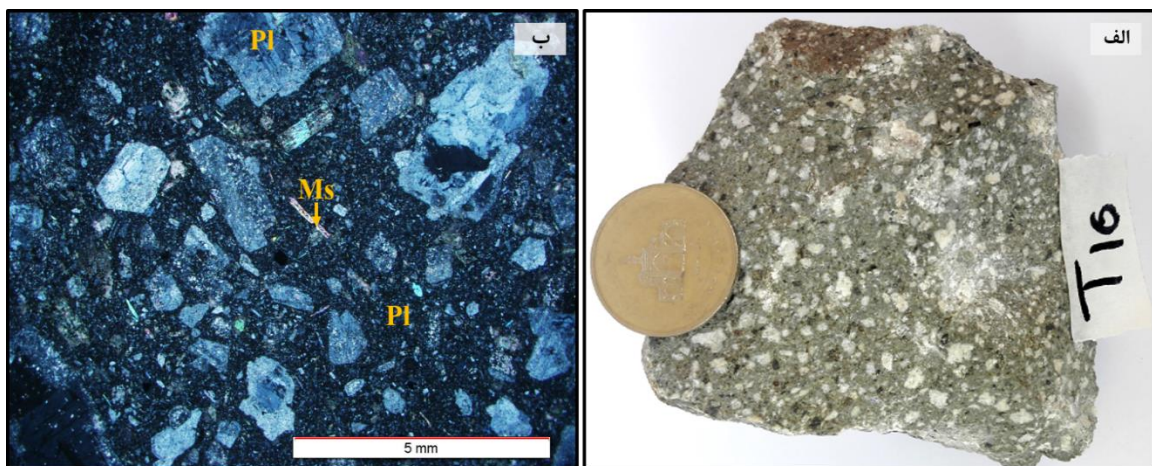


شکل ۲-۹. تصویر هوایی بر گرفته از گوگل‌ارث منطقه‌ی مس کوه‌پنج که در آن توده‌ی نیمه‌عمیق داسیتی و آذرآواریها و گدازه‌های ائوسن نشان داده شده است.

### الف- گدازه‌های ریوداسیت- آندزیت پورفیری

در منطقه‌ی مورد مطالعه، این گدازه‌ها به رنگ خاکستری متمایل به قهوه‌ای در سطح هوازده و خاکستری- سبز در سطح تازه‌ی سنگ، بصورت میان‌لایه با توفهای ائوسن دیده می‌شوند (شکل ۲-۹)

و ۱۰-۲-الف). این واحد بوسیله‌ی داسیت پورفیری که خاستگاه کانی‌سازی مس است قطع شده‌اند. در مقیاس نمونه دستی و در مطالعات میکروسکوپی، بافت پورفیری با زمینه‌ی میکرولیتی در این سنگ‌ها به وضوح قابل تشخیص است (شکل ۱۰-۲). در زیر میکروسکوپ درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز (دارای ماکل‌های کالسباد و تکراری) و آمفیبول، در زمینه‌ای از میکرولیت‌های پلاژیوکلاز، بیوتیت، مسکویت ثانویه و کانی‌های کدر قرار گرفته‌اند. به واسطه‌ی حضور سیال در سیستم، دگرسانی‌های وسیع در سنگ میزبان و واحدهای آتشفشانی در برگیرنده‌ی توده کوه‌پنج رخ داده است. گدازه‌های آندزیت-ریوداسیتی و سنگ‌های آذرآواری نیز از این قاعده مستثنا نیستند. پلاژیوکلازها و فلدسپارهای پتاسیم در این سنگ‌ها عمدتاً به سریسیت و مسکویت (و کمتر کلریت) دگرسان شده‌اند.



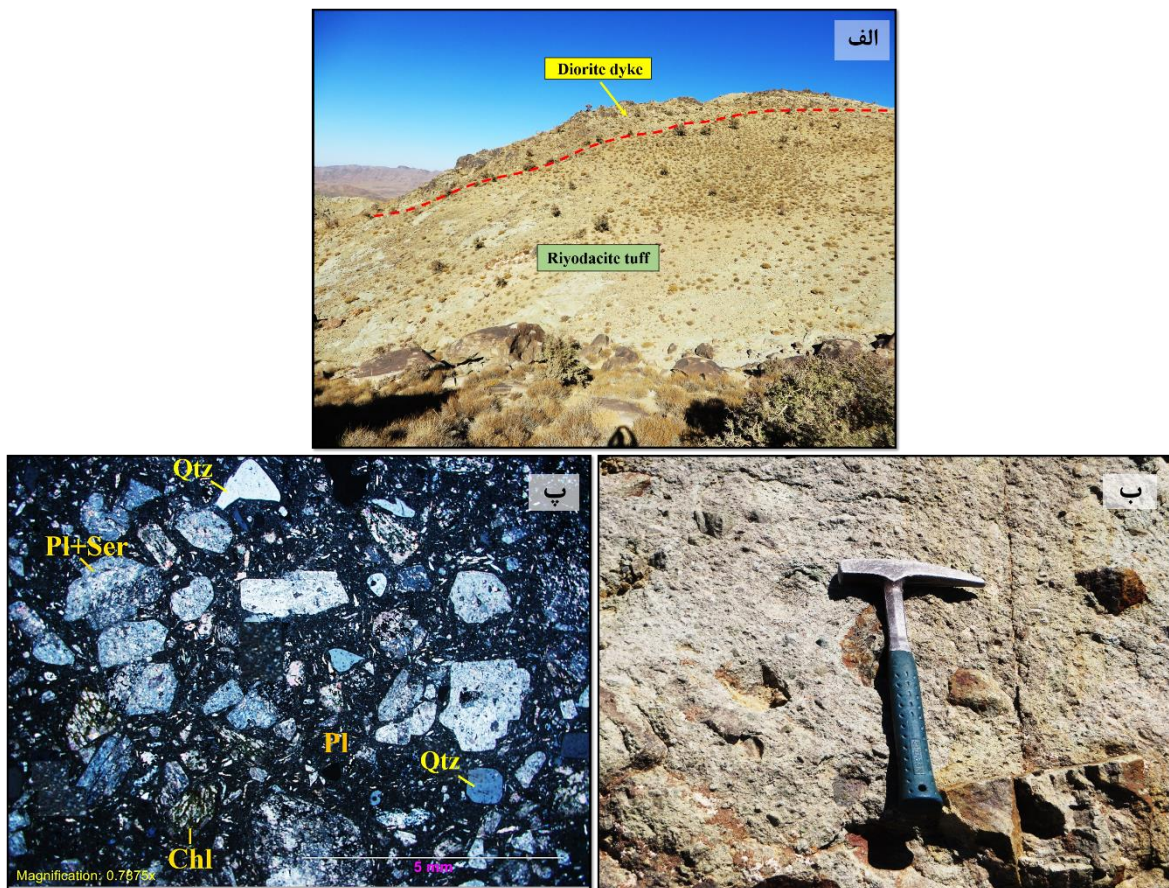
شکل ۱۰-۲. الف) تصویر نمونه دستی و ب) تصویر میکروسکوپی از سنگ‌های ریوداسیتی با بافت پورفیری-میکرولیتی

### ب- واحد آذرآواری

بخش قابل توجهی از منطقه‌ی کوه‌پنج را توالی ضخیمی از توف‌های سنگی و بلورین به رنگ خاکستری و خاکستری متمایل به بنفش و سبز با بین لایه‌های گدازه ریوداستی سبز-خاکستری تشکیل می‌دهد که دارای ریخت‌شناسی ملایمتری نسبت به سایر رخنمون‌های سنگی موجود در منطقه بوده و توده داسیتی کانه‌دار نیز به داخل آنها نفوذ کرده است. براساس فراوانی نوع ذرات تشکیل دهنده سنگ‌های



آذرآواری اعم از اینکه شیشه، بلور (کریستال) و یا خرده سنگ باشد، توف‌ها را به ۳ دسته کلی توف‌های شیشه‌ای، توف‌های کریستالی و توف‌های خرده سنگی تقسیم می‌کنند. همراه با حضور گدازه‌های آندزیت-ریوداسیتی در منطقه، سنگ‌های آذرآواری نظیر توف‌های خرده سنگی (لیتیک توف) با ترکیب ریوداسیت- آندزیت نیز مشاهده می‌شوند. این سنگ‌ها در نواحی نزدیک کانه‌زایی به واسطه‌ی تأثیر سیالات کانه‌ساز و کلریتی- سربیسیتی شدن، به رنگ خاکستری- سبز و در نقاط دور از دگرسانی به رنگ قهوه‌ای- قرمز متمایل به بنفش، از هم قابل تفکیک‌اند (شکل ۲-۹). برای واحدهای توفی دامنه‌ای از آندزیت تا ریوداسیت تشخیص داده شد. قطعات درشت سنگی در زمینه‌ای دانه‌ریز با ترکیب ریوداسیتی این سنگ‌ها را در گروه لیتیک توف یا توف‌های خرده سنگی ریوداسیتی جای داده است. به صورت محلی در برخی نقاط، توف‌های برشی در منطقه دیده می‌شوند. کوارتزهای خلیجی و گرد شده، فلدسپات پتاسیم، آمفیبول و آپاتیت به صورت فرعی، در زمینه‌ای میکروکریستالین که همگی متحمل دگرسانی (سربیسیتی، کلریتی و کربناتی) شده‌اند، در زیر میکروسکوپ قابل تشخیص هستند (شکل ۲-۱۱). به دلیل شدت دگرسانی، تشخیص دقیق ترکیب اولیه و بافت سنگ‌ها در منطقه کوه‌پنج دشوار است.



شکل ۲-۱۱. الف) تصویر صحرایی مربوط به واحدهای گدازه و آذرآواری و دایک دیوریتی در منطقه‌ی مورد مطالعه. ب) نمایش توف‌های خرده‌سنگی ائوسن در منطقه. پ) نمونه‌ای از توف‌های ریوداسیتی منطقه در زیر میکروسکوپ (XPL).

## ۲-۶-۲- سنگ‌های آذرین نفوذی

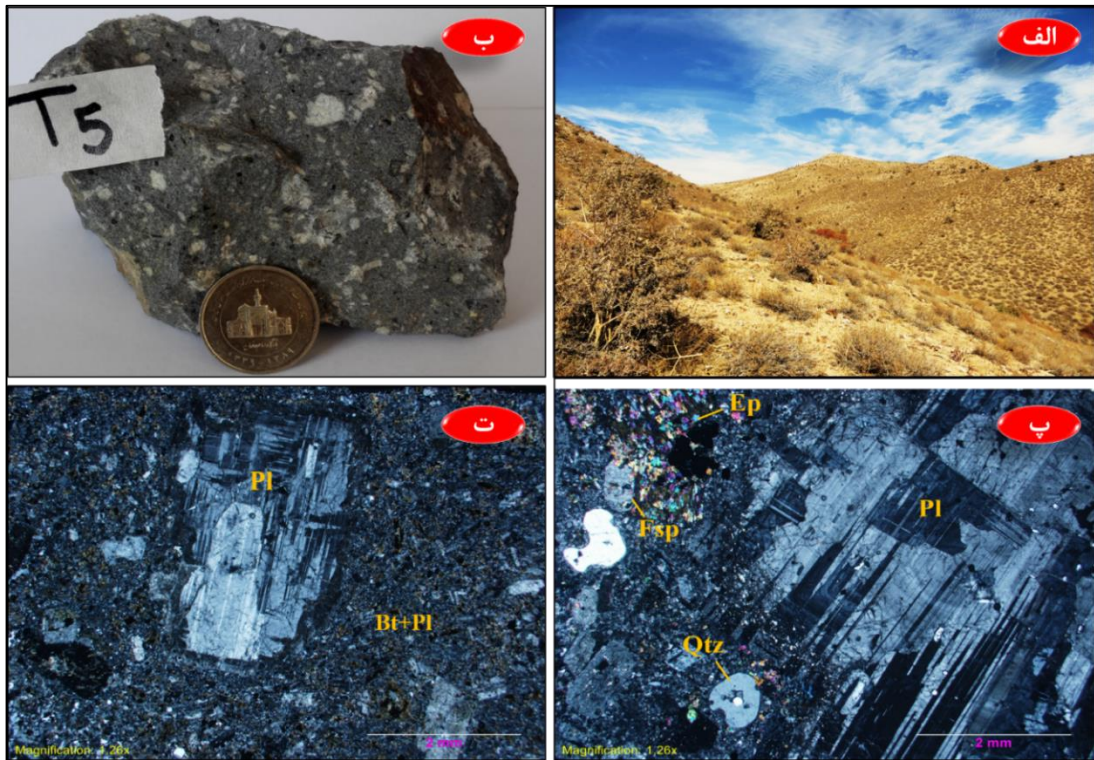
سنگ‌های نیمه‌عمیق و عمیق این منطقه شامل توده داسیتی و گرانودیوریتی و دایک‌هایی با ترکیب داسیت، گرانودیوریت و دیوریت (مربوط به میوسن پایانی) می‌باشند.

## الف- توده‌های داسیتی و گرانودیوریتی

نمونه‌برداری از این سنگ‌ها هم به صورت سطحی و هم از مغزه‌های حفاری انجام شده، که در ادامه به توصیف آنها پرداخته می‌شود.

**داسیت:** این سنگ‌ها در مرکز سیستم همراه با دگرسانی و آثاری از مس، میزبان اصلی کانه‌زایی منطقه می‌باشد که به درون توف‌های ائوسن تزریق شده‌اند. داسیت‌ها به دلیل عمق کم تبلور، دارای زمینه ریزبلور هستند و در نگاه ماکروسکوپی به سنگ‌های ولکانیک شبیه هستند. طبق مطالعات آفازاده و همکاران (Aghazadeh et al., 2015) سن پیشنهادی برای این سنگ‌ها میوسن پایانی است. این سنگ‌ها تحت تاثیر دگرسانی (مخصوصاً آرژیلی شدن) در دید کلی و در عکس‌های ماهواره‌ای به رنگ کرم-قهوه‌ای و در نمونه‌ی دستی به رنگ سفید تا خاکستری قابل رؤیت می‌باشند (شکل ۲-۹ و شکل ۲-۱۲).

سنگ‌های داسیتی در سطح و در مغزه‌های حفاری لاگینگ شده مشاهده می‌شوند. در مقیاس میکروسکوپی کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها عبارت‌اند از: پلاژیوکلازهای ماکل‌دار، فلدسپات-پتاسیم، کوارتزهای خلیجی، بیوتیت و گاهاً آمفیبول که در زمینه‌ی دانه ریز قرار گرفته‌اند و بافت پورفیری را تشکیل می‌دهند. عموماً تأثیر دگرسانی در این توده به گونه‌ایست که بافت سنگ در بیشتر موارد حفظ نشده است. در فنوکریست‌ها و زمینه، سریسیتی شدن، اپیدتی شدن، سیلیسی شدن و بیوتیتی شدن مشاهده می‌شود (شکل ۲-۱۲-پ و ت) که نتیجه‌ای از تأثیر دگرسانی‌های فلیک، پروپیلیتیک و پتاسیک می‌باشند. در برخی موارد در اثر سیلیسی شدن ظاهر سنگ و ترکیب شیمیایی آن به سمت سنگ‌های فلسیک میل می‌کند.



شکل ۲-۱۲: الف) نمای کلی از سنگ‌های داسیتی که تحت تأثیر دگرسانی آرژیلیک به رنگ کرم دیده می‌شوند (دید به سمت شمال شرق). ب) عکس نمونه دستی از داسیت‌های منطقه. پ) تصویر میکروسکوپی مربوط به داسیت که تحت تأثیر دگرسانی اپیدوتی و ت) پتاسیک قرار گرفته است.

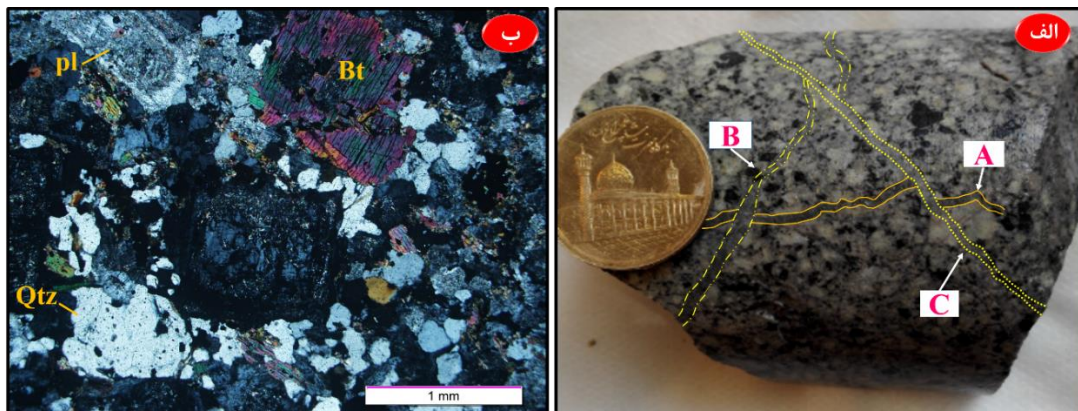
در نمونه‌های زیرسطحی مربوط به چاه‌های حفاری نیز داسیت (و کمتر گرانودیوریت) عمده‌ترین سنگ گزارش شده می‌باشد (شکل ۲-۱۳).



شکل ۲-۱۳. الف) تصاویر مربوط به انبار مغزه‌ها و جعبه‌های نگهداری از مغزه‌های حفاری، ب) داسیت مربوط به مغزه-های لاگینگ شده برای تهیه‌ی مقطع نازک صیقلی. پ) تصویر میکروسکوپی از داسیت پورفیری که تحت تأثیر محلول‌های پتاسیم‌دار قرار گرفته است (XPL).

**گرانودیوریت:** گرانودیوریت‌ها به مقدار کمتر نسبت به داسیت در مغزه‌ها یافت می‌شوند. پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسم، کوارتز اولیه و ثانویه (معمولاً کوارتزهای ثانویه در زمینه سنگ و یا در رگچه‌ها حضور دارند)، بیوتیت اولیه و ثانویه (بیوتیت‌های ثانویه به صورت دانه پراکنده و ریز بلور در متن و یا حاصل از تبدیل کانی‌های فرومنیزین به بیوتیت در سنگ مشخص می‌شوند)، و سایر کانی‌های دگرسانی همچون سریسیت و کلریت در مقاطع این سنگ‌ها یافت می‌شوند. درشت‌بلورها شامل بلورهای شکل‌دار سریسیتی‌شده‌ی پلاژیوکلاز، بلورهای نیمه‌شکل‌دار کوارتز، بیوتیت و فلدسپار می‌باشند. در این سنگ‌ها علاوه بر بافت گرانولار پورفیری، بافت ثانویه‌ی رگه-رگچه‌ای نیز دیده می‌شود. شبکه رگچه‌های نازک

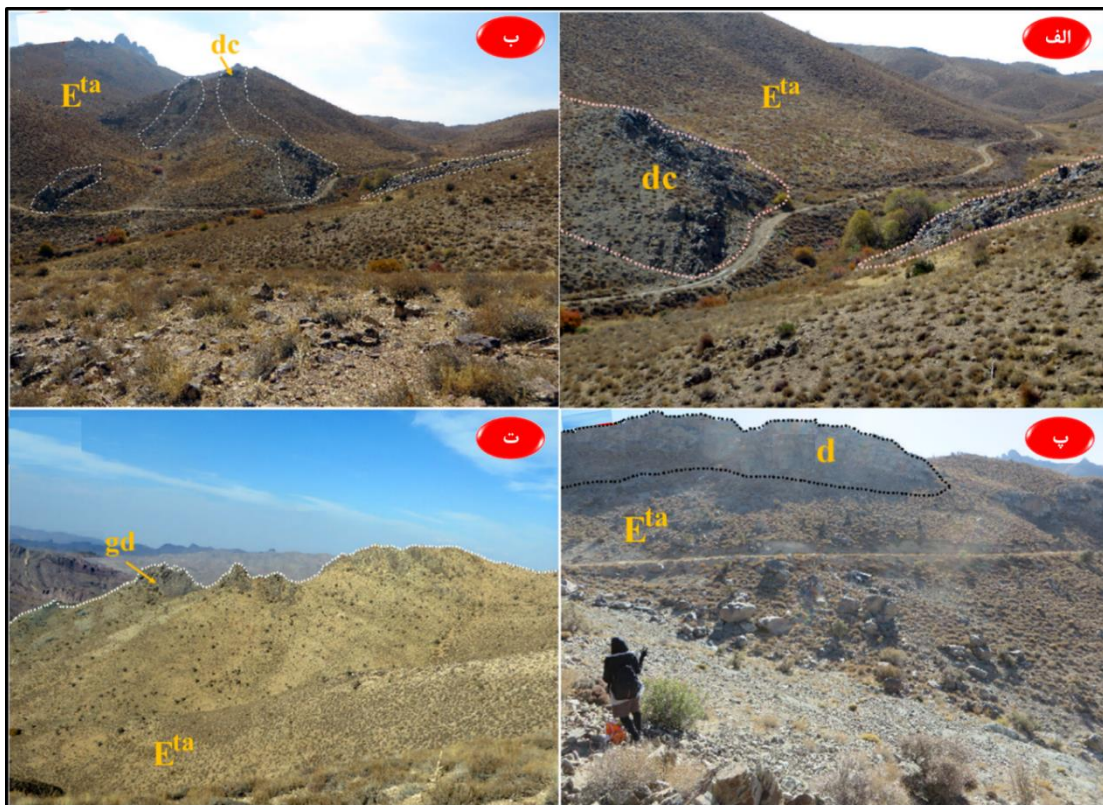
سیلیسی به فراوانی سنگ را قطع نموده که اغلب همراه با کانی سازی مس بوده و ساخت داربستی را نشان می‌دهد (شکل ۲-۱۴).



شکل ۲-۱۴. الف) تصویر نمونه دستی و ساخت داربستی مربوط به مغزه‌ی گرانودیوریتی. حضور چندین نسل رگه‌ی سیلیسی؛ به ترتیب A قدیمی‌تر از B و C است. ب) تصویر میکروسکوپی از سنگ گرانودیوریتی با حضور کانی‌های کوارتز، بیوتیت پلاژیوکلاز و آلکالی‌فلدسپار.

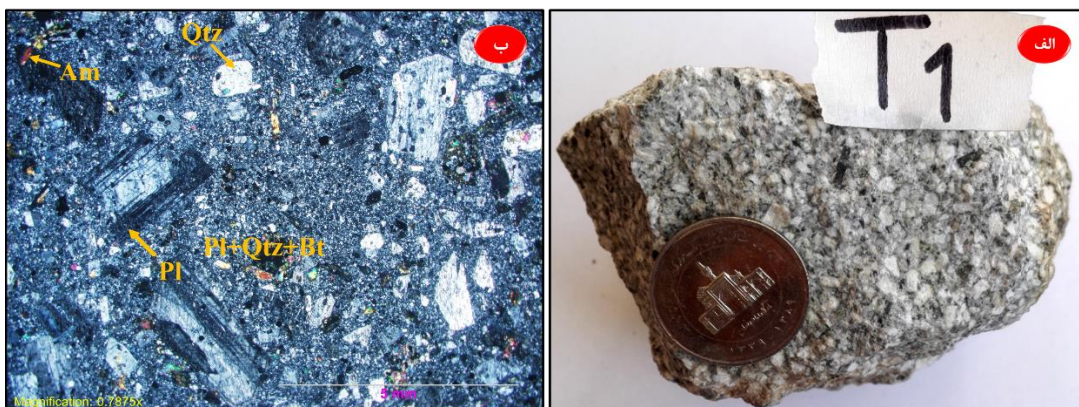
### ب- دایک‌ها

همانطور که در شکل ۲-۱۵ مشخص است، این سنگ‌ها نسبت به نفوذی‌های اطراف در برابر فرسایش مقاوم‌تر هستند. عموماً در منطقه توپوگرافی خشن‌تری را به نمایش می‌گذارند و سازنده‌ی ارتفاعات هستند. از جمله دایک‌های منطقه می‌توان به دایک داسیتی، گرانودیوریتی و دیوریتی اشاره کرد که به داخل سنگ‌های منطقه تزریق شده‌اند.



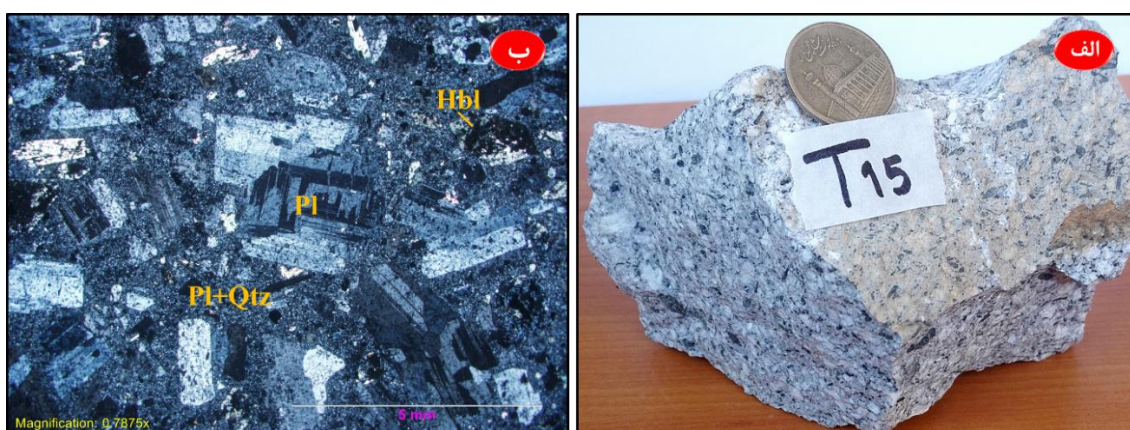
شکل ۲-۱۵. دور نمایی از دایک‌های موجود در منطقه الف و ب) دایک‌های داسیتی و همجواری آنها با نفوذی‌های نیمه‌عمیق داسیتی (dc: دایک داسیتی) پ) دایک دیوریتی که به درون توهی نفوذی داسیتی و واحدهای آذرآواری منطقه تزریق شده است (d: دایک دیوریتی). ت) دایک گرانودیوریتی واقع در زون دگرسانی پروپیلیتیک (gd: دایک گرانودیوریتی).

**دایک‌های داسیتی:** این دایک‌ها با ترکیبی معادل آنچه که در بالا در مورد داسیت نفوذی گزارش شد مطابقت دارند با این تفاوت که نسبت به نفوذی داسیتی (با دگرسانی غالباً آرژلیک در سطح)، به دلیل جوانتر بودن و دگرسانی کمتر، ارتفاعات را می‌سازند (شکل ۲-۱۵- الف و ب). دگرسانی ایجاد شده در این دایک‌ها بیشتر متمایل به پروپیلیتیک و پتاسیک است و امتداد آنها اغلب شمالی- جنوبی می‌باشد. در شکل (۲-۱۶) نمونه‌ای از این سنگ‌ها به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۲-۱۶. الف) تصویر نمونه دستی و ب) میکروسکوپی (XPL) مربوط به دایک داسیتی موجود در منطقه بافت پورفیری. زمینه سنگ تحت تأثیر نفوذ سیال سیلیسی شده است.

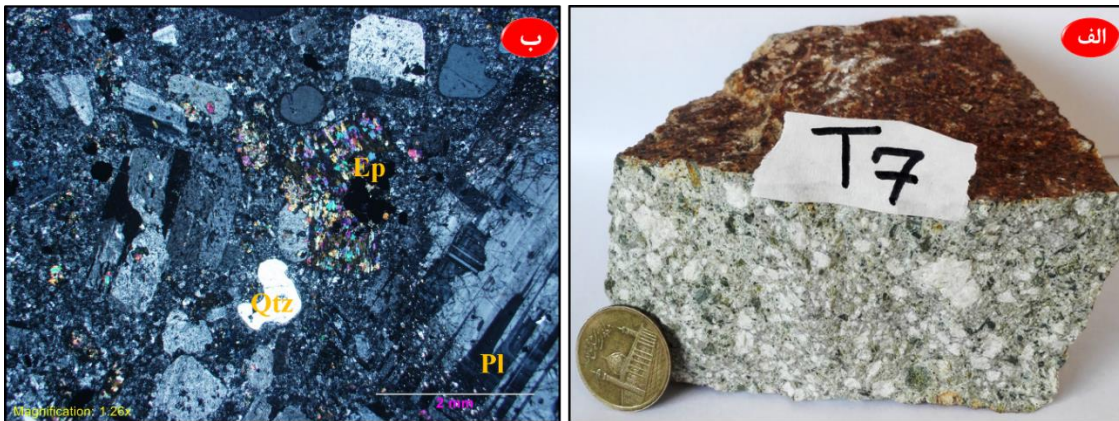
**دایک‌های دیوریتی - آندزیتی:** این دایک‌ها در سطح منطقه دارای مقاومت بسیار بالایی هستند و در بخش جنوب شرقی منطقه دیده می‌شوند. در این سنگ‌ها پلاژیوکلاز (دارای زون‌بندی، ماکل کالسباد و ماکل تکراری)، فلدسپار، هورنبلند، بیوتیت و کوارتز در زمینه‌ای دانه‌ریز حضور دارند (شکل ۲-۱۷). کانی‌های اولیه تحت تأثیر کلریتی و سریسیتی شدن قرار گرفته‌اند و گاهاً فضاهای خالی این سنگ‌ها را کلسیت پر کرده است.



شکل ۲-۱۷. الف) تصویر نمونه دستی و ب) میکروسکوپی (XPL) مربوط به دایک آندزیتی - دیوریتی موجود در منطقه.



دایک گرانودیوریتی: این دایک با بافت گرانولار (گاهاً به سمت پورفیری میل می‌کند) از کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتزهای خلیجی، آمفیبول، فلدسپات پتاسیم تشکیل شده است ( شکل ۲-۱۸). این سنگ‌ها نیز تحت تأثیر دگرسانی پروپیلیتیک قرار گرفته‌اند و در بخش شمال-شمال شرق منطقه رخنمون یافته‌اند.



شکل ۲-۱۸. الف) تصویر نمونه دستی و ب) میکروسکوپی (XPL) مربوط به دایک گرانودیوریتی- داسیتی موجود در منطقه.

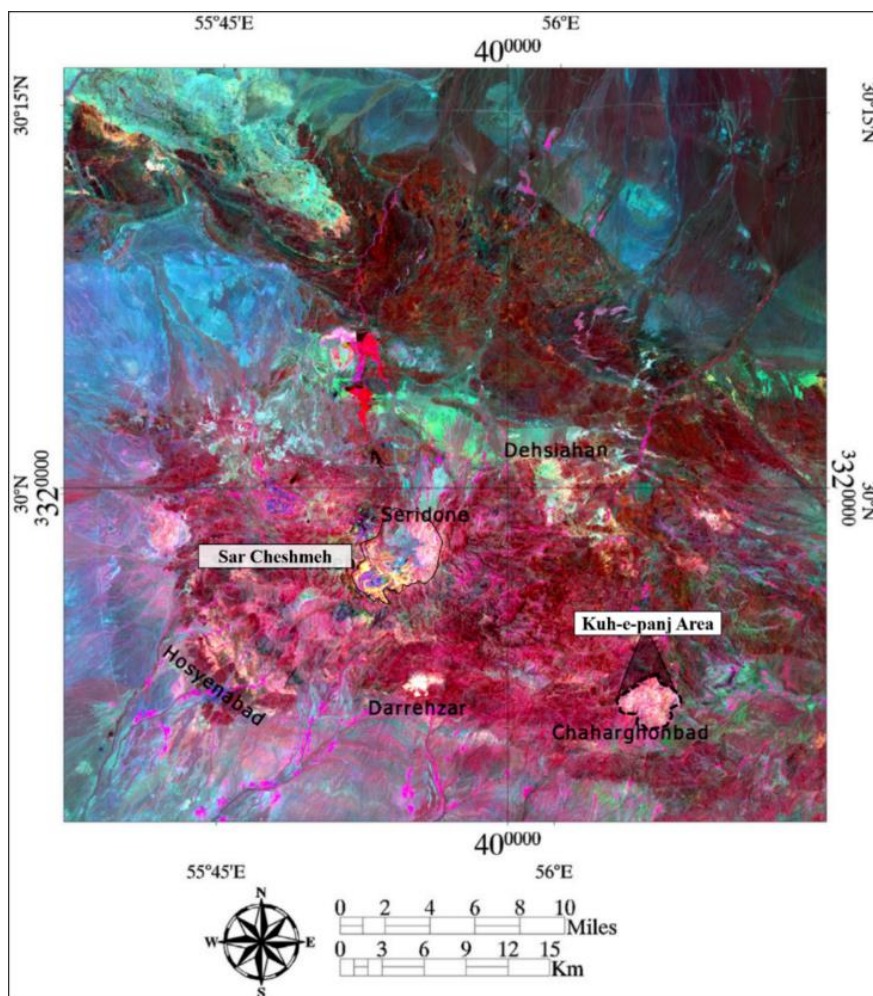


فصل سوم

دکرسانی و کانه زاپی

در بیشتر کانسارهای مس پورفیری، کانی‌زایی و دگرسانی دارای زون‌بندی و رابطه‌ی معناداری با یکدیگر هستند که تشخیص و تفکیک آنها در یک کانسار، جزء جدایی‌ناپذیر در مطالعات کانسارهای پورفیری می‌باشد. مطالعات مینرالوگرافی و دگرسانی اطلاعات مفیدی در مورد ویژگی‌های تشکیل یک کانسار را فراهم می‌آورند؛ لذا برای بررسی نحوه تشکیل کانسار مورد نظر ۲۲ مقطع نازک صیقلی، ۳ نمونه‌ی صیقلی، ۱۷ مقطع نازک و تعداد ۵ نمونه جهت مینرالوگرافی و بررسی دگرسانی تهیه و مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که کانسار کوه‌پنج‌انواع دگرسانی مربوط به کانسارهای پورفیری نوع حاشیه‌قاره را نشان می‌دهد و دارای سیستم دگرسانی نسبتاً گسترده‌ای است (شکل ۳-۱). کانه‌زایی در این کانسار به صورت درون‌زاد و برون‌زاد رخ داده است و ساخت‌های غالب منطقه داربستی، رگه‌ای و کمتر پراکنده و برشی می‌باشد. در ادامه‌ی این فصل ابتدا انواع دگرسانی‌های موجود در کانسار معرفی و در مقیاس ماکروسکوپی و میکروسکوپی توصیف می‌گردد و سپس کانه‌زایی بر اساس مشاهدات صحرائی، لاگ گمانه‌های اکتشافی و مقاطع نازک مشخص می‌شوند.

(علائم اختصاری کانی‌ها در این فصل: Qtz: کوارتز، Ep: اپیدوت، Ser: سریسیت، Chl: کلریت، Pl: پلاژیوکلاز، Ser: سریسیت، Bt: بیوتیت (Siivola & Schmid, 2007)).

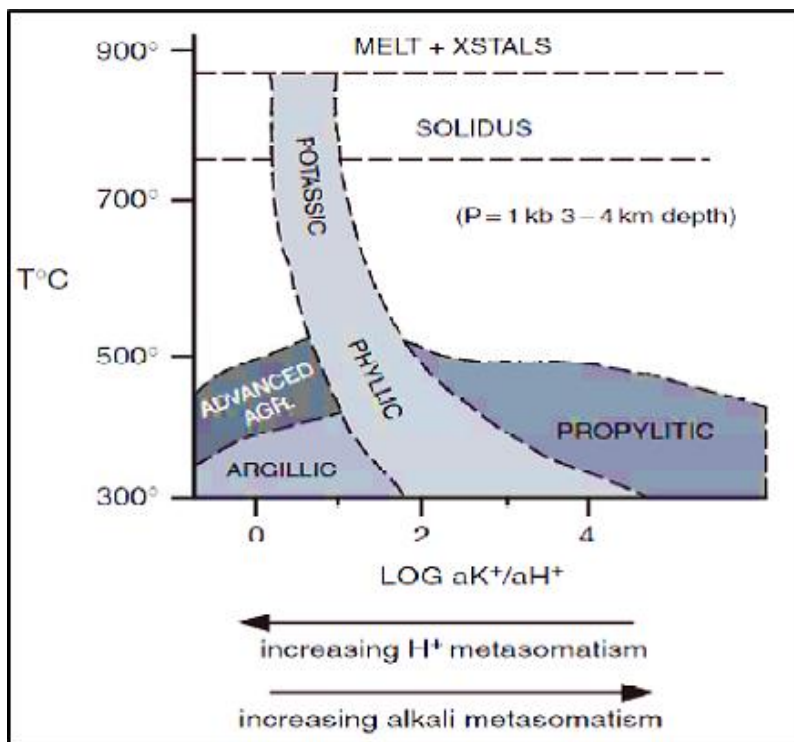


شکل ۳-۱. موقعیت کانسار کوه پنج، سرچشمه و سایر کانسارها بر روی تصاویر (Landsat-8)، (Beiranvand Pour, 2015). با مقایسه‌ی وسعت دگرسانی سیستم کوه پنج و کانسار مس سرچشمه می‌توان گفت که کوه پنج دارای سیستم دگرسانی نسبتاً گسترده‌ای می‌باشد.

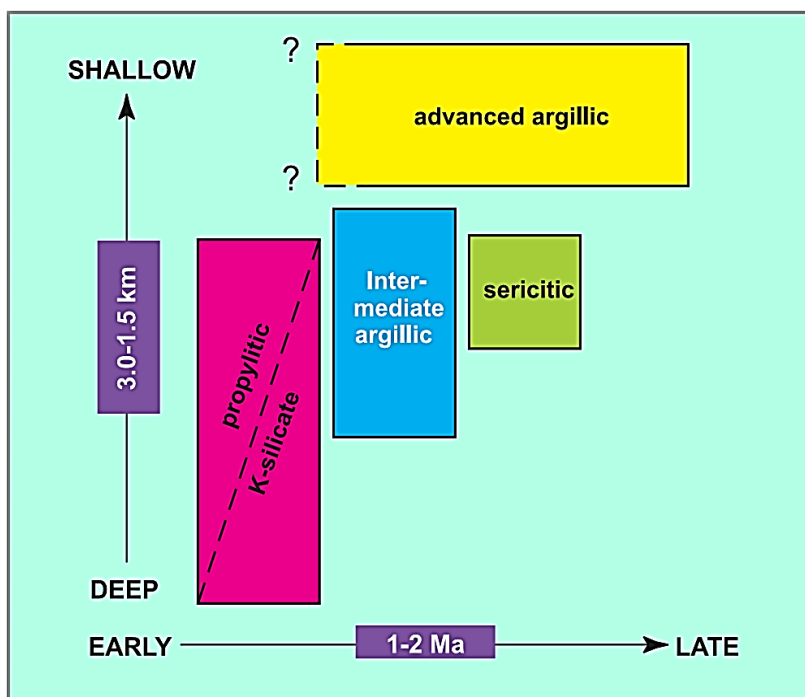
### ۳-۲- بررسی انواع دگرسانی‌های موجود در کانسار مس کوه پنج

سیدورف و همکاران (Seedorff et al., 2005)، مجموعه فرآیندهایی را که در یک سیستم پورفیری منجر به تشکیل دگرسانی‌های مختلف می‌گردد بصورت زیر خلاصه می‌نمایند: تبادل آلکالی (دگرسانی پتاسیک و سدیک-کلسیک)، افزایش مواد فرار (دگرسانی پروپیلیتیک)، هیدرولیز (دگرسانی سریسیتی، آرژیلیک حدواسط و پیشرفته) و افزایش سیلیس. حرارت، فشار و ترکیب سیال پارامترهای تأثیرگذار در این فرایندها می‌باشند. شکل (۳-۲) محدوده‌ی دمایی تشکیل انواع دگرسانی‌ها بر اساس نسبت  $K^+$  به

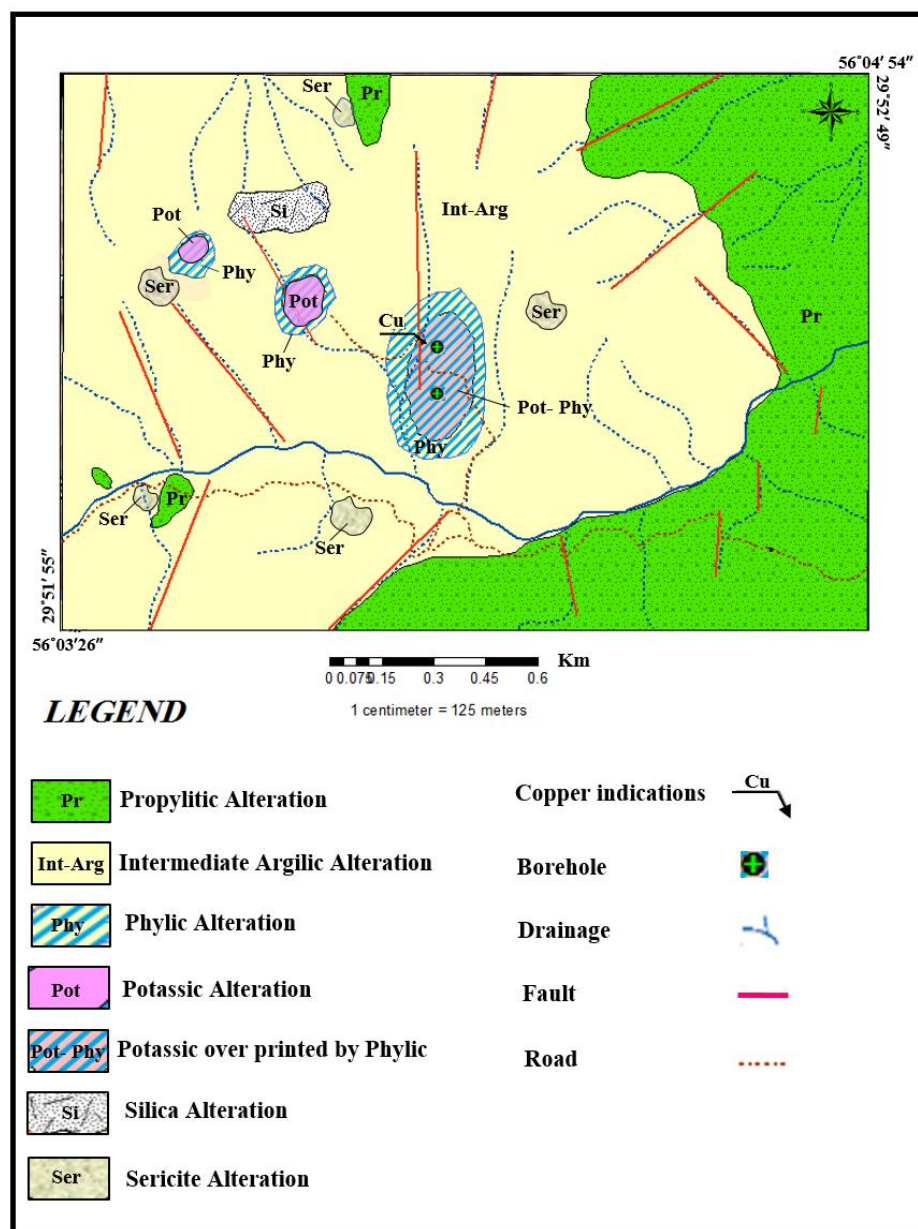
$H^+$  را نشان می‌دهد. تغییر در میزان  $K^+$  و  $H^+$  در روند تشکیل انواع دگرسانی تأثیر می‌گذارد. در طی فرایند دگرسانی تجزیه‌ی آب سبب تشکیل  $H^+$  می‌شود که در نتیجه‌ی واکنش این یون با کانی‌های سیلیکاته  $H^+$  مجدداً مصرف می‌شود. اما طی واکنش‌های دیگر در طول دگرسانی، یون هیدروژن مجدداً می‌تواند تأمین شود. هر چند تبدیل سیلیکات‌های بی‌آب به آبدار، منجر به مصرف مداوم  $H^+$  می‌شود، اما تغییر اسیدیته‌ی سیال و تداوم حضور کاتیون‌ها در محلول را به همراه دارد. در پهنه‌ی پروپلیتیک نیز پدیده‌ی هیدراسیون در حضور آب اضافی و  $CO_2$  غالب است. بنابراین به اختصار می‌توان گفت که چنین تغییراتی مسئول بروز انواع دگرسانی در سنگ‌های در برگیرنده می‌باشند. در شکل (۳-۳) نیز می‌توان روابط زمانی، تقدم و تأخر و عمق تشکیل انواع تیپ دگرسانی در سیستم‌های مس پورفیری غنی از طلا و کانسارهای پورفیری دیگر را مشاهده کرد. کانسار مس کوه‌پنج سیستم دگرسانی گسترده و ساخت و بافت استوکورکی قوی و ملموسی را از جهت تطابق با سایر کانسارهای مشابه این تیپ کانی‌سازی در جهان داراست. انواع دگرسانی‌های خاص کانسارهای پورفیری تیپ حاشیه قاره نظیر پتاسیک، فلیک، آرژیلیک، پروپلیتیک و ... در این کانسار نمود ظاهری دارند (شکل ۳-۴). هر یک از این دگرسانی‌ها با توجه به کانی‌های خاص در مقاطع نازک، آنالیز اشعه ایکس، مطالعات صحرایی و نمونه دستی قابل تعیین هستند. برای اطمینان از نوع دگرسانی تشخیص داده شده طی مطالعات صحرایی و میکروسکوپی، تعدادی از نمونه‌ها برای انجام مطالعات پراش اشعه ایکس و تعیین نوع دگرسانی قطعی آنها به شرکت مطالعات مواد معدنی زراژما ارسال گردید. در ادامه پس از توضیح مختصر راجع به شرایط تشکیل انواع دگرسانی، به شرح هر یک از دگرسانی‌های مشاهده شده در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌پردازیم.



شکل ۲-۳. ترتیب تشکیل دگرسانی‌های مختلف بر اساس کاهش اکتیوایی  $K^+/H^+$  (گیلبرت و پارک ۱۹۸۶).



شکل ۳-۳. نمودار روابط زمان-عمق انواع تیپ دگرسانی در سیستم‌های مس پورفیری غنی از طلا و دیگر کانسارهای پورفیری (Sillitoe, 1993).



شکل ۳-۴. نقشه دگرسانی محدوده کانسار مس کوه پنچ که در آن انواع دگرسانی‌های مربوط به این منطقه نمایش داده شده است.

### ۳-۲-۱- دگرسانی پتاسیک

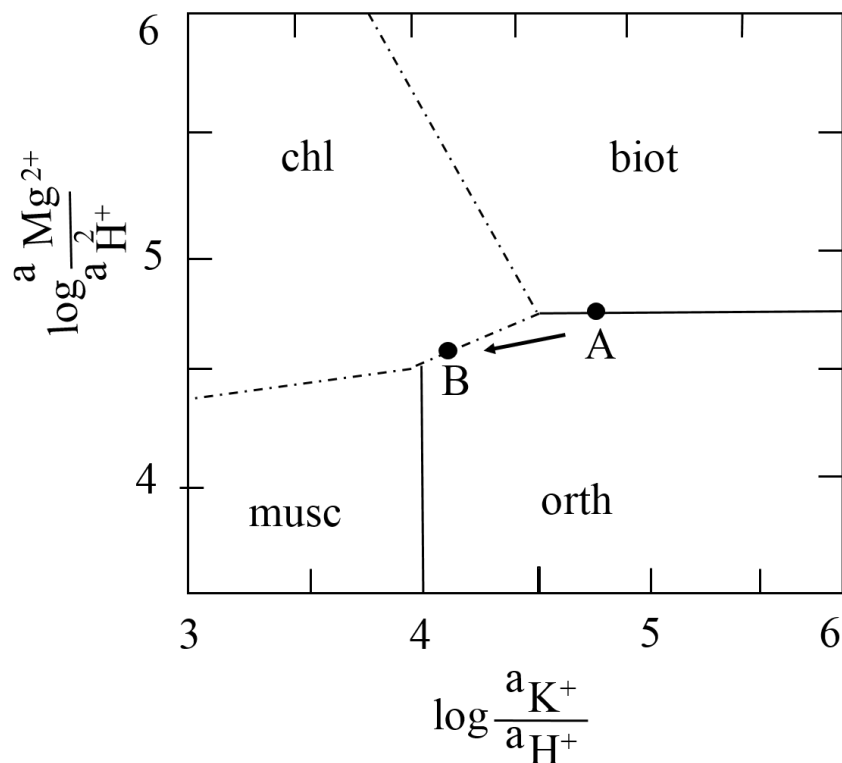
در کانسارهای پورفیری به دلیل قرار گرفتن بخشی از ذخیره در زون پتاسیک، این زون از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. دگرسانی پتاسیک یا سیلیکات‌های پتاسیم (Lowell and Guilbert, 1970) در اثر جانشینی پتاسیم حاصل می‌شود و ضمن آن عناصر کلسیم و سدیم از سنگ‌های دارای کانی‌های اولیه



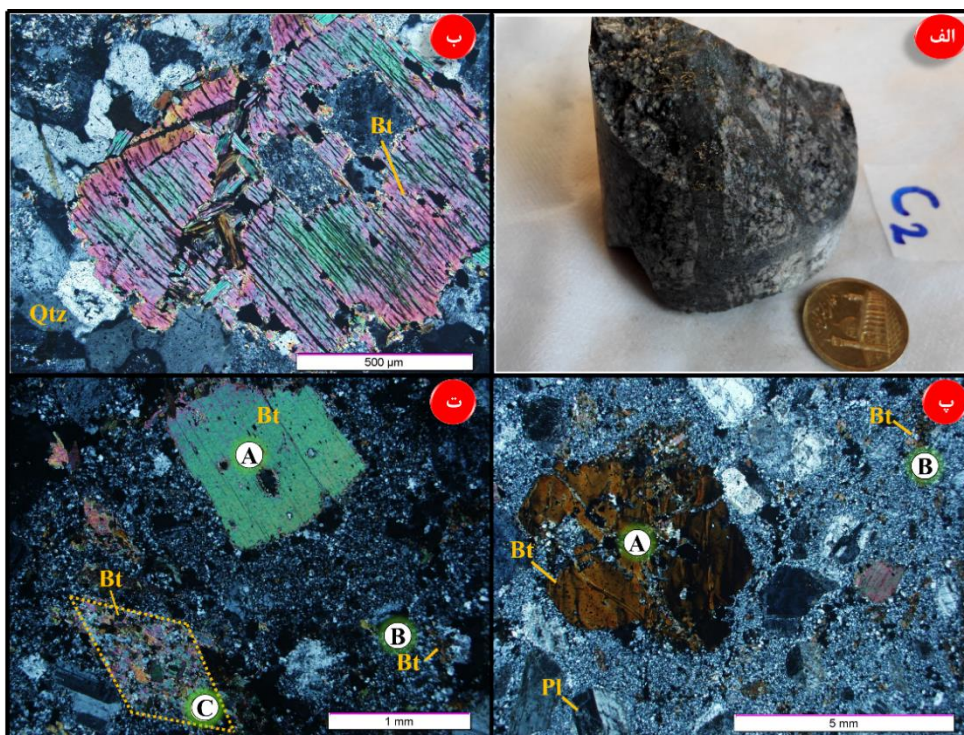
آلومینوسیلیکاته کاهش می‌یابد. در این دگرسانی از واکنش پلاژیوکلاز و پتاسیم فلدسپات اولیه با محلول‌های گرمایی پتاسیم‌دار ارتوز دما پائین متبلور می‌گردد که معمولاً همراه با مقدار کمی انیدریت، آپاتیت و مگنیتیت می‌باشد. واکنش هورنبلند با محلول‌های گرمایی بیوتیت ثانویه را تشکیل می‌دهد که دگرسانی پتاسیک دما پائین محسوب می‌شود. از جمله کانی‌های اپک اصلی می‌توان به مگنیتیت، کالکوپیریت، بورنیت و پیریت اشاره نمود. این دگرسانی در ناحیه‌بندی مربوط به کانسارهای مس پورفیری معمولاً در بخش مرکزی سیستم و در حرارت افزون بر ۶۰۰-۸۰۰ درجه‌ی سانتیگراد تشکیل می‌گردد. از این رو مشاهده آثار آن در سطح به جز در مواردی که فرسایش شدید یا فرآیند تکتونیکی کانسار را متأثر ساخته باشد امکان پذیر نیست.

همانطور که انتظار می‌رود در گمانه‌های حفاری، از سطح به عمق، شاهد کاهش تأثیر دگرسانی آرژیلیک و به طبع آن افزایش تأثیر دگرسانی فیلیک و پتاسیک هستیم. دگرسانی پتاسیک در سنگ‌هایی رخ داده که محدوده‌ای از گرانودیوریت تا داسیت را نشان می‌دهند و معمولاً به رنگ خاکستری، قهوه‌ای تا قرمز در این سنگ‌ها دیده می‌شود. طبق مطالعات سنگ‌نگاری انجام شده بر روی مقاطع نازک و نازک صیقلی دو نسل بیوتیت در این سنگ‌ها دیده می‌شود: نخست بیوتیت‌های اولیه یا ماگمایی که به صورت بلورهای درشت نیمه‌شکل‌دار تا تمام‌شکل با چندرنگی قهوه‌ای و گاهاً سبز در نمونه‌ها حضور دارند (شکل ۳-۶) و دوم بیوتیت‌های ثانویه که خود شامل: (۱) بیوتیت‌های پراکنده یا آمیبی شکل به طور مستقل و توسط محلول‌های گرمایی ایجاد شده‌اند و به صورت پراکنده در مقاطع مشاهده می‌شوند (شکل ۳-۶-پ و ت). (۲) فلس‌های کوچک و ریز بیوتیت که اصولاً جایگزین هورنبلندها شده‌اند (شکل ۳-۶-ت). پدیده سرسیتی و کلریتی شدن بیوتیت‌ها را می‌توان در برخی از مقاطع مشاهده کرد. بیوتیت ثانویه از لحاظ خصوصیات نوری نسبت به بیوتیت اولیه، چندرنگی کمتری دارد و نشان می‌دهد که نسبت Fe/Mg در طول این تبدیل کاهش می‌یابد. هورنبلند به دگرسانی پتاسیک بسیار حساس است و بنابراین توسط بیوتیت جایگزین می‌شود. حضور شکل‌های دروغین بیوتیت ثانویه به جای فنوکریست هورنبلند،

در پهنه پتاسیک پدیده‌ای معمول است. کوارتزهای هیدروترمال در این سنگ‌ها به شکل پراکنده، پرکننده‌ی حفرات و رگچه‌ای قابل مشاهده هستند. رگچه‌های کوارتز کانی‌زا و غیرکانی‌زا به مقدار متوسط تا زیاد در این سنگ‌ها دیده می‌شود. در بعضی مقاطع بیوتیت‌های ثانویه نیز به کلریت دگرسان شده‌اند که این امر به نوبه خود می‌تواند شاهده‌ی بر کاهش نسبت  $aK^+/aH^+$  در سیال باشد. اگر سیال گرمابی A را در تصویر (۳-۵) در نظر بگیریم، مشاهده می‌شود که با کاهش  $aK^+/aH^+$  بیوتیت ثانویه به کلریت تبدیل می‌شود. همراهی کلریت با ارتوز را می‌توان نتیجه کاهش  $aK^+/aH^+$  و  $aMg^{2+}/aH^+$  و قرار گرفتن ترکیب سیال گرمابی بر روی مرز حوزه‌های ارتوز و کلریت دانست. دگرسانی پتاسیک همراهی رگچه‌های کوارتز از نوع A و M را داراست.



شکل ۳-۵. ارتباط فازهای گرمابی پتاسیم فلدسپار- بیوتیت- کلریت در ۳۵۰ درجه سانتیگراد نقطه B ترکیب سیال گرمابی شامل کلریت و ارتوز است. نقل با تغییرات از (Bean & Tittley, 1981).



شکل ۳-۶. تصاویر نمونه دستی و میکروسکوپی مربوط به دگرسانی پتاسیک، همراه با نمایش انواع بیوتیت در سنگ-های منطقه. الف) تصویر مغزه‌ی داسیت پورفیری با ساخت داربستی، ب) حضور کانی‌های کوارتز و بیوتیت اولیه غنی از منیزیم در یک سنگ گرانودیوریتی. آهن آزاد شده صرف تشکیل مگنتیت در فضای خالی و شکستگی‌ها شده است (پ) XPL). A: نمایی از بیوتیت اولیه غنی از آهن (که در جهت موازی با رخ خود برش خورده). آهن شسته شده در امتداد شکستگی‌های آن سبب تشکیل کالکوپیریت و مگنتیت شده است و B: بیوتیت‌های آمیبی شکل و پراکنده (ت) XPL). A: نمایش برش عمود بر رخ در یک بیوتیت اولیه غنی از منیزیم، B: بیوتیت‌های آمیبی شکل و C: فلس-های کوچک و ریز بیوتیت که جایگزین هورنبلند شده و خود در حال تبدیل به سایر کانی‌های ثانویه می‌باشند (XPL).

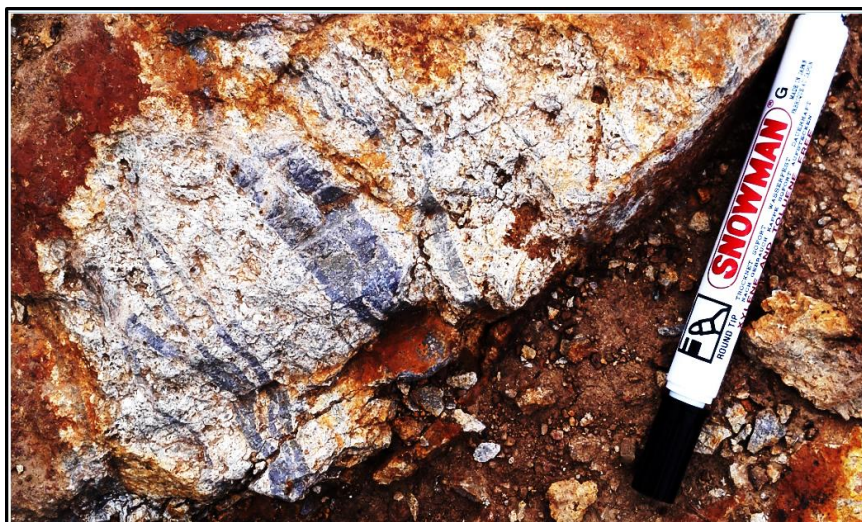
### ۳-۲-۲- دگرسانی کوارتز-سریسیتی (فیلیک)

این دگرسانی در کانسارهای مس پورفیری حاشیه‌ی قاره‌ای قابل مشاهده است و از لحاظ موقعیت قرارگیری بر روی زون پتاسیک و درون دگرسانی پروپیلیتیک قرار می‌گیرد. اما از لحاظ زمان تشکیل، بعد از دگرسانی‌های مذکور؛ یعنی در مراحل میانی و نهایی دگرسانی و کانه‌زایی تشکیل می‌شود (شکل ۳-۳). مجموعه‌ی دگرسانی مرحله‌ی تأخیری فیلیک شامل کوارتز-مسکویت-پیریت±کالکوپیریت می‌باشد (Cooke et al., 2014). زون دگرسانی فیلیک غالباً شامل شبکه‌ای از شکستگی‌های استوکورکی هستند (Sinclair, 2007) (شکل ۳-۷). در برخی موارد در این دگرسانی، کوارتز و سریسیت در اطراف

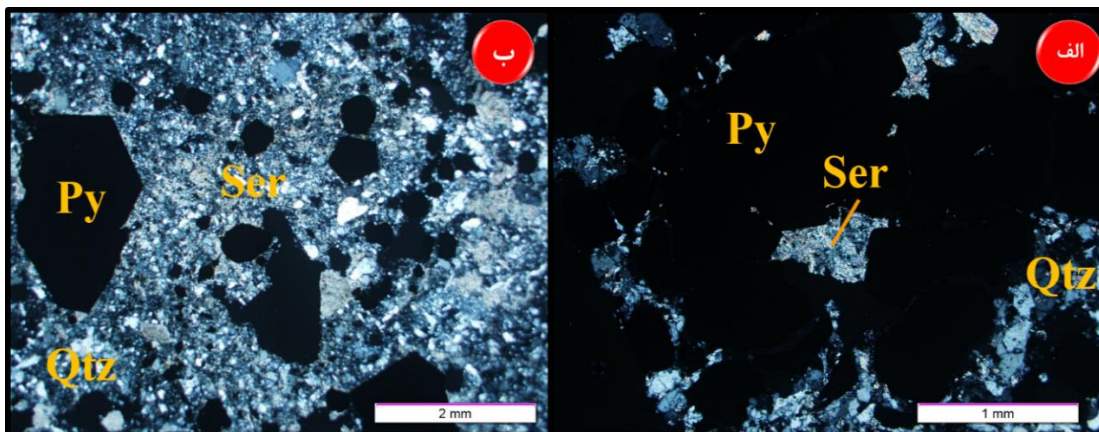
رگچه‌ها گسترش یافته و جانشین تمامی کانی‌های سیلیکاتی اولیه می‌گردند (شکل ۴-۱۶). پلاژیوکلازها به سریسیت تبدیل شده و کانی‌های مافیک (بیوتیت و آمفیبول) توسط کلریت جایگزین می‌شوند. کانی‌های سولفیدی هیپوژن در این زون علاوه بر پیریت، شامل کالکوپیریت می‌باشد. پس از رخداد دگرسانی پتاسیک، کاهش دما و  $aK^+/aH^+$  در سیال ماگمایی منجر به شکل‌گیری سریسیت بعنوان فاز سیلیکات پتاسیم غالب در مرحله‌ی دگرسانی فیلیک می‌شود. طی این واکنش‌ها، پلاژیوکلاز در pH اسیدی و تحت تأثیر متاسوماتیسم پتاسیم و هیدرولیز، به سریسیت تبدیل شده‌اند و کوارتز ثانویه نیز تشکیل شده که بعضاً بصورت کوارتز بلورین و به شکل پراکنده در متن سنگ و یا به حالت رگچه‌های میلیمتری در زمینه‌ی سنگ نهشته شده است. همچنین طبق این واکنش، مقداری یون سدیم از تبدیل آلبیت به سریسیت آزاد می‌شود که در صورت عدم تشکیل کانی سدیم‌دار جدید نظیر پاراگونیت، توسط سیالات دگرسان کننده، از محیط خارج می‌شود. آلکالی‌فلدسپارها نیز در pH اسیدی و در اثر هیدرولیز، به سریسیت تبدیل شده و سیلیس تولید می‌کنند و یون پتاسیم آزاد شده نیز می‌تواند صرف تبدیل پلاژیوکلازها به سریسیت شود. آثار سریسیتی شدن در کانی‌های فرومنیزین نیز قابل مشاهده است و لذا طی رخداد این دگرسانی، عناصر Ca, Na و Mg توسط سیالات دگرسان کننده از سنگ شسته و خارج می‌شوند.

در منطقه‌ی مورد مطالعه این دگرسانی که عمدتاً به صورت رخساره‌های نقطه‌ای و پچ-پچ می‌باشد، بر روی دگرسانی پتاسیک برنقش شده و درون دگرسانی آرژیلیک دیده می‌شود، که برخی از نقاط دارای وسعت بیشتر بر روی نقشه‌ی دگرسانی، در شکل (۳-۴) نمایش داده شده است. دگرسانی فیلیک در کانسارکوه‌پنج در مقایسه با سامانه‌های پورفیری مس از نقاط مختلف ایران و جهان مانند کانسارهای میدوک (تقی‌پور و همکاران، ۱۳۸۶) سرچشمه (Aftabi and Atapour, 2010)، چاه فیروزه (Einali et al., 2014)، سونگون (Calagari, 2003) و کانسارهایی مانند بات (Butt)، مونتانا (Parry et al., 2002)، ال‌سالوادور (El Salvador) شیلی (Gustafson and Hunt, 1975) و بینگهام (Bingham)، یوتا

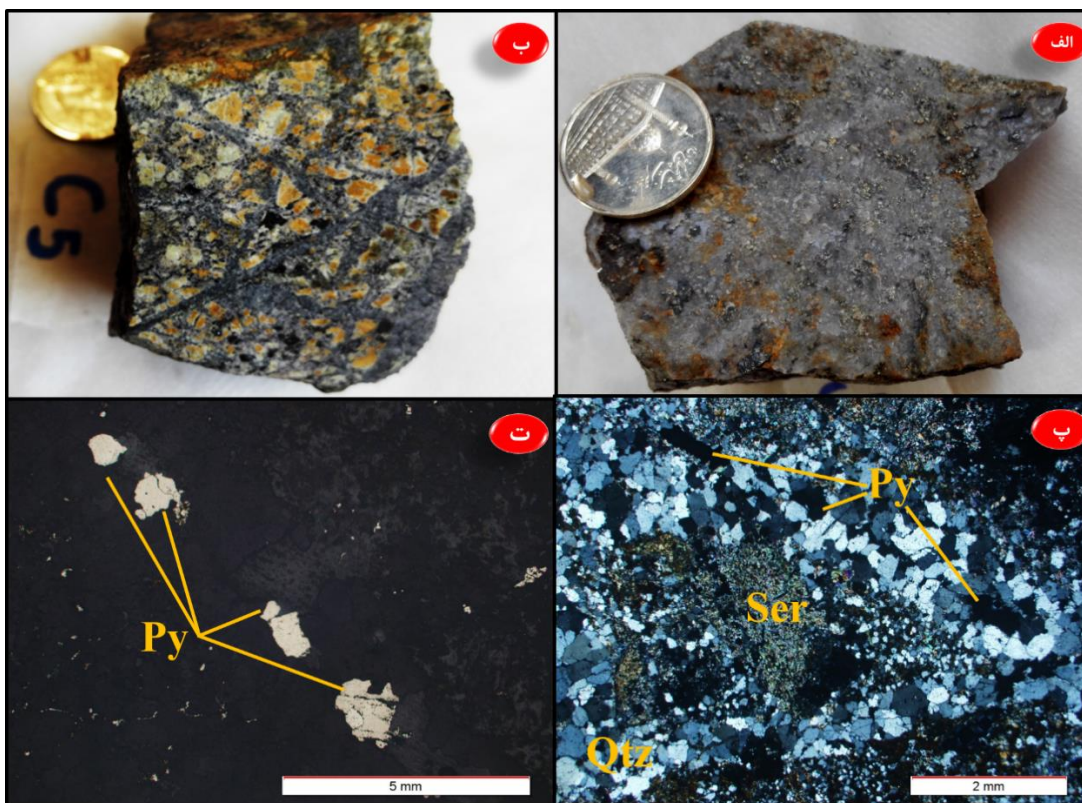
(Geiger et al., 2002) دارای گسترش کم تا متوسطی می‌باشد. در این دگرسانی، کانی‌های فلسیک و مافیک توده پورفیری کوه‌پنج، توسط سریسیت و تا حدی کلریت جایگزین شده است و در سطح همراه با دگرسانی آرژلیک در قسمت‌های مختلف کانسار دیده می‌شود. همانطور که قبلاً گفته شد، بیوتیت-های ریزبلور که در دگرسانی پتاسیک مشاهده می‌شوند در حال تبدیل شدن به کلریت هستند. سیلیس نیز به سنگ‌های حاوی این دگرسانی افزوده شده است و آهن آزاد شده از این واکنش‌ها برای تشکیل پیریت به مصرف رسیده است. در واقع پیریت مهمترین کانی سولفیدی این منطقه است که به صورت رگه‌ای (شکل ۳-۹-ت) و پراکنده (شکل ۳-۸) دیده می‌شود. علت اهمیت این زون قرارگیری بخشی از کانه‌زایی مس در این بخش است. در مناطقی که سیال حاوی مس بوده، کالکوپیریت نیز تشکیل شده است. کالکوسیت و به مقدار جزعی بورنیت، به صورت بخشی یا کامل جانشین کالکوپیریت و پیریت شده‌اند. علاوه بر کالکوسیت، کوولیت نیز در این منطقه جانشین کانی‌های سولفیدی اولیه شده است. شکل (۳-۸) تصاویر نمونه‌دستی و میکروسکوپی مربوط به سنگ‌هایی که تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند را به نمایش گذاشته است. کوارتزهای ثانویه هیدروترمال به صورت پراکنده و رگچه‌ای با اندازه‌های متفاوت در این سنگ‌ها مشاهده می‌شوند و گاه زون‌های دگرسانی سیلیسی-سریسیتی به وجود می‌آورند (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۷. تصویر صحرایی سنگی با ساخت استوک‌ورک که تحت تأثیر دگرسانی فیلیک قرار گرفته است.



شکل ۳-۸. تصاویر میکروسکوپی نمونه‌هایی که تحت تأثیر دگرسانی فیلیک قرار گرفته‌اند، هر دو تصاویر مربوط به نور عبوری و حضور کانی‌های شاخص زون فیلیک در این مقاطع می‌باشند (XPL).



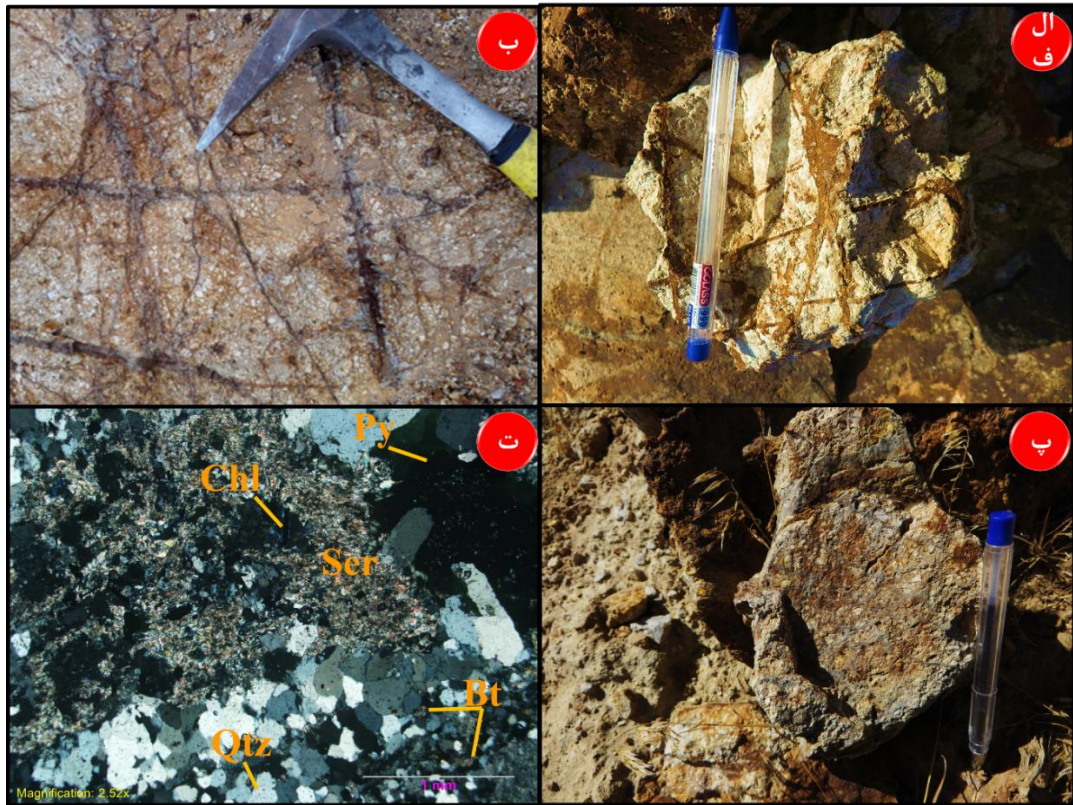
شکل ۳-۹. تصاویر نمونه دستی و مقاطع نازک مربوط به دگرسانی سیلیسی و سریسیتی که به صورت محلی در زون فیلیک مشاهده می‌شود. (الف) یک نمونه‌ی کاملاً سیلیسی دارای کانی‌سازی پراکنده که در آن کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت) و اکسیدی (هماتیت، گوتیت) به صورت ریزدانه در متن سنگ قرار گرفته‌اند. (ب) بافت داربستی که بعضاً حاوی کانی‌سازی مس در نمونه‌ی سنگ مربوط به زون فیلیک می‌باشند. (پ) نمایشی از کانی‌های رگه‌ای کوارتز و سریسیت (XPL) و (ت) نور انعکاسی.

### ۳-۲-۳- دگرسانی پتاسیک برنقش شده توسط دگرسانی فیلیک و آرژیلیک

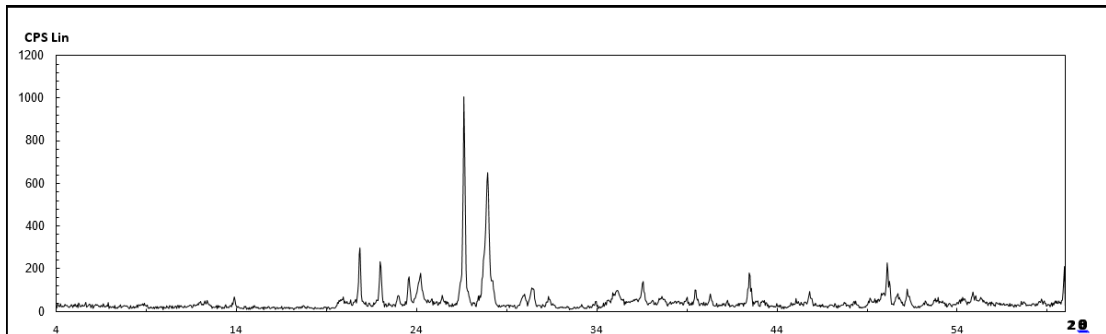
در بسیاری از سیستم‌های پورفیری پدیده رایج تغییر مجموعه کانی‌های دگرسانی اولیه با مراحل بعدی دگرسانی است. در این حال دگرسانی‌های تشکیل شده توسط محلول‌های ماگمائی (نظیر پتاسیک و پروپیلیتیک)، به وسیله‌ی محلول‌های با منشأ جوی مجدداً دگرسان می‌شوند. در منطقه کوه پنچ نیز بخش بزرگی از دگرسانی پتاسیک تحت تأثیر محلول‌های جوی مشمول دگرسانی سربیسیتیک و آرژیلیک شده‌اند. در این مجموعه رگچه‌های موجود متعلق به دگرسانی پتاسیک می‌باشند ولی مجموعه کانی‌های بیوتیت ثانویه و کانی‌های مافیک سربیسیتی شده‌اند. با کمی دقت در این بخش شواهد دگرسانی پتاسیک قابل مشاهده است (شکل ۳-۱۰) ولی مقدار اکسیدهای آهن دار و کوارتز افزایش یافته و سربیسیت جانشین کانی‌های مافیک گردیده است. بطور کلی هم در نتایج حاصل از پراش پرتوهای X و هم در مقاطع نازک، سیلیسی شدن هم در زمینه‌ی سنگ و هم به صورت رگه- رگچه‌های سیلیسی همراه یا فاقد کانی‌سازی، در منطقه بسیار رایج است (شکل ۳-۱۱ و ۳-۱۲).



شکل ۳-۱۰. تصویر صحرایی مربوط به گمانه‌ی ۶، دگرسانی پتاسیک توسط دگرسانی فیلیک که خود در برخی نقاط توسط آرژیلیک برنقش شده (دید به سمت غرب). این پدیده در مقاطع نازک و داده‌های حاصل از XRD مشهود است.



شکل ۳-۱۱. تصاویر صحرایی، نمونه دستی و میکروسکوپی (XPL)، مربوط به سنگ‌هایی که در آنها دگرسانی پتاسیک توسط دگرسانی فیلیک و آرژیلیک اورپرینت شده است.



Major Phase(s)	Minor Phase(s)	Trace Phase(s)
Albite (09-0466) $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	Muscovite-illite (26-0911) $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	-----
Quartz (33-1161) $\text{SiO}_2$	Kaolinite (29-1488) $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	-----
-----	Orthoclase (31-0966) $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	-----

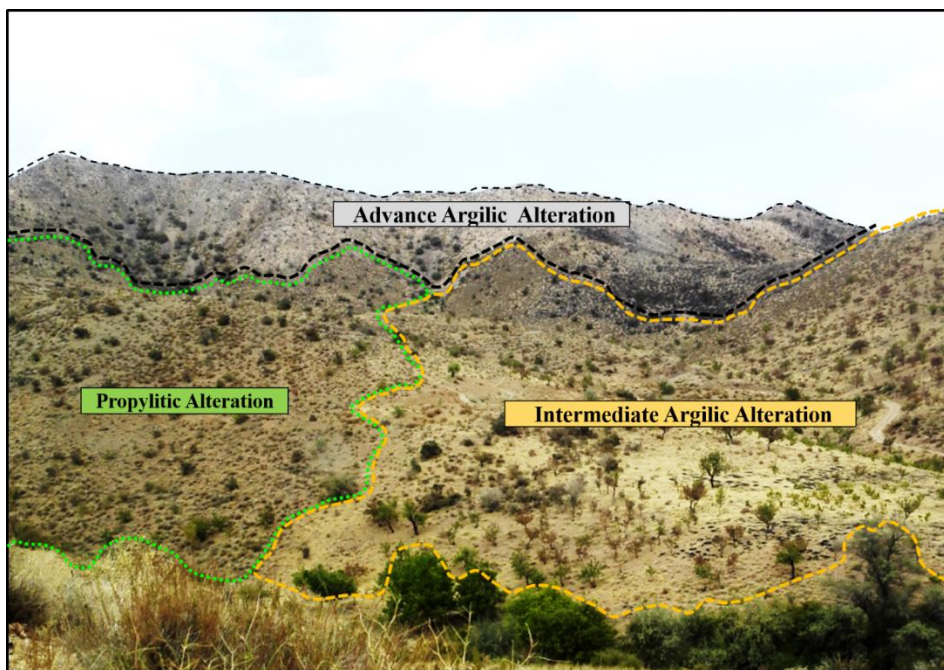
شکل ۳-۱۲. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده (بر پایه‌ی مطالعه‌ی مقاطع سنگ‌شناسی بخشی از کوارتز، آلبیت و ارتوکلازها مربوط به کانی‌های اولیه‌ی سنگ هستند).



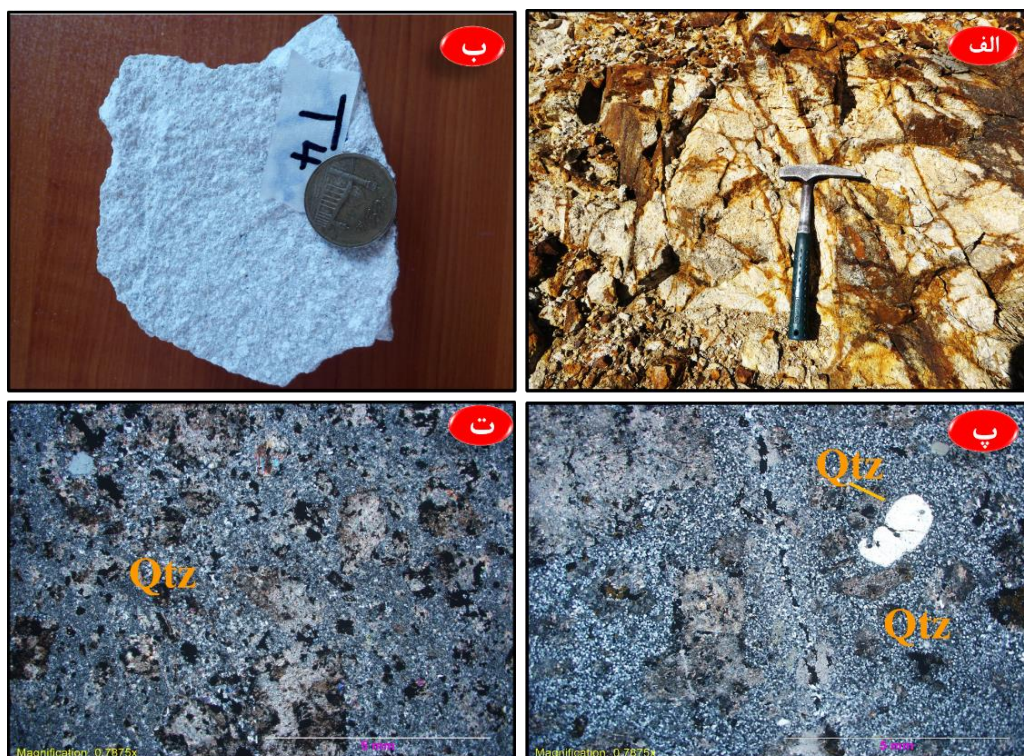
### ۳-۲-۴- دگرسانی آرژیلیک

تشکیل کانی رسی جدید در سنگ‌های سیلیکاته، دگرسانی رسی را مشخص می‌کند. شرایط اسیدی در تشکیل این دگرسانی مهم است و باعث فروروشست همه کاتیون‌های آلكالی تا تکمیل دگرسانی می‌گردد. کائولینیت و فازهای وابسته مانند دیکیت، هالوسیت، پیروفیلیت و مونتموریلونیت، مشخص کننده دگرسانی رسی هستند. گسترش کانی‌های رسی به تنهایی معرف فرآیند سوپرژن است. اگر مقادیر محدودی پتاسیم، کلسیم و منیزیم در سنگ برای تشکیل مونتموریلونیت، ایلیت، هیدرومیکا و کلریت همراه یا بدون کائولینیت باقی بماند، دگرسانی رسی حدواسط نامیده می‌شود. با حضور اسید حاصل از اکسیداسیون پیریت در طی دگرسانی رسی تشکیل دیکیت و در بعضی شرایط پیروفیلیت را می‌دهد. سولفید رایج با دگرسانی آرژیلیک پیریت است، اگرچه ممکن است کالکوپیریت به مقدار کمی نیز وجود داشته باشد. در این دگرسانی فلدسپات‌ها ابتدا به سریسیت و سپس به کائولینیت و آلونیت تبدیل می‌شوند. این دگرسانی در کنسارهای مس پورفیری از لحاظ مکانی بالای منطقه فیلیک قرار می‌گیرد و از لحاظ زمان تشکیل، همزمان با دگرسانی فیلیک و دیرتر از دگرسانی پتاسیک و پروپیلیتیک و تحت تأثیر آب‌های جوی تشکیل می‌شود.

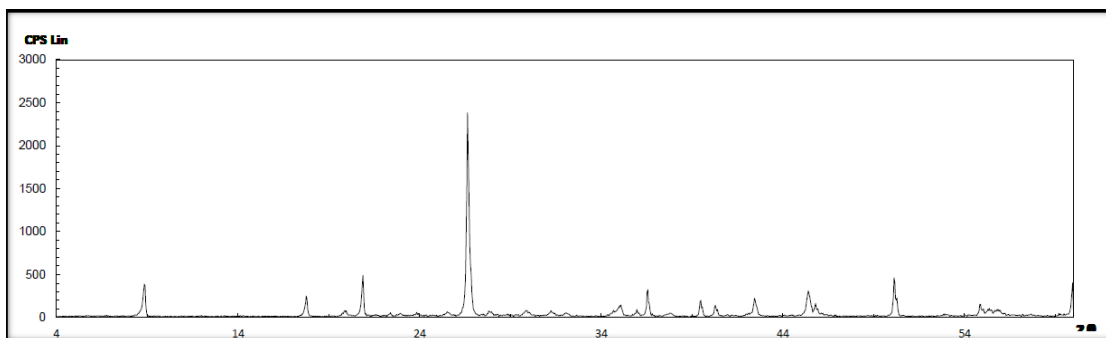
دگرسانی آرژیلیک در منطقه‌ی مورد مطالعه دارای رنگ ظاهری زرد روشن تا قهوه‌ای روشن (شکل ۳-۱۳) و با مجموعه کانی‌های رسی (ایلیت، کائولینیت، مونتموریلونیت)، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن همراه است. حضور فراوان این اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن سبب به وجود آمدن دگرسانی آرژیلیک همراه با مقادیر فراوانیاز آهن در برخی نقاط شده است (شکل ۳-۱۴-الف). همانطور که در شکل نیز مشخص است در کنار این دگرسانی در سنگ سیلیسی شدن و سریسیتی شدن نیز مشاهده می‌شود. فرایند تبدیل سریسیت به رس بطور کامل رخ نداده و هر دو این کانی‌ها به وفور در نمونه دستی و مقاطع نازک قابل مشاهده هستند (شکل ۳-۱۴-ب و ت). نتیجه‌ی حاصل از پراش پرتوهای X نیز این پدیده را تأیید می‌کند (شکل ۳-۱۵).



شکل ۳-۱۳. تصویر صحرایی نمایانگر دگرسانی‌های آرژیلیک حدواسط، پیشرفته و پروپیلیتیک با نگاه به سمت شمال شرق در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد.



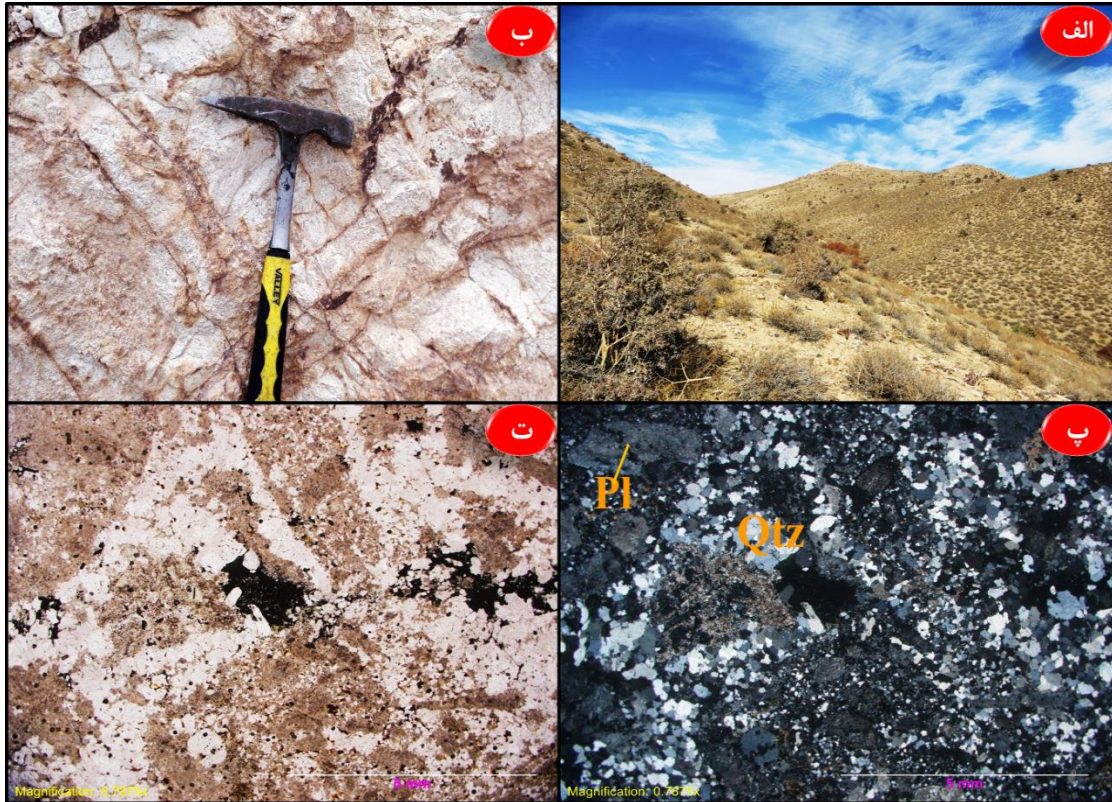
شکل ۳-۱۴. تصویر صحرایی مربوط به دگرسانی آرژیلیک (غنی از آهن) همراه با ساخت استوک‌ورک. (ب) تصویر نمونه دستی سنگی که تحت تأثیر دگرسانی آرژیلیک و سربستی قرار گرفته است و سربستیت در حال تبدیل به کانی-های رسی می‌باشد. (پ) و (ت) تصاویر میکروسکوپی (XPL) مربوط به نمونه‌ای که متحمل دگرسانی آرژیلیک شده‌اند.



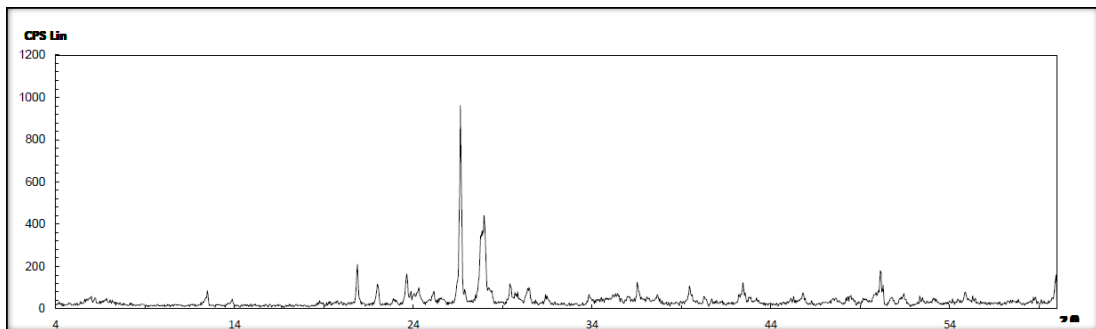
Major Phase(s)	Minor Phase(s)	Trace Phase(s)
Quartz (33-1161) SiO <sub>2</sub>	-----	-----
Muscovite-illite (26-0911) KAl <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	-----	-----

شکل ۳-۱۵. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده. همراهی مسکویت و ایلیت نشان می‌دهد که فرایند تبدیل سریسیت به رس به طور کامل رخ نداده است و همچنین سنگ تحت تأثیر سیال، سیلیسی شدن را نیز تجربه کرده است.

دگرسانی رسی حدواسط طبق نتایج حاصل از پراش پرتوهای ایکس و به ترتیب فراوانی با حضور کانی‌های آلبیت و کوارتز به صورت اجزای سنگ‌ساز و هم حاصل از دگرسانی؛ همچنین مونتموریونیت، کلریت، کلسیت و به مقدار کمتر ایلیت، مسکویت و هماتیت گزارش شده است (شکل ۳-۱۷). در زون آرژیلیک حدواسط شاهد حضور کم کانی‌سازی مس و در عوض فراوانی لیمونیت هستیم (شکل ۳-۱۶). لازم به ذکر است که دگرسانی آرژیلیک پیشرفته نیز در کانسار کوه‌پنج سایر دگرسانی‌ها را همراهی می‌کند ولی به دلیل واقع شدن در خارج از محدوده‌ی نقشه‌برداری شده از توصیف آن صرف نظر می‌گردد (شکل ۳-۱۳). به علاوه در زون آرژیلیک به طور محلی نمونه‌هایی حضور دارند که میزان سریسیت آنها از سایر کانی‌های دگرسانی بیشتر بوده ولی آثار حضور پیریت در آنها ناچیز است، لذا بعنوان دگرسانی سریسیتی در نقشه‌ی دگرسانی از آنها یاد شده است (شکل ۳-۴). به دلیل جزعی بودن این نوع دگرسانی از توصیف بیشتر آن چشم‌پوشی شده است.



شکل ۳-۱۶. الف) و ب) تصاویر صحرایی (در تصویر الف دید به سمت شمال می باشد) و پ) و ت) میکروسکوپی مربوط به دگرسانی آرژلیک حدواسط (پ: XPL) و (ت: PPL).

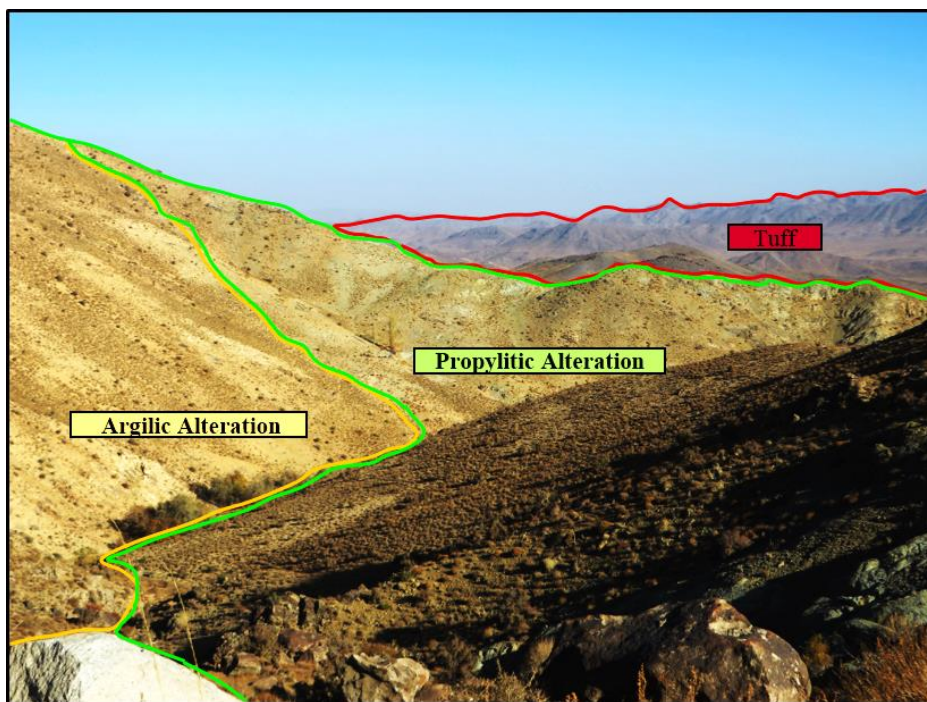


Major Phase(s)	Minor Phase(s)	Trace Phase(s)
Albite (09-0457) $(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$	Montmorillonite (13-135) $\text{Ca}_{0.2}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Muscovite-illite (26-0911) $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$
Quartz (33-1161) $\text{SiO}_2$	Chlorite (29-0701) $(\text{Mg,Fe})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	Hematite (33-0664) $\text{Fe}_2\text{O}_3$
-----	Calcite (05-0586) $\text{CaCO}_3$	-----

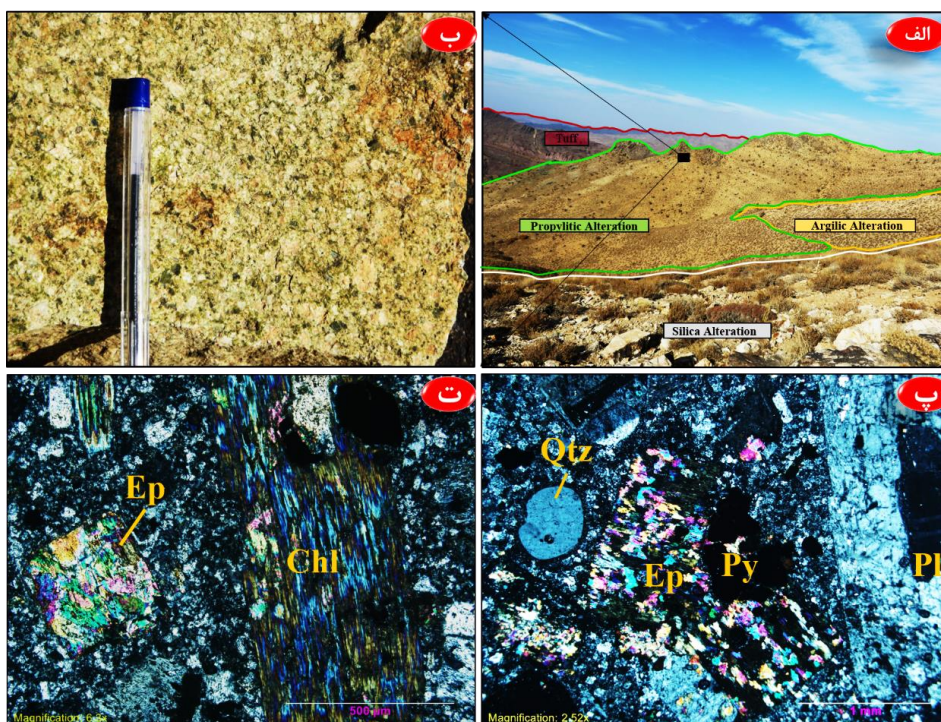
شکل ۳-۱۷. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده که بیانگر دگرسانی آرژلیک حدواسط می باشد.

### ۳-۲-۵- دگرسانی پروپلیتیک

این دگرسانی خارجی‌ترین هاله دگرسانی را در کانسارهای پورفیری تشکیل می‌دهد. محلول‌های ماگمایی یا گرمابی غنی از منیزیم، آهن، کلسیم، سدیم و یا بی‌کربنات در سنگ‌های آذرین موجب این دگرسانی می‌شوند. این زون، در کانسارهای پورفیری نوع مونزونیتی، فاقد ذخیره معدنی است اما در کانسارهای نوع دیوریتی که زون دگرسانی سریسیتی وجود ندارد، دارای ذخیره معدنی است (گیلبرت و پارک، ۱۹۸۷). کانی‌های تشکیل دهنده این دگرسانی شامل کلریت، کلسیت، اپیدوت و آل بیت است. پتاسیم توسط کلریتی شدن آزاد شده و وارد ساختمان کانی فرعی سریسیت می‌شود. آنورتیت تبدیل به اپیدوت و کلسیت می‌گردد و آل بیت پایدار می‌ماند و کانی‌های مافیک اولیه به کلریت تبدیل می‌شوند (شکل ۳-۱۹-پ و ت). این دگرسانی از لحاظ زمانی معمولاً با منطقه دگرسانی پتاسیک و تحت تأثیر آب‌های جوی-ماگمایی ایجاد می‌شود. این دگرسانی بخش وسیعی از حاشیه‌ی سیستم کوه‌پنج را تحت پوشش خود قرار می‌دهد (شکل ۳-۱۸ و ۳-۱۹-الف) و به راحتی دارای مرزبندی هوایی می‌باشد. دگرسانی مزبور بیشتر در داخل سنگ‌های آذرآواری و ولکانیکی منطقه مشاهده می‌شود و به صورت حلقه سبز رنگی در خارجی‌ترین قسمت کانسار قرار گرفته است. این دگرسانی گاهاً به طور محلی در برخی دایکها نیز رخ داده است (شکل ۳-۱۹-الف و ب) و منجر به تبدیل بیوتیت اولیه و ثانویه به کلریت شده است. دگرسانی پروپلیتیک بعضاً به صورت پراکنده در داخل دگرسانی آرژیلیک نیز مشاهده می‌شود (شکل ۳-۴).



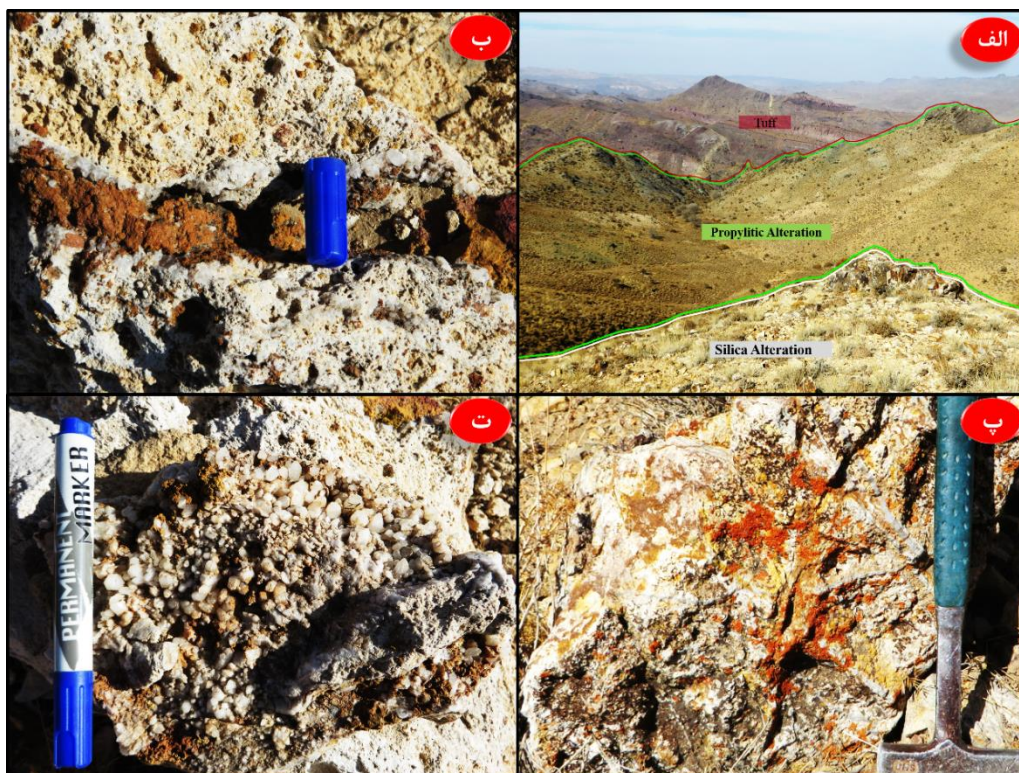
شکل ۳-۱۸. دورنمایی از دگرسانی‌های پروپیلیتیک و آرژیلیک به همراه توف‌های ائوسن با نگاه به سمت شرق منطقه.



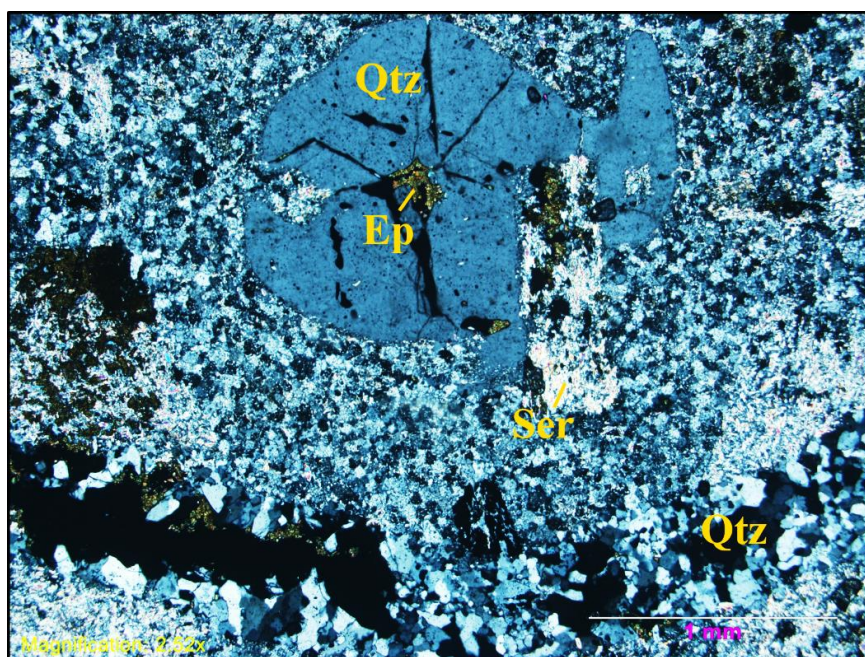
شکل ۳-۱۹. الف) تصویر صحرایی مربوط به بخش شمال شرقی منطقه که در آن انواع دگرسانی‌ها مشخص گردیده (مربع مشکی محل برداشت نمونه (ب) می‌باشد). ب) نمونه سنگی مربوط به دایک گرانودیوریتی که تحت تأثیر دگرسانی پروپیلیتیک قرار گرفته است. پ) و ت) تصاویر میکروسکوپی مربوط به کانی‌های شاخص زون پروپیلیتیک (کلریت و اپیدت) در سنگ داسیت پورفیری.

### ۳-۲-۶- دگرسانی سیلیسی

این دگرسانی که حاصل هجوم سیالات غنی از سیلیس است، به صورت رگه- رگچه‌های سیلیسی فراوان و مناطق سیلیسی شده در منطقه گسترش دارد. دگرسانی سیلیسی، ناشی از افزایش مقدار درصد کوارتز و یا اکسیدهای سیلیس در سنگ است؛ به عبارت دیگر سیلیسی شدن از دو راه صورت می‌گیرد: (۱) اضافه شدن  $\text{SiO}_2$  به سنگ، توسط محلول‌های ماگمایی یا گرمابی؛ (۲) بالا رفتن مقدار سیلیس به دلیل انحلال مواد دیگر سنگ. همانطوری که در شکل (۳-۲۱) و نتایج حاصل از پراش پرتوهای ایکس (شکل ۳-۲۲) مشخص است، کانی‌های فرومنیزیم و فلدسپارها نیز کاملاً با سیلیس جایگزین شده‌اند؛ به طوری که هیچ اثری از کانی اولیه باقی نمانده است. زون سیلیسی در بیشتر سنگ‌ها می‌تواند تشکیل شود. PH، کاهش فشار و حرارت عوامل مهم و مؤثر در ته‌نشینی سیلیس محلول هستند (گیلبرت و پارک، ۱۹۸۷). منطقه مورد مطالعه، این دگرسانی به دلیل مقاومت بیشتر در برابر فرسایش در ارتفاع بیشتری (۲۸۵۳ متر) نسبت به سایر دگرسانی‌ها قرار گرفته است. دیگر ارتفاعات مربوط به نفوذ دایک-های با ترکیب حدواسط تا اسیدی می‌باشد. در شکل (۳-۲۰) نمای کلی و تصاویر صحرایی مربوط به دگرسانی سیلیسی همراه با رگه‌های حاوی اکسید آهن و ژئودهای سیلیسی با ساخت استوک‌ورک به نمایش گذاشته شده است.

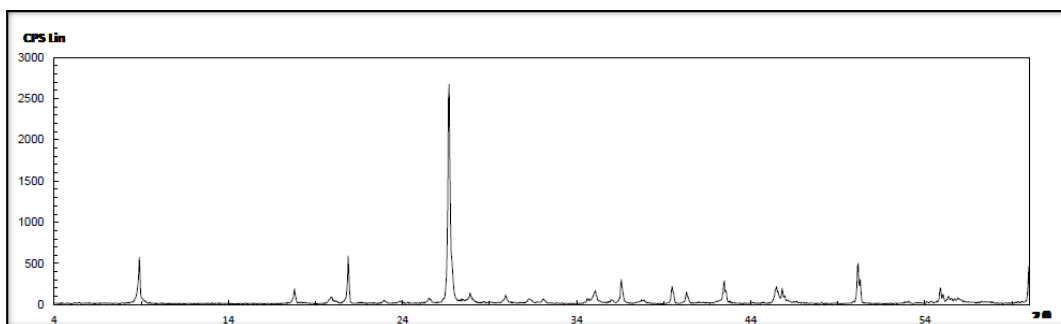


شکل ۳-۲۰. الف) نمایش دگرسانی سیلیسی و انواع دیگر دگرسانی‌های منطقه؛ دید به سمت شمال. ب) حضور رگه‌های سیلیسی همراه با آغشتگی ترکیبات آهن (گوتیت) و ژئودهای کوارتز به همراه اکسید آهن‌های دانه‌پراکنده. پ) ساخت استوکورکی در سنگ‌های منطقه و ت) کوارتزهای بلوری در امتداد یک رگه‌ی سیلیسی.



شکل ۳-۲۱. تصویر میکروسکوپی از نمونه‌ی داسیت پورفیری که تحت تأثیر نفوذ سیالات غنی از سیلیس و نیز انحلال و ته‌نشست کانی‌های سیلیکاته سنگ، دچار دگرسانی سیلیسی شده است.





Major Phase(s)	Minor Phase(s)	Trace Phase(s)
Quartz (33-1161) SiO <sub>2</sub>	Albite (09-0457) (Na,Ca)(Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	.....
Muscovite-illite (26-0911) KAl <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	.....	.....

شکل ۳-۲۲. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده که بیانگر دگرسانی سیلیسی می‌باشد.

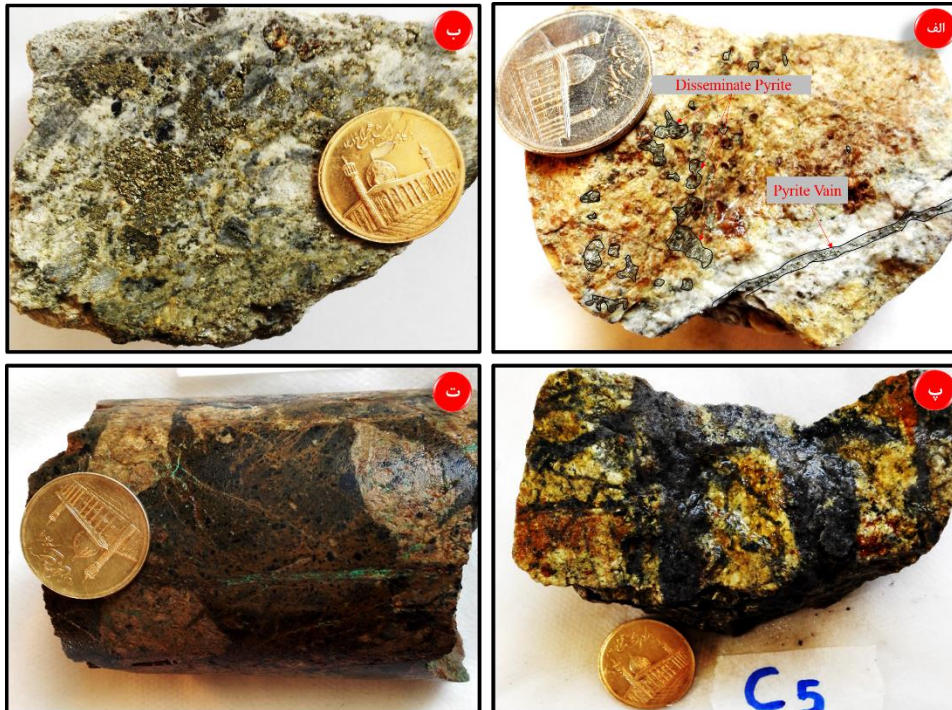
### ۳-۳-۳- کانه‌زایی

به طور کلی کانه‌زایی در منطقه‌ی کوه‌پنج را می‌توان به دو بخش درون‌زاد و برون‌زاد تقسیم کرد. عوامل مؤثر کانه‌زایی مس در منطقه‌ی مورد مطالعه عبارتند از: ۱- لیتولوژی سنگ‌های دربرگیرنده، ۲- کنترل-های ساختاری (گسل، درزه و شکاف)، ۳- محلول‌های گرمابی که در سنگ‌های با لیتولوژی مناسب جریان یافته و باعث تمرکز مس گردیده‌اند و ۴- حضور توده‌ی نفوذی داسیتی تا گرانودیوریتی در عمق به عنوان عامل حرارتی و منشاء سیالات ماگمایی.

#### ۳-۳-۱- کانه‌زایی مس درون‌زاد

منطقه کانی‌سازی اولیه یا ژرف‌زاد در نتیجه تأثیر سیالات ماگمایی- گرمابی کانه‌دار تشکیل می‌شود. کانی‌سازی هیپوژن یا درون‌زاد در توده‌ی پورفیری کوه‌پنج به صورت‌های مختلف نظیر پراکنده در متن سنگ و نیز رگه-رگچه‌ای، داربستی و به مقدار جزعی پرکننده‌ی فضا‌های خالی و گاه‌ها برشی رخ داده است (شکل ۳-۲۳). کانی‌های این زون به ترتیب فراوانی شامل پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، هماتیت، گالن، اسفالریت، به مقدار جزعی بورنیت و ندرتاً مولیبدنیت می‌باشند. کانه‌زایی اصلی به صورت سولفیدی

در منطقه مشاهده می‌شود. پیریت فراوانترین کانی سولفیدی اولیه است که به صورت پراکنده در متن سنگ (انتشاری) و رگچه‌ای و در برخی موارد به صورت برشی یافت می‌شود (شکل ۳-۲۳) و به عنوان اولین کانی فاز فلزایی درونزاد محسوب می‌شود. کالکوپیریت در مقاطع غالباً به صورت پراکنده و کمتر رگچه‌ای یافت می‌شود. این کانی در بیشتر سنگ‌های منطقه به صورت بی‌شکل تا نیمه شکلدار در اندازه‌های متفاوت به وضوح دیده می‌شود. کالکوپیریت در مطالعات پتروگرافی همراه با پیریت، مگنتیت و بورنیت دیده می‌شود. در برخی نقاط در مغزه‌های حفاری شاهد افزایش مقادیر سرب و روی در آنالیزهای شیمیایی هستیم که با حضور گالن و اسفالریت در مقاطع نازک صیقلی مربوط به این متراژ مطابقت دارد. این کانه‌ها نیز به صورت پرشدگی فضاهای خالی در متن سنگ قابل مشاهده هستند. کانی بورنیت در پاراژنز کانه‌زایی به مقدار خیلی کم مشاهده می‌شود. مولیبدنیت به مقدار جزئی تنها در یکی از مقاطع به صورت دانه ریز مشاهده شد. از جمله کانی‌های اکسیدی هیپوژن می‌توان به مگنتیت و به صورت جزئی هماتیت اشاره کرد. همانطور که گفته شد کانی مگنتیت بعنوان فاز اکسیدی اولیه به صورت منفرد در زمینه و یا رگچه‌ای، همراه با سولفیدها مشاهده می‌شود ولی اکثراً دانه پراکنده و در زمینه و به همراه مقادیر جزئی‌ای از هماتیت رؤیت می‌شود. به طور کلی می‌توان گفت بیشترین حجم کانی‌سازی سولفیدی مس بصورت پراکنده، رگچه‌ای و داربستی در زون‌های پتاسیک و تا حدودی فیلیک صورت گرفته است. نسل‌های مختلفی از رگه- رگچه‌های سیلیسی با ساخت داربستی در توده‌ی نفوذی (داسیت تا گرانودیوریت) مشاهده می‌شود. شکل (۳-۲۳) تصاویری از ساخت‌های زیر سطحی در منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۳. انواع ساخت‌های کان‌زایی در گمانه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه: الف) ساخت رگه‌ای و دانه‌پراکنده (پیریت)، ب) ساخته دانه پراکنده (پیریت)، پ) ساخت داربستی، و ت) ساخت برشی و رگچه‌ای (رگچه‌های مالاکیت).

### ۳-۲-۳-۳- کان‌زایی مس برونزاد

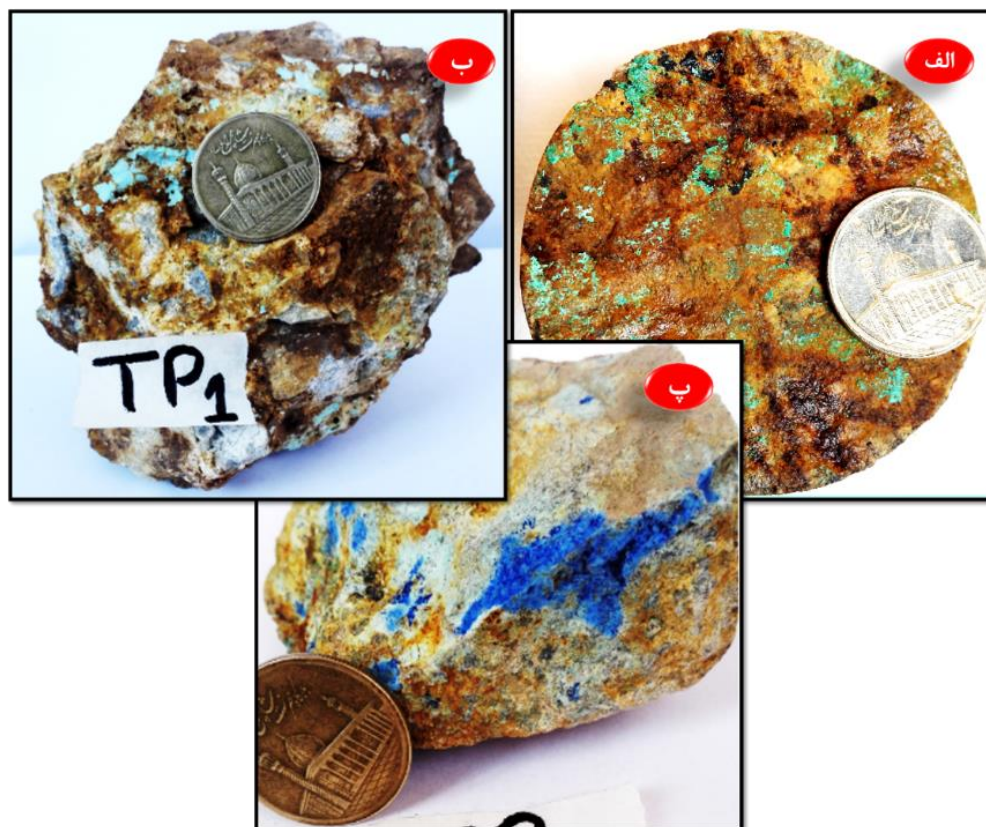
در کانسارهای مس پورفیری، کان‌زایی مس غنی‌شده‌ی سوپرژن هم حائز اهمیت است که کان‌زایی هیدروترمالی هیپوژن قبلی را می‌پوشاند. این بخش در نتیجه‌ی هوازدگی، فرایندهای سطحی و توسط محلول‌های فرورو ایجاد می‌شود. محلول‌های حاصل از اکسیداسیون پیریت در ایجاد غنی‌شدگی سوپرژن نقش مهمی دارند. عوامل کنترل‌کننده‌ی کان‌شناسی در منطقه‌ی سوپرژن، pH و Eh محلول‌های پایین‌رو و همچنین کان‌شناسی سنگ میزبان می‌باشد. پیریت در کانسارهای سولفوری به وفور یافت می‌شود، اکسیداسیون پیریت و سایر کان‌های سولفوری آهن، باعث برجای‌گذاری هیدروکسید آهن (گوتیت، لیمونیت و...) و تشکیل اسید سولفوریک می‌شود. لیمونیت نسبتاً غیر محلول می‌باشد و در رخنمون باقی می‌ماند. به دلیل شدت فرایند اکسیداسیون در منطقه‌ی مورد مطالعه، لیمونیت بصورت

رگچه‌ای و بلورهای نامنظم در سنگ‌های دگرسان گسترش دارد (شکل ۳-۲۰). علاوه بر لیمونیت می‌توان به حضور گوئیتیت و همتایت در این زون اشاره کرد. گوئیتیت با رنگ خاکستری متمایل به قرمز تا قهوه‌ای و لیمونیت به رنگ نارنجی تا زرد در اطراف رگه‌های کانه‌زایی درون سنگ میزبان داسیتی-گرانودیوریتی قابل مشاهده هستند. این کانی‌ها بیشتر بصورت دانه‌ریز، پراکنده و پرکننده فضای خالی یا بصورت رگچه‌های ثانویه اکسید و هیدروکسیدهای آهن مشاهده گردیده‌اند و محصول اکسیداسیون سولفیدهای مس هستند (شکل ۳-۲۰). عناصر مس و روی به واسطه حلالیتشان از قسمت‌های بالایی و اکسیده توده‌های سولفوری شسته شده و باعث تهی‌شدگی بخشی از توده‌ی معدنی که در بالای سفره‌ی آب زیر زمینی قرار دارد می‌شود. این بخش شسته شده تشکیل یک پوشش به نام کلاک آهنین یا گوسان را می‌دهد که مورد استفاده‌ی اکتشافی دارد (شکل ۳-۲۶). چنانچه کربنات در محیط مس پورفیری وجود داشته باشد، مس به صورت کربنات ته‌نشین می‌شود و تشکیل زون اکسیده را می‌دهد. در منطقه‌ی مورد مطالعه مالاکیت، گاهاً آزوریت و کریزوکولا به مقدار کم از جمله کانی‌های کربناته و سیلیکاته‌ی مس این زون هستند (شکل ۳-۲۵). مس اغلب در محلول‌های فرورو به حالت محلول باقی می‌ماند تا آنکه به شرایط احیایی برسد و یا وارد سفره‌های آب زیرزمینی بشود، که به نوبه خود باعث ته‌نشست مس و نیز جانشینی سولفورهای اولیه توسط سولفورهای ثانویه می‌گردد. زونی که در آن کانی‌های جدید به روش ذکر شده ایجاد می‌شوند به زون غنی‌سازی ثانویه سولفوری مرسوم است. در بالای سطح آب زیرزمینی کانی‌هایی از قبیل مالاکیت، آزوریت، بروکانتیت، همی‌مورفیت و در زیر سطح آب زیرزمینی سولفیدهایی چون کالکوسیت و کوولیت تشکیل می‌گردند. گسترش و ضخامت این زون به نسبت پیریت به کالکوپیریت در کانسنگ اولیه، توپوگرافی، شرایط آب و هوایی، جنس سنگ و... بستگی دارد. این زون در بالای زون هیپوژن قرار داشته و آن را می‌پوشاند. در منطقه‌ی مورد مطالعه این زون با حضور مقدار کمی کالکوسیت و کوولیت مشخص می‌شود.

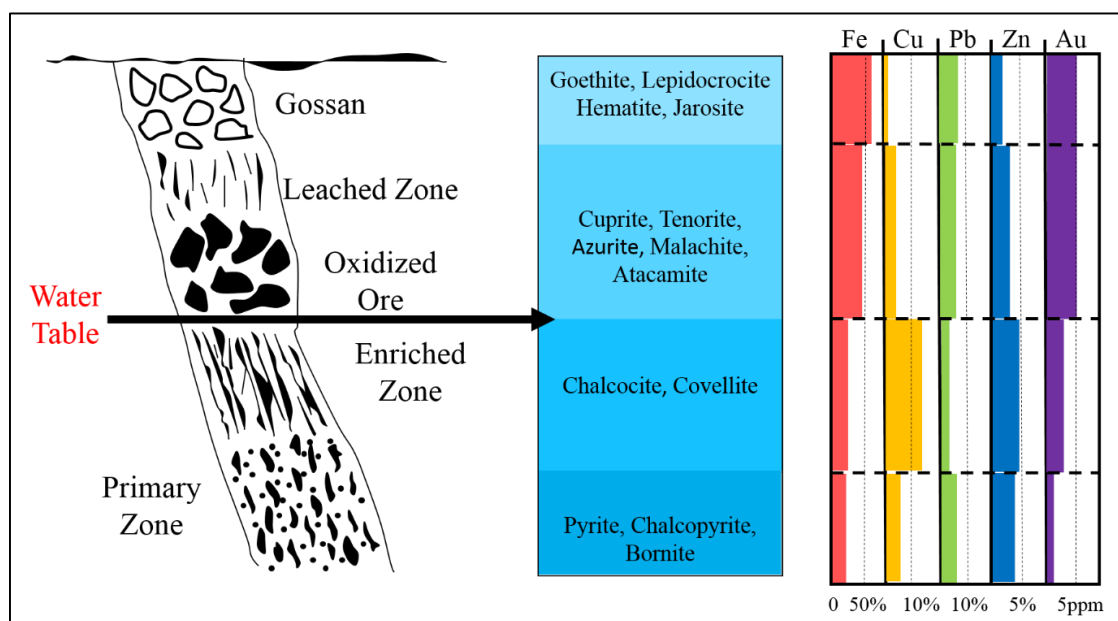
شکل (۳-۲۴) ساخت داربستی همراه با کانه‌زایی اکسیدی و کربناته در منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۴. تصاویر صحرایی از ساخت‌های همراه با کانه‌زایی در منطقه‌ی مورد مطالعه: الف) ساخت داربستی همراه با مالاکیت‌زایی و ب) ساخت داربستی در همراهی با اکسیدهای آهن.



شکل ۳-۲۵. حضور کانی‌های اکسیدی، کربناته و سیلیکاته مس در کانی‌سازی سوپرژن: الف) مالاکیت، لیمونیت و گوئتیت. ب) کریزوکولا و پ) آزوریت



شکل ۳-۲۶. مقطع شماتیک مربوط به زون‌های مختلف به همراه کانه‌ها و تغییرات عناصر فلزی در یک کانسار مس پورفیری (<http://www.geol-amu.org/notes/b3-3-7.htm>).

فصل چهارم

کافی‌شناسی، ساخت، بافت

و توالی پاراژنری

ارائه‌ی این فصل به منظور بررسی کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنزی کانسار مس کوه‌پنج می‌باشد. پس از توصیف کانه‌زایی‌ها در منطقه، مطالعه کانی‌شناسی و بررسی بافت و ساخت کانی‌ها و کانه‌ها، مورد توجه قرار گرفته است. این مطالعه مجموعه‌ای از داده‌ها و شواهد را به دست می‌دهد که می‌توان با توجه به آنها، به شرایط و نحوه تشکیل ماده معدنی پی برد. علاوه بر آن آگاهی در مورد اندازه بلورها و نحوه ارتباط کانه‌ها و کانی‌ها و چگونگی هم‌رشدی آنها، از مسایلی است که به فرآوری و کانه‌آرایی کانسار کمک می‌کند. بطور کلی می‌توان گفت، بافت مجموعه‌ی کانیایی، شامل سه ویژگی هندسی مهم کانی‌ها، یعنی اندازه، شکل و آرایش متقابل آنهاست (Misra, 1999). اطلاعات به‌دست آمده از مطالعات سیستماتیک بافت کانه، علاوه بر کمک به تفسیر ژنز کانسار، برای تعیین اقتصادی بودن کانسار نیز مفید است. کانه‌نگاری کانسار با توجه به نمونه‌برداری معدنی از گمانه‌های حفاری کوه‌پنج انجام شده است. برای انجام نمونه‌گیری از مغزه‌های حفاری برای مطالعات کانی‌شناسی ابتدا تغییرات عیار مس و عناصر همراه در امتداد دو گمانه‌ی اکتشافی بررسی گردید و از اعماق مناسب برای نمونه‌گیری انتخاب گردید. در این راستا تعداد ۲۲ مقطع نازک صیقلی و ۳ عدد مقطع صیقلی تهیه و مطالعه شده است. با تشخیص کانه‌های موجود، ساخت و بافت آنها و کشف روابط بین آنها، از نظر تقدم و تأخر تشکیل، تلاش شده است به گوشه‌ای از شرایط تشکیل آنها پی برده شود.

(علائم اختصاری کانه‌ها در این فصل: P: پیریت، Ccp: کالکوپیریت، Cv: کولیت، Gn: گالن، Sp: اسفالریت، Mag: مگنتیت، Cc: کالکوسیت، Bn: بورنیت (Siivola & Schmid, 2007)).

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

از جمله کانی‌های سولفیدی در منطقه می‌توان به حضور پیریت، کالکوپیریت و کمتر کالکوسیت، کولیت، گالن، اسفالریت، بورنیت و ندرتاً مولیبدنیت اشاره کرد. هر یک از این کانی‌ها به اشکال مختلف،

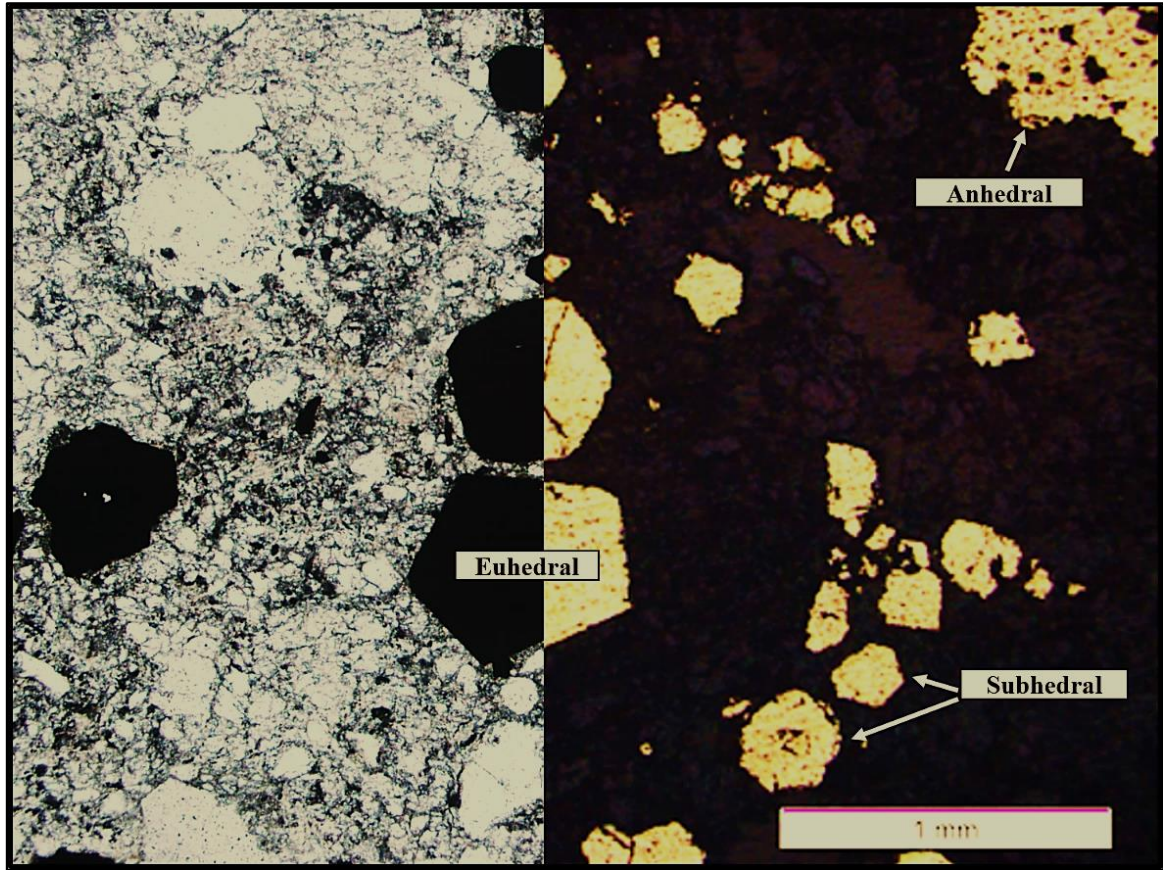


طی یک توالی خاص و بافت و ساخت متنوع در کنار یکدیگر در کانسار واقع شده‌اند که در ادامه به تفصیل در مورد آنها بحث شده است.

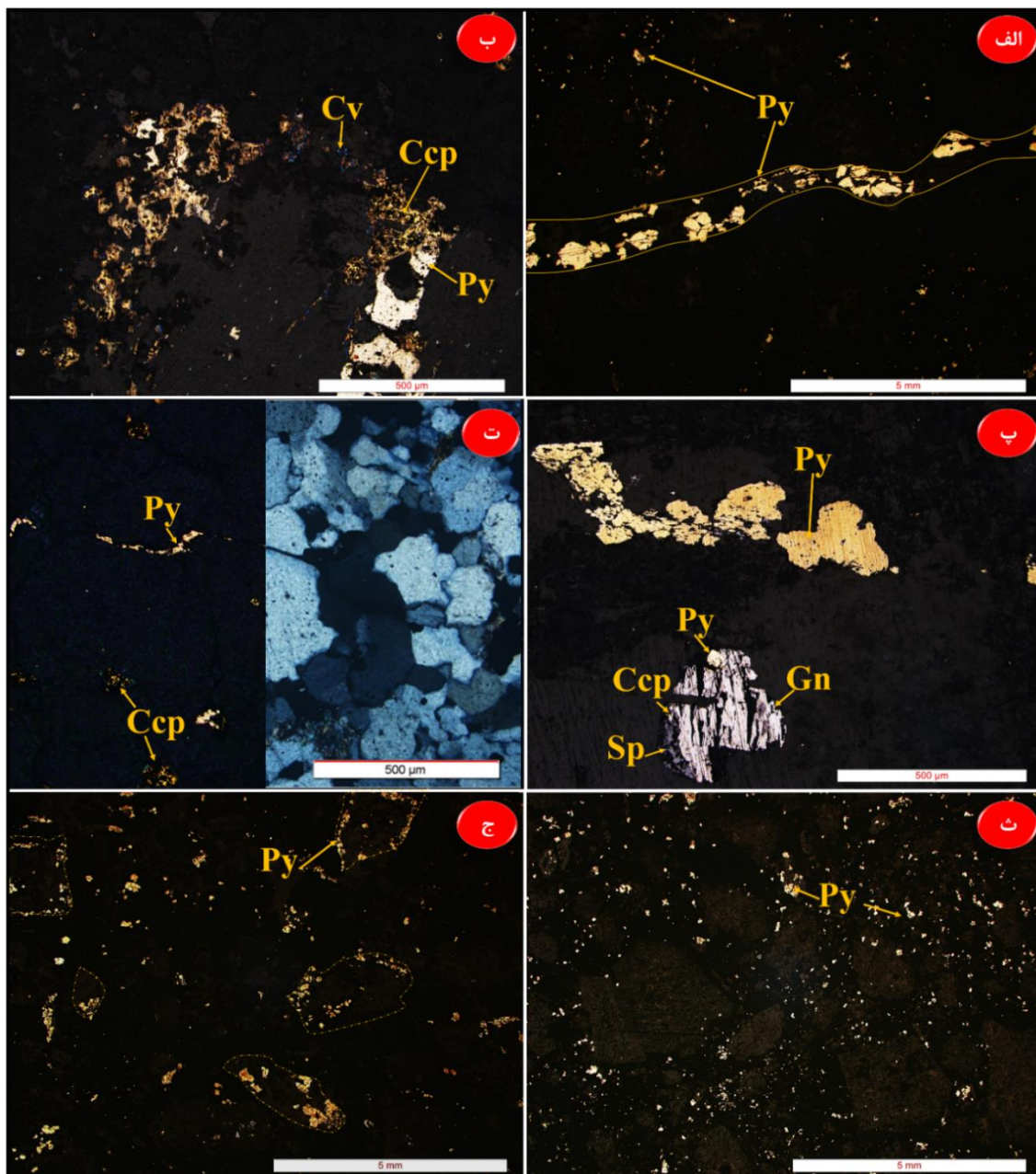
#### ۴-۲-۱- پیریت ( $\text{FeS}_2$ )

پیریت به طور معمول توسط سختی بالا، رنگ زرد متمایل به سفید، و انیزوتروپی ضعیف شناخته می‌شود. در کانسار کوه‌پنچ پیریت فراوانترین کانی سولفیدی اولیه است که به صورت پراکنده در متن سنگ (انتشاری) و جانشینی در حاشیه‌ی کانی‌های فرومنیزیم، رگچه‌ای و در برخی موارد به صورت برشی و پرکننده‌ی فضای خالی یافت می‌شود و به عنوان اولین کانی فاز فلزایی درونزاد محسوب می‌شود. حضور این کانی از بلورهای کاملاً بی‌شکل تا تمام شکل‌دار و در اندازه‌های متفاوت در مقاطع میکروسکوپی مشهود است (شکل ۴-۱). انواع اشکال حضور پیریت در سنگ‌های منطقه به شرح زیر است:

- ❖ دانه پراکنده در متن سنگ و بین درشت بلورها (شکل ۴-۲-ث). این پیریت‌ها گاهاً هم‌رشد و همیافت با گالن، اسفالریت و کالکوپیریت می‌باشند (شکل ۴-۲-پ).
- ❖ همراه با رگه‌های مگنتیت-کالکوپیریت (رگه‌ی نوع  $A_1$ ) (شکل ۴-۷-پ).
- ❖ رگه‌های پیریتی (رگه نوع D) (شکل ۴-۲-الف).
- ❖ پیریت‌های تشکیل شده در حاشیه‌ی درشت بلورهای فرو منیزیم (بافت جانشینی). این درشت بلورها تحت تأثیر نفوذ سیال قرار گرفته، آهن آنها شسته و در حاشیه‌ی کانی ته‌نشین شده‌اند و با همراهی گوگرد همراه با سیال، پیریت تشکیل می‌شود (شکل ۴-۲-ج).
- ❖ پرکننده‌ی فضای خالی همراه با اسفرولیت‌های کوارتز و یا کوارتزهای متبلور (شکل ۴-۱۵-ت).



شکل ۴-۱. نمایش حضور اشکال مختلف کانی پیریت در زیر میکروسکوپ. پیریت به صورت تمام شکل (Euhedral)، نیمه‌شکلدار (Subhedral) و بی‌شکل (Anhedral) روی تصویر مشخص می‌باشد (سمت راست نور انعکاسی و سمت چپ نور عبوری (PPL)).



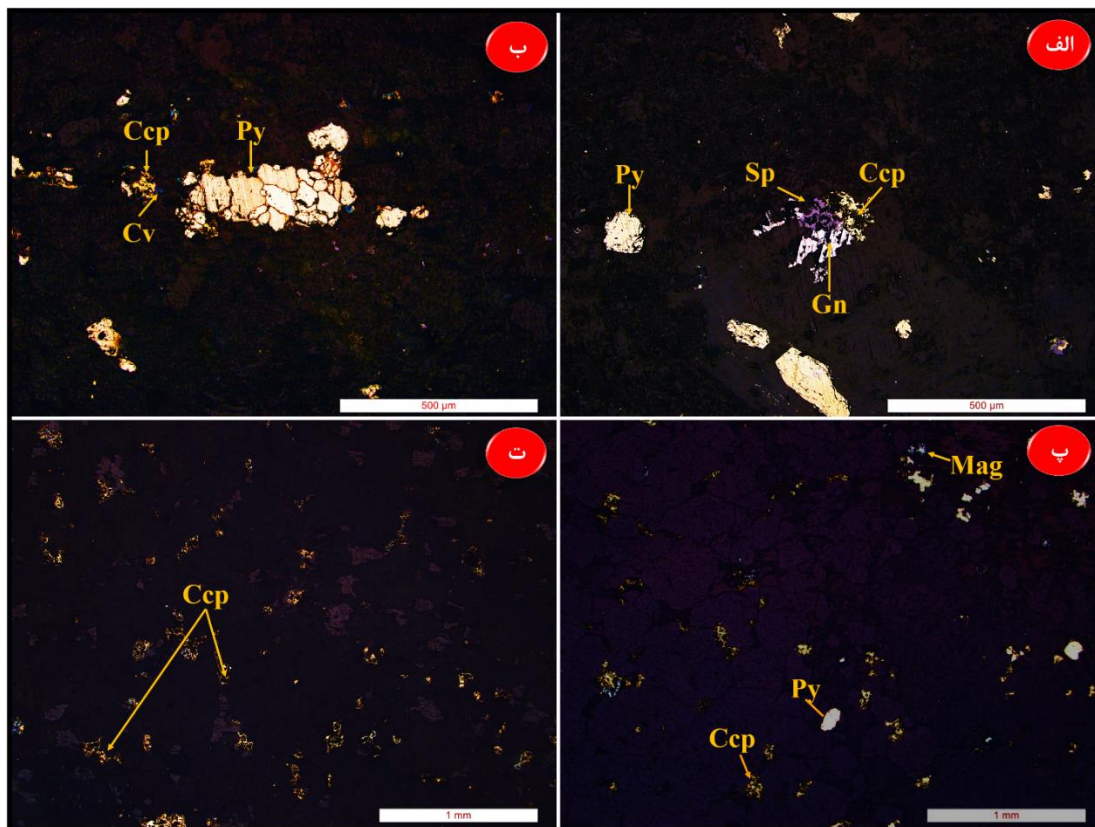
شکل ۴-۲. انواع اشکال حضور پیریت در مقاطع نازک صیقلی. الف) پیریت رگه‌ای و دانه‌پراکنده. ب) هم‌رشدی پیریت و کالکوپیریت (پ) همراهی پیریت با گالن، اسفالریت و مقدار جزعی کالکوپیریت به صورت پرشدگی فضای خالی درشت‌بلورها. ت) رگه‌ی سیلیسی دارای پیریت و کالکوپیریت (تصویر سمت راست مربوط به نور عبوری (XPL) و سمت چپ مربوط به نور انعکاسی می‌باشد). ث) حضور پیریت به صورت بین‌دانه‌ای و پراکنده در زمینه‌ی سنگ. ج) پیریت‌های تشکیل شده در حاشیه‌ی کانی‌های درشت بلور آهن-منیزیم‌دار.

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

پس از پیریت، فراوان ترین کانی سولفیدی در مقاطع مورد مطالعه، کالکوپیریت است که به رنگ زرد برنجی و به صورت بلورهای بی شکل همراه با دگرسانی فیلیک و پتاسیک مشاهده می شود. از جمله بافت های این کانی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ❖ کالکوپیریت های دانه پراکنده، همراه و هم رشد با گالن و اسفالریت (شکل ۴-۳-الف)
- ❖ کالکوپیریت افشان در متن سنگ در همراهی با بیوتیت های افشان گرمابی که در جریان دگرسانی پتاسیک و یا فیلیک ایجاد شده اند (شکل ۴-۳-ت).
- ❖ کالکوپیریت های همراه با رگ های مگنتیت، کوارتز گرانولار و پیریت (رگه نوع  $A_1$ )، (شکل ۴-۷-پ)
- ❖ کالکوپیریت های رگچه ای، همراه با کوارتزهای گرانولار، پیریت و مگنتیت (رگه نوع  $A_2$ )، (شکل ۴-۳-پ)

این کانی گاهاً شکستگی های پیریت را پر می کند که نشان دهنده ی تشکیل آن بعد از پیریت می باشد (شکل ۴-۳-ب). در بعضی از مقاطع کالکوپیریت تحت تأثیر فرایند سوپرژن به کالکوسیت و کوولیت تبدیل شده است؛ به این صورت که اغلب در حاشیه ی کانی کالکوپیریت، می توان کالکوسیت و کوولیت جایگزین شده را مشاهده کرد. در رخنمون سطحی کانسار، کالکوپیریت ها در اثر هوازدگی تبدیل به اکسیدهای آهن و به ویژه گوتیت شده است. این کانی معمولاً با پیریت مشاهده می شود و گاهی بلور پیریت را احاطه کرده است. گاهی دگرسانی تقریباً تمام کالکوپیریت را فرا گرفته و فقط تکه های کوچکی از آن باقی مانده است. همانطور که قبلاً گفته شد اکسید شدن کالکوپیریت در نزدیکی سطح سبب تشکیل کانی هایی نظیر: گوتیت، لیمونیت و به ندرت هماتیت می شود. مس آزاد شده از این کانی ها نیز صرف تولید کانی هایی نظیر کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و آزوریت می شود.

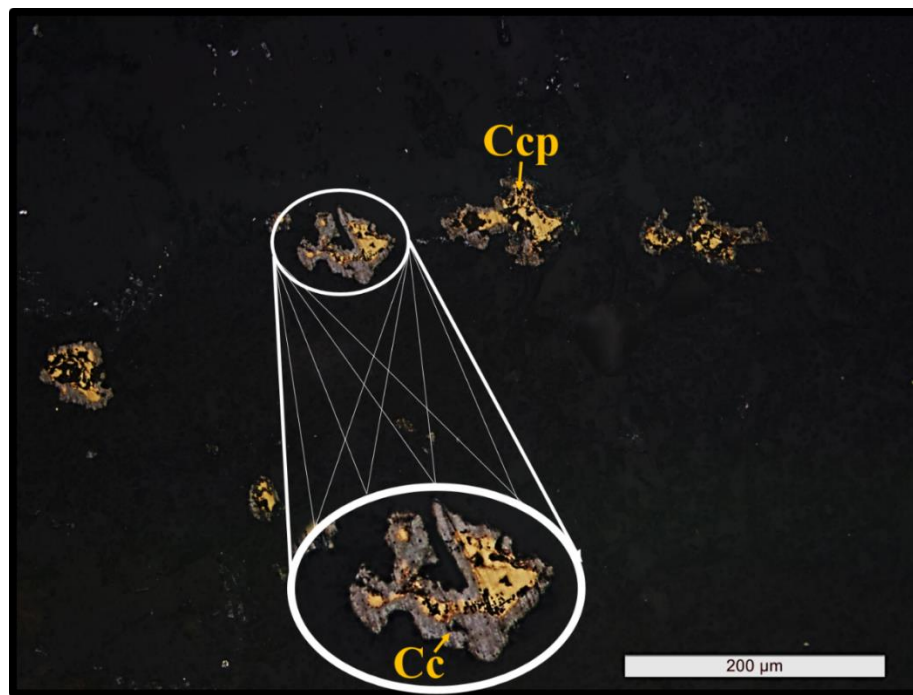


شکل ۳-۴. نمایش مقاطع نازک صیقلی مربوط کانی کالکوپیریت: الف) همراهی و هم‌رشدی کالکوپیریت، پیریت، گالن و اسفالریت، ب) شکستگی‌های پیریت توسط کانی کالکوپیریت پر شده است، پ) رگه‌ی حاوی کوارتز بلورین به همراه کانه‌های پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت (رگه‌ی نوع A<sub>2</sub>، و ت) کالکوپیریت دارای بافت افشان (دانه‌پراکنده) در متن سنگ.

#### ۳-۲-۴ - کالکوسیت (CuS<sub>2</sub>)

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 به‌عنوان 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. در کانسار کوه‌پنج نیز این کانی به همراه کولیت و کمتر بورنیت به‌صورت سولفید ثانویه حاصل از تبدیل کالکوپیریت و در

حاشیه‌ی این کانی رخ داده است (شکل ۴-۴). فراوانی آن کم و اندازه‌ی دانه‌های آن کوچک است. کالکوسیت تنها در چند مقطع قابل مشاهده می‌باشد و در نمونه‌های سطحی دیده نمی‌شود. حضور این کانی هم در حاشیه‌ی کالکوپیریت‌های زمینه و هم در حاشیه‌ی انواع رگه‌ای این کانی قابل مشاهده است.

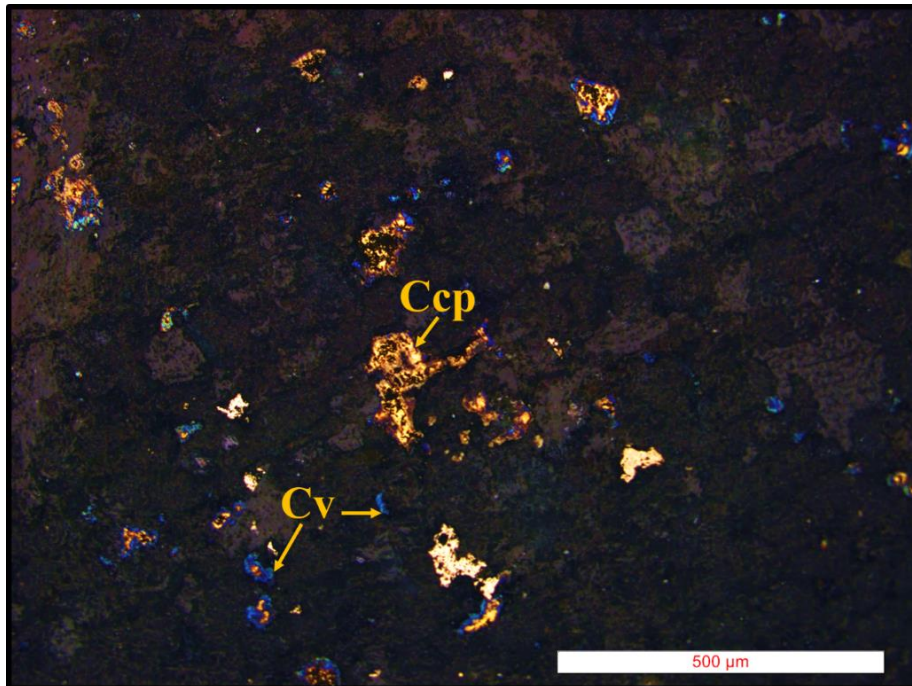


شکل ۴-۴. تصویری از نمونه‌ای از کالکوسیت‌های تشکیل شده در حاشیه‌ی کالکوپیریت طی فرایند سوپرژن.

#### ۴-۲-۴- کوولیت (CuS)

این کانی با چندرنگی قوی و انیزوتروپی بالا به رنگ آبی و با فراوانی کم در کنسارهای مس پورفیری دیده می‌شود و محصول اکسایش کالکوپیریت است. در این کنسارها و در زون سوپرژن، کوولیت دارای شرایط تشکیل مشابه با کالکوسیت است و معمولاً به صورت جانشینی سولفیدهای هیپوژن رخ می‌دهد. در کوه‌پنج نیز این کانی به‌عنوان محصول ثانویه، حاصل از دگرسانی کالکوپیریت و در حاشیه‌ی این

کانی ایجاد می‌شود. طبق مطالعات مقاطع نازک فراوانی آن به نسبت کم و دانه ریز می‌باشد و در برخی موارد دانه‌های ریز کالکوپیریت به صورت کامل توسط کوولیت جانشین شده‌اند (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵. نمایشی از تشکیل کوولیت در حاشیه‌ی کالکوپیریت، به صورت پراکنده و دانه ریز.

#### ۴-۲-۵- گالن (PbS)

در مقاطع مورد مطالعه گالن به رنگ سفید روشن، بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و همیافت با اسفالریت، کالکوپیریت و پیریت می‌باشد (شکل ۴-۲-پ و ۴-۳-الف). فراوانی این کانی در مقاطع کم و در داخل فضاهای شسته شده درشت بلورهای کانی‌هایی دیده می‌شود که به دلیل دگرسانی شدید قابل تشخیص نیستند.

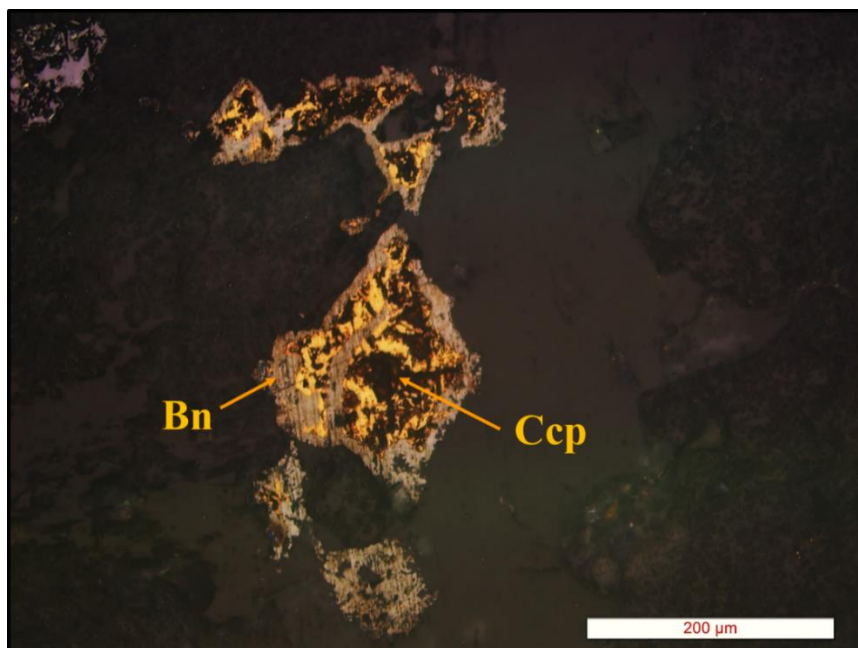
#### ۴-۲-۶- اسفالریت (ZnS)

فراوانی این کانی در دو گمانه‌ی مربوط به کوه پنچ کم و تنها در چند مقطع مشاهده شده است. اسفالریت بصورت هم‌رشد با کالکوپیریت، پیریت و گالن مشاهده می‌شود (شکل ۴-۲-۴ پ و ۴-۳-۴ الف). این کانی با رنگ خاکستری و انعکاس داخلی نارنجی قابل تشخیص است.

#### ۴-۲-۷- 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 کوه پنچ بورنیت حاصل جانشینی کالکوپیریت می‌باشد که به مقدار جزعی در برخی مقاطع مشاهده شده است. 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 ۴-۶).





شکل ۴-۶. تصویر میکروسکوپی نور انعکاسی مربوط به نمونه‌ای از بورنیت تشکیل شده در حاشیه‌ی کالکوپیریت.

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

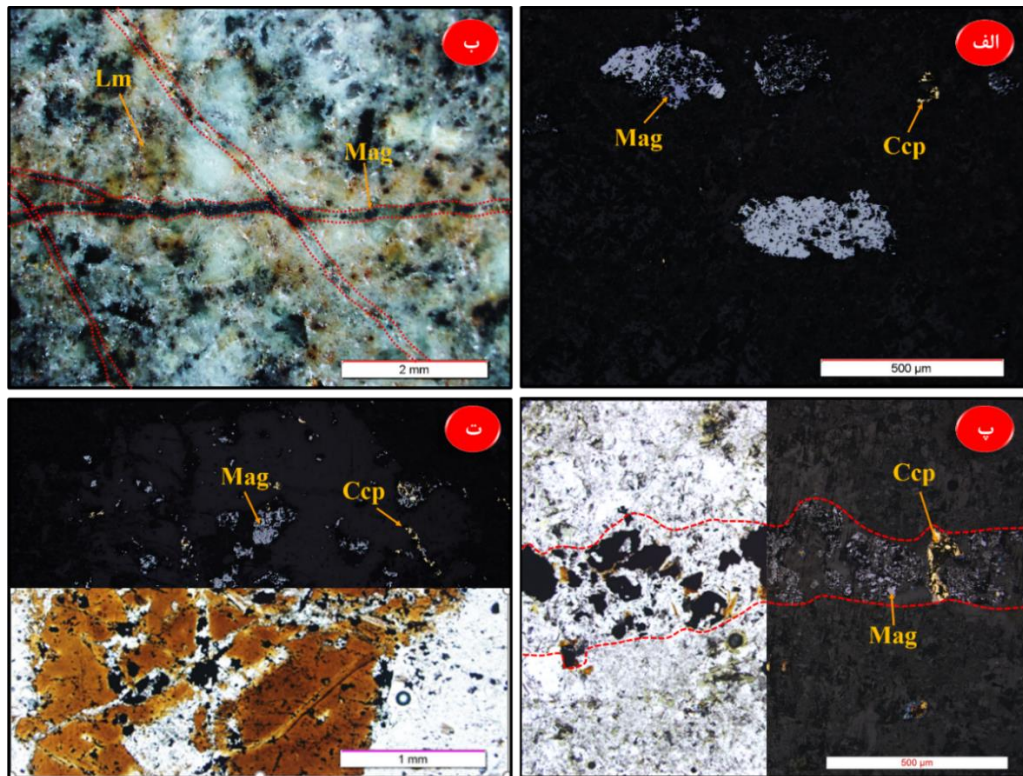
از جمله کانی‌های اکسیدی منطقه می‌توان به مگنتیت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت اشاره کرد که در ادامه به بررسی ویژگی‌های هر کدام از آنها پرداخته شده است.

#### ۴-۳-۱- مگنتیت ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

این کانی، فراوانترین کانی اکسیدی است که به صورت بی‌شکل و در اندازه‌های مختلف در کانسار حضور دارد و در اکثر مقاطع گزارش شده است (شکل ۴-۷). اشکال مختلف حضور این کانی در مقاطع به صورت زیر می‌باشد:

- ❖ جانشینی در داخل کانی‌های فرومنیزیم و افشان در متن سنگ (شکل ۴-۷- الف و ت).
- ❖ به صورت رگچه‌های مگنتیتی (رگه نوع M)، (شکل ۴-۱۹).
- ❖ رگچه‌های کوارتز، مگنتیت±کالکوپیریت±کلریت (رگچه نوع  $A_1$ )، (شکل ۴-۷- پ).
- ❖ همراه با رگچه‌های کالکوپیریت و پیریت (رگچه نوع  $A_2$ )، (شکل ۴-۳- پ)

در سطح کانسار شاهد آثاری از رگچه‌های مگنتیت هستیم که ساخت رگه‌رگچه‌ای را به نمایش گذاشته-  
اند (شکل ۴-۷-ب). در برخی موارد نیز مگنتیت به هماتیت تبدیل شده و سبب ایجاد بافت مارتیتی  
شده است.



شکل ۴-۷-الف) مگنتیت به صورت دانه پراکنده در متن سنگ ( نور انعکاسی). ب) تصویر ساب‌میکروسکوپی از مگنتیت و سولفیدهای رگه‌ای که تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند. پ) تصاویر نور انعکاسی و عبوری مربوط به رگچه‌ی مگنتیت-کالکوپیریت ( رگه‌ی نوع  $A_1$  ) و بیوتیت در این رگه. ت) تصاویر نور انعکاسی و عبوری مربوط به مگنتیت و به مقدار جزعی کالکوپیریت تشکیل شده حاصل از شست و شوی آهن و جانشینی این کانی‌ها در امتداد شکستگی‌های کانی بیوتیت.

#### ۴-۳-۲- هماتیت ( $Fe_2O_3$ )

این کانی اکسیدی آهن نیز به نسبت در نمونه‌ها فراوان مشاهده می‌شود. در برخی موارد، رنگ انعکاس داخلی قرمز خونی آن به وضوح قابل تشخیص است. از جمله بافت‌های این کانی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

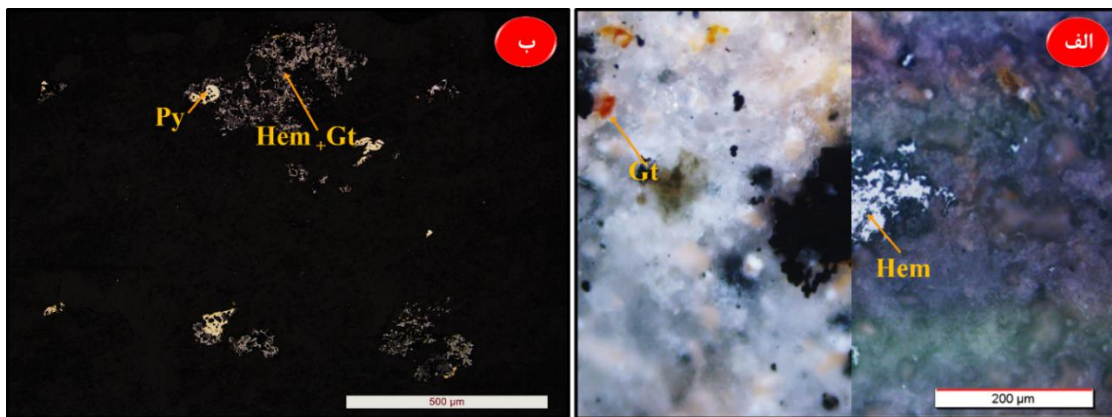
❖ بافت دانه پراکنده (شکل ۴-۸-الف).

❖ بافت جانشینی (تبدیل مگنتیت به هماتیت طی مارتیتی شدن و نیز تبدیل پیریت به هماتیت و

گوتیت) (شکل ۴-۸-ب).

❖ بافت اسکلتی (شکل ۴-۸-ب).

گاهی هماتیت در رگه‌های مگنتیتی به‌عنوان کانی ثانویه، حاصل از دگرسانی مگنتیت نیز به چشم می‌خورد. این کانی از سمت حاشیه یا مرز شکستگی بلورها، جانشین سولفیدها می‌شود. در اثر انحلال و اکسیداسیون سطحی کانی‌های سولفیدی، یون گوگرد از محیط خارج شده و هیدروکسیدهای آهن باقی می‌مانند. در برخی نمونه‌های سطحی و مغزه‌های حفاری اولیژیست نیز مشاهده شده است (شکل ۴-۹). اولیژیست‌ها منشأ درونزاد دارند و در سیستم‌های پورفیری پس از مگنتیت، پیریت و کالکوپیریت، طی فازهای گرمایی تأخیری شکل می‌گیرند.



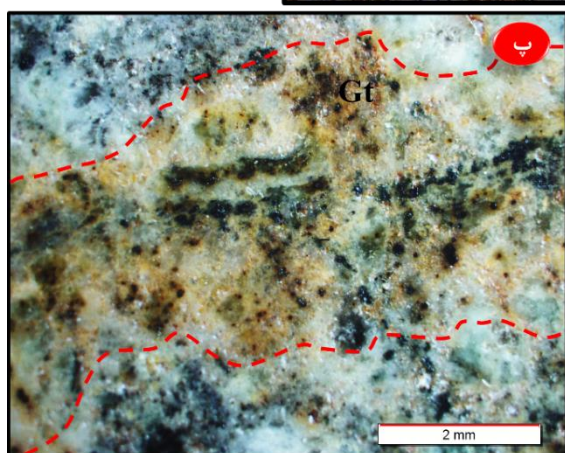
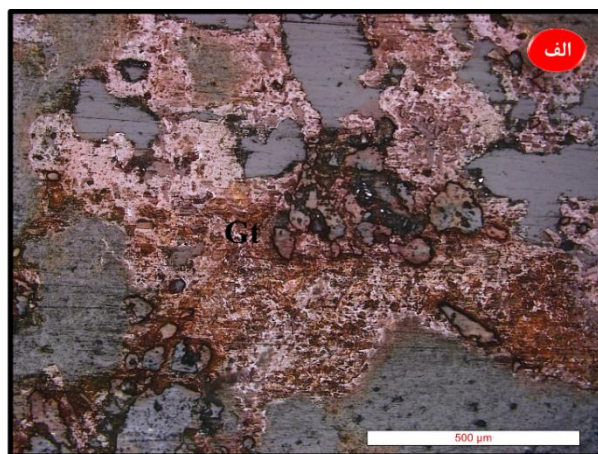
شکل ۴-۸. الف) تصویر ساب‌میکروسکوپی از کانی هماتیت به همراه گوتیت به صورت دانه پراکنده و ب) پیریت در حال تبدیل به هماتیت و گوتیت می‌باشند (بافت جانشینی و اسکلتی).



شکل ۴-۹. تصویر نمونه‌ی مغزه‌ی حاوی کانی اولیژیست.

#### ۴-۳-۳- گوتیت ( $\text{FeOOH}$ )

همانطور که قبلاً ذکر شد، انواع اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در منطقه‌ی مورد مطالعه دیده می‌شوند که حاصل از هوازدگی سولفیدها در بخش اکسیدان هستند. گوتیت نیز همچون سایر اعضای این گروه در حاشیه‌ی کانی‌های سولفیدی نظیر پیریت، کالکوپیریت و به صورت بی‌شکل یافت می‌شود و بافت جانشینی را ایجاد می‌کند (شکل ۴-۱۱). این کانی در زون‌های اکسیده در داخل و اطراف برخی از رگچه‌های آهن‌دار نیز یافت می‌شود (شکل ۴-۱۰).

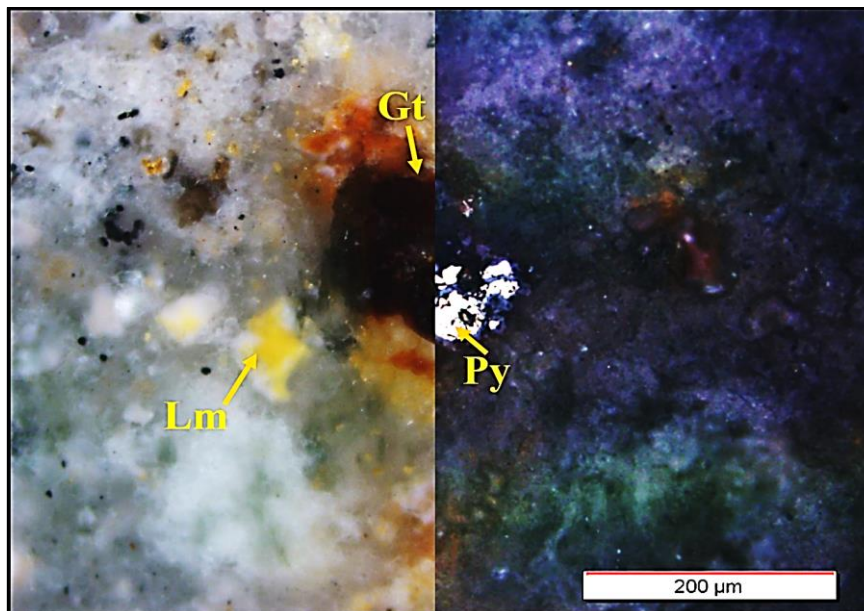


شکل ۴-۱۰. الف) تصویر میکروسکوپی نور انعکاسی با حضور کانی گوئیت با رگه - رگچه‌های متعدد و گوئیت‌زایی درون این رگه‌ها حاصل از جانشینی کانی‌های درونزاد. پ) تصویر ساب‌میکروسکوپی از تشکیل گوئیت در اطراف رگه‌های آهن‌دار در زون اکسیده.

#### ۴-۳-۴ - لیمونیت ( $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ )

سنگ‌های قهوه‌ای تیره، زرد و خرمایی مایل به قرمز حاصل از خاکه‌ی کانی‌ها در منطقه عمدتاً حکایت از کانی‌های کالکوپیریت و کالکوسیت می‌نماید. مقدار لیمونیت در سطوح به‌صورت غشای سطحی بسیار بیشتر از لیمونیت در متن توده سنگ پورفیری است. این نوع لیمونیت‌ها نیز عمدتاً به‌رنگ قرمز آجری دیده می‌شوند. این امر بر این نکته دلالت دارد که سولفیدهای مس قبل از اکسیدشدن بسیار فراوانتر از مقدار پیریت بوده است. وجود لیمونیت حکایت از اکسیدشدن و لیچینگ کانی‌های کالکوپیریت، برنیت و پیریت است. در برخی نقاط نظیر شکل (۴-۱۱) کانی‌های سولفیدی هنوز به‌طور کامل به اکسیدها و

هیدروکسیدهای آهن تبدیل نشده‌اند لذا بافت جانشینی و باقیمانده در این موارد، در مقاطع مشهود است. شدت اکسیداسیون نشان دهنده‌ی وضعیت مرطوب زمان اکسید شدن نسبت به حال حاضر است.



شکل ۴-۱۱. تصویر میکروسکوپی و ساب‌میکروسکوپی (نور انعکاسی) مربوط به کانی پیریت که تحت تأثیر هوازدگی در حال تبدیل به گوتیت و هماتیت می‌باشد را به نمایش می‌گذارد (بافت جانشینی و باقیمانده).

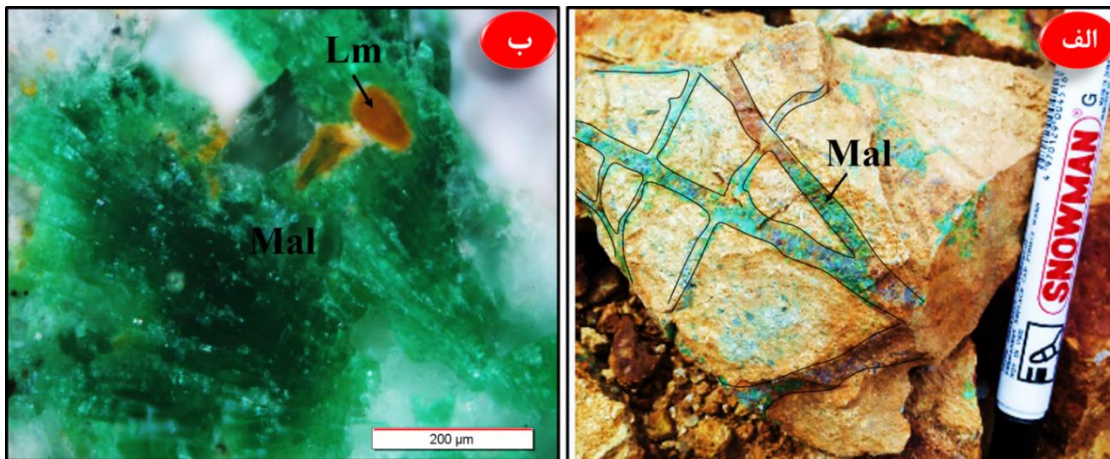
#### ۴-۴- کانی‌های کربناته در منطقه مورد مطالعه

از جمله کانی‌های فاز کربناته می‌توان به مالاکیت و آزوریت اشاره نمود که در 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. ادامه به بررسی هر یک از آنها پرداخته شده است.

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

مالاکیت یک کانی کربناته آبدار مس است که در بخش‌های اکسیده کانسار و نواحی سوپرژن همراه با آزوریت یافت می‌شود و در اثر خنثی سازی محلول‌های اسیدی فرورو و حاوی مس ناشی از اکسیداسیون سولفیدهای مس در هنگام برخورد با توده‌ی کربناته حاصل می‌شود. مالاکیت کانی اصلی کربناته در

منطقه می‌باشد و حضور متوسطی را در سطح و مترائهای اولیه‌ی گمانه‌های حفاری به خود اختصاص داده است، که این به نوبه‌ی خود نشان‌دهنده‌ی شرایط نسبتاً مناسب آبهوایی در زمان اکسید شدن نسبت به حال حاضر است. این کانی در اثر دگرسانی سایر کانه‌های مس‌دار در داخل رگه‌ها و همچنین به صورت پراکنده در سنگ ایجاد شده است (شکل ۴-۱۲).



شکل ۴-۱۲. الف) تصویر نمونه‌ی صحرایی مربوط به حضور مالاکیت در برخی رگه‌های رخنمون یافته در سطح. ب) تصویر ساب‌میکروسکوپی مربوط به مالاکیت‌های پراکنده در متن سنگ‌های منطقه.

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

آزوریت نیز یکی دیگر از کانه‌های کربناته مس در منطقه می‌باشد ولی مقادیر آن نسبت به مالاکیت بسیار ناچیز است. این کانی تنها به صورت محلی در برخی بخش‌های مرکزی سیستم رؤیت شد.



شکل ۴-۱۳. تصویر نمونه دستی مربوط به آزوریت (آبی) و لیمونیت (نارنجی تا زرد).

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

کریزوکولا تنها سیلیکات مس در منطقه و حاصل فرایندهای ثانویه می‌باشد و همچون آزوریت بصورت بسیار کم در منطقه حضور دارد (شکل ۴-۱۴).



شکل ۴-۱۴. نمونه دستی مربوط به کانی‌های زون سوپرژن: کریزوکولا (فیروزه‌ای)، گوئتیت (قرمز آجری) و لیمونیت (زرد و نارنجی).



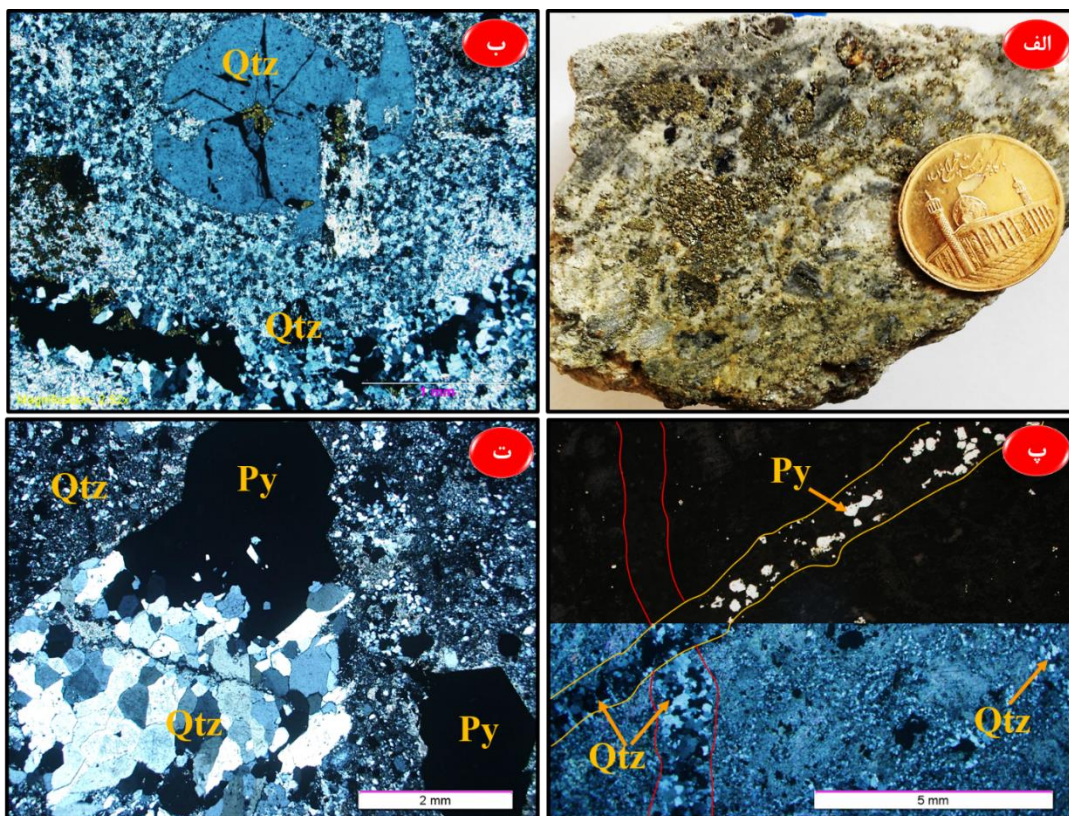
#### ۴-۶- کانی های باطله

از جمله کانی‌های اصلی باطله در منطقه‌ی مورد مطالعه، می‌توان به کوارتز، کانی‌های رسی، فلدسپار، کلریت، بیوتیت و سرسیت اشاره کرد. در ادامه مختصراً به توضیح نحوه‌ی حضور و توزیع برخی از این کانی‌ها پرداخته شده است.

#### ۴-۶-۱- کوارتز

این کانی فراوانترین جزء در باطله‌های منطقه محسوب می‌شود. علاوه بر انواع ماگمایی این کانی که بصورت درشت‌بلور در سنگ‌های گرانودیوریتی و داسیتی حضور دارد؛ انواع گرمایی این کانی در اشکال و بافت‌های متنوع در منطقه مشهود است. از جمله بافت‌های کوارتز در این ناحیه به ترتیب تقدم تشکیل می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ❖ نخست کوارتزهای دانه‌پراکنده که توسط سیال در متن سنگ گسترش یافته‌اند (سیلیسی‌فاید شدن زمینه)، (شکل ۴-۱۵- الف و ب).
- ❖ دوم کوارتز رگه‌ای که هم به صورت رگه‌های نابارور و هم رگه‌های حاوی سولفید بصورت متبلور و یا بی‌شکل در سنگ‌های منطقه نفوذ کرده‌اند (ساخت و بافت رگه‌ای)، (شکل ۴-۱۵- پ).
- ❖ سوم کوارتز بصورت پرکننده‌ی فضای بین قطعات برش و نیز پرکننده‌ی فضای خالی که به همراه سولفیدهایی نظیر پیریت و کالکوپیریت حفرات سنگ را پر کرده‌اند (ساخت و بافت پرکننده‌ی فضای خالی و برش‌ها)، (شکل ۴-۱۵- ت).



شکل ۴-۱۵. الف) تصویر نمونه دستی از کوارتز پراکنده به همراه کانی‌های سولفیدی (پیریت). ب) تصویر میکروسکوپی مربوط به مقطع نازک نمونه‌ی داسیتی که در آن درشت بلورهای اولیه‌ی کوارتز خلیجی همراه با زمینه‌ای از سنگ که سیلیسی شده است، را به نمایش می‌گذارد. در مرحله‌ی بعد رگه‌ی سیلیسی که آنها را قطع می‌کند. پ) تصویر میکروسکوپی (نور عبوری و انعکاسی) از ساختار داربستی از رگه‌های کوارتز سولفیددار، نابارور و همچنین سیلیسی-شده‌ی زمینه را به نمایش می‌گذارد. ت) نمایشی از کوارتزهای پرکننده‌ی حفرات و زمینه‌ی سیلیسی شده‌ی سنگ.

#### ۴-۶-۲- کانی‌های رسی

این کانی‌ها با فراوانی متوسط تا زیاد در منطقه مورد مطالعه، در سطح زمین و همچنین در مقاطع نازک صیقلی دیده می‌شود که دارای بیشترین گسترش در زون‌های دگرسانی فیلیک و آرژیلیک می‌باشند. از جمله این کانی‌ها می‌توان به ایلیت، مونت‌موریلونیت و کائولینیت که در نتایج حاصل از پراش پرتوهای ایکس در فصل سه آورده شده‌اند اشاره کرد (شکل ۳-۱۵).

#### ۴-۶-۳- سریسیت

سریسیت نیز همچون دیگر کانی‌های ذکر شده در منطقه‌ی مورد مطالعه با بیشترین گسترش در زون دگرسانی فیلیک حضور چشمگیری دارد (شکل ۳-۸). این کانی علاوه بر حضور در متن سنگ به عنوان عضو حاصل از دگرسانی پلاژیوکلازها؛ به صورت هاله‌های دگرسانی همراه با کوارتز در حاشیه‌ی رگه‌های پیریتی (رگه‌های نوع D) نیز دیده می‌شود (شکل ۴-۱۶).



شکل ۴-۱۶. تصویر نمونه دستی از رگه‌ی نوع D و هاله‌ی سیلیسی - سریسیتی اطراف آن.

#### ۴-۷- ساخت و بافت

ساخت، بررسی خصوصیات ماکروسکوپی یک سنگ یعنی آنچه که با چشم غیر مسلح دیده می‌شود را شامل می‌شود و منظور از بافت، شکل و اندازه‌ی بلور و رابطه‌ی فیزیکی آنها با هم است. ساخت و بافت‌ها در کانسارهای گوناگون متفاوت هستند و این به ماهیت سیال‌های کانه‌سازی، مشخصات فیزیکی و

شیمیایی سنگ‌های میزبان و شیوه‌ی جایگزینی کانسنگ بستگی دارد. بررسی بافت کانه‌ها به منظور تشخیص تقدم و تأخر تشکیل کانه‌ها و باطله‌ها، رابطه‌ی دانه‌ها با یکدیگر و با باطله‌ها، درجه آزادی دانه‌ها، مشخص کردن ماهیت فرآیندهای درگیر در نهشته شدن کانه‌ها، مشخص کردن رخداد‌های ثانویه مانند برقراری تعادل دوباره، هوازدگی، اکسایش و سیمانی شدن انجام می‌پذیرد.

#### ۴-۷-۱- ساخت و بافت‌های اولیه

- **ساخت و بافت داربستی:** در این شکل از کانی‌سازی چندین رگه کانه‌دار در جهات مختلف همدیگر را قطع می‌کنند. این تیپ رگه‌ها در منطقه بسیار فراوانند (شکل ۴-۱۲-الف). گاهاً کانی‌های کربناته، سولفیدی و اکسیدی مس این ساخت و بافت را همراهی می‌کنند.
- **ساخت و بافت رگه-رگچه‌ای:** اگر سیال ماگمایی یا گرمابی هنگام عبور از گسل‌ها، شکستگی‌ها، درزه و شکاف‌ها بار خود را برجای گذارند، ساخت و بافت حاصله از نوع رگه و رگچه‌ای خواهد بود. این ساخت و بافت را می‌توان در پیریت (شکل ۴-۲-الف)، کالکوپیریت و مگنتیت (شکل ۴-۳-پ) مشاهده کرد.
- **ساخت و بافت دانه‌پراکنده:** این ساخت و بافت نشان دهنده تهنشست اولیه ماده معدنی در حین تشکیل سنگ در بر گیرنده و همراه با سایر ذرات تشکیل دهنده آن است. پیریت (شکل ۴-۲) و به مقدار کمتر کالکوپیریت (شکل ۴-۳-ت)، گالن و اسفالریت (شکل ۴-۳-الف و ۴-۲-پ) این بافت را در خود نشان می‌دهند.
- **ساخت و بافت پرکننده‌ی فضای خالی و برش‌ها:** این ساخت و بافت حالت خاصی از بافت دانه‌پراکنده است که در آن کانی‌های سولفیدی در داخل و اطراف فضاهای خالی تهنشین می‌شوند؛ به نحوی که به نظر می‌رسد فضای بین دانه‌های سنگ میزبان توسط سولفیدهای مس اشباع شده است (شکل ۴-۱۵-ت و شکل ۴-۲-ث).

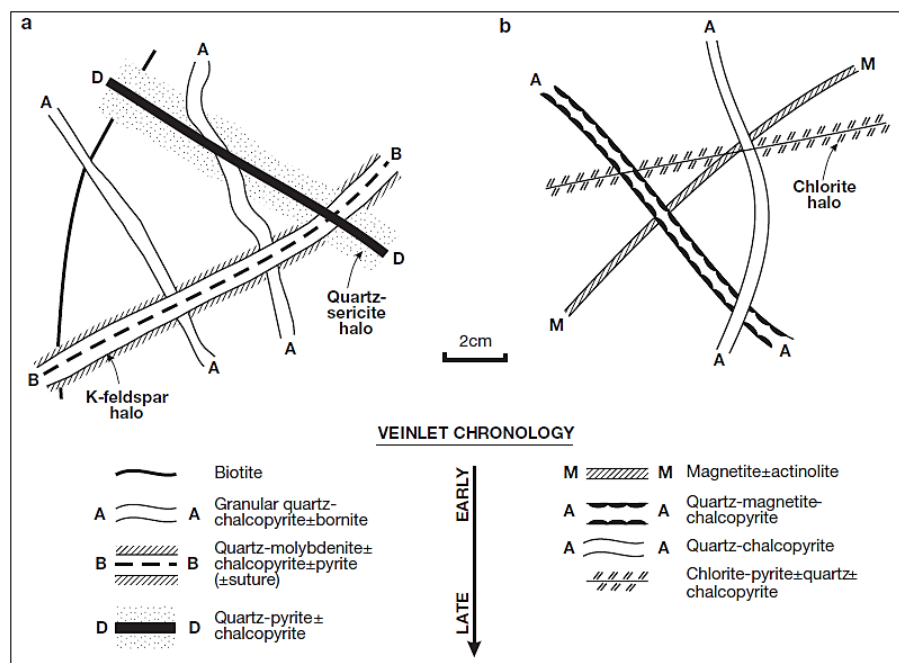
#### ۴-۷-۲- ساخت و بافت‌های ثانویه

- **ساخت و بافت جانیشینی:** زمانی که کانی‌های اولیه‌ی سولفیدی و اکسیدی تحت تأثیر فرایند دگرسانی در زون سوپرژن قرار می‌گیرند، از حاشیه و یا از نقاط ضعف و شکستگی شروع به تبدیل شدن به کانی‌های ثانویه می‌کنند. در چنین شرایطی بافت کانی جدید را بافت جانیشینی می‌گویند. این بافت در منطقه یک بافت فراگیر می‌باشد و تقریباً در تمام کانه‌ها به جز موارد معدودی دیده می‌شود. تصاویر مربوط به این کانی‌ها در بخش کانی‌شناسی آورده شده است. این ساخت و بافت گاهی در رگه‌های کانه‌دار نیز رخ می‌دهد و سبب تشکیل رگه‌هایی از کانه‌های ثانویه نظیر رگه‌های مالاکیتی (شکل ۴-۱۲) می‌شود.
- **بافت باقی‌مانده:** اگر جانیشینی کانی ثانویه به صورت کامل انجام نشود و بخشی از کانی حفظ شده باشد بافت حاصله باقی مانده نام می‌گیرد. این بافت را می‌توان در اغلب کانی‌هایی که تحت تأثیر فرایند سوپرژن قرار گرفته‌اند نظیر پیریت، کاکلوپیریت، مگنتیت، هماتیت و... مشاهده نمود. برای مثال در شکل (۴-۱۱) پیریت به طور کامل اکسیده نشده و بافت باقیمانده را تشکیل می‌دهد.
- **بافت اسکلتی:** رشد سریع بلورها در دمای پایین و غلظت بالا می‌تواند سبب به‌وجود آمدن این بافت شود. این بافت را گاهاً در جاهایی که کانی‌های سولفیدی در حال اکسید شدن هستند می‌توان دید (شکل ۴-۷-الف و ۴-۸-ب).

#### ۴-۸- بررسی انواع رگه‌های عقیم و کانه‌دار در منطقه‌ی مورد مطالعه

در کانسارهای پورفیری، کانی‌زایی در رگه‌رگچه‌های بی‌نظمی که داربستی (استوک‌ورک) گفته می‌شوند، رخ می‌دهد. در حقیقت استوک‌ورک‌ها به وسیله دو، سه جهت یا بیشتر رگه-رگچه هم‌روند و یا متقاطع

در ارتباط با یکدیگر شناخته می‌شوند. ترتیب رده‌بندی رگه- رگچه‌ها می‌تواند به تکامل زمانی و دمائی سیستم کمک کند. سکانس رگه‌ها در سیستم‌های پورفیری اولین بار توسط گوستافسون و هونت (Gustafson and Hunt, 1975)، در نهشته پورفیری السالوادور، بررسی شد و در ادامه با جزئیات بیشتری توسط سیلیتو (Sillitoe, 2010) مطالعه شدند. شکل (۴-۱۷)، الگوی طرح کلی انواع رگه‌ها در سیستم‌های پورفیری را نشان می‌دهد (Sillitoe, 2010). تقسیم‌بندی توالی زمانی تشکیل انواع رگه‌ها در سیستم مس پورفیری کوه‌پنج براساس طرح سیلیتو (Sillitoe, 2010) به‌صورت زیر می‌باشد:



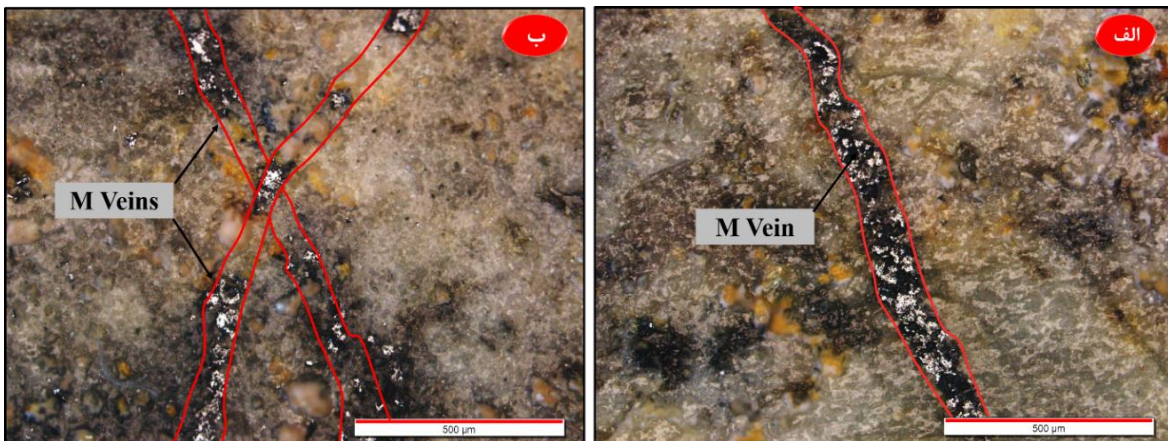
شکل ۴-۱۷. الگوی زمانی از توالی‌های رگچه‌ای در a. کانسارهای مس-مولیبدن پورفیری و b. کانسارهای مس-طلائی پورفیری همراه با نفوذی‌های آلکالین کلسیک. کانسارهای مس-طلائی پورفیری که با نفوذی‌های آلکالین میزبانی شده‌اند به‌طور واضح از نظر رگچه‌ای فقیر هستند (Barr et al., 1976; Lang et al., 1995; Sillitoe, 2000, 2002). زمین‌های رگچه‌ها عمدتاً دگرسانی پتاسیک است که حاوی فلدسپات پتاسیم بیشتری در استوک‌ورک‌های مس پورفیری غنی از مولیبدن نسبت به استوک‌ورک‌های مس پورفیری غنی از طلا می‌باشد. فقدان رگه‌های نوع B و D در استوک‌ورک‌های مس غنی از طلا، و نبود رگه‌های مگنتیتی (M)، رگه‌های A مگنتیت‌دار و رگه و رگچه‌های غنی از کلریت در استوک‌ورک‌های مس غنی از مولیبدن مشهود هستند.

## الف) رگه‌های کوارتز فاقد کانه‌زایی

در منطقه‌ی مورد مطالعه رگچه‌های کوارتز گرانولار فاقد کانه‌زایی می‌باشند و توسط سایر رگچه‌ها قطع شده‌اند (شکل ۴-۲۰-پ). این رگه‌ها قبل از کانه‌زایی و طی مراحل اول دگرسانی در سیستم کوه‌پنج رخ داده‌اند.

### ب) رگچه‌های نوع M (مگنتیت±بیوتیت، فاقد سولفید)

این رگچه‌ها به عنوان اولین گروه از رگچه‌های کانه‌دار در سنگ ایجاد می‌شوند و مقدم بر رگچه‌های نوع A هستند (شکل ۴-۱۸).



شکل ۴-۱۸. تصاویر نور انعکاسی مربوط به رگچه‌های الف) منفرد و ب) متقاطع مگنتیت در سنگ‌های منطقه‌ی مورد مطالعه (بافت رگچه‌ای).

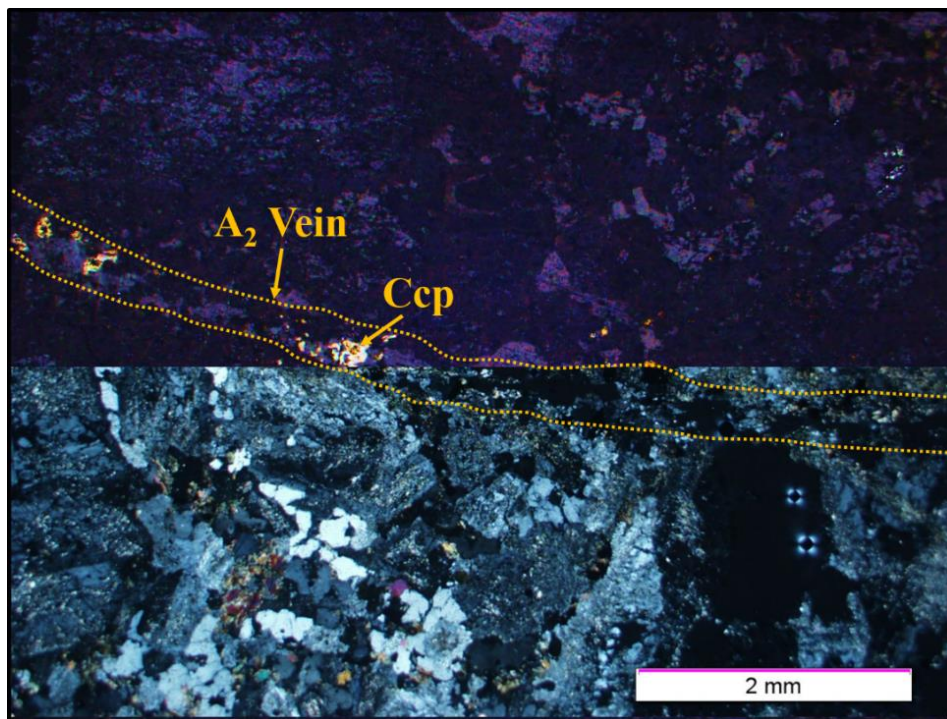
### پ) رگچه‌های نوع A<sub>1</sub> (کوارتز+مگنتیت+کالکوپیریت±کلریت±بیوتیت)

رگچه‌های کوارتز گرانولار حاوی سولفید که ممکن است دارای یک حاشیه دگرسانی باریک یا فاقد آن باشد. این رگچه‌ها مختص منطقه دگرسانی پتاسیک و دارای درصد بالایی از مگنتیت و کالکوپیریت هستند و با مقادیر از بیوتیت و کلریت همراهی می‌شوند. در شکل (۴-۸-پ) نمونه‌ای از این رگچه‌ها را به نمایش گذاشته شده است. مگنتیت و کالکوپیریت موجود در این رگچه‌ها گاهی تحت تأثیر فرایندهای

سوپرژن نظیر آنچه که در تصویر دیده می‌شود در حال تبدیل به کانی‌های ثانویه (هماتیت، گوتیت، کالکوسیت و کولیت) می‌باشد.

### ت) رگچه‌های نوع A<sub>2</sub> (کوارتز+کالکوپیریت±پیریت)

این رگچه‌ها نیز همچون رگچه‌ی A<sub>1</sub> در زون دگرسانی پتاسیک و کمتر فیلیک واقع شده‌اند. رگچه‌های مذکور پس از A<sub>1</sub> ایجاد شده و دارای عمق جایگزینی کمتری نسبت به آنها می‌باشند. فاز غالب این نوع رگچه‌ها کوارتز و کالکوپیریت هستند که بعضاً با پیریت همراهی می‌شوند. اختلاف جزئی در مقادیر کانی-های کوارتز، مگنتیت، کالکوپیریت و کلریت میان رگچه‌های A<sub>1</sub> و A<sub>2</sub> وجود دارد، به تدریج بطرف عمق-های کمتر، از مقادیر مگنتیت و کلریت رگچه‌های A<sub>1</sub> کاسته شده و بر مقادیر کوارتز و کالکوپیریت آنها افزوده می‌شود و به رگچه‌های A<sub>2</sub> تغییر می‌یابند. همانطور که در تصویر (۴-۱۹) مشخص است کالکوپیریت تحت تأثیر فرایندهای برونزاد در حال تبدیل به سولفیدهای ثانویه مس می‌باشد.



شکل ۴-۱۹. تصویر میکروسکوپی نور انعکاسی مربوط به رگچه‌ی A<sub>2</sub> که کالکوپیریت تحت تأثیر دگرسانی در حال تبدیل به کانی‌های ثانویه‌ی مس (کالکوسیت) می‌باشد.



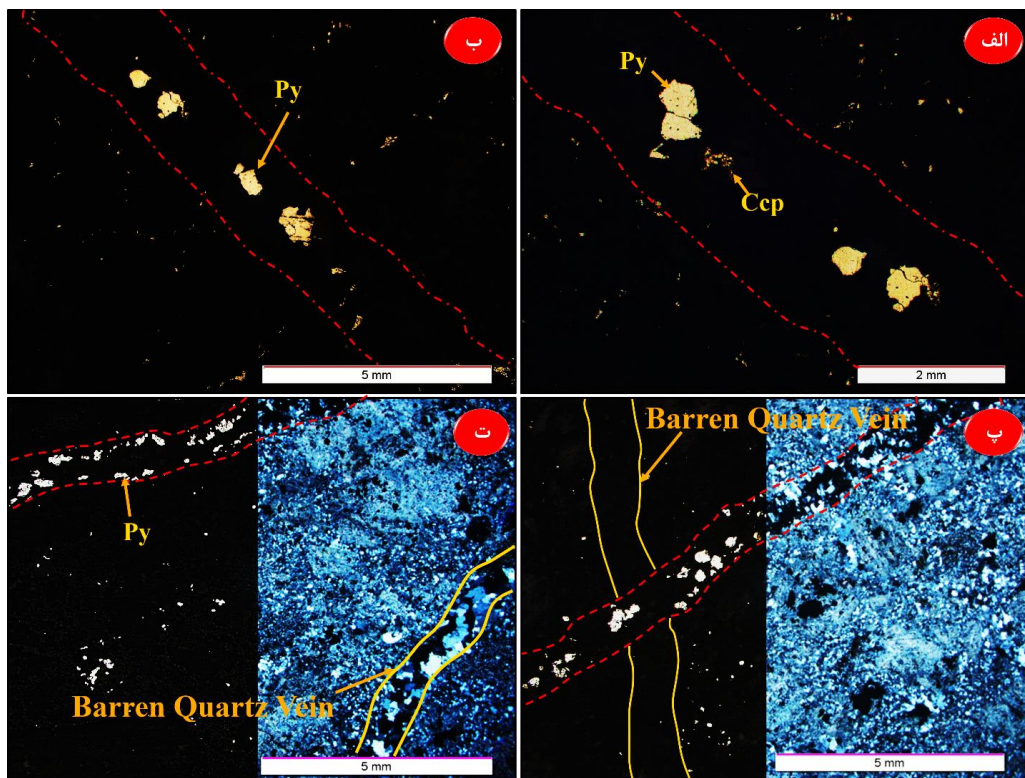
### ت) رگچه‌های نوع D (کوارتز + پیریت ± کالکوپیریت)

در کانسار مس کوه‌پنج، این رگه-رگچه‌ها بیشترین فراوانی را در دگرسانی فیلیک دارند. رگچه‌های تأخیری D حاوی کوارتز، پیریت و گاهاً کالکوپیریت با حاشیه دگرسانی ضخیم کوارتز-فلدسپار و سریسیت در اطراف آنها می‌باشند. این رگچه‌ها در کانسارهای مس-مولیبدن پورفیری نسبت به کانسارهای مس-طلای پورفیری بسیار فراوانتراند (Sillitoe 2010). در منطقه‌ی کوه‌پنج، این رگچه‌ها را از نظر شکل ظاهری می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

❖ نخست رگچه‌های پیریت و کوارتزی که در آنها پیریت بیشتر به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و کمتر تمام شکل رگچه‌ها حضور پیدا کرده‌اند. در این رگچه‌ها پیریت عمدتاً در حواشی رگچه‌ها و یا به صورت پراکنده در رگچه قرار دارد (شکل ۴-۲۰-پ و ت). کالکوپیریت دانه‌ریز بصورت جزعی و در مقادیر بسیار پایین در برخی رگچه‌ها با این پیریت‌ها دیده می‌شود.

❖ شکل دوم این رگچه‌ها آنهایی هستند که پیریت‌ها بیشتر در بخش مرکزی رگچه و در یک خط قرار گرفته‌اند. گاهی بخش‌های مرکزی رگچه کاملاً پر نشده و بصورت یک فضای خالی باقی مانده است. به نظر می‌رسد که در این رگچه‌ها پیریت فضای مناسب‌تری برای تبلور داشته و به صورت بلورهای بیشتر نیمه‌شکل‌دار و تمام‌شکل‌دار به همراه کوارتزهای بلورین و شکل‌دار و مقادیر ناچیزی از کالکوپیریت ظاهر می‌شود (شکل ۴-۲۰-الف و ب). این حالت از تبلور را در کوارتزها نیز می‌توان دید به این صورت که کوارتزهای این رگچه‌ها با بافت موزاییکی و درشت بلور در کنار هم قرار گرفته‌اند در صورتی که کوارتزهای مربوط به رگچه‌های نوع اول بیشتر به صورت سوزنی در رگچه حضور دارند. این رگچه‌ها تا حدودی از جهت شکل ظاهری به رگچه‌های نوع B شبیه هستند با این تفاوت که فاقد مولیبدنیت بوده و پیریت فاز اصلی و غالب آنهاست. به عقیده‌ی سیلیتو (Sillitoe, 2010) رگچه‌های نوع B رگچه‌های سولفیددار و دارای کوارتز دانه‌ای غالب، با حاشیه‌های دگرسانی نازک

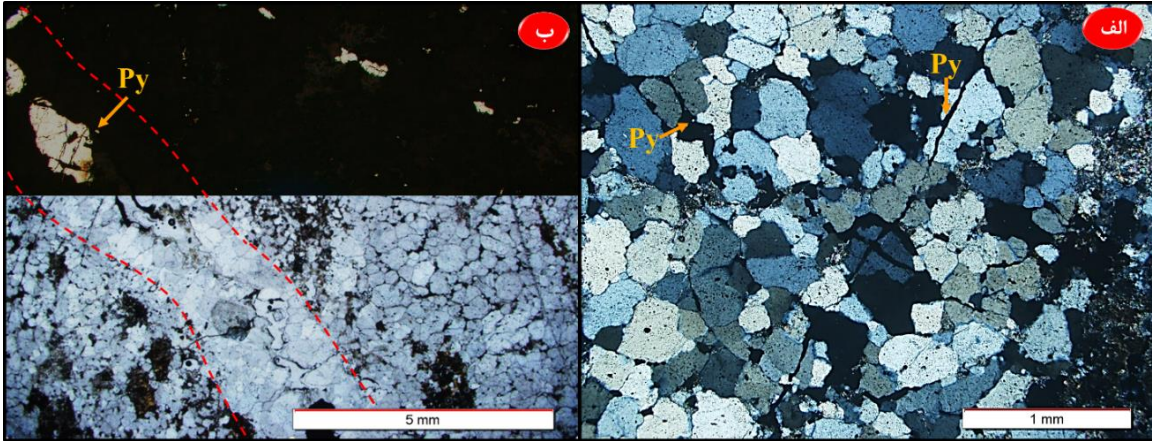
یا غیر قابل تشخیص می‌باشند و بیشتر میزان مولیبدن در بسیاری از کانسارهای مس-مولیبدن پورفیری در رگچه‌های نوع B ایجاد می‌شوند. در رگچه‌های نوع B کانسارهای سولفیدی در قسمت مرکزی رگچه‌ها آرایش می‌یابند. در حالت دوم رگچه‌های نوع D در کانسار کوه‌پنج اگرچه آرایش کانسارها مشابه رگچه‌های نوع B است، لیکن با توجه به محتوای سولفیدی این رگچه‌ها، در گروه D طبقه‌بندی می‌شوند.



شکل ۴-۲۰. الف) تصویر مربوط به همراهی کانی پیریت و کالکوپیریت در رگه‌ی نوع D. ب) تصویر میکروسکوپی از پیریت‌هایی که در بخش مرکزی رگه در یک امتداد قرار گرفته‌اند. پ) رگه‌ی نوع D که یک رگه‌ی سیلیسی فاقد سولفید را قطع کرده است. ت) قرار گرفتن دانه‌های پیریت در حواشی رگه‌ی نوع D.

طبق شواهد مربوط به مطالعه‌ی مقاطع نازک می‌توان گفت؛ علت تفاوت شکل ظاهری این دوگروه از رگچه‌های پیریتی در این است که رگچه‌های گروه ۲ در طی حیاتشان بیش از یک بار تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند. دانه‌های کوارتز با اندازه‌های مختلف و جهات متفاوت، وجود شکستگی، فضای خالی (شکل ۴-۲۱-ب) و قطع شدگی دانه‌های کوارتز توسط پیریت (شکل ۴-۲۱-الف) در مرکز

رگچه‌ها نیز انعکاسی از چندین مرحله باز شدن رگه می‌باشد. به این رگه‌ها اصطلاحاً رگه‌های دوباره باز شده می‌گویند.



شکل ۴-۲۱. الف) قطع شدگی دانه‌های کوارتز توسط رگچه‌های پیریت در محل تقاطع دو رگه‌ی سیلیسی. ب) وجود رگچه‌ی پیریت در بخش مرکزی رگه کوارتز.

### ث) گالن + اسفالریت ± کالکوپیریت ± پیریت (کانه‌زایی نوع L)

در کانسارهای مس پورفیری کانه‌های گالن و اسفالریت نیز تشکیل می‌گردند. این کانها عموماً در مراحل پایانی کان‌زایی گرمابی و در بخش‌های حاشیه‌ای سیستم‌های مس پورفیری تمرکز می‌یابند. گالن و اسفالریت که در مواردی با کلسیت، کالکوپیریت و پیریت همیافتنی دارند به شکل‌های برشی، رگه- رگچه‌ای و پرکننده‌ی فضاهای خالی مشاهده می‌شوند (Azadi et al., 2015). در کانسار مس کوه‌پنج، گالن و اسفالریت با پیریت و کالکوپیریت در فضاهای خالی ناشی از انحلال درشت‌بلورها شکل گرفته‌اند (شکل ۴-۲-پ). این تیپ کان‌زایی عموماً با دگرسانی فیلیک و فیلیک- آرژیلیک همراه هستند و دارای گسترش کمی می‌باشد.

رگچه‌های سولفیدی ذکر شده در کانسار کوه‌پنج در زون سوپرژن، تحت تأثیر فرایندهای سطحی به رگچه‌های کربناته‌ای نظیر شکل (۴-۱۲-الف) تبدیل شده‌اند.

#### ۴-۹- توالی پاراژنتیکی

همیافتی کانی‌ها و ترتیب تبلور آنها در طول شکل‌گیری یک کانسار توالی پاراژنتزی کانه‌زایی را نشان می‌دهد. پاراژنز در هر کانساری تابع ترکیب شیمیایی محلول کانه‌دار، حرارت، فشار، تغییرات Eh و pH و شرایط فیزیکوشیمیایی محلول است (کریم‌پور، ۱۳۷۴). نمودارهای توالی پاراژنتیک به صورت نمودارهای خطی و یا جریانی نظیر آنچه که در جدول (۴-۱) به نمایش گذاشته شده است، ترسیم می‌شوند. این نمودارها، ارتباط زمانی کانه و کانی‌های باطله، فراوانی نسبی کانه‌ها و کانی‌ها، ارتباط عمومی مجموعه‌ی کانی‌های دگرسانی با تکامل نوع دگرشکلی و سیالات را نشان می‌دهند.

با توجه به مطالب بیان شده در این فصل، پاراژنز کانی‌ها در کانسار مس پورفیری کوه‌پنج به شرح زیر است: پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، گالن و اسفالریت کانی‌هایی هستند که در زون هیپوژن با هم یافت می‌شوند. در این میان فراوانترین کانی‌ها، پیریت و کالکوپیریت و در مقادیر کمتر مگنتیت است. روند تشکیل کانی‌های موجود در منطقه به این صورت است که نخستین کانی‌های ایجاد شده مربوط به زمان تشکیل سنگ (کانی‌های سنگ‌ساز) می‌باشند که طبق سری باون این کانی‌ها در جدول ۴-۱ آورده شده‌اند. همزمان با تشکیل کانی‌های سنگ‌ساز می‌توان شاهد حضور و تشکیل مگنتیت‌های ماگمایی به صورت عضو فرعی این سیستم بود که این کانی‌ها در مراحل بعدی فرایندهای کانه‌ساز به کانی‌های ثانویه‌ی اکسیدی تبدیل شده‌اند. این گروه از مگنتیت‌ها مگنتیت‌های نسل یک نامگذاری شده‌اند (Magnetite I). دسته‌ی دوم مگنتیت‌ها مربوط به فعالیت‌های هیدروترمال می‌باشند و در زون پتاسیک، به صورت دانه پراکنده و یا در نقاطی که کانی‌های فرومنیزیم آهن خود را آزاد کرده‌اند دیده می‌شوند و اکثراً در زون پتاسیک حضور دارند (Magnetite II). دسته‌ی سوم مگنتیت‌ها که موارد فوق را قطع می‌کنند مربوط به رگه‌های نوع M و A<sub>1</sub> هستند (Magnetite III). این گروه نیز در زون پتاسیک یافت می‌شوند.

پیریت نخستین و فراوانترین فاز سولفیدی منطقه می‌باشد که به صورت نسل‌های مختلف در منطقه دیده می‌شود. نسل اول آنها مربوط به پیریت‌هایی است که در حاشیه‌ی درشت‌بلورهای کانی‌های فرو منیزیم تشکیل شده‌اند. این پیریت‌ها در نتیجه‌ی شسته شدن آهن کانی‌های فرومنیزیم؛ تحت تأثیر نفوذ سیال و با حضور گوگرد ایجاد شده‌اند. بخشی از دانه‌های پیریت نیز به صورت دانه‌پراکنده در متن سنگ به چشم می‌خورند (Pyrite I). این پیریت‌ها معمولاً به صورت بی‌شکل، تا نیمه شکل‌دار و ریز دانه می‌باشد. نسل دوم پیریت مربوط به گروهی از این کانی‌هاست که در داخل رگه‌ها گسترش دارند و یا در بین قطعات برشی و فضاهای خالی رشد کرده‌اند (Pyrite II). این پیریت‌ها را می‌توان از نظر تقدم تشکیل به چهار گروه تقسیم کرد: نخست پیریت‌های همراه با رگه‌های نوع A<sub>1</sub>؛ دوم پیریت در همراهی با رگه‌های A<sub>2</sub> و سوم پیریت موجود رگه‌های نوع D. در نهایت پیریت‌های همراه با گالن و اسفالریت‌های نوع L که نسل سوم پیریت‌های منطقه را تشکیل می‌دهند.

کالکوپیریت اولین و فراوانترین کانی سولفیدی مس است که بعد از پیریت تشکیل می‌شود. این کانی نیز به صورت پراکنده در متن و یا در مکان‌هایی از سنگ که آهن مورد نیاز این کانی از کانی‌های فرومنیزیم تأمین می‌شود حضور دارد (Chalcopyrit I). در برخی نقاط قسمت‌هایی از پیریت خورده شده و کالکوپیریت به صورت فاز تأخیری در بین این شکستگی‌ها دیده می‌شود. این کانی به طور نامنظم توزیع شده و معمولاً به صورت ریزدانه و بی‌شکل بوده و دارای درهم‌رشدی با پیریت می‌باشد. در برخی نقاط کالکوپیریت به صورت رگچه‌های کوچک در سنگ ایجاد شده‌اند (Chalcopyrit II). فراوانی این کالکوپیریت‌ها نسبت به انواع فوق‌الذکر بسیار کمتر است.

مولیبدنیت به جز در یک مقطع و به صورت بسیار دانه ریز داخل رگچه گزارش نشده؛ لذا می‌توان از توضیح بیشتر راجع به این کانی چشم‌پوشی کرد. گالن و اسفالریت دارای در هم‌رشدی با کالکوپیریت و پیریت می‌باشند. مقادیر این کانی‌ها در سنگ کم است و تنها در چند مقطع گزارش شده‌اند. کالکوسیت،

کوولیت و به مقدار جزعی بورنیت از جمله محصولات دگرسانی کالکوپیریت هستند. این کانی‌ها پوشش - های نازکی را در طول شکاف‌های کالکوپیریت تشکیل داده یا اینکه روی دانه‌های این کانی را می‌پوشاند. کریزوکولا تنها سیلیکات مس روئیت شده در سطح می‌باشد که به مقدار ناچیز در همراهی با گوتیت و لیمونیت دیده می‌شود. مالاکیت فراوانترین کربنات مس در سطح است که هم به صورت آغشتگی‌هایی در سطوح سنگی و هم به صورت جانشینی در رگه‌های مس‌دار دیده می‌شود. مقادیر آزریت کم و قابل چشم‌پوشی می‌باشد.

در جدول (۴-۱) همچنین بافت‌های مربوط به کانه‌ها و ترتیب زمانی آنها و نیز کانی‌های دگرسانی آورده شده‌اند. در میان این کانی‌ها کوارتز در اشکال و نسل‌های مختلف همراه با کانی‌سازی جزء فراوانترین کانی‌های دگرسانی محسوب می‌شود. این کانی به صورت اولیه در سنگ میزبان، و نیز در رگه‌های عقیم، رگه‌های همراه با کانی‌سازی، برشی، دانه پراکنده در متن و پرکننده‌ی فضا‌های خالی همراه با کانی‌های سولفیدی یافت می‌شود.

جدول ۱-۴. توالی پاراژنتیکی مربوط به کانسار کوه پنچ.

Stage Mineral		Hypogene			Supergene	
		Magmatic	Hydrothermal		Post – ore stage	
			Ore stage		(-Eh)	(+Eh)
			Potassic	Phillic		
Rock minerals	Plagioclase					
	Orthoclase					
	Hornblende I					
	Biotite I					
	Quartz I					
Ore Minerals	Magnetite I					
	Magnetite II					
	Magnetite III					
	Pyrite I					
	Pyrite II					
	Chalcopyrite					
	Molybdenite					
	Bornite					
	Galena					
	Sphalerite					
	Chalcocite					
	Covellite					
	Chrysocolla					
	Azurite					
	Malachite					
	Hematite					
	Oligiste					
Goethite						
Limonite						
Altration minerals	Hornblende II					
	Albite					
	Orthoclase II					
	Quartz II					
	Calcite					
	Epidote					
	Chlorite					
	Sericite					
	Illite					
Biotite II						
Texture	Disseminated					
	Stockwork					
	Vein and Veinlet					
	Brecciation					
	Replacement					
	Residual					
	Skeletal					





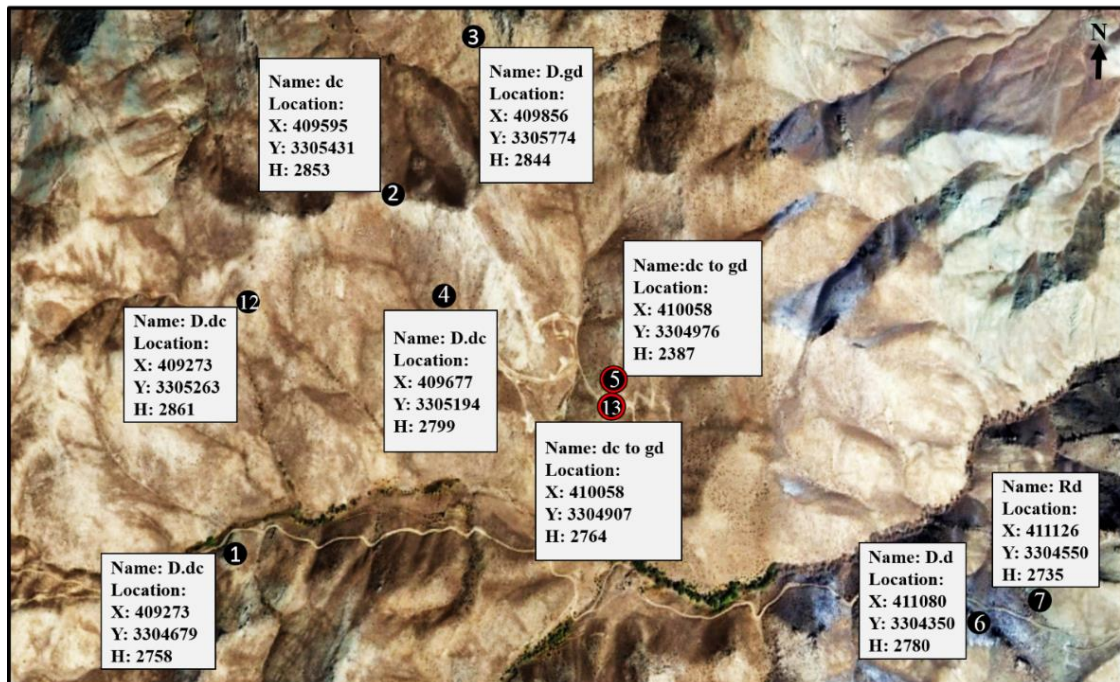
فصل پنجم

ژئوسمپتی

## ۵-۱- مقدمه

یکی از مهمترین نکات در مطالعه‌ی هر کانسار، مطالعات ژئوشیمیایی آن کانسار می‌باشد. اینکه روش‌های مطالعاتی و به دنبال آن تفسیر مناسب برای داده‌های ژئوشیمیایی انتخاب شود، تعیین کننده‌ی درک بهتر و دقیق‌تر ویژگی‌های ماده‌ی معدنی می‌باشد. هر ماده‌ی معدنی و عناصر همراه آن از جهت اینکه ویژگی‌های ساختاری مختص خود را دارد، نیازمند روش خاص برای بررسی‌های ژئوشیمیایی می‌باشد. بنابراین استفاده از روشی که در تفسیر مقادیر عنصری، از دقت و صحت بالایی برخوردار باشد ضروری است. بررسی‌های ژئوشیمیایی در کانسارهای مختلف علاوه بر آنکه راهنمای خوبی در فهم نحوه و مراحل تشکیل یک کانسار است، به عنوان یک ابزار اکتشافی به همراه سایر لایه‌های اطلاعاتی در پی‌جویی کانسارهای مشابه نقش بسزایی دارد. در این میان، بررسی فراوانی و توزیع عناصر اصلی، فرعی و کمیاب موجود در توده سنگ، به منظور درک بهتر رفتار عناصر و ارتباط آنها با یکدیگر، می‌تواند جهت توسعه روش‌های اکتشافی برای کانسارهای مشابه سودمند است. در منطقه‌ی مورد مطالعه با توجه به اهداف مطالعه و زون‌های دگرسانی، نمونه‌برداری به صورت انتخابی از سنگ‌های سطحی و زیرسطحی انجام شده و حاصل آن انتخاب ۱۰ نمونه‌ی سنگ به منظور تعیین میزان غلظت اکسید عناصر اصلی به روش ذوب قلیایی و تجزیه با دستگاه ICP-OES، و عناصر کمیاب و خاکی کمیاب، به روش انحلال در چهار اسید و تجزیه با دستگاه‌های ICP-MS/OES بوده است. نام و موقعیت مکانی نمونه‌های برداشت شده و دو گمانه‌ی اکتشافی در شکل (۵-۱) آورده شده است. تعداد ۳ نمونه کانسنگ نیز همانند نمونه‌های سنگ، برای عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب تجزیه شده‌اند. نمونه‌های کانسنگ (سه نمونه) برای عنصر طلا به روش غال‌گذاری (FA: Fire assay) نیز تجزیه شده است. علاوه بر این، داده‌های ژئوشیمیایی ۹۵۱ متر از نمونه‌های دو گمانه‌ی اکتشافی که برای عناصر مس، مولیبدنوم، روی، سرب و آهن تجزیه شده‌اند نیز از شرکت ملی صنایع مس ایران دریافت گردید و در تفسیرهای ژئوشیمیایی کانسنگ استفاده شده است. این داده‌ها در پیوست پایانامه آورده شده است. مطالعات ژئوشیمی مربوط

به کانسار کوه پنج را می‌توان به دو گروه: (۱) ژئوشیمی سنگ‌های دربرگیرنده‌ی کانسار و (۲) ژئوشیمی محیط کانسنگ، تقسیم نمود که در ادامه با استفاده از نتایج حاصل آنالیزهای ذکر شده به تفسیر و بررسی هر چه دقیق‌تر ویژگی‌های سنگ و کانسنگ‌های محدوده‌ی کانه‌زایی پرداخته شده است.



شکل ۵-۱. تصویر هوایی بر گرفته از گوگل ارث مربوط به منطقه‌ی کوه پنج، که در آن موقعیت و نقاط ارتفاعی مربوط به هر یک از نمونه‌های ژئوشیمیایی سطحی و مغزه‌های حفاری به نمایش گذاشته شده است. موقعیت شماره‌های ۵ و ۱۳ در این تصویر به ترتیب محل چاه ۲ و ۶ را نشان می‌دهند، که نمونه‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ از این گمانه‌ها گرفته شده‌اند. داسیت dc، دایک داسیتی D.dc، دایک دیوریتی D.d، دایک گرانودیوریتی D.gd، گرانودیوریت gd، گدازه ریوداسیت Rd.

## ۵-۲- ویژگی‌های پترولوژیکی و ژئوشیمیایی سنگ‌های دربرگیرنده کانسار

پراکندگی عناصر در واحدهای سنگی هر منطقه و روابط حاکم بر آنها، از مهمترین جنبه‌هایی است که معمولاً در مطالعات ژئوشیمیایی مد نظر می‌باشند، چراکه با استفاده از این روابط تا حدودی می‌توان به محیط و فرآیندهای موثر در تشکیل سنگ‌ها پی برد. شیمی عناصر اصلی و کمیاب برای طبقه‌بندی و نامگذاری سنگ‌ها، بطور گسترده‌ای در سنگ‌شناسی آذرین مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به

اینکه دگرسانی‌های گرمایی موجب افزایش و یا کاهش برخی از عناصر و اکسیدهای اصلی در سنگ می‌شوند، برای نامگذاری سنگ‌ها با استفاده از این نمودارها، باید از نمونه‌هایی استفاده شود که کمترین دگرسانی را متحمل شده‌اند. از جمله واحدهای سنگ‌شناختی موجود در محدوده‌ی مورد مطالعه، مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین بیرونی و توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق تا عمیق کوه‌پنج می‌باشند که مطالعات ژئوشیمیایی بر روی این سنگ‌ها اطلاعات مهمی در رابطه با منشأ و ترکیب سنگ‌های منطقه جهت روند تکمیل این تحقیق به ما می‌دهد. جهت انجام مطالعات ژئوشیمیایی، پس از مطالعات میدانی تعداد ۱۰ نمونه‌ی سنگ برداشت و تجزیه شده است (جدول ۵-۱). از این تعداد، ۹ نمونه مربوط به سنگ‌های آذرین نفوذی و یک نمونه از سنگ‌های آتشفشانی انتخاب شده است. پس از دریافت نتایج تجزیه‌های شیمیایی و انجام پردازش‌های ژئوشیمیایی اولیه تعداد ۷ نمونه برای تفسیرهای ژئوشیمیایی انتخاب نهایی گردید. ۳ نمونه سنگ‌های نفوذی (G2، G12 و G13) به دلیل پرت افتادن در همه نمودارها (شاید به دلیل خطای آزمایش و یا دگرسانی) از فرایند تحلیل‌های ژئوشیمیایی حذف شده‌اند. 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 فصل با بررسی ژئوشیمی سنگ میزبان، نامگذاری توده‌های میزبان، محیط تکتونوماگمایی و تیپ آنها مورد بحث قرار می‌گیرند.

جدول ۵-۱- مقادیر اکسید عناصر اصلی (درصد)، عناصر فرعی و کمیاب (گرم در تن) در ۱۰ نمونه‌ی سنگ به روش- های ICP-OES/MS.

Sample	KOP-G1	KOP-G2	KOP-G3	KOP-G4	KOP-G5	KOP-G6	KOP-G7	KOP-G8	KOP-G12	KOP-G13
<b>اکسیدهای اصلی</b>										
SiO <sub>2</sub>	۶۳/۷۱	۷۰/۹۶	۶۴/۰۴	۶۹/۱۱	۶۴/۹۸	۶۴	۶۴/۰۹	۷۱/۶۷	۷۳/۴۲	۸۶/۵۵
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۶/۰۹	۱۶/۶۵	۱۶/۵۷	۱۴/۵	۱۶/۸	۱۶/۴۶	۱۵/۹۲	۱۱/۴۲	۱۵/۵۱	۷/۱۹
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳/۴۳	۱/۸۶	۳/۸	۳/۵۴	۴/۰۲	۳/۸۷	۳/۳۲	۴/۷۳	۰/۵۲	۱/۳۲
MgO	۱/۶۷	۰/۴۷	۱/۷	۱/۹	۲/۱۴	۱/۶۳	۱/۲۲	۱/۲۱	۰/۷۳	۰/۲۱
CaO	۳/۳۴	۰/۲۵	۳/۷۶	۱/۲۴	۰/۹۸	۴/۴۷	۳/۸	۰/۷۶	۰/۹۷	۰/۱۲
Na <sub>2</sub> O	۴/۴۲	۰/۹	۴/۷۵	۴/۵۲	۵/۴۵	۴/۸۲	۴/۷۴	۳/۱۴	۰/۳	۰/۷۶
K <sub>2</sub> O	۲/۷۶	۴/۰۶	۲/۷۹	۲/۸۳	۲/۷۴	۲/۴۶	۲/۳۱	۲/۵۵	۴/۱۷	۱/۶۲
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۲۳	۰/۱	۰/۲	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۰۷
MnO	۰/۱	۰/۰۰۱	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
TiO <sub>2</sub>	۰/۴۵	۰/۵۸	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۴۹	۰/۴۴	۰/۳۵	۰/۵۹	۰/۳۲
<b>عناصر کمیاب</b>										
Ag	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۴	۰/۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۵	۰/۰۷	۰/۳
As	۱۱/۹	۴	۱۱/۶	۲/۶	۱۰	۳/۲	۳/۹	۲/۹	۲/۸	۴۸/۱
Ba	۸۹۸	۶۵۴	۶۵۸	۴۲۹	۷۴۱	۵۵۹	۴۹۶	۳۸۷	۱۰۵۰	۱۴۰
Be	۱/۶	۱	۱/۵	۱/۳	۱/۶	۱/۴	۱/۳	۱/۱	۱	۰/۸
Bi	۰/۰۷	۰/۴	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۵	۰/۳	۲/۹
Cd	۰/۲	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱	۰/۵	۰/۱	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱	۰/۲
Co	۶/۲	۰/۷۵	۷/۱	۸/۷	۹/۲	۸/۲	۷/۱	۱۲/۶	۰/۷۵	۰/۷۵
Cr	۱۷	۱۶	۲۱	۲۴	۲۶	۲۲	۱۶	۲۸	۱۶	۱۹
Cs	۰/۷	۲/۵	۰/۹	۲/۶	۲/۹	۰/۹	۶/۱	۲	۱/۵	۱/۶
Cu	۵۴	۱۸	۴۴	۹۱۴	۱۰۲۴	۵۲	۲۲	۲۵۳۹	۳۷	۲۳۹
Hf	۱/۱۸	۰/۳	۰/۶۸	۰/۳	۰/۳	۱/۳۶	۰/۹۹	۰/۳	۰/۳	۰/۳
Li	۱۴	۱	۹	۵	۱۰	۸	۱۱	۴	۱	۳
Mo	۰/۰۷	۱۰	۰/۰۷	۱/۱	۱	۰/۲	۰/۰۷	۷/۵	۲/۳	۲۰/۶
Nb	۷/۵	۵/۱	۶/۷	۴/۸	۵/۴	۶/۷	۴/۹	۴/۷	۳/۸	۳
Ni	۱۰	۲	۱۴	۱۲	۲۰	۱۰	۵	۱۳	۱	۴
P	۸۶۶	۴۰۴	۸۲۰	۸۵۰	۸۴۳	۸۵۵	۶۶۲	۵۸۷	۱۷۳	۳۲۱
Pb	۱۶	۴۸	۴۳	۴۰	۳۶	۲۰	۱۴	۴۵	۱۰	۲۷

<b>Pb</b>	۱۶	۴۸	۴۳	۴۰	۳۶	۲۰	۱۴	۴۵	۱۰	۲۷
<b>Rb</b>	۶۵	۱۰۸	۶۷	۷۲	۸۰	۶۸	۶۰	۶۱	۱۳۹	۴۵
<b>S</b>	۹۰	۲۱۶۷	۸۸	۹۵	۵۶۷	۴۰	۴۰	۷۲۱۲	۶۶۷	۹۵۶
<b>Sb</b>	۱/۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۶/۷	۱۲
<b>Sc</b>	۵/۶	۷/۷	۶	۵/۲	۶/۲	۶/۲	۵/۵	۴/۹	۴/۵	۳/۲
<b>Se</b>	۰/۴	۰/۹۷	۰/۶۲	۰/۵۶	۱/۲	۰/۴	۰/۵۸	۱/۵۵	۰/۴	۱/۴۳
<b>Sn</b>	۱/۱	۲/۹	۱/۱	۱/۵	۱/۷	۱/۱	۱	۱/۶	۳/۳	۱/۸
<b>Sr</b>	۵۵۶/۵	۹۹/۳	۶۲۳	۴۳۲	۳۸۵/۵	۶۶۴	۶۱۳/۵	۲۴۸/۳	۹۱/۲	۵۳/۴
<b>Ta</b>	۰/۷۲	۰/۵۳	۰/۶۸	۰/۴۲	۰/۵۵	۰/۶	۰/۴۵	۰/۴	۰/۴۱	۰/۳۲
<b>Te</b>	۰/۲۲	۰/۰۷	۰/۲۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۳	۰/۱۸	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۷۶
<b>Th</b>	۱۰/۵۳	۷/۱۷	۱۰/۰۷	۸/۱۷	۹/۷۶	۹/۸۹	۴/۶۹	۸/۲	۵/۵۵	۴
<b>Ti</b>	۲۵۵۶	۱۹۳۱	۲۵۶۱	۲۴۹۷	۲۴۳۴	۲۶۱۵	۲۳۲۳	۱۸۵۶	۱۸۵۰	۱۰۰۸
<b>Tl</b>	۰/۶۶	۱/۷۷	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۹۶	۰/۳۴	۰/۴۵	۰/۸۵	۱/۶۹	۰/۹۳
<b>U</b>	۲/۵	۱	۲/۴	۱/۷	۱/۷	۲/۶۷	۱/۶	۱/۶	۱	۰/۶۴
<b>V</b>	۷۴	۱۰۲	۷۶	۸۰	۸۸	۷۷	۷۴	۷۰	۸۶	۳۷
<b>W</b>	۱/۱	۴/۷	۰/۷۵	۱/۲	۱/۴	۰/۷۵	۰/۷۵	۱	۵/۲	۷/۴
<b>Y</b>	۸/۴	۵/۴	۹/۲	۸/۶	۸/۸	۹/۳	۷/۴	۷/۲	۴/۶	۴/۳
<b>Zn</b>	۸۴	۱۱	۱۱۶	۱۰۰	۲۰۱	۱۱۲	۷۳	۲۱۲	۱۰	۲۷
<b>Zr</b>	۲۲	۶	۱۲	۳	۳	۳۰	۲۲	۳	۳	۳
<b>عناصر کمیاب خاکی</b>										
<b>La</b>	۲۹	۱۴	۲۹	۲۵	۲۶	۲۸	۱۶	۱۹	۸	۷
<b>Ce</b>	۵۰	۲۵	۴۷	۳۹	۴۵	۴۳	۲۸	۲۸	۱۵	۱۱
<b>Pr</b>	۵/۵۱	۲/۹	۵/۳۹	۴/۸۱	۵/۱	۵/۶۹	۳/۴۲	۴/۲۶	۱/۵۹	۱/۲
<b>Nd</b>	۲۴/۲	۱۵/۴	۲۳/۹	۲۲/۳	۲۲/۹	۲۵/۴	۱۷/۷	۲۰/۳	۱۰/۵	۸/۵
<b>Sm</b>	۳/۹۵	۲/۳۵	۳/۷	۳/۵۲	۳/۸۱	۴	۲/۹۱	۳/۱۲	۱/۷۳	۰/۹۹
<b>Eu</b>	۱/۲۲	۰/۶۶	۱/۱۷	۱/۰۲	۱/۲۳	۱/۲۱	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۶۶	۰/۲
<b>Gd</b>	۲/۳۳	۱/۰۹	۲/۵	۲/۳۱	۲/۳۶	۲/۶۲	۱/۷۹	۱/۹۹	۰/۵۹	۰/۴۷
<b>Tb</b>	۰/۳۴	۰/۱۸	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۱۱	<۰.۱
<b>Dy</b>	۲/۱۵	۱/۳۹	۲/۳۷	۲/۱۸	۲/۲۶	۲/۳۱	۱/۸۷	۲	۱/۱۲	۱/۰۵
<b>Er</b>	۰/۷۱	۰/۳۵	۰/۸۳	۰/۷۱	۰/۷۶	۰/۸۶	۰/۶۱	۰/۶۶	۰/۲۱	۰/۱۹
<b>Tm</b>	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷
<b>Yb</b>	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۲	۰/۰۴	۰/۱	۰/۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴
<b>Lu</b>	۰/۱	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷

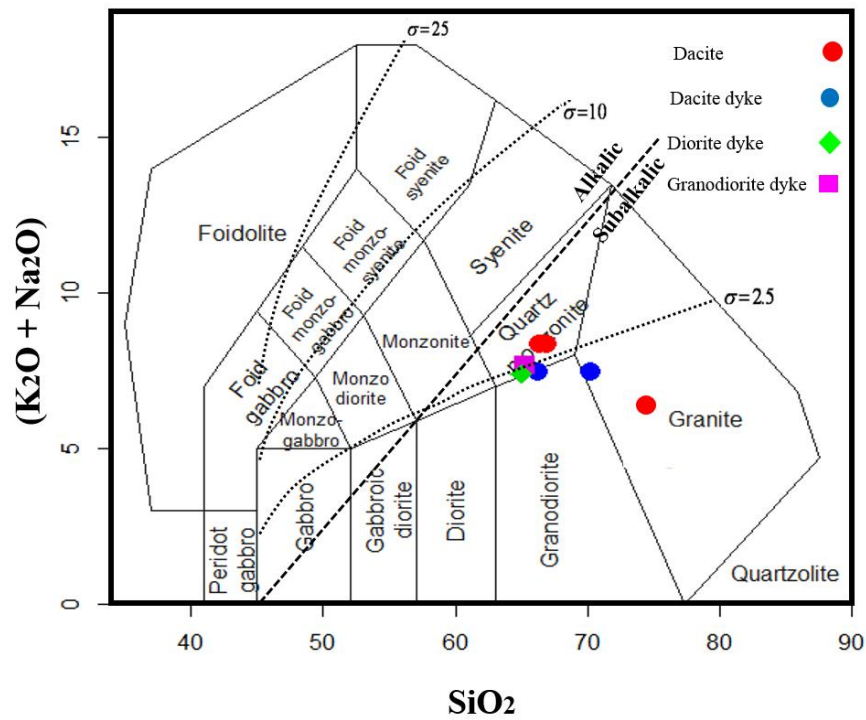
## ۵-۳- نامگذاری سنگ‌های منطقه‌ی کوه‌پنج

به طور کلی برای نامگذاری سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی از روش‌های مطالعه میکروسکوپی مقاطع استفاده می‌شود، ولی در مواردی که تغییرات بافت و دانه‌بندی، دگرسانی و حضور حفرات زیاد در سنگ مانع از تشخیص صحیح نام سنگ شود؛ 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. هر چه عوامل موثر در خطا کمتر باشد اختلاف بین این دو نامگذاری کمتر خواهد بود. توجه داشته باشید که در کانسارهایی نظیر کوه‌پنج، عوامل موثر در خطای نامگذاری سنگ، یعنی وجود دگرسانی گسترده سبب تأثیر در نتایج حاصل از آنالیز می‌شود؛ بنابراین سعی شده است که از رفتار ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیابی نظیر تیتانیوم، زیرکونیم و... که از تحرک کمتری در فرایندهای دگرسانی برخوردار هستند در بررسی‌های پترولوژی استفاده شود.

### الف. سنگ‌های نفوذی

در طبقه‌بندی سنگ‌ها بر اساس نمودار یانگ و میدل‌موست (Yang, 2007; Middlemost, 1994)، سنگ‌های نفوذی محدوده‌ی کانسار مس کوه‌پنج به جز مواردی که در محدوده‌ی گرانیته واقع شده‌اند؛ ترکیبی کوارتز مونزونیتی نشان می‌دهند (شکل ۵-۲). این روند با آنچه که اسدی و همکاران (Asadi et al., 2014) در مورد کانسارهای تیپ کوه‌پنج گزارش کرده‌اند مطابقت دارد (شکل ۵-۳). از نظر سری ماگمایی سنگ‌های محدوده‌ی مورد مطالعه همانند نفوذی‌های تیپ کوه‌پنج از منطقه فلزایی دهج-ساردوئیه (Asadi et al., 2014) در محدوده‌ی ساب‌آلکان قرار می‌گیرند که این نیز با آنچه که در شکل (۵-۲) دیده می‌شود، مطابقت دارد. علیرغم اینکه سعی شده از نمونه‌هایی، با کمترین دگرسانی و فاقد دگرسانی برای مطالعات ژئوشیمیایی انتخاب شود؛ با این وجود به نظر می‌رسد نمونه‌هایی که در

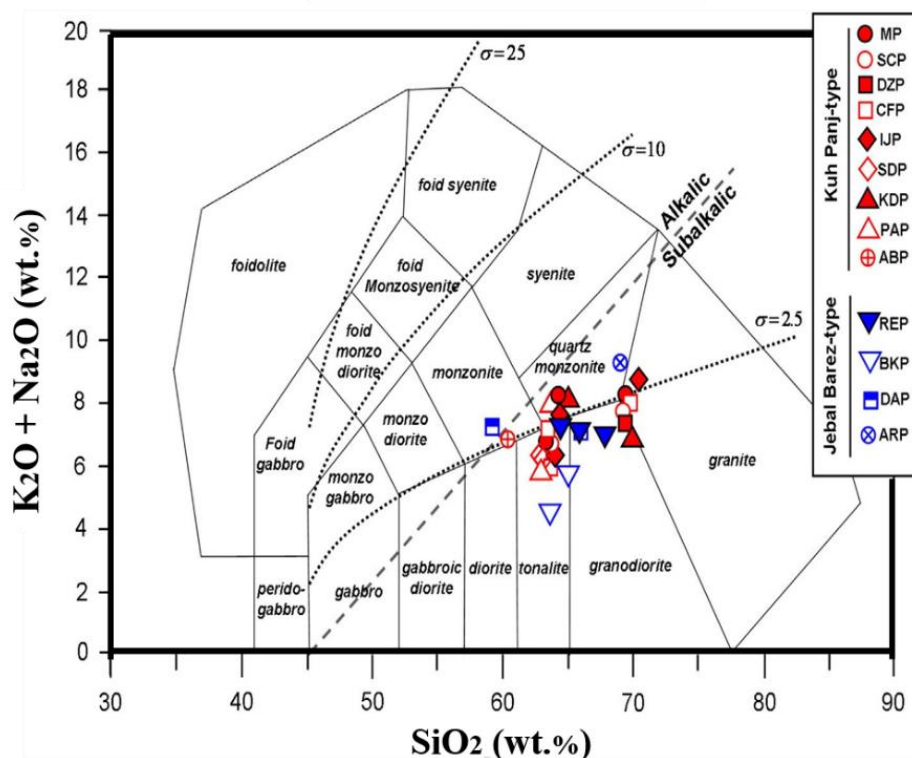
محدوده‌ی سنگ‌های فلسیک واقع شده‌اند بیشتر تحت تأثیر سیلیسی شدن قرار گرفته‌اند. با مطالعه‌ی مقاطع نازک، این نمونه‌ها در محدوده‌ی داسیت تا گرانودیوریت قرار می‌گیرند.



شکل ۵-۲. طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین نفوذی منطقه با استفاده از نمودار یانگ و میدل‌موست (Yang, 2007; Middlemost, 1994).



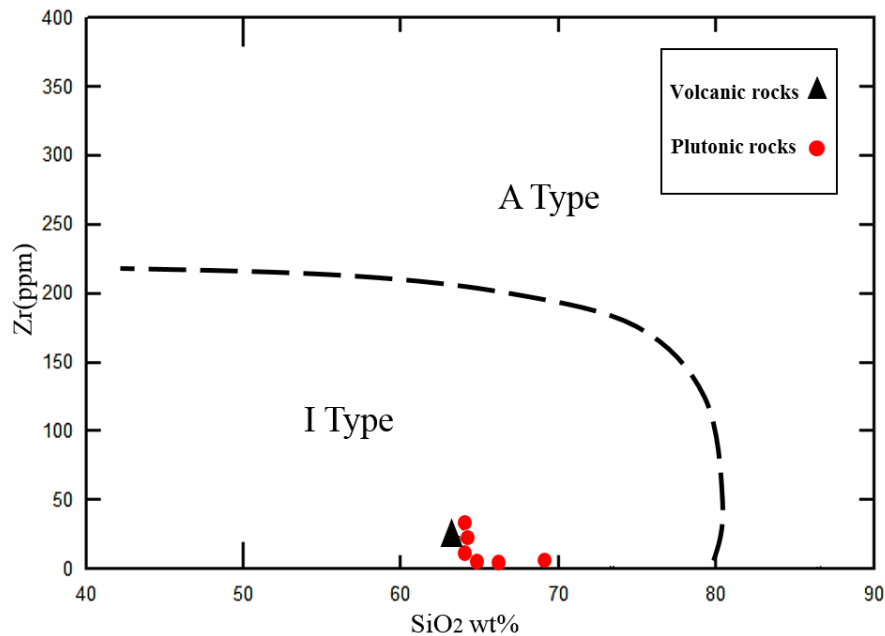
### Middlemost(1994)



شکل ۵-۳. نمودار رده بندی 2 (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O) در مقابل (SiO<sub>2</sub> - 43)، Middlemost(1994) برای پورفیری‌های KCMA.  $\sigma$  شاخص سری ریتمن (Rittmann) است (Yang, 2007)، به صورت  $(K_2O + Na_2O)^2 / (SiO_2 - 43)$  تعریف می‌شود. نمادها: پورفیری میدوک MP؛ پورفیری سرچشمه SCP؛ پورفیری دره زار DZP؛ پورفیری چاه فیروزی CFP؛ پورفیری ایجو IJP؛ پورفیری ساریدونی SDP؛ پورفیری کدر KDP؛ پورفیری پرکام PAP؛ پورفیری آبدار ABP؛ پورفیری ریگان REP؛ پورفیری باغ‌خشک BKP؛ پورفیری دره‌آلو DAP؛ و پورفیری آرچاندور ARP (Asadi et al., 2014).

چپل و وایت (Chappel and White, 1974) با مطالعه‌ی باتولیت‌های گرانیتی بزرگ کمربند تاسمانی در شرق استرالیا، گرانیتوئیدها را از نظر منشاء به دو دسته‌ی I و S تقسیم‌بندی کردند. گرانیتوئیدهای نوع I دارای سنگ منشاء آذرین بوده و یا از طریق ماگمای مافیک‌تر (بازالتی) حاصل شده‌اند. گرانیتوئیدهای نوع S سنگ منشاء رسوبی داشته و حاصل ذوب بخشی سنگ‌های پوسته هستند. کولینس و همکاران (Coolins et al., 1982) ضمن معرفی گرانیتوئیدهای نوع A یا غیرکوهزایی، نموداری

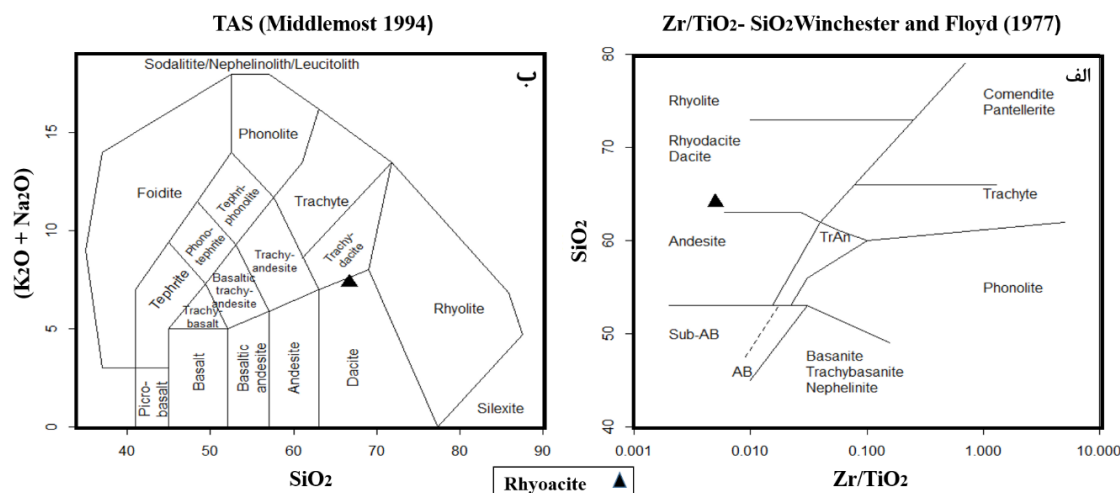
برای متمایز کردن گرانیتوئیدهای نوع A از نوع I ارائه نمودند. پس از ترسیم نمونه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه در این نمودار، در محدوده‌ی گرانیتوئیدهای نوع I واقع شدند (شکل ۵-۴).



شکل ۵-۴. ماهیت سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه در نمودار کولینس و همکاران (Coolins et al., 1982).

### ب. سنگ‌های آتشفشانی

در مقاطع نازک و رخنمون صحرایی، سنگ‌های آتشفشانی محدوده‌ی کوه‌پنج شامل توف‌ها و گدازه‌های ریوداستی ائوسن می‌باشند. از آنجایی که براساس مطالعات سنگ‌نگاری سنگ‌های آتشفشانی منطقه عمدتاً دگرسان شده بودند تنها یک نمونه از گدازه‌های ریوداستیتی (نمونه‌ی شماره‌ی ۷) برای تجزیه‌ی ژئوشیمیایی انتخاب شده است. در نامگذاری سنگ‌های آذرین بیرونی با استفاده از نمودارهای وینچستر و فلوید (Winchester and Floyd, 1977) و میدلموست (Middlemost, 1994) این نمونه به ترتیب در محدوده‌ی ریوداستیت تا داسیت (شکل ۵-۵-الف)، و در محدوده‌ی داسیت تا تراکی داسیت (شکل ۵-۵-ب) قرار گرفته است.

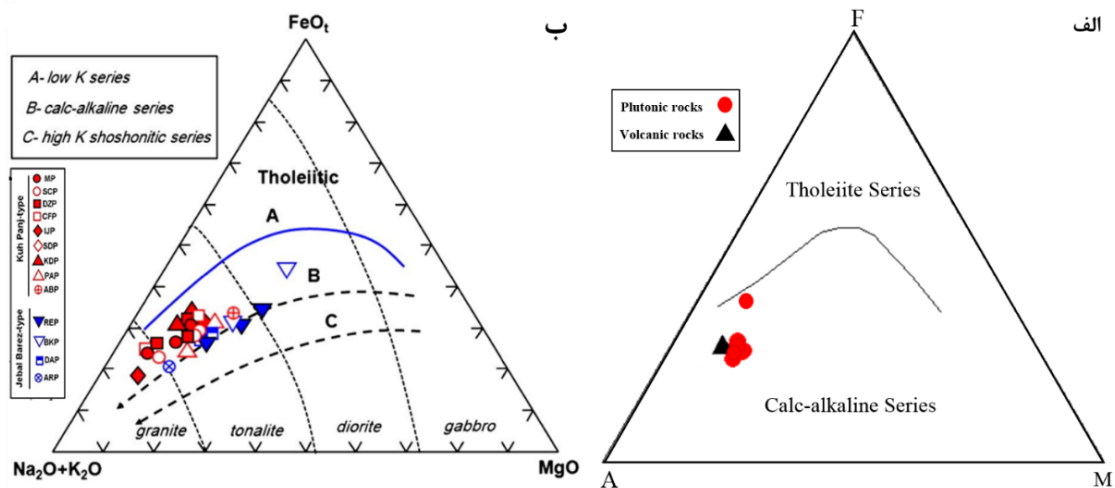


شکل ۵-۵. نمودارهای مربوط به نامگذاری سنگ‌های خروجی منطقه؛ الف) نمودار Winchester and Floyd (1977) و ب) نمودار (Middlemost, 1994).

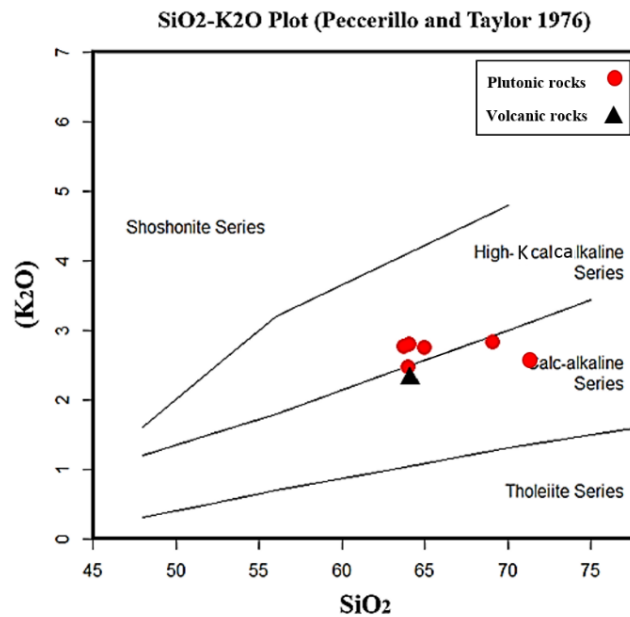
#### ۵-۴- تعیین سری ماگمایی سنگ‌های محدوده‌ی کوه پنچ

به مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین با ترکیب متنوع که از تفریق یک مذاب اولیه بازیگ حاصل شده‌اند، سری ماگمایی می‌گویند. سری ماگمایی، در شناسایی سرگذشت ماگمای به وجود آورنده سنگ‌های آذرین و همچنین مقایسه ژئوشیمیایی، کانی‌شناسی و زمین‌ساختی اهمیت زیادی دارد. سنگ‌های آتشفشانی به ۲ سری ماگمایی اصلی تقسیم می‌شوند: (۱) آکالن؛ (۲) ساب‌آکالن. سنگ‌های سری ساب-آکالن خود به دو دسته کالک‌آکالن و شوشونیتی، و دسته کالک‌آکالن به طور جزئی‌تر بر اساس تغییرات در  $K_2O$  برابر  $SiO_2$  به سه زیر شاخه کالک‌آکالن کم‌پتاسیم (تولییتی)، کالک‌آکالن با پتاسیم متوسط و کالک‌آکالن با پتاسیم بالا تقسیم می‌شوند. برای تعیین سری ماگمایی سنگ‌ها نمودارهای مختلفی وجود دارد. سری ماگمایی سنگ‌های منطقه با توجه به نمودار ایروین و باراگار (Irvin and Baragar, 1971) (شکل ۵-۶-الف) در محدوده‌ی کالک‌آکالن واقع می‌باشند. این سری با نموداری که اسدی و همکاران (Asadi et al., 2014) از فروست و همکاران (Frost et al., 2001) در مورد کانسارهای تیپ کوه پنچ و تیپ جبال‌بارز ارائه کرده‌اند؛ مطابقت دارد. مطابق شکل ۵-۶-ب، دیگر کانسارهای مس پورفیری واقع بر روی کمر بند مس کرمان نیز در وضعیت تقریباً مشابهی قرار دارند. در شکل ۵-۷ نیز،

طبق نمودار  $SiO_2$  در مقابل  $K_2O$  از پکریلو و تیلور (Peccerillo & Taylor, 1976) از نظر میزان پتاسیم، این نمونه‌ها اکثراً در مرز محدوده‌ی کالک‌آلکان پتاسیک (نفوذی‌های منطقه) و کالک‌آلکان معمولی (آتشفشانی‌های منطقه) واقع شده‌اند.



شکل ۵-۶. تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی با استفاده از نمودارهای: الف) AFM (Irvin and Baragar, 1971) و ب) دیاگرام  $(Na_2O + K_2O - FeO_t - MgO)$  AFM تعیین سری ماگمایی تولئیتی یا کالک‌آلکان (and Baragar, 1971; Frost et al., 2001; Asadi et al., 2014).

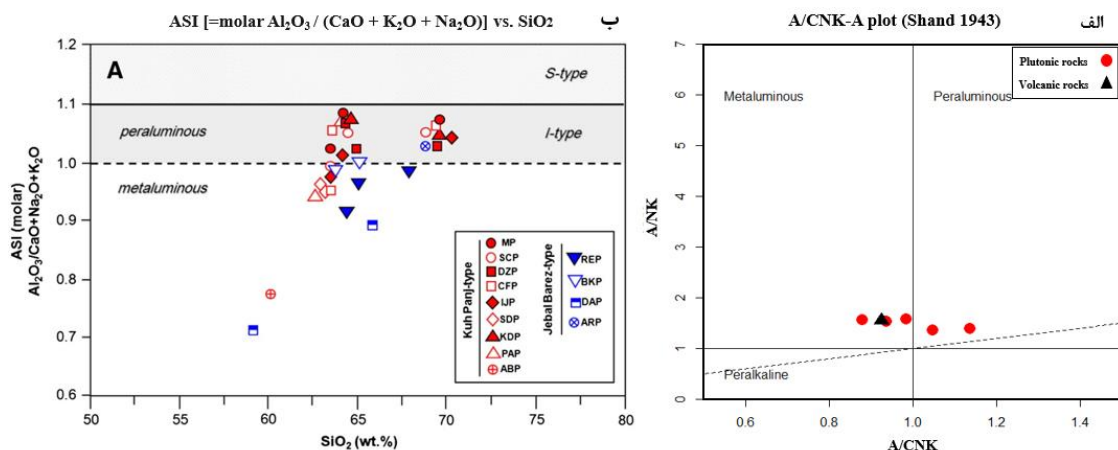


شکل ۵-۷. سنگ‌های منطقه‌ی کوه‌پنج در نمودار  $SiO_2 - K_2O$  Plot (Peccerillo & Taylor, 1976) در محدوده‌ی سری کالک‌آلکان قرار می‌گیرند.

## ۵-۵- درجه اشباع از آلومین

آلومینیوم در پوسته قاره‌ای به فراوانی یافت می‌شود. سنگ‌های آذرین براساس شاخص اشباع از آلومینیوم به گروه‌های پرآلومین، متآلومین، پرآلکالن و ساب‌آلومین تقسیم‌بندی شده‌اند. از نظر پرآلومین بودن گرانیته‌های نوع S و I تقریباً مشابه (نوع S پرآلومینتر) هستند ولی گرانیته‌های نوع I مافیک متآلومین است. بنابراین میزان آلومینیوم عاملی برای تفکیک گرانیته‌هاست. طبق دیاگرام شاند (Shand, 1943) سنگ‌های منطقه عمدتاً در محدوده‌ی متآلومینوس و کمتر پرآلومینوس قرار می‌گیرد (شکل ۵-۸-الف). سایر کانسارهای تیپ کوه‌پنج در شکل (۵-۸-ب) نیز از این روند طبیعت می‌کنند. به‌عنوان مثال به عقیده‌ی علیرضایی و همکاران (Alirezaei et al., 2017) سنگ میزبان کانه‌زایی در محدوده‌ی کانسار میدوک (به‌عنوان نمونه‌ای از کانسارهای تیپ کوه‌پنج) نیز ترکیبی از متآلومینوس تا پرآلومینوس ضعیف دارد.

در مورد کانسارهای تیپ کوه‌پنج و جبال بارز، اگرچه هر دو گروه از این گرانیته‌ها در دیاگرام ASI در مقابل  $\text{SiO}_2$  از مانیار و پیکولی (Maniar and Piccoli, 1989) در محدوده‌ی متآلومینوس و پرآلومینوس قرار گرفته‌اند؛ اما پورفیری‌های کوه‌پنج درجه‌ی اشباع شدگی بالاتری از آلومین (متوسط  $\text{ASI} = 1.01$ ) در مقایسه با نفوذی‌های جبال بارز (متوسط  $\text{ASI} = 0.93$ ) نشان می‌دهند (Asadi et al., 2014). این امر می‌تواند به دلیل سهم بیشتر پوسته در تولید ماگمای والد این سنگ‌ها نسبت به گرانیته‌های تیپ جبال بارز باشد.



۵-۸. موقعیت توده‌های نفوذی منطقه: الف) نمودار نسبت مولی A/NK در مقابل A/CNK برای تمایز سنگ‌های پراآلومین، متاآلومین و پراآلکالین (Shand, 1943). ب) نمودار نسبت  $Al_2O_3 / (CaO + K_2O + Na_2O)$  در مقابل  $SiO_2$  (Maniar and Piccoli, 1989) برای پورفیری‌های کمر بند سنوزوئیک کرمان، که سنگ‌های گرانیتوئیدی را بر اساس ویژگی‌های شیمیایی از یکدیگر متمایز می‌کند (Asadi et al., 2014).

### ۵-۶- نمودارهای عنکبوتی و تعیین منشأ ماگمای سازنده

عناصر کمیاب شامل عناصری هستند که مقدار آنها از ۰/۱ درصد کمتر است (Rollinson, 1993). مطالعات عناصر کمیاب، بخش مهمی از سنگ‌شناسی است و نسبت به عناصر اصلی کارایی بهتری در متمایز کردن فرایندهای سنگ‌شناسی دارد. این عناصر به دو دسته سازگار و ناسازگار تقسیم می‌شوند که دسته اول به‌طور ترجیحی در فاز جامد باقی می‌ماند و در مراحل اولیه تبلور وارد ساختمان کانی‌های تشکیل دهنده می‌شوند و مقدار آنها در ماگمای باقیمانده کاهش می‌یابد (Ringwood, 1975). دسته دوم به‌طور ترجیحی وارد فاز مذاب می‌شوند. البته ممکن است یک عنصر در مذاب‌های با ترکیب مختلف، رفتارهای متفاوتی از خود نشان دهد.

عناصر ناسازگار را بر اساس پتانسیل یونی (نسبت بار یون به شعاع یون) به ۳ نوع تقسیم می‌کنند:

(۱) عناصر با میدان پایداری بالا (High Field Strength Elements: HFSE) شامل: Ta، Th، U، Pb،

، Zr، Hf، Ti، Nb، Sc و Y. غلظت این عناصر به وسیله شیمی سنگ منشأ و فرایندهای

بلور/مذاب که در هنگام تشکیل سنگ صورت می‌گیرد، کنترل می‌شود.

۲) عناصر با میدان پایداری پایین (Low Field Strength Elements: LFSE) یا عناصر لیتوفیل با یون بزرگ (Large Ion Lithophile Elements: LILE): Cs، Pb، K، Sr، Ba و Rb. غلظت این عناصر تابعی از رفتار فاز سیال است.

۳) یکی از گروه‌های مهم عناصر ناسازگار که در مطالعات سنگ‌شناسی کاربرد گسترده‌ای دارند، عناصر خاکی کمیاب (REE) یا لانتانیدها هستند. این عناصر شامل ۱۵ عنصر با عدد اتمی ۵۷ تا ۷۱ هستند که در گروه IIIA جدول تناوبی مندلیف قرار دارند. عناصر خاکی کمیاب به ۳ زیر گروه تقسیم می‌شوند:

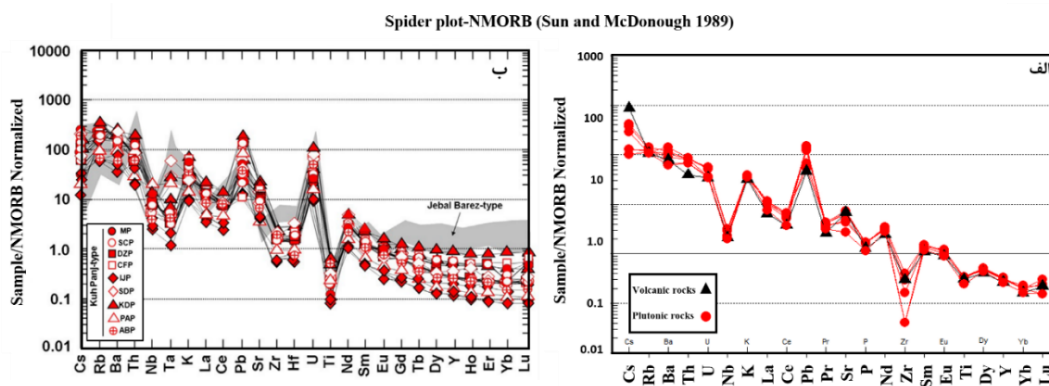
- زیر گروه عناصر کمیاب خاکی سبک (Light Rare Earth Elements: LREE): این گروه شامل عناصری با عدد اتمی ۵۷ تا ۶۱ است: La, Ce, Pr, Nd, Pm.
- زیر گروه عناصر کمیاب خاکی متوسط (Middle Rare Earth Elements: MREE): این گروه شامل عناصری با عدد اتمی ۶۲ تا ۶۷ است: Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho.
- زیر گروه عناصر کمیاب خاکی سنگین (Heavy Rare Earth Elements: HREE): این گروه شامل عناصری با عدد اتمی ۶۸ تا ۷۱ است: Er, Tm, Yb, Lu and Y.

رفتارهای ژئوشیمیایی REE در حین فرایندهای خاص زمین‌شناسی، آنها را به طور ویژه‌ای برای شناسایی منشأ سنگ‌های آذرین مطلوب کرده است که به عنوان مثال می‌توان به تفکیک آنها در سیستم‌های آذرین و عدم تحرک نسبی آنها در دگرگونی‌های گرمابی اشاره کرد.

### نتایج حاصل از بررسی نمودارهای عنکبوتی

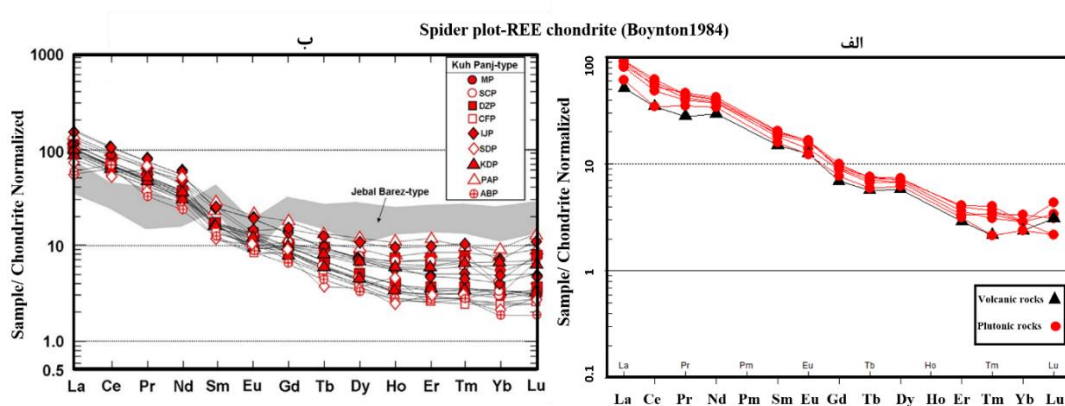
بررسی نمودارهای عنکبوتی سنگ‌های منطقه‌ی کوه پنج که به ترکیب گوشته‌ی اولیه به‌هنجار شده‌اند (Sun & MCDonough, 1989) نشان می‌دهد که این سنگ‌ها در برخی عناصر LILE نظیر Ba و Rb دارای یک غنی‌شدگی جزئی و در برخی دیگر نظیر Cs، Pb، K و Sr دارای غنی‌شدگی بالایی می‌باشند (شکل ۵-۹-الف). در مقابل فقیرشدگی در عناصر HFSE نظیر Zr، Ti، Nb وجود دارد. بی‌هنجاری

منفی در Th Nb، P و Ti از مهمترین مشخصه‌های ماگماهای I مرتبط با فرورانش محسوب می‌شود (Christiansen and Keith, 1996) و از ویژگی‌های محیط‌های کمانی می‌باشد. آنومالی منفی Nb و Ti و غنی‌شدگی نسبی Cs نشان دهنده آغشتگی ماگمای اولیه با پوسته زیرین می‌باشد (Wilson, 1989; Gioncada et al., 2003). کاهش قابل ملاحظه در عنصر Nb و نیز افزایش Pb که از ویژگی‌های سنگ‌های قاره‌ای و شاخص‌های محیط‌های فرورانش حاشیه‌ی قاره‌ای است و ممکن است معرف آرایش ماگمایی توسط سنگ‌های پوسته‌ای باشد. همچنین مقادیر بالای Sr و بی‌هنجاری منفی تیتانیوم، نیوبیوم و تانتالیم می‌تواند نشانگر عدم حضور پلاژیوکلاز و حضور اکسیدهای آهن و تیتانیم در تفاله‌ی باقیمانده‌ی ذوب باشد. با توجه به اینکه در سنگ‌های منطقه آنومالی منفی Eu دیده نمی‌شود، به نظر می‌رسد که تفریق پلاژیوکلاز نقش مهمی در تحول ماگما نداشته است. برای بررسی الگوی طراحی عناصر کمیاب و خاکی کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت از نمودار بوینتن (Boynnton, 1984) استفاده شده است. در شکل (۵-۱۰-الف)، عناصر خاکی کمیاب سبک نسبت به عناصر خاکی سنگین غنی‌شدگی نشان می‌دهند که این به نوبه‌ی خود نشانی از منشأ آداکیتی سنگ‌های منطقه است. این الگوی آداکیت-ها شاخص و نشان‌دهنده‌ی تفریق یافتگی شدید می‌باشد. جهت مقایسه‌ی ویژگی‌های عناصر کمیاب کوه‌پنج، نمودارهای مشابه ارائه شده توسط اسدی و همکاران (Asadi et al., 2014) در مورد کانسارهای تیپ کوه‌پنج و جبال بارز نیز آورده شده، که همخوانی مشخصی بین این نمودارها مشاهده می‌شود.



شکل ۵-۹. توزیع عناصر کمیاب در محدوده الف) کوه‌پنج و ب) کانسارهای تیپ کوه‌پنج و جبال بارز، که نسبت به بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی اولیه به‌هنجار شده‌اند (Sun & McDonough, 1989).





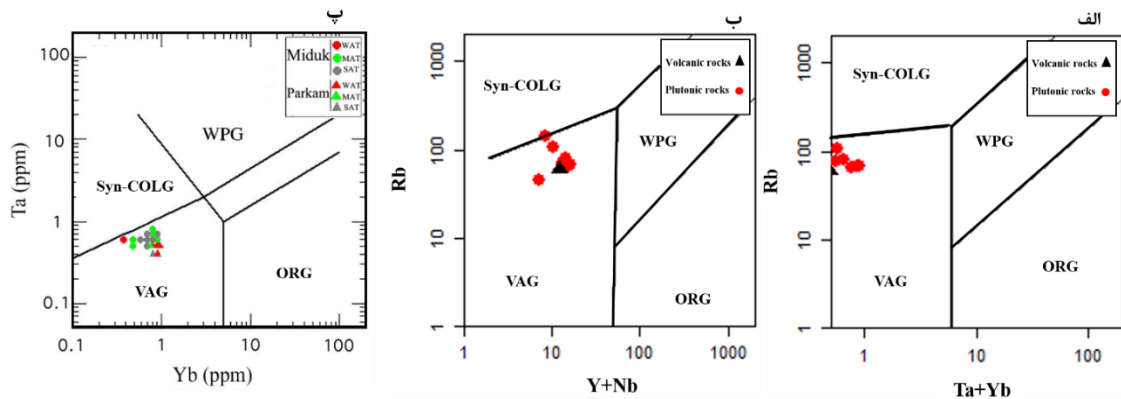
شکل ۵-۱۰. الگوی عناصر کمیاب در محدوده‌ی الف (کوه‌پنج و ب) کانسارهای تیپ کوه‌پنج و جبال بارز، که نسبت به کندریت نرمالیزه شده‌اند (Boynton, 1984).

## ۵-۷- تعیین محیط تکتونیکی سنگهای آذرین محدوده‌ی کوه‌پنج

در هر جایگاه زمین‌ساختی، فعالیت‌های آذرین موجب تولید ماگماهایی می‌شوند که از نظر ویژگی‌های ژئوشیمیایی ویژه آن محیط زمین‌ساختی هستند. بنابراین، می‌توان با استفاده از داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی سنگ‌ها، به جایگاه زمین‌ساختی آنها پی برد. نمودارهای متمایزکننده به‌ندرت، محیط زمین‌ساختی قدیمی را بدون ابهام تعیین می‌کنند. این نمودارها در بهترین حالت، فقط احتمال وجود یک محیط زمین‌ساختی را نشان می‌دهند (کریم زاده ثمرین، ۱۳۸۱).

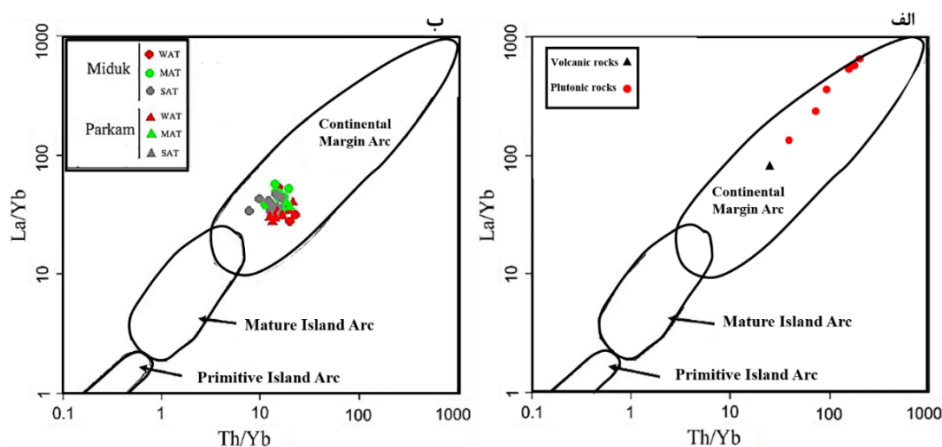
اولین مطالعه سیستماتیک ژئوشیمیایی گرانیتوئیدها و جایگاه تکتونیکی توسط پیرس و همکاران (Pearce et al., 1984) انجام گرفت. بررسی‌های اولیه از ارتباط غلظت عناصر کمیاب در مقابل سیلیس، نشان دهنده این نکته بود که عناصر Y, Hf, Zr, Sm, Ce, Ta, Nb, K, Ba, Rb, Yb، به‌طور مؤثری در تمایز گرانیتوئیدهای مربوط به جایگاه‌های تکتونیکی مختلف کارآمد است. از این میان، عناصر Y, Rb و Yb و همچنین Ta و Nb به‌عنوان شاخصه‌های بسیار مؤثر برای تمایز بین گرانیتوئیدها انتخاب شدند. در این نمودار با استفاده از عناصر یاد شده، گرانیتوئیدها را به انواع گرانیتوئید زون گسترش (ORG)، گرانیتوئید همزمان با تصادم (Syn-CLOG)، گرانیتوئید درون صفحه‌ای (WPG)،

و گرانیتوئید قوس آتشفشانی یا کمر بند ماگمایی زون فرورانش (VAG)، تقسیم‌بندی کرده‌اند. در این نودارها موقعیت کانسار کوه‌پنج در کمر بند ماگمایی زون فرورانش قرار می‌گیرد. همانند کانسار کوه‌پنج، کانسارهای میدوک و پرکام نیز در این زون واقع شده‌اند (شکل ۵-۱۱).



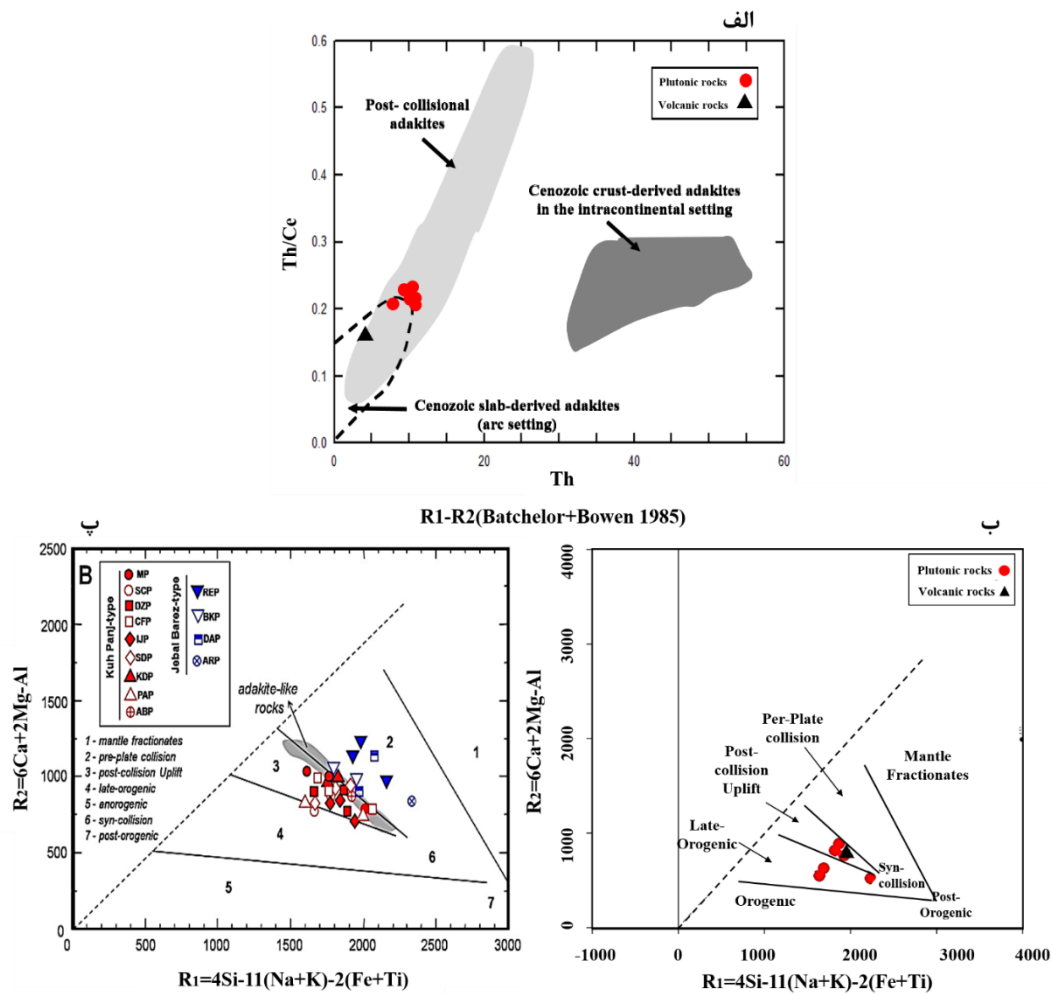
شکل ۵-۱۱. الف) و ب) تعیین جایگاه تکتونیکی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده نمودارهای (Pearce et al., 1984) و پ) مقایسه‌ی این نمودارها با نمودار کانسارهای میدوک و پرکام (Alirezayi et al., 2017). ORG: گرانیت زون گسترش اقیانوسی، VAG: گرانیتوئید قوس آتشفشانی، WAG: گرانیتوئید درون صفحه‌ای، Syn-COLG: گرانیت همزمان با تصادم.

با استفاده از نمودار تفکیک موقعیت تکتونیکی که توسط کاندی (Condie, 1989) ارائه شده است؛ کانسار کوه‌پنج در محدوده‌ی کمان‌های حاشیه قاره‌ای واقع شده است (شکل ۵-۱۲-الف). نظیر این موقعیت در کانسار میدوک و پرکام نیز دیده می‌شود (شکل ۵-۱۲-ب).



شکل ۵-۱۲. موقعیت سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی الف) کانسار کوه‌پنج و ب) کانسارهای میدوک و پرکام، در نمودار تمایز موقعیت تکتونیکی (Condie, 1989).

در نمودار Th/Ce در مقابل Th از وانگ و همکاران (Wang et al., 2008) و نمودار بچلور و باون R1- (Batchelor and Bowen 1985) اکثر سنگ‌های منطقه، در محدوده‌ی محیط‌های پس از برخورد واقع شده‌اند (شکل ۵-۱۳-الف و ب). این روند با سایر کانسارهای تیپ کوه‌پنج مشابهت دارد (شکل ۵-۱۳-پ). علیرضایی و همکاران (Alirezayi et al., 2017) عقیده دارند که تشکیل کانسارهای تیپ کوه‌پنج، مربوط به ماگماتیسم آداکیتی نئوژن در محیط تکتونیکی پس از برخورد پوسته‌های عربی-اوراسیا در ائوسن پایانی می‌باشد که این استدلال می‌تواند برای کانسار میدوک و پرکام نیز در نظر گرفته شود. علاوه بر این، نتایج سن‌سنجی آقازاده و همکاران، با امکان برخورد بین صفحات عربی و ایران در زمان ائوسن پایانی-اولیگوسن همراه شده است که مدل تشکیل کانسارهای مس پورفیری ایران را با ذوب بخشی لیتوسفر فرورانده شده‌ی پیشین، در محیط تکتونیکی پس از فرورانش و پس از برخورد را تایید می‌کند (Aghazadeh et al., 2015). خیراً پیش بینی شده است که برخی از کانسارهای مس پورفیری پس از پایان فرآیند فرورانش در یک محیط تکتونیکی پس از برخورد اتفاق می‌افتند (Hou et al., 2009; Richards, 2009; Shafiei et al., 2009; Sillitoe, 2010). نتایج این تحقیقات تأییدی بر آنچه که در مورد کانسار کوه‌پنج ذکر شد می‌باشند.



شکل ۵-۱۳. الف) نمودار Th/Ce در مقابل Th برای نمونه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه. میدان‌های مشخص شده روی نمودار از وانگ و همکاران (Wang et al., 2008) است. ب) نمودار R1-R2 (Batchelor and Bowen, 1985) برای کانسار کوه‌پنج و پ) کانسارهای تیپ کوه‌پنج و تیپ جبال بارز (Asadi et al., 2014).

## ۵-۷-۱- آداکیت‌ها

واژه‌ی آداکیت اولین بار برای نامگذاری دسته‌ای از سنگ‌های آتشفشانی و معادل‌های درونی آنها در محیط‌های کمان قاره‌ای یا جزایر کمانی جوان به کار برده شد که دارای ویژگی‌های ژئوشیمیایی متفاوت با سنگ‌های معمول کمان بودند (Defant and Drummond, 1990). ماگماهایی با ترکیب اسیدی تا حدواسط که از ذوب بخشی پوسته اقیانوسی فرورونده تولید می‌شوند (Drummond, 1990; Dum, 1994). توده‌های نفوذی که دارای گرایش آداکیتی هستند، به‌طور مکانی و زمانی ارتباط

ژنتیکی با کانه‌زایی مس-مولیبدن و مس-طلائی پورفیری و رگه‌های اپی‌ترمال طلا دارند (Sajona and Maury, 1998) اغلب پورفیری‌های آداکیتی در نمودار اِروین و باراگار (Irvine and Baragar, 1971) از نظر سری ماگمایی، کالک‌آلکان هستند. از دیگر ویژگی‌های شاخص ماگماهای آداکیتی می‌توان به غنی‌شدگی در عناصر گروه LREE و تهی‌شدگی در Y و عناصر گروه HREE و نسبت پایین  $MgO < 3\%$ ،  $Yb < 1.9 \text{ ppm}$ ،  $Y < 18 \text{ ppm}$  نسبت‌های بالای  $La/Yb > 9$ ،  $Sr/Y > 50$ ،  $Sr > 400 \text{ ppm}$ ،  $Al_2O_3 > 15\%$  اشاره کرد. با توجه به جدول (۲-۵) کانسار کوه‌پنج از نظر نسبت عناصر و همچنین مقادیر ذکر شده در مورد اکسیدهای اصلی، دارای تشابه زیادی با ماگماهای آداکیتی می‌باشد.

جدول ۲-۵. مقایسه خصوصیات ژئوشیمیایی سنگ‌های مربوط به کانسار کوه‌پنج با ویژگی‌های ژئوشیمیایی ماگماهای آداکیتی.

Parameter	Martin et al.(2005)	Richards and Kerrich(2007)	Kuhpanj deposit
SiO <sub>2</sub>	>56 wt. %	≥ 56 wt. %	63.71-71.67 wt.%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		≥ 15 wt. %	11.42-16.57 wt.%
MgO		Normally <3 wt. %	1.21-2.14 wt.%
Na <sub>2</sub> O	3.5-7.5 wt. %	≥ 3.5 wt. %	3.14-5.45 wt.%
K <sub>2</sub> O		≤ 3 wt. %	2.31-2.83 wt.%
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	~0.42	~0.42	0.58
Rb		≤ 65 ppm	60-80 ppm
Sr		≥ 400 ppm	248.3-664 ppm
Y	≤ 18 ppm	≤ 18 ppm	7.2-9.3 ppm
Yb	≤ 1.8 ppm	≤ 1.9 ppm	0.04-0.3 ppm
Cr	36 ppm	≥ 30 ppm	16-28 ppm
Sr/Y		≥ 20	18.83-82.9 ppm
La/Yb	≥~15	≥ 20	93.33-725 ppm

#### ۲-۷-۵- منشاء آداکیت‌ها:

در مورد منشاء ماگمای آداکیتی، نظریه‌های گوناگونی وجود دارد که به آنها اشاره خواهیم کرد:

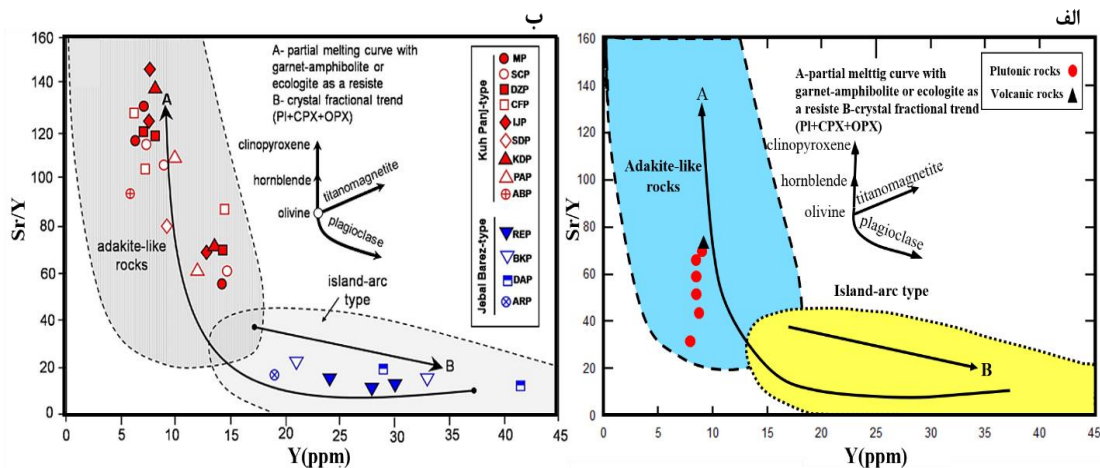
(۱) ذوب بخشی بازالت لیتوسفر اقیانوسی (Defant and Drummond, 1990).

۲) ذوب بخشی تیغه فرورونده در رخساره اکلوزیتی که با ذوب رسوبات قاره‌ای همراه با تیغه فرورونده و گوه گوشته‌ای در محیط فرورانش رخ می‌دهد (Yogodzinski et al., 1995; Martin, 1999; Sajona et al., 2000; Kelemen et al., 2003).

۳) ذوب ماگمائی گوشته آبدار به همراه حضور سیالات و مذاب برخاسته از تیغه فرورونده و رسوبات همراه آن (Grove et al., 2003). این نظریه تحت عنوان ذوب گوه گوشته‌ای متأثر از متاسوماتیسم عنوان شده است که تحت تأثیر سیالات و مذاب‌های برخاسته از واکنش‌های آبریزی در پوسته فرورونده و رسوبات همراه آن بوده است.

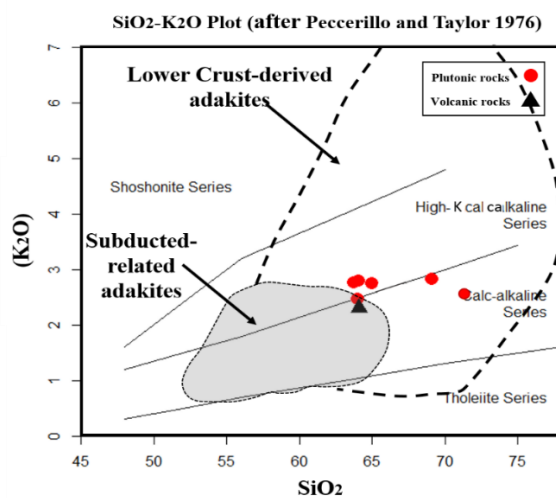
۴) ذوب پوسته زیرین در بخش‌هایی از کمان‌های قاره‌ای که با ضخیم‌شدگی پوسته همراه است (Atherton and Petford, 1993).

در شکل (۵-۱۴) بر اساس نسبت Sr/Y به Y واضح است که کانسار کوه‌پنج همچون دیگر کانسارهای تیپ کوه‌پنج نظیر سرچشمه، میدوک و... در محدوده‌ی آداکیت واقع شده است. فلش‌های A و B بر روی این نمودارها به ترتیب بیانگر: A، منحنی ذوب بخشی گارنت-آمفیبولیت یا اکلوزیت و B، روند تبلور بخشی پلاژیوکلاز، ارتوپروکسن و کلینوپروکسن می‌باشند. کانسارهای تیپ کوه‌پنج چینشی مطابق با روند منحنی A از خود به نمایش گذاشته‌اند. درحالی‌که کانسارهای تیپ جبال‌بارز هم‌راستا با منحنی B می‌باشند و در محدوده‌ی تیپ‌های جزایز قوسی قرار می‌گیرند.



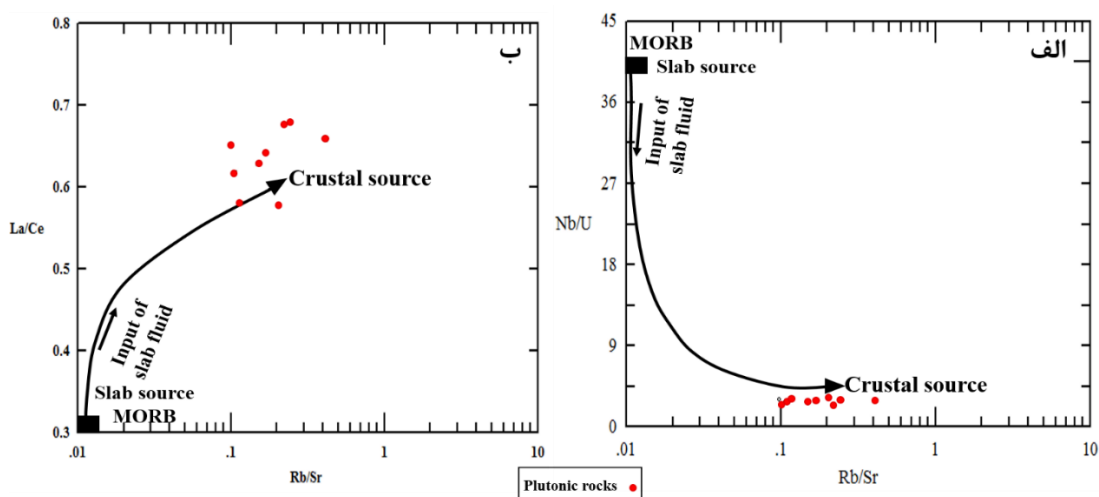
شکل ۵-۱۴. نمودار Sr/Y در مقابل Y (از Defant and Drummond, 1993)، الف) کانسار کوهپنج، ب) کانسارهای تیپ کوهپنج و جبال بارز. فلش سیاه روند حضور هورنبلند، کلینوپیروکسن، تیتانومگنتیت و پلاژیوکلاز را در ناحیه‌ی منشاء نشان می‌دهد (Asadi et al., 2014 پس از Castillo, 2012).

همانطور که قبلاً گفته شد، ذوب بخشی سنگ‌های حدواسط- مافیک واقع در پوسته زیرین که توسط ماگماهای مافیک گوشته‌ی زیر آن گرم شده است، مکانیسم دیگری است که ممکن است ماگما آداکیتی را تولید کند (Atherton and Petford, 1993; Petford and Atherton, 1996). در نمودار K<sub>2</sub>O در مقابل SiO<sub>2</sub> که توسط پسریلو و تیلور (Peccerillo and Taylor, 1976) ارائه شده است (شکل ۵-۱۵)، اکثر سنگها در محدوده‌ی آداکیت‌های مشتق شده از پوسته‌ی زیرین واقع شده‌اند.

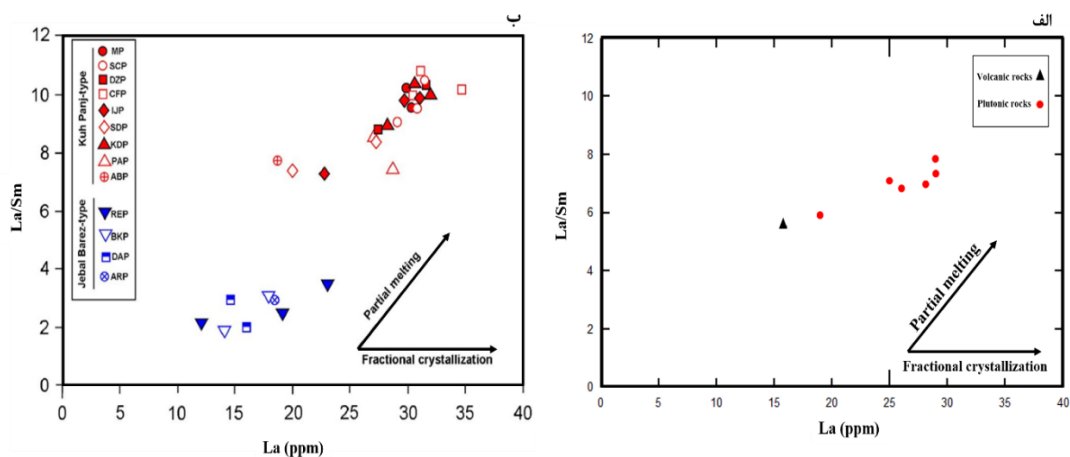


شکل ۵-۱۵. نمودار K<sub>2</sub>O در مقابل SiO<sub>2</sub> (Peccerillo and Taylor, 1976)، که سنگ‌های منطقه‌ی کوهپنج در محدوده‌ی آداکیت‌های مربوط به پوسته‌ی زیرین واقع شده‌اند.

طبق شکل (۵-۱۶)، (دیاگرام‌های Rb/Sr در مقابل Nb/U و Rb/Sr در مقابل La/Ce از هافمن و همکاران و هوو و همکاران (Hofmann et al. 1986; Hou et al. 2004))، توده‌ی نفوذی کوه‌پنج بین مذاب‌های مشتق شده از پوسته‌ی قاره‌ای و مذاب‌های مشتق شده از پوسته‌ی اقیانوسی، با وابستگی نزدیک به منبع پوسته‌ای ترسیم شده است. علاوه بر این نمودار La/Sm در مقابل La برای کانسار کوه‌پنج (شکل ۵-۱۷ الف) و پورفیری‌های کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان (شکل ۵-۱۷ ب)، نشان می‌دهد که تکامل پورفیری‌های تیپ کوه‌پنج عمدتاً با ذوب بخشی کنترل می‌شود (Asadi et al., 2014).



شکل ۵-۱۶. دیاگرام‌های الف) Rb/Sr در مقابل Nb/U و ب) Rb/Sr در مقابل La/Ce (Hofmann et al. 1986; Hou et al. 2004) نشان‌دهنده‌ی توضیح داده‌ها در توده‌ی نفوذی کوه‌پنج است.

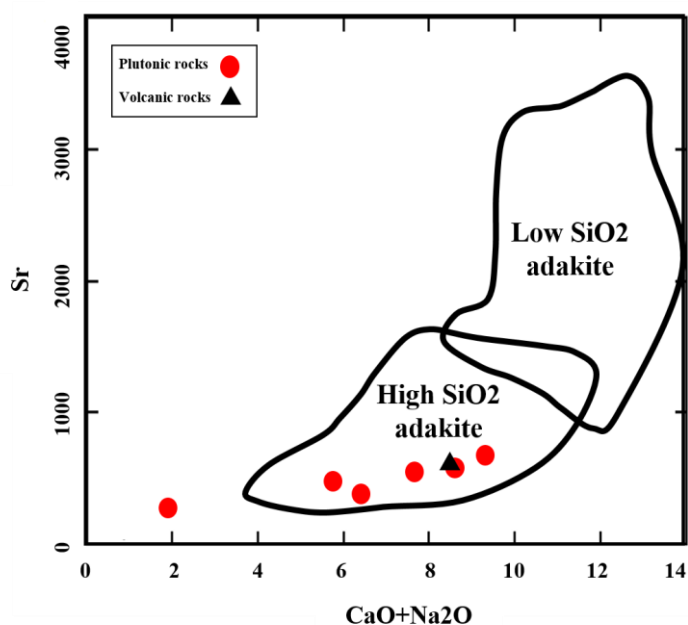


شکل ۵-۱۷. نمودار La/Sm در مقابل La برای، الف) کانسار کوه‌پنج و ب) پورفیری‌های KCMA، نشان می‌دهد که تکامل کوه‌پنج عمدتاً با ذوب بخشی کنترل می‌شود (Asadi et al., 2014).



### ۵-۷-۳- تقسیم‌بندی آداکیت‌ها بر اساس محتوای سیلیس

آداکیت‌ها بر اساس محتوای  $\text{SiO}_2$  به دو گروه اصلی تقسیم شده‌اند: آداکیت‌های پرسیلیس (HSA) و آداکیت‌های کم‌سیلیس (LSA) (Martin et al., 2005; Moyen, 2009; Drummond and Defant, 1990). سنگ‌های آداکیتی با محتوای سیلیس پایین حاوی ۵۰ تا ۶۰ درصد  $\text{SiO}_2$  هستند؛ در حالی که سنگ‌های آداکیتی پرسیلیس دارای بیش از ۵۶ درصد  $\text{SiO}_2$  می‌باشند (Moyen, 2009). علاوه بر این، این سنگ‌ها دارای مقادیر بالای  $\text{Na}_2\text{O}$  و پایین  $\text{K}_2\text{O}$  و نسبت کاملاً پایین  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  (۰,۲-۱) (جدول ۵-۲) هستند (Yousefi et al., 2017). با توجه به نمودار شکل (۵-۱۸)،  $\text{Sr}$  در مقابل  $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$  از مارتین و همکاران (Martine et al., 2005) سنگ‌های کوه‌پنج در محدوده‌ی آداکیت‌های پرسیلیس واقع شده‌اند.



شکل ۵-۱۸. نمودار تمایز انواع آداکیت‌ها از مارتین و همکاران (Martine et al., 2005) و قرارگیری سنگ‌های بررسی شده در میدان آداکیت‌های پرسیلیس.

## ۵-۸- ژئوشیمی کانسنگ‌های کوه‌پنج

روش‌های ژئوشیمیایی، نقش مهمی در ثبت بی‌هنجاری‌های وابسته به کانه‌زایی‌های آشکار و نهان دارند (Robert et al., 2007). بررسی‌های ژئوشیمیایی کانسنگ در کانسار کوه‌پنج بر روی نمونه‌های مغزه‌های حفاری انجام شده است، برای اینکه در محدوده‌ی کوه‌پنج آثاری از کانه‌زایی سولفیدی مشاهده نمی‌شود. داده‌های ژئوشیمیایی به کار گرفته شده در این بخش از گمانه‌های اکتشافی صنایع ملی مس ایران (گمانه‌های KOP-2 و KOP-6) و نیز داده‌هایی است که در چهارچوب پژوهش حاضر تولید شده است (پیوست و جدول ۵-۳). 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.

جدول ۵-۳. مقادیر اکسیدهای اصلی (درصد وزنی)، عناصر کمیاب و کمیاب خاکی (گرم در تن) حاصل از آنالیز ۳ نمونه‌ی کانسنگ به روش ICP-OES و ICP-MASS و آنالیز طلا (میلی گرم در تن) به روش FireAssay.

Element	KOP-G9	KOP-G10	KOP-G11	Element	KOP-G9	KOP-G10	KOP-G11	Element	KOP-G9	KOP-G10	KOP-G11
اکسیدهای اصلی				Cs	۲/۳	۴/۹	۳/۴				
SiO <sub>2</sub>	۷۰/۱۹	۶۶/۷۱	۶۵/۹۹	Cu	۹۷۱۴	۸۷۷	۱۳۴۳	U	۱/۷	۱/۹	۲/۱
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۱/۳۶	۱۲/۵۷	۱۶/۳۳	Hf	۰/۳	۰/۳	۰/۳	V	۸۲	۶۱	۸۱
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۴/۲۳	۷/۳۹	۳/۵۴	Li	۵	۸	۸	W	۰/۷۵	۱/۹	۲/۷
MgO	۱/۹۵	۰/۸۸	۱/۸۸	Mo	۷۶	۳۳/۷	۷۵/۷	Y	۸/۵	۸/۷	۸/۲
CaO	۰/۴۲	۱/۰۹	۱/۹۵	Nb	۴/۹	۴۶	۵/۷	Zn	۹۶	۶۰۳۱	۵۳
Na <sub>2</sub> O	۳/۲۱	۲/۷۳	۵/۵۹	Ni	۱۴	۱۰	۱۱	Zr	۳	۳	۳
K <sub>2</sub> O	۲/۷۲	۲/۴۱	۲/۶۳	P	۷۳۸	۹۵۲	۷۰۵	عناصر کمیاب خاکی			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۷	Pb	۲۹	۱۳۶۳	۲۸	La	۲۳	۲۳	۲۷
MnO	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۳	Rb	۶۷	۶۶	۷۸	Ce	۳۵	۳۴	۴۳
TiO <sub>2</sub>	۰/۴۹	۰/۳۴	۰/۵۱	S	۸۲۵۵	۳۳۰۰۰	۱۹۰۶	Pr	۴/۷۶	۴/۳۸	۵/۰۳
عناصر کمیاب				Sb	۰/۹	۱۴/۹	۰/۰۴	Nd	۲۱/۷	۱۹/۹	۲۲/۳
Ag	۰/۶	۴/۵	۰/۰۷	Sc	۵/۱	۴/۱	۵/۳	Sm	۳/۳۵	۳/۱۳	۳/۶۶
As	۶/۴	۳۸.۶	۴/۷	Se	۲/۴۱	۳/۰۲	۱/۳۷	Eu	۱	۱	۱/۱۴
Au	۱۹	۹۶	۶	Sn	۱/۳	۱/۴	۱/۶	Gd	۲/۲۱	۱/۹۲	۲/۳۱
Ba	۳۹۴	۱۹۳	۵۵۴	Sr	۱۶۰/۱	۲۹۶۶	۵۱۹	Tb	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۳۳
Be	۱/۱	۱/۵	۱/۵	Ta	۰/۴	۰/۴۴	۰/۵۲	Dy	۲/۲	۱/۹۸	۲/۱۸
Bi	۰/۷	۱۱/۶	۰/۱	Te	۰/۰۷	۱/۶	۰/۱۸	Er	۰/۷۵	۰/۶۶	۰/۶۹
Cd	۰/۱	۱۲/۲	۰/۱	Th	۷/۷۴	۸/۴۷	۹/۷۹	Tm	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱
Co	۱۰/۱	۱۳	۷/۲	Ti	۳۱۹۸	۱۷۰۶	۲۶۳۶	Yb	۰/۱	۰/۰۶	۰/۱
Cr	۳۰	۲۹	۲۳	Tl	۰/۷۶	۱/۲۵	۰/۷۴	Lu	۰/۱	۰/۰۷	۰/۱۱

## ۵-۸-۱- تحلیل‌های ژئوشیمیایی عناصر مهم در کانسار کوه پنج

مطالعات ژئوشیمیایی در کانسار مس کوه پنج بر پایه نتایج ۴۸۳ نمونه از ۲ عدد گمانه اکتشافی انجام شده است. تمامی این نمونه‌ها به روش جذب اتمی برای عناصر مس، مولیبدنیوم، سرب، روی و آهن تجزیه شده‌اند. پارامترهای آماری (مقادیر کمینه، بیشینه، میانگین، و ...) عناصر مذکور در جدول (۴-۵) آورده شده است. مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین مس نمونه‌ها، به ترتیب ۰/۰۲، ۱/۹ و ۰/۲۱ درصد می‌باشد. مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین مولیبدن نمونه‌ها به ترتیب ۲، ۲۸۱ و ۴۳ گرم در تن است. مقادیر بیشینه عناصر سرب و روی به ترتیب ۳۱۳۴، ۱۰۹۱۵ گرم در تن و آهن ۸ درصد است. از ۴۸۳ نمونه سنگ تعداد ۳۰ نمونه دارای مقدار مس بیش از ۰/۴۰ درصد مس می‌باشند که ۶ درصد کل نمونه‌ها را شامل می‌شوند. نمونه‌های با مقدار مولیبدن بیش از ۱۰۰ گرم در تن نیز در حدود ۷ درصد کل نمونه‌ها را تشکیل می‌دهند. در کانسارهای مس پورفیری عیار مس از ۰/۲ تا بیش از ۱ درصد (متوسط ۰/۷ درصد) و عیار مولیبدن از ۵۰ تا ۳۰۰ گرم در تن (متوسط ۱۷۵ گرم در تن) تغییر می‌کند (Sillitoe, 2010). با توجه به اطلاعات دوگمانه‌ی شماره‌ی ۲ و ۶، می‌توان گفت که کانسار کوه‌پنج با مقدار متوسط مس و مولیبدن به ترتیب ۰/۲۱ درصد و ۴۳ گرم در تن در رده کانسارهای مس پورفیری نیمه‌اقتصادی قرار می‌گیرد. توجه داشته باشید که این اطلاعات مربوط به دو گمانه از حفاری‌های منطقه می‌باشد؛ لذا این تفسیر نیز محدود به این دو گمانه است.

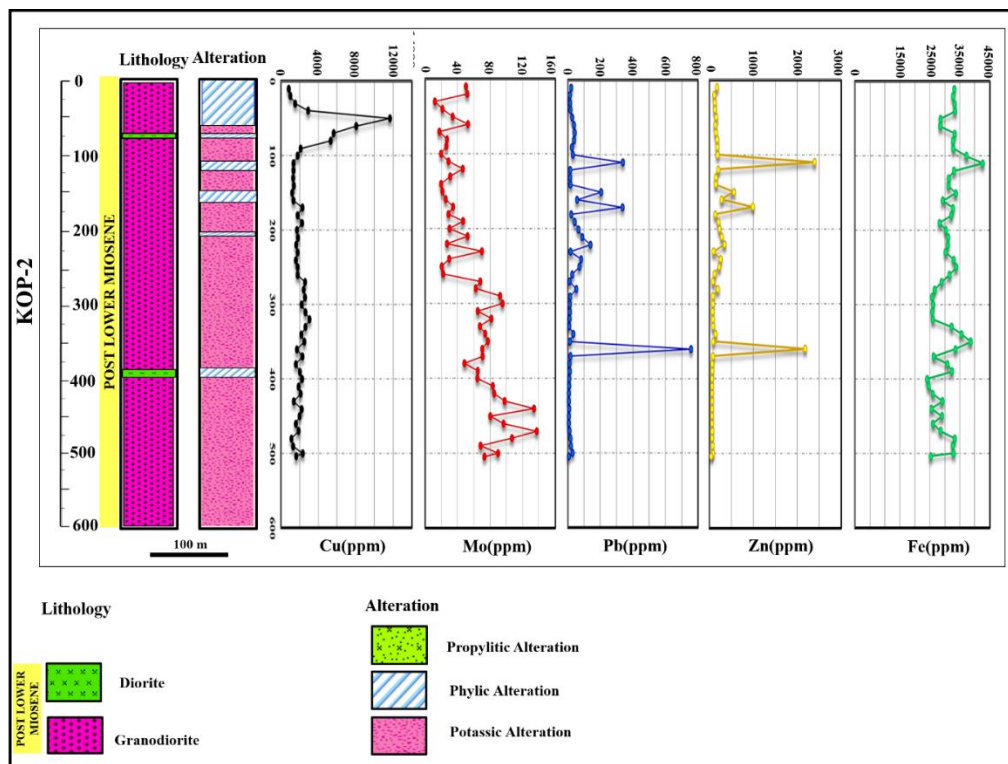
جدول ۴-۵. پارامترهای آماری عناصر بر پایه داده های ژئوشیمیایی ۴۸۳ نمونه سنگ از ۲ عدد گمانه اکتشافی.

Statistics		Cu	Mo	Pb	Zn	Fe
N	Valid	۴۸۳	۴۸۳	۴۸۳	۴۸۳	۴۸۳
	Missing	.	.	.	.	.
Mean		۰/۲۱۲۵	۴۳	۵۰/۶۷۳	۱۹۳/۸۷۲	۲/۹۷۶۴
Median		۰/۱۸	۲۸	۱۳	۸۷	۲/۹۳
Mode		۰/۱۷	۱۵	۳	۶۲	۳/۲۲
Variance		۰/۰۲۷	۱۵۲۱/۹۶۵	۳۶۰۵۷/۹۵	۴۲۶۲۷۶/۴	۰/۴۲۵
Skewness		۴/۹۱۳	۲/۳۰۷	۱۱/۱۱۷	۱۲/۵۳۴	۲/۴۴۶
Kurtosis		۳۷/۶۸۲	۷/۷۹۷	۱۵۷/۳۱۶	۱۸۳/۱۵۲	۱۴/۱۸۳
Minimum		۰/۰۲	۲	۳	۱۲	۱/۵۱
Maximum		۱/۹۸	۲۸۱/۵	۳۱۳۴	۱۰۹۱۵	۸/۳۵
Percentiles	۲۵	۰/۱۳	۱۷/۹	۸	۵۱	۲/۵۹
	۵۰	۰/۱۸	۲۸	۱۳	۸۷	۲/۹۳
	۷۵	۰/۲۴	۵۸	۲۵	۱۵۶	۳/۲۳

#### ۵-۸-۲- بررسی تغییرات غلظت عناصر کانه‌ساز براساس عمق در مغزه‌های حفاری

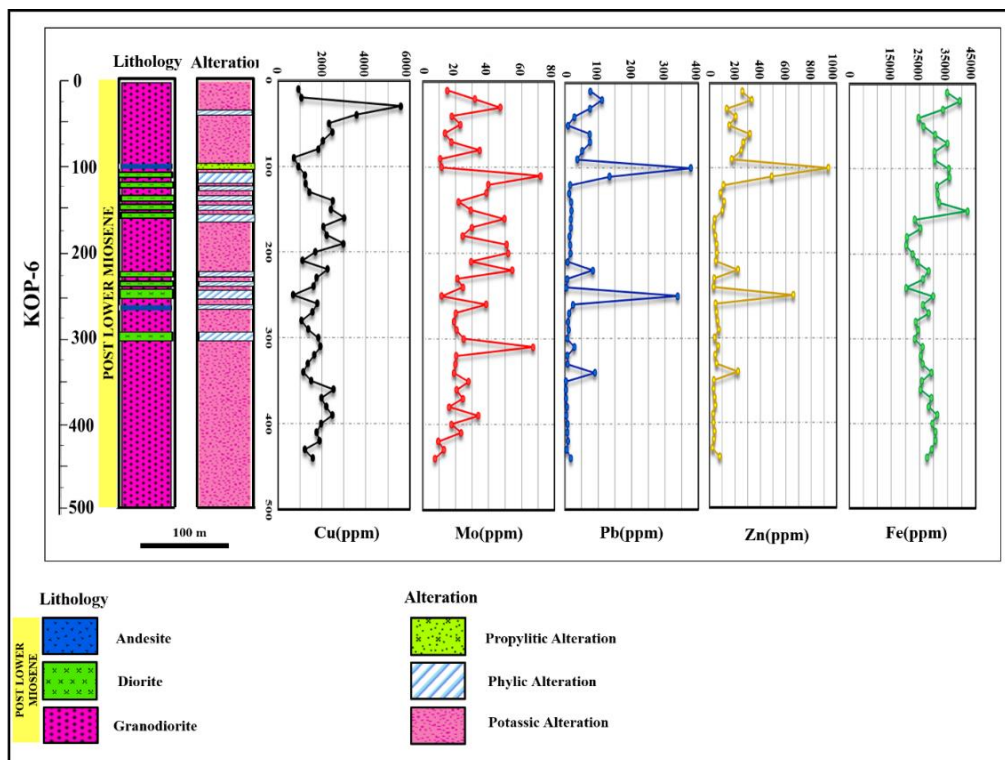
جهت مشاهده‌ی تغییرات عمودی عناصر کانه‌ساز و مقایسه‌ی میزان تغییرات آنها در دو گمانه‌ی حفاری KOP-2 و KOP-6، شکل (۵-۱۹) و (۵-۲۰) ارائه شد. نمودارهای تغییرات غلظت عناصر به موازت تغییرات سنگ‌شناسی و دگرسانی در امتداد گمانه‌ها از سطح به عمق آورده شده است. در شکل (۵-۱۹)، اکثر سنگ‌های مربوط به گمانه‌ی ۲ ترکیب گرانودیوریتی دارند، که گاهی به مقدار بسیار ناچیز به سمت دیوریت میل می‌کنند. در نمودار شکل (۵-۱۹)، بیشترین عیار مس در حدود ۱۲۰۰۰ گرم در تن مربوط به عمق حدود ۵۰ متری با دگرسانی فیلیک انطباق دارد. طبق مطالعات مقاطع نازک صیقلی، کانه‌های مس‌دار مربوط به این عمق کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت و کوولیت هستند. در این گمانه از عمق ۵۰ متر به بعد تغییرات فاحشی در عیار مس مشاهده نمی‌شود به طوری که متوسط مقدار مس به حدود ۲۰۰۰ گرم در تن می‌رسد و منطبق بر زون دگرسانی پتاسیک می‌باشد. توجه داشته باشید که جهت نمایش هر چه بهتر تغییرات عنصری، این عیارها مربوط به میانگین ده متر به ده متر مغزه می‌باشد؛ لذا مقدار حداکثر برای مس و سایر عناصر نمایش داده شده در تصاویر از آنچه که در شکل

می‌بینید بیشتر است. به طور مثال حداکثر میزان مس مربوط به متراژ ۴۶ تا ۴۸ متری، برابر با ۱۹۸۰۰ گرم در تن است. با توجه به روند تغییرات عیار مس و مولیبدن در کانسارهای مس و مولیبدن پورفیری و با آگاهی از تغییرات عیار مس در کانسار کوه‌پنج (شکل ۵-۱۹) انتظار می‌رود که عیار مولیبدن به عمق روند افزایشی نشان دهد، برای اینکه در کانسارهای مس پورفیری عنصر مولیبدن بعد از مس ولی در عمق و دمای بیشتری نسبت به مس تمرکز می‌یابد. در نمودار شکل (۵-۱۹) با افزایش عمق مقادیر مولیبدن افزایش می‌یابد. به طوری که بیشترین عیار این عنصر در عمق حدود ۴۷۵ متری برابر با ۱۴۰ گرم در تن می‌باشد. کمترین عیار این عنصر در نزدیکی سطح (۲۵ متری) برابر با ۱۰ گرم در تن است. سرب و روی دارای بیشترین غلظت در متراژهای ۱۱۰ و ۳۶۰ متری نشان می‌دهند. بالاترین عیار سرب در عمق ۳۶۰ متری برابر با ۷۸۰ گرم در تن و بالاترین عیار روی در ۱۱۰ متری برابر با ۲۴۰۰ گرم در تن می‌باشد. بر پایه‌ی نتایج مقاطع نازک صیقلی کانی‌های سولفیدی این متراژ گالن و اسفالریت است. در این متراژها میزان آهن نیز به حداکثر مقدار خود، برابر با ۴۳۰۰۰ گرم در تن رسیده است. کانه‌ی اصلی اکسیدی در این محدوده مگنتیت می‌باشد که گاه‌گاه جای خود را به گوتیت داده است. مقادیر عیار عناصر، مربوط به عمق ۱۱۰ در زون فیلیک واقع‌اند. روند افزایشی و کاهشی عناصر مذکور در کانسار کوه‌پنج در انطباق با رفتار ژئوشیمیایی این عناصر در کانسارهای مس پورفیری (Sillitoe, 2010) است.



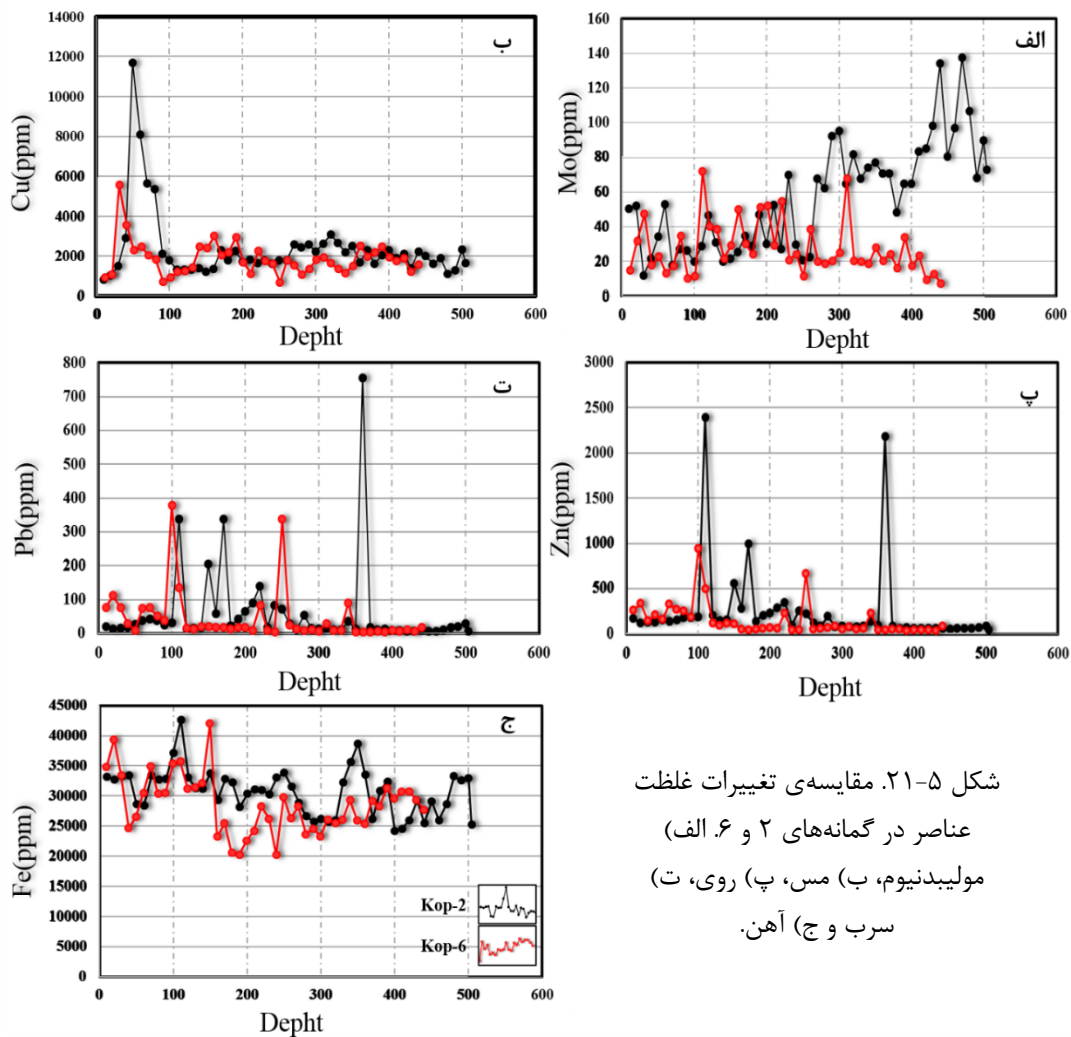
شکل ۵-۱۹. نمودار (میانگین ده متر به ده متر) تغییرات عیار عناصر به همراه تغییرات دگرسانی و سنگ‌شناسی نسبت به عمق در گمانه KOP-2.

در گمانه‌ی KOP-6 ترکیب سنگ‌شناسی اصلی، عمدتاً گرانودیوریت است. در این بخش دگرسانی پتاسیک دارای بیشترین گستره در بین انواع مختلف دگرسانی می‌باشد. حداکثر عیار مس مربوط به عمق ۲۵ متری است (شکل ۵-۲۰). در این بخش کانی‌های کربناته‌ی مس نظیر مالاکیت حضور دارند. کمترین عیار مس با ۶۰۰ گرم در تن، در اعماق ۸۰ و ۲۵۰ متری دیده می‌شود. مولیبدن در عمق ۱۱۰ متری به حداکثر میزان خود (۷۲ گرم در تن) رسیده است. کمترین عیار مولیبدن در ۴۴۵ متری، برابر با ۷ است. در مقاطع نازک، در هیچ‌کدام از نمونه‌های مربوط به دو گمانه، کانی مولیبدنیت روئیت نشد. در عمق ۱۰۰ متری سرب و روی در بیشترین مقدار خود، به ترتیب ۳۷۵ و ۹۴۰ گرم در تن می‌باشد. سرب در اعماق مختلف به مقادیر نزدیک به صفر می‌رسد (شکل ۵-۲۰). با افزایش عمق روی نیز مطابق انتظار کاهش می‌یابد و گاهی به صفر میل می‌کند. آهن در ۱۵۰ متری به ۴۲۵۰۰ گرم در تن می‌رسد. کمترین عیار این عنصر ۲۰۰۰۰ گرم در تن در ۱۸۰ و ۲۵۰ متری می‌باشد.



شکل ۵-۲۰. نمودار (میانگین ده متر به ده متر) تغییرات میزان عیار عناصر به همراه تغییرات دگرسانی و سنگ‌شناسی نسبت به عمق در گمانه KOP-6.

در شکل ۵-۲۱ نیز مقادیر عناصر کانه‌ساز موجود در دو گمانه‌ی محدوده‌ی مورد نظر به صورت مقایسه-ای آورده شده است. همانطور که در شکل نیز مشخص است؛ به طور قابل ملاحظه‌ای عیار تمامی عناصر در گمانه‌ی شماره‌ی ۲ نسبت به KOP-6 بیشتر است. روند افزایشی و کاهشی عناصر مختلف در دو گمانه تا حدود زیادی مشابه یکدیگر می‌باشد (شکل ۵-۲۱) و اندکی جابجایی که میان تغییرات عناصر در مقایسه‌ی اطلاعات دو گمانه مشاهده می‌گردد بخاطر اختلاف اندک توپوگرافی (۲۳ متر) محل حفر گمانه‌های اکتشافی می‌باشد، به طوری‌که گمانه‌ی شماره‌ی ۲ در ارتفاع بیشتری (۲۷۸۷ متر) نسبت به گمانه‌ی شماره‌ی ۶ (۲۷۶۴) حفر شده است.



شکل ۵-۲۱. مقایسه‌ی تغییرات غلظت عناصر در گمانه‌های ۲ و ۶. الف) مولیبدنیوم، ب) مس، پ) روی، ت) سرب و ج) آهن.

### ۵-۸-۳- ضریب همبستگی و ارتباط ژئوشیمیایی بین عناصر

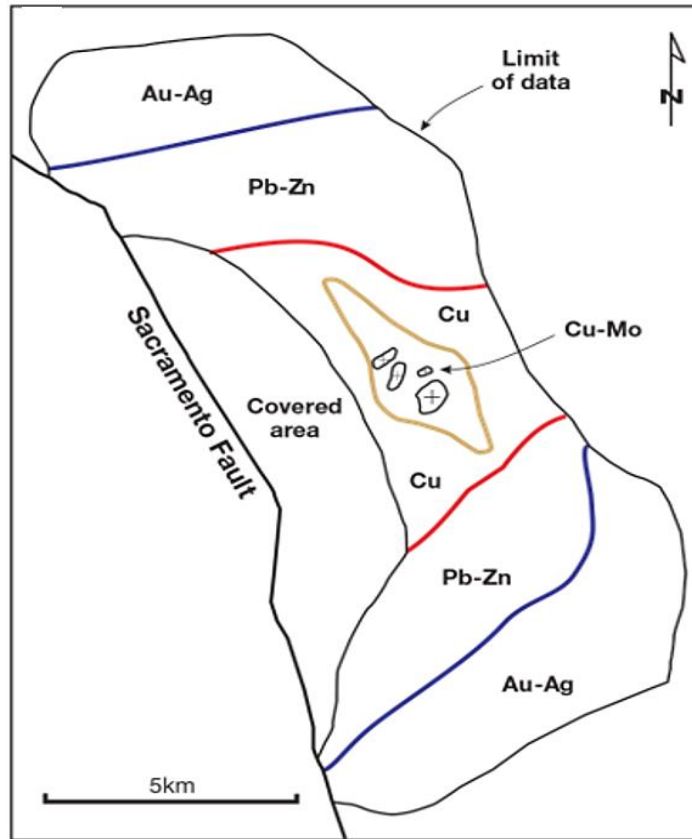
در بررسی ژئوشیمیایی غالباً تعدادی از عناصر در یک مجموعه نمونه ژئوشیمیایی اندازه‌گیری می‌شوند. در این بررسی‌ها شناخت ارتباط و همبستگی‌های ژنتیکی متقابل موجود بین عناصر مختلف می‌تواند در شناخت دقیق‌تر تغییرات موجود در محیط‌های ژئوشیمیایی بکار گرفته شود. ضمناً تجمع ژنتیکی بعضی از عناصر ممکن است بعنوان راهنمای مستقیمی در تفسیر نوع نهشته‌ای که احتمالاً در ناحیه وجود دارد، بکار رود. همبستگی، درجه ارتباط بین متغیرها را نشان می‌دهد. مقدار کمیت  $r$  بین  $1+$  تا  $1-$



تغییر می‌کند. مقدار صفر برای ضریب همبستگی دلالت بر آن دارد که بین تغییرات Y و X یک توزیع تصادفی، هیچگونه بستگی متقابل وجود ندارد. مقدار +۱ دلالت بر انطباق کامل بین دو متغیر مورد بررسی دارد، در حالیکه مقدار -۱ معرف وجود یک رابطه معکوس کامل بین این گروه داده‌های مورد بررسی است (حسنی پاک، ۱۳۷۰). در این پژوهش ضرایب همبستگی بین عناصر به روش پیرسن و بر پایه‌ی لگاریتم داده‌های ژئوشیمی گمانه‌های اکتشافی محاسبه گردید و نتایج حاصل از آن در جدول (۵-۵) آورده شده است. بر طبق داده‌های این جدول مس تنها با عنصر مولیبدن همبستگی مثبت (۰/۳) را نشان می‌دهد. طبق آنچه که در مورد رفتار ژئوشیمیایی سرب و روی انتظار می‌رود؛ این دو عنصر دارای بیشترین میزان همبستگی در بین عناصر یاد شده، با مقداری برابر با ۰/۸۳۲ می‌باشند. علاوه بر این، دو عنصر یاد شده با آهن نیز همبستگی مثبت دارند. همیافتی ژئوشیمیایی این عناصر در کانسار کوه‌پنج همانند سایر کانسارهای مس پورفیری می‌باشد (شکل ۵-۲۲). شکل (۵-۲۲) منطقه‌بندی ژئوشیمیایی عنصری را برای کانسارهای مس پورفیری نشان می‌دهد (Lang and Eastoe, 1988; Sillitoe, 2010). این زون‌بندی از مرکز به حاشیه‌ی سیستم شامل مس-مولیبدنیوم، مس، سرب-روی و طلا-نقره می‌باشد.

جدول ۵-۵. مقادیر ضرایب همبستگی به روش پیرسن بر پایه لگاریتم داده‌های ژئوشیمیایی ۴۸۳ نمونه سنگ از ۲ گمانه اکتشافی.

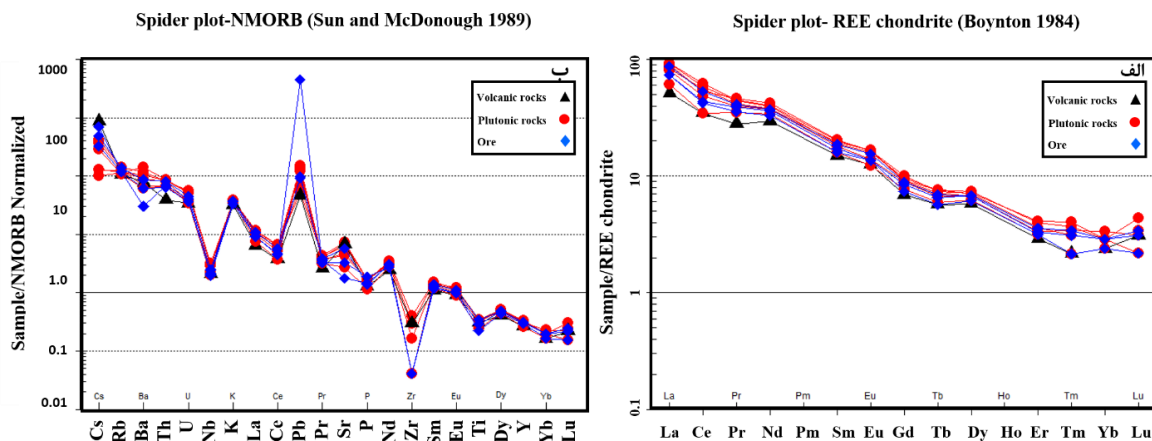
<b>Cu</b>	۱				
<b>Mo</b>	۰/۲۹۶	۱			
<b>Pb</b>	-۰/۰۱۰	۰/۰۰۷	۱		
<b>Zn</b>	-۰/۰۶۵	-۰/۰۵۹	۰/۸۳۲	۱	
<b>Fe</b>	-۰/۱۴۸	-۰/۱۱۶	۰/۳۷۷	۰/۴۸۵	۱
<b>Element</b>	<b>Cu</b>	<b>Mo</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>



شکل ۵-۲۲. منطقه‌بندی ژئوشیمیایی عنصری در کانسار مس پورفیری مینرال پارک، آریزونا. این منطقه‌بندی از مرکز به حاشیه سیستم به ترتیب مس-مولیبدنیوم، مس، سرب-روی و طلا-نقره می‌باشد (Lang and Eastoe, 1988; Sillitoe, 2010).

#### ۴-۸-۵- ژئوشیمیایی عناصر خاکی کمیاب

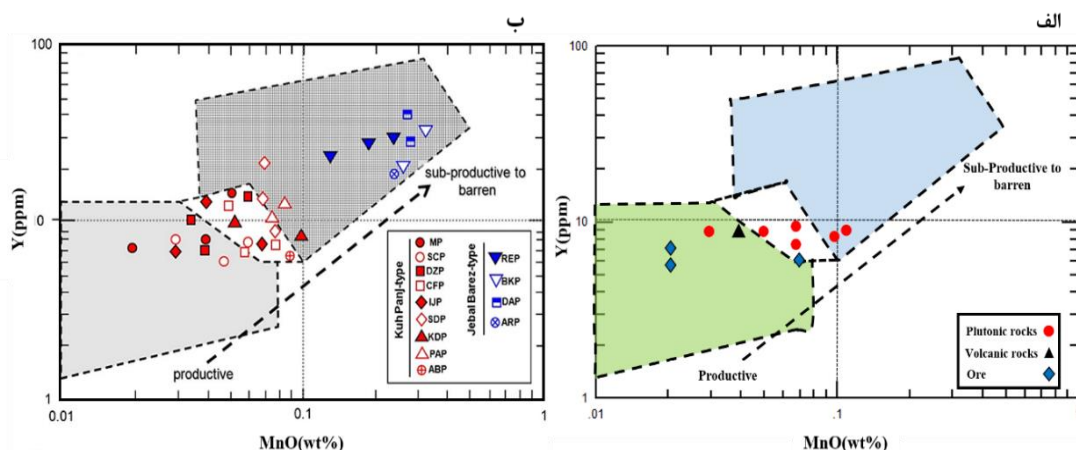
برای بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر خاکی کمیاب در کانسنگ و سنگ میزبان کانه‌زایی، الگوی غلظت این عناصر به ترکیب کندریت (Boynton, 1984) به‌هنگار شده است. نتایج حاصل از مقایسه‌ی این دو گروه نشان می‌دهد که روند تغییرات عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های کانسنگ، با روند این عناصر در نمونه‌های سنگ مطابقت دارد (شکل ۵-۲۳). این روند در مورد نمودار سان و مکدونوف (Sun & McDonough, 1989) نیز به همین صورت می‌باشد. میزان سرب در برخی کانسنگ‌ها به دلیل فرایند کانه‌زایی، نسبت به نمونه‌های سنگ افزایش بیشتری را نشان می‌دهد (شکل ۵-۲۳-ب).



شکل ۵-۲۳. رفتار عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های سنگ و کانسنگ: الف) نسبت به کندریت (Boynton, 1984) و ب) نسبت به بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی به‌نجار شده‌اند (Sun & McDonough, 1989).

## ۵-۹- بررسی کانسار از نظر باروری با استفاده از دیاگرام Baldwin and Pearce (1982)

اسدی و همکاران (Asadi et al, 2014) نمودار (Baldwin and Pearce, 1982) را جهت مقایسه‌ی کانسارهای تیپ کوه‌پنج و جبال‌بارز از نظر باروری استفاده نمودند. با توجه به این نمودار مقادیر کم Y در یک ماگمای بارور ممکن است نشان‌دهنده‌ی دخالت فازهای سیال در طول تکامل اولیه‌ی ماگما باشد، درحالی‌که محتوای کم MnO ممکن است نشان‌دهنده‌ی ازدست‌دادن سیالات ماگمایی باشد. بنابراین غلظت Y ممکن است که به‌طور مستقیم با رویداد کانه‌زایی مرتبط باشد. نمودار Y در مقابل MnO نشان می‌دهد که مدل‌های کوه‌پنج در محدوده‌ی کانسارهای بارور تا نیمه‌بارور پلات می‌شوند (شکل ۵-۱۴-ب)؛ در حالی که مدل‌های جبال‌بارز در محدوده‌ی نابارور تا نیمه‌بارور واقع می‌شوند (Asadi et al, 2014). در شکل (۵-۲۴-الف) نمونه‌های مربوط به کوه‌پنج نیز از این روند مطابعت می‌کنند. اکثر این نمونه‌ها مرز بین محدوده‌ی بارور تا نیمه‌بارور واقع شده‌اند.



شکل ۵-۲۴. نمودار Baldwin and Pearce (1982) جهت تقسیم‌بندی اقتصادی کانسارهای: الف) کوه پنج و ب) کانسارهای تیپ کوه پنج و جبال بارز (Asadi et al, 2014).

## ۵-۱۰- مقایسه‌ی عیار عناصر کانه‌ساز منطقه‌ی کوه پنج با انواع کانسارهای

### پورفیری

طبق اطلاعات حاصل از ۴۸۳ نمونه گمانه‌های حفاری شرکت مس و همچنین نتایج حاصل از آنالیز سه نمونه‌ی کانسنگ، کانسار کوه پنج با انواع کانسارهای مس-طلا، مس-مولیبدن و مس (مولیبدن) مقایسه گردید (جدول ۵-۶). کانسار کوه پنج با مقادیر ۰/۲۱ درصد مس، ۰/۰۴۳ درصد مولیبدن، ۰/۰۴ گرم در تن طلا و ۱/۷۲ گرم در تن نقره بیشترین تشابه را با کانسارهای مس (مولیبدن) پورفیری دارا می‌باشد. با توجه به اینکه (به‌واسطه‌ی محدودیت‌های موجود) تنها ۳ نمونه‌ی کانسنگ جهت بررسی مقادیر عیار عناصر طلا و نقره آنالیز شده‌اند لذا پیشنهاد می‌گردد جهت تکمیل مطالعات تعداد بیشتری نمونه برای بررسی این عناصر آنالیز گردد.

جدول ۵-۶. مقایسه عیار عناصر Cu، Au، Mo، Ag کانسار کوه پنج با انواع کانسارهای پورفیری ( Mitchell and Garson, 1972; Sillitoe, 1973, 1988a; Sillitoe and Bonham, 1984; Sillitoe, 2010).

Element	کانسارهای Cu(Mo) پورفیری	کانسارهای Cu-Au پورفیری	کانسارهای Cu-Mo پورفیری	کانسار Cu کوه پنج
Cu (%)	۰/۲ - >۱	۰/۱	۰/۱ - ۰/۷	۰/۲۱
Mo (%)	۰/۰۰۵ - ۰/۰۳	-	۰/۰۴ - ۰/۱۴	۰/۰۰۴۳
Au (ppm)	۰/۰۰۴ - ۰/۰۳۵	۰/۲ - ۲	-	۰/۰۴
Ag (ppm)	۰/۲ - ۵	-	-	۱/۷۲



فصل هشتم

میانبارهای سیال

در سامانه‌های ماگمایی- گرمابی، ماگماها از نظر تأمین حرارت، سیالات ماگمایی و فلزات حائز اهمیت هستند. پتانسیل کانه‌زایی این ماگماها تابع ترکیب سیالات ماگمایی و زمان خروج آنها از ماگما است که در سیالات (و مذاب‌های) درگیر ثبت می‌گردد (Audetat et al., 2008; John et al., 2010). کانسارهای پورفیری، به‌ویژه ذخایر غول‌پیکر، نتیجه‌ی برهم‌کنش کنترل‌کننده‌های تکتونیکی، ترکیب سنگ میزبان و جریان سیالات می‌باشند (Richards, 2013). سیالات و مذاب‌های درگیر در حال حاضر در زمینه‌های مختلف زمین‌شناسی، به‌ویژه در مطالعه فلززائی، به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. قطرات کوچکی از مذاب/مایع که در کانی‌ها به دام افتاده‌اند، حاوی اطلاعاتی در مورد ترکیب و شرایط تکاملی سیستم‌های هیدروترمال و ماگمایی هستند. از اینرو مستقیم‌ترین شواهد موجود در مورد شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط در طی تبلور ماگما را در اختیار می‌گذارند (e.g. Sobolev, 1994, 1996; Audetat et al., 1998, 2008; Halter et al., 2005; Ulrich et al., 1999; Wilkinson et al., 2009). دانش مطالعات سیال درگیر به عنوان پیشرو اصلی در بررسی کانسارهای گرمابی از ۴۰ سال پیش رشد چشمگیری نموده است. 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). بر این اساس، برای مطالعه میانبارهای سیال در کانسار کوه‌پنج تعداد ۵ عدد مقطع دوبر صیقل پس از آماده‌سازی در آزمایشگاه مطالعات و پژوهش آذین‌زمین پویا مطالعه گردید و نتایج حاصل از آن در ادامه‌ی این فصل مورد بررسی قرار گرفت.



## ۶-۲- کلیاتی در مورد میانبارهای سیال

میانبارهای سیال منشاء کلیدی اطلاعات مربوط به خواص فیزیکی و شیمیایی سیالات به دام افتاده در طول فرایندهای هیدروترمال پورفیری می‌باشند و در محوریت مدل‌های کانه‌زایی پورفیری‌ها هستند (Cooke et al., 2014). این سیالات معمولاً از طریق به دام افتادن و حفظ شدن یک سیال همگن در دامی بالا تشکیل شده و تغییرات متنوع فازی در طول سرد شدن تا دامی 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. جهت مطالعات میانبار سیال از کانی‌های روشن استفاده می‌شود. کانی‌های معمول عبارتند از: کوارتز، فلوریت، هالیت، کلسیت، آپاتیت، دولومیت، اسفالریت، باریت، توپاز، کاسیتريت، گارنت، الیوین، پیروکسن، کوردیریت، فلدسپار و اسکاپولیت (Shepherd et al., 1985; Van den Kerkhof and Hein, 2001). میانبارهای سیال را می‌توان براساس پارامترهایی نظیر اندازه، شکل، زمان تشکیل، رنگ، ضریب انکساری سیال و به‌ویژه به وسیله فازهای موجود در داخل سیال در درجه حرارت معمولی توصیف نمود که در زیر به توضیح برخی از آنها پرداخته شده است:

### - اندازه:

اکثر میانبارهای سیال کوچکتر از  $0/1$  میلیمتر ( $100$  میکرون) بوده و تنها در زیر میکروسکوپ قابل شناسایی هستند. اندازه معمول آنها  $20-5$  میکرون بوده، اما میانبارهای سیال کوچکتر از یک میکرون هم وجود دارد (Van den Kerkhof and Hein, 2001).

### - شکل:

اشکال بلور منفی، بی‌قاعده و پهن، کروی، لوله‌ای، تخت و منشوری از اشکال قابل مشاهده در میانبارهای سیال هستند (Shepherd et al., 1985).

## - زمان تشکیل:

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 (primary) 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 (pseudo-secondary) 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 (secondary) گویند. تشکیل سیال درگیر 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 میانبارهای سیال اولیه و ثانویه کاذب، انعکاسی از سیالات کانسارساز در حین رشد بلور بوده و میانبارهای سیال ثانویه فقط معرف سیالات بعدی هستند و بی‌ارتباط با رشد بلور اولیه بوده و اطلاعاتی درباره مراحل پسین فعالیت هیدروترمالی در اختیار می‌گذارند (Roedder, 1984; Shepherd et al., 1985; Van den Kerkhof and Hein, 2001).

## - فازهای موجود در سیال:

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 (Van den Kerkhof and Hein, 2001). شفرد و همکاران (Shepherd et al., 1985) طبقه‌بندی جامعی براساس محتویات سیال درگیر ارائه کردند که به شرح

زیر است:

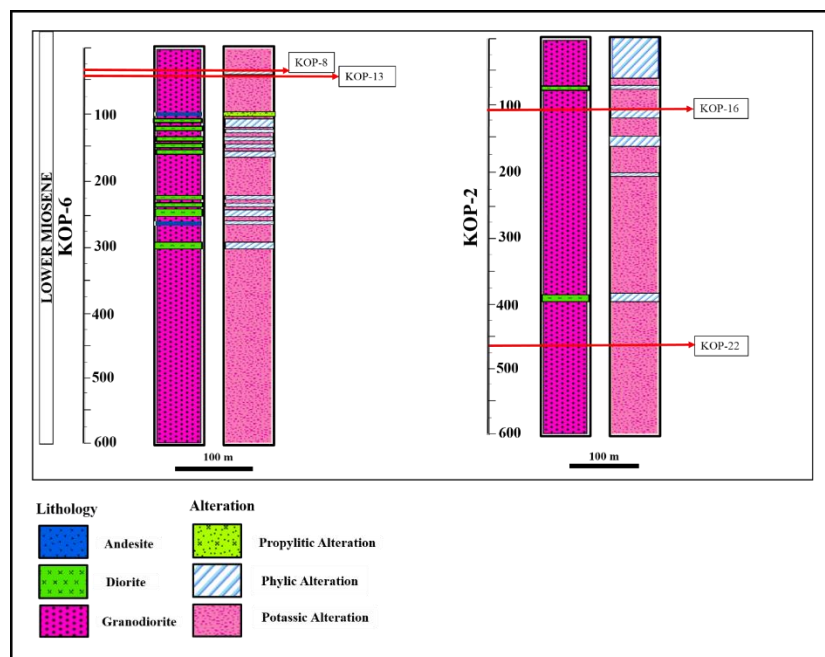
- تک‌فاز مایع (L): ساده ترین نوع سیال درگیر بوده و تماماً از مایع تشکیل شده است.
- دوفازی غنی از مایع (L+V): فاز مایع غالب بوده و دارای حباب بخار کوچک است.

- دوفازی غنی از بخار (V+L): فاز بخار غالب بوده ( $< 50\%$ ) و حاشیه باریکی از مایع دیده می‌شود. در بعضی از کانسارهای پورفیری، رگه‌های اولیه و عمیق‌تر، حاوی مقادیری سیال دو فازی غنی از بخار با درجه حرارت بالا (بالای ۵۰۰ درجه‌ی سانتیگراد) و شوری متوسط (۵-۱۵٪ وزنی معادل نمک طعام) هستند. به نظر می‌رسد که این‌ها سیالات هیدروترمالی - ماگمایی اولیه کم تا متوسط چگالی هستند که از تبلور توده‌های نفوذی نشأت می‌گیرند ( e.g., Landtwing et al., 2010; Redmond et al., 2004; Seo et al., 2012).
- 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 (glass): سیال به دام افتاده از مذاب سیلیکاته در صورتی که سریعاً سرد شود تبدیل به شیشه می‌گردد.

### ۳-۶- روش نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

پس از مطالعات سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری، ۵ نمونه کوارتزهای همزاد با کانه‌زایی از گمانه‌های اکتشافی انتخاب گردید. در تحقیقات میکروسکوپی برای مطالعه میانبارهای سیال از مقاطع دوبرصیقلی به ضخامت ۱۰۰ تا ۳۰۰ میکرون استفاده شده است. نمونه‌ها ( KOP-TP8, KOP- TP13, KOP-TP16, KOP-TP18, KOP-TP22) پس از آماده‌سازی در آزمایشگاه شرکت مطالعات و پژوهش آذین زمین پویا با استفاده از یک دستگاه میکروسکوپ ستی ماگتکس (Ceti Magtex) و بوسیله دستگاه لینکام

(Linkam) مدل THMSG600 با کنترل‌کننده‌های گرمایش (TP94) و سرمایش (LNP) که بر روی میکروسکوپ ستی ماگتکس نصب شده است مورد مطالعه قرار گرفتند. مطالعات حرارت‌سنجی بر اساس مشاهده دقیق و تشخیص تغییرات فازی میانبارهای سیال، طی مراحل سرمایش (Freezing) و گرمایش (Heating) بنا شده است. با توجه به اینکه هدف از مطالعه میانبارهای سیال بازسازی شرایط زمان تشکیل کانی از جمله فشار، دما و شوری سیال می‌باشد تعداد ۹۴ عدد میانبار سیال اولیه جهت انجام مطالعات تکمیلی انتخاب گردید و از مطالعه سایر میانبارهای سیال (تانویه و تانویه‌ی دروغین) صرف نظر شد. در شکل (۱-۶) و جدول (۱-۶) مشخصات و عمق برداشت مربوط به هر یک از نمونه‌های مطالعه شده آورده شده است.



شکل ۱-۶. مقطع لیتوژئوشیمیایی و دگرسانی مربوط به دو گمانه‌ی ۶ و ۲ که در آنها سنگ‌شناسی، دگرسانی و عمق برداشت نمونه‌های میانبار مشخص شده است.

جدول ۶-۱. مشخصات نمونه‌های مورد مطالعه به همراه کانه‌ها و عمق برداشت هر یک از نمونه‌ها.

عمق	کانه‌ها	شماره‌ی گمانه	شماره نمونه
۳۸-۴۰ متر	مگنتیت+کالکوپیریت+پیریت	KOP-6	KOP-TP8
۴۸-۴۴ متر	گالن+اسفالریت±کالکوپیریت±پیریت	KOP-6	KOP-TP13
۱۰۸-۱۰۶ متر	کالکوپیریت+مگنتیت+برنیت+کالکوسیت+کولیت	KOP-2	KOP-TP16
۴۶۶-۴۶۴ متر	مگنتیت+پیریت+کالکوپیریت	KOP-2	KOP-TP22

#### ۶-۴- پتروگرافی میانبارهای سیال

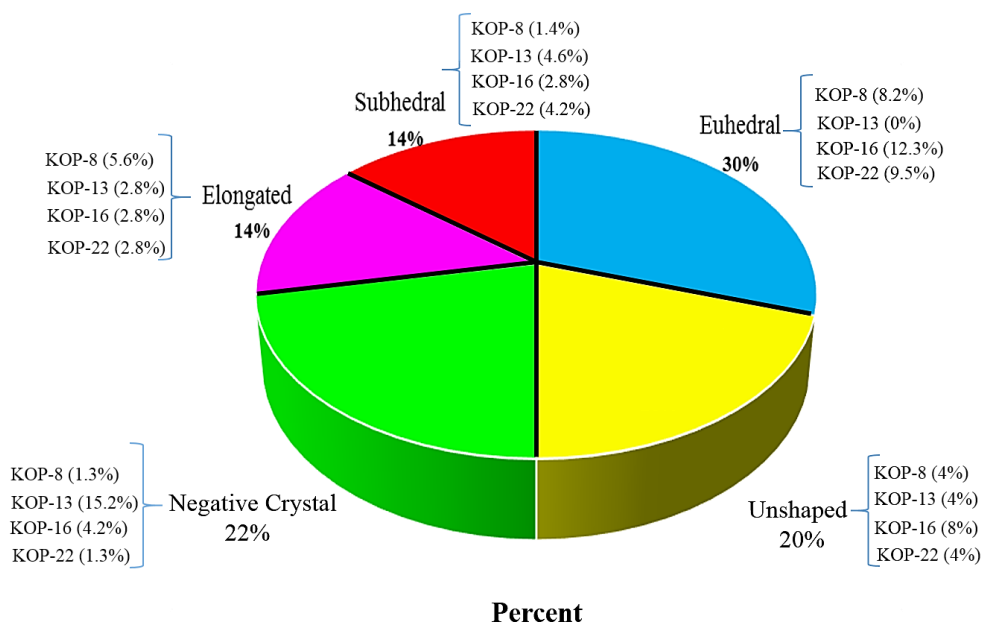
میانبارهای سیال از جمله نشانه‌های منحصر به فردی هستند که با توجه به عدم تغییر در طی میلیون‌ها سال می‌توانند درجه حرارت، شوری سیال‌ها، ترکیب شیمیایی و فشار حاکم بر محیط را بیان کنند. شناسایی و تعبیر و تفسیر دقیق از میانبارهای سیال در کانسارهای پورفیری همواره مشکلاتی به همراه دارد، زیرا تکرار مراحل مختلف شکستن و رونقش شدن رخدادهای جوانتر بر قدیمی‌ها، و جریان سیالات و کانه‌زایی، باعث ابهام در روابط زمانی بین رگچه‌ها، کانی‌های دگرسانی و تیپ تجمعات میانبارهای سیال و مهمتر از همه منشأ و تحولات سیالات هیدروترمالی می‌شود (Rusk, 2008).

پس از انجام مطالعات پتروگرافی بر روی نمونه‌های ذکر شده تعداد ۴ نمونه جهت مطالعات تکمیلی انتخاب گردید. در ادامه نتایج حاصل از مطالعات سیالات درگیر موجود در سنگ‌های منطقه‌ی کوه پنچ مورد بررسی قرار گرفته است.

#### ۶-۴-۱- شکل ظاهری میانبارهای سیال

میانبارهای سیال با اشکال مختلف در بلورهای کوارتز قابل مشاهده می‌باشند و به‌وسیله ساختمان بلوری کانی میزبان کنترل می‌شوند. میانبار سیال ممکن است شکل کامل بلور منفی را به خود بگیرد و یا کاملاً

شکل نامنظم داشته باشد. در واقع شکل منفی بلور به صورت میانبار هم‌شکل با شکل بلوری اصلی است که گاه به صورت کامل و گاه به صورت ناقص تشکیل می‌شود. در مقابل تعداد دیگری از فضاهای میانباری سیال دارای اشکال بسیار نامنظم هستند که دلیل آن نامنظم بودن فضاهای باقیمانده بین سطوح بلوری در هنگام رشد بلورهاست. گاهی تغییرات ثانویه همچون به هم پیوستن میانبارها و یا قطع شدن قسمتی از آنها، تنش‌های زمین‌ساختی، حرارت زیاد و فشار زیاد نیز باعث تغییر شکل اولیه میانبارها می‌شود. میانبارهای سیال در منطقه‌ی کوه‌پنج به ترتیب فراوانی، تمام شکل‌دار، بلور منفی، بی‌شکل، نیمه‌شکل‌دار و کشیده می‌باشند. در شکل (۶-۲) فراوانی اشکال مختلف میانبارهای سیال به همراه درصد فراوانی هر یک از آنها در نمونه‌ها آورده شده است.



شکل ۶-۲. نمودار فراوانی اشکال مختلف میانبارهای سیال در کانسار مس کوه‌پنج.

#### ۶-۴-۲- اندازه میانبارهای سیال

همانطور که قبلاً گفته شد، اکثر میانبارهای سیال ۰/۱ میلی‌متر (۱۰۰ میکرون) بوده و تنها در زیر میکروسکوپ قابل شناسایی هستند. اندازه معمول آنها ۵ تا ۲۰ میکرون است. در کانسار کوه‌پنج نیز

اندازه‌ی سیالات نظیر آنچه که گفته شد اکثراً در محدوده‌ی ۵ تا ۲۰ میکرون قرار می‌گیرد ولی این مقدار تا ۲۴ میکرون نیز می‌رسد.

#### ۶-۴-۳- انواع میانبارهای سیال

میانبارهای سیال در کانسار کوه‌پنج بر مبنای فراوانی و محتوای فازهای مشاهده شده در دمای اتاق، به ۶ دسته تقسیم‌بندی می‌شوند، که عبارتند از: میانبار سیال تک‌فازی نوع مایع (L)، نوع مایع-بخار (LV)، نوع بخار-مایع (VL)، نوع مایع-بخار-هالیت (LVH)، نوع مایع-بخار-جامد (VLS)، نوع مایع-بخار-هالیت-جامد (LVHS).

#### - میانبارهای سیال نوع مایع-بخار

میانبارهای دوفازی غنی از مایع (LV)، از یک فاز مایع (L) به همراه یک فاز بخار (V) تشکیل شده‌اند و حجم حباب بخار در آنها ۵ تا ۴۵ درصد حجم کل میانبار را اشغال کرده است. این نوع میانبارها فراوانترین نوع میانبارها (۳۴ درصد) در کانسار مس کوه‌پنج می‌باشند (شکل ۶-۳). در بین ۴ نمونه‌ی مطالعه شده، نمونه‌ی KOP-13 با عیارهای مس ۴۰۰، مولیبدن ۴، سرب ۱۴۵۲، روی ۲۷۶۴ و آهن ۳۴۵۰۰ گرم در تن بیشترین درصد از این نوع میانبار سیال را دارا می‌باشد. کانه‌های این نمونه بیشتر گالن، اسفالریت به همراه مقادیر کمتری از کالکوپیریت و پیریت هستند.

#### - میانبارهای سیال نوع بخار-مایع

میانبارهای دو فازی غنی از بخار (VL)، که از یک فاز بخار (V) به همراه یک فاز مایع (L) تشکیل شده‌اند و حباب بخار در آنها ۵۵ تا ۹۰ درصد حجم کل میانبار را اشغال کرده است. این گروه از سیالات در کانسار مورد نظر دارای کمترین فراوانی برابر با ۱۴ درصد می‌باشند (شکل ۶-۳). از بین نمونه‌های ارسالی، این گروه از میانبارها در KOP-13 فراوانی بیشتری دارند (۵/۶ درصد).

#### - میانبارهای سیال نوع مایع-بخار-هالیت

میانبارهای سه فازی هالیت‌دار (LVH) که از یک فاز مایع (L) به همراه یک فاز بخار (V) و یک بلور هالیت (H) تشکیل شده‌اند و حباب بخار و بلور هالیت در آنها به ترتیب از ۱۰ تا ۶۰ و ۵ تا ۲۰ درصد حجم کل میانبار را اشغال کرده‌اند. این دسته از میانبارها در کانسار کوه‌پنج ۲۲ درصد از حجم کل سیالات مطالعه شده را به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۶-۳) و در KOP-16 فراوانتر هستند (۶/۹ درصد). عیار عناصر کانه‌ساز در این نمونه برابر است با: مس ۱۹۸۰۰، مولیبدن ۴۷/۸، سرب ۱۶، روی ۱۹۹ و آهن ۲۸۲۰۰ گرم در تن.

#### - میانبار سیال نوع بخار - مایع - جامد

میانبارهای سه فازی غنی از بخار (VLS) که از یک فاز بخار (V) به همراه یک فاز مایع (L) و یک فاز فلزی جامد (S) تشکیل شده‌اند و حباب بخار و فاز فلزی در آنها به ترتیب بین ۶۰ تا ۸۵ و ۰ تا ۱۵ درصد حجم کل میانبار را اشغال می‌کنند.

#### - میانبار سیال نوع مایع - بخار - هالیت - جامد

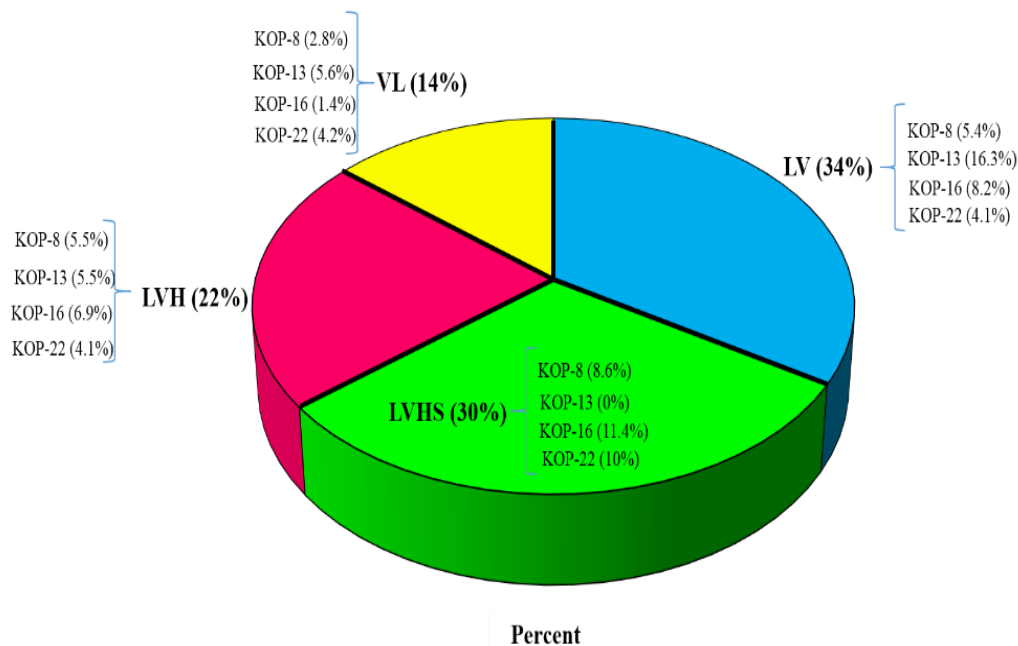
میانبارهای چند فازی (LVHS)، که از یک فاز مایع به همراه یک فاز بخار، یک بلور هالیت و یک یا دو فاز جامد فلزی تشکیل شده‌اند. فاز جامد فلزی در این دسته از آنکلوزیون‌ها به صورت بی‌شکل، شکل‌دار و مثلثی شکل (کالکوپیریت) می‌باشد. وجود کالکوپیریت و مگنتیت در رگه‌ها و حضور کالکوپیریت در تعداد اندکی از سیالات درگیر چند فازی گویای این است که سیالات اولیه مسئول ته‌نشست مس، آهن و گوگرد بوده‌اند. نمونه‌های ۱۶ و ۲۲ مربوط به گمانه‌ی ۲ به ترتیب ۱۱/۴ و ۱۰ درصد از میانبارهای سیال چهارفازی را دارا می‌باشند. با توجه به شکل (۶-۳) به نظر می‌رسد با کاهش عمق و در نزدیکی سطح از میزان شوری سیالات کاسته می‌شود. این نوع میانبارها در نمونه‌ی KOP-22 دارای بیشترین فراوانی می‌باشند. عیار عناصر در KOP-22 بدین شرح می‌باشد: مس ۱۶۰۰، مولیبدن ۲۸۱/۵، سرب ۹، روی، ۶۵ و آهن ۳۰۰۰۰ گرم در تن.



## – میانبار سیال تک‌فازی نوع مایع

میانبارهای تک‌فازی مایع (L) که کل حجم این نوع انکلوزیون‌ها از مایع تشکیل شده است.

با توجه به فراوانی کم برخی از سیالات نظیر سیالات نوع مایع (L) و نوع - بخار - جامد (VLS) و... از توضیح بیشتر این گروه از میانبارها صرف نظر شده است.



شکل ۶-۳. نمودار فراوانی انواع میانبارهای سیال به همراه فراوانی آنها در هر کدام از نمونه‌های ارسالی در کانسار مس کوه‌پنج.



شکل ۶-۴. انواع میانبارهای سیال به همراه اشکال مختلف حضور آنها در نمونه‌های مورد مطالعه: الف) میانبار تک فازی مایع (L) با شکل کروی، ب) میانبار نوع بخار-مایع (VL)، با اشکال کشیده، پ) میانبار دوفازی نوع مایع-بخار (LV)، به صورت نیمه‌شکل‌دار، ت) اشکال کشیده و تمام‌شکل‌دار میانبارهای نوع بخار-مایع (VL) و مایع-بخار (LV)، ث) میانبارهای سه فازی مایع-بخار-هالیت (LVH) و ج) میانبارهای چهار فازی مایع-بخار-هالیت-جامد (LVHS).

## ۵-۶- مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال

بررسی میکروترمومتری عبارتست از مطالعه غیرمخرب نمونه مورد نظر برای تعیین دما، شوری، چگالی و ترکیب سیالاتی که کانی میزبان از آنها ساخته شده است، که توسط عملیات سرمایش (freezing) و گرمایش (heating) انجام می‌پذیرد. در حقیقت مبنای کار دماسنجی بر سرد کردن و گرم کردن میانبارهای سیال استوار است. هدف از سرد کردن میانبار سیال، پی بردن به میزان املاح و یا درجه شوری محلول است. هدف از حرارت دادن میانبارهای سیال، همگن کردن فازهای تشکیل‌دهنده یک سیال درگیر می‌باشد. دمای همگن‌شدن (Th) یعنی دمایی که تمامی فازهای جامد و مایع نمونه به صورت محلولی همگن درآید. این دما معرف حداقل درجه حرارت تشکیل کانسار خواهد بود. ویژگی‌های مربوط به میکروترمومتری میانبارهای سیال در کانسار کوه‌پنج در جدول (۶-۲) آورده شده‌اند.

جدول ۶-۲. نتایج مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال کوارتز در منطقه کوه‌پنج.

Sample	Size(μm)	Shape	Phases	Tm(ice)(°C)	Th(°C)	Salinity(wt% NaCl equiv)
KOP-TP8-1	۱۸	Euhedral	L+V+H+S1+S2+An	-	-	-
KOP-TP8-2	۱۵	Subhedral	L+V+H+S1+S2+An	-	-	-
KOP-TP8-3	۲۲	Subhedral	L+V+H+S1+S2+An	-	-	-
KOP-TP8-4	۱۸	NegativeCrystal	V+L+S	-	-	-
KOP-TP8-5	۱۳	Euhedral	L+V+H+S	-	۵۵۰/۲	۶۶/۶۲
KOP-TP8-6	۱۳	Euhedral	L+V+H+S	-	۵۶۷/۶	۶۴/۶۱
KOP-TP8-7	۹	Euhedral	L+V+H+S	-	۵۶۸/۷	۶۱/۳۱
KOP-TP8-8	۱۵	Euhedral	L+V+H+S	-	۵۶۲/۴	۶۱/۵۹
KOP-TP8-9	۲۰	Unshaped	L+V+H	-	۲۹۷/۱	۳۷/۷۹
KOP-TP8-10	۱۲	Subhedral	L+V+H	-	۲۶۲/۴	۳۵/۴۲
KOP-TP8-11	۱۵	NegativeCrystal	L+V	-۱۹/۱	-	۲۱/۷۵
KOP-TP8-12	۱۲	Elongated	L+V	-۹/۷	-	۳۱/۶۲
KOP-TP8-13	۷	Elongated	L+V	-۳/۹	-	۶/۳
KOP-TP8-14	۸	Elongated	L+V	-۱/۶	-	۲/۷۴

KOP-TP8-15	۲۲	Unshaped	V+L	-۲/۴	-	۴/۳
KOP-TP8-16	۲۴	Unshaped	V+L	-۱	-	۱/۷۴
KOP-TP8-17	۱۰	Unshaped	V+L	-	-	-
KOP-TP8-18	۱۲	Unshaped	V+L	-	-	-
KOP-TP8-19	۹	Euhedral	L+V+H	-	۱۴۰/۸	۲۹/۳
KOP-TP8-20	۸	Elongated	L+V+H	-	۱۵۹/۲	۳۰/۰۲
KOP-TP8-21	۷	Euhedral	L+V+H+S	-	۴۵۵/۶	۳۱/۳۶
KOP-TP8-22	۸	Euhedral	V+L+S	-	-	-
KOP-TP8-23	۱۰	Elongated	V+L+S	-	-	-
KOP-TP8-24	۱۰	Euhedral	V+L+S	-	-	-
KOP-TP13-1	۸	Unshaped	L+V	-۰/۲	-	-/۳۵
KOP-TP13-2	۱۱	Negativecrystal	L+V	-۵/۵	-	۸/۵۵
KOP-TP13-3	۹	Negativ crystal	L+V	-۲/۱	-	۳/۵۵
KOP-TP13-4	۱۰	Subhedral	L+V	-۱/۳	-	۲/۲۴
KOP-TP13-5	۱۰	Negativecrystal	L+V	-۱۶	-	۱۹/۴۵
KOP-TP13-6	۱۰	Negativecrystal	L+V	-۸	-	۱۱/۷
KOP-TP13-7	۲۲	Negativecrystal	V+L	-۶/۵	-	۹/۸۶
KOP-TP13-8	۱۶	Negative crystal	L+V	-۱۰	-	۱۳/۹۴
KOP-TP13-9	۷	Elongated	L+V+H	-	۲۵۹/۹	۳۵/۳
KOP-TP13-10	۹	Elongated	L+V+H	-	۲۳۸	۳۳/۹۳
KOP-TP13-11	۸	Negativecrystal	V+L	-۴/۱	۴۲۶/۳	۶/۵۹
KOP-TP13-12	۲۲	Negativecrystal	L+V	-۶/۹	-	۱۰/۳۶
KOP-TP13-13	۷	Subhedral	L+V	-۵/۱	-	۸
KOP-TP13-14	۲۰	Negative crystal	L+V	-۸/۸	-	۱۲/۶۲
KOP-TP13-15	۸	Subhedral	V+L+S	-	۴۴۹	-
KOP-TP13-16	۹	Subhedral	V+L+S	-	۴۳۶/۳	-
KOP-TP13-17	۱۱	Unshaped	L+V+H	-	۲۳۹/۲	۳۳/۹۷
KOP-TP13-18	۹	Subhedral	L+V+H	-	۲۶۰/۲	۳۵/۲۷

KOP-TP13-19	۱۲	Subhedral	V+L	-۳/۱	۴۸۰/۲	۵/۱۱
KOP-TP13-20	۱۱	Unshaped	V+L	-۰/۴	۴۸۲/۹	۰/۷
KOP-TP13-21	۱۲	Negativecrystal	L	-۷/۶	-	۱۱/۲۲
KOP-TP13-22	۱۲	Negativecrystal	L	-۳/۵	-	۵/۷۱
KOP-TP16-1	۹	Euhedral	L+V+H+S	-	۳۰۶/۵	۲۹/۷۶
KOP-TP16-2	۱۳	Negativecrystal	L+V	-۶/۳	-	۹/۶
KOP-TP16-3	۱۳	Negativecrystal	L+V	-۲/۴	-	۴/۰۳
KOP-TP16-4	۸	Euhedral	L+V+H	-	۳۳۶/۱	۴۱/۸۱
KOP-TP16-5	۹	Unshaped	L+V+S	-۲۶/۳	-	۲۶/۳۷
KOP-TP16-6	۱۲	Negativecrystal	L+V+S	-۲/۴	-	۴/۰۳
KOP-TP16-7	۱۰	Euhedral	V+L+S	-	-	-
KOP-TP16-8	۸	Euhedral	V+L+S	-	۵۰۴/۳	-
KOP-TP16-9	۱۰	Euhedral	V+L+S	-	۵۳۱/۲	-
KOP-TP16-10	۸	Euhedral	L+V+H+S	-	۳۳۴/۱	۴۰/۷۸
KOP-TP16-11	۸	Euhedral	L+V+H+S	-	۳۰۹/۱	۳۸/۷۸
KOP-TP16-12	۷	Euhedral	L+V+H+S	-	۲۵۹/۸	۳۰/۳۳
KOP-TP16-13	۷	Euhedral	L+V+H+S	-	۳۰۹/۹	۳۶/۷۲
KOP-TP16-14	۷	Euhedral	L+V+H+S	-	۴۹۰/۷	۵۷/۰۸
KOP-TP16-15	۱۵	Subhedral	L+V+H+S	-	۳۵۸/۹	۴۴
KOP-TP16-16	۸	Euhedral	L+V+H+S+Sy	-	۴۰۲/۳	۳۰/۷۹
KOP-TP16-17	۱۱	Elongated	L+V+H	-	۳۰۵/۶	۲۹/۷۵
KOP-TP16-18	۲۰	Unshaped	L+V	-۳/۱	-	۵/۱۱
KOP-TP16-19	۱۱	Unshaped	L+V	-۰/۴	-	۰/۷
KOP-TP16-20	۱۵	Unshaped	L+V	-۵/۱	-	۸
KOP-TP16-21	۱۴	Unshaped	L+V	-۲	-	۳/۳۹
KOP-TP16-22	۹	Unshaped	V+L	-	۵۷۱	-

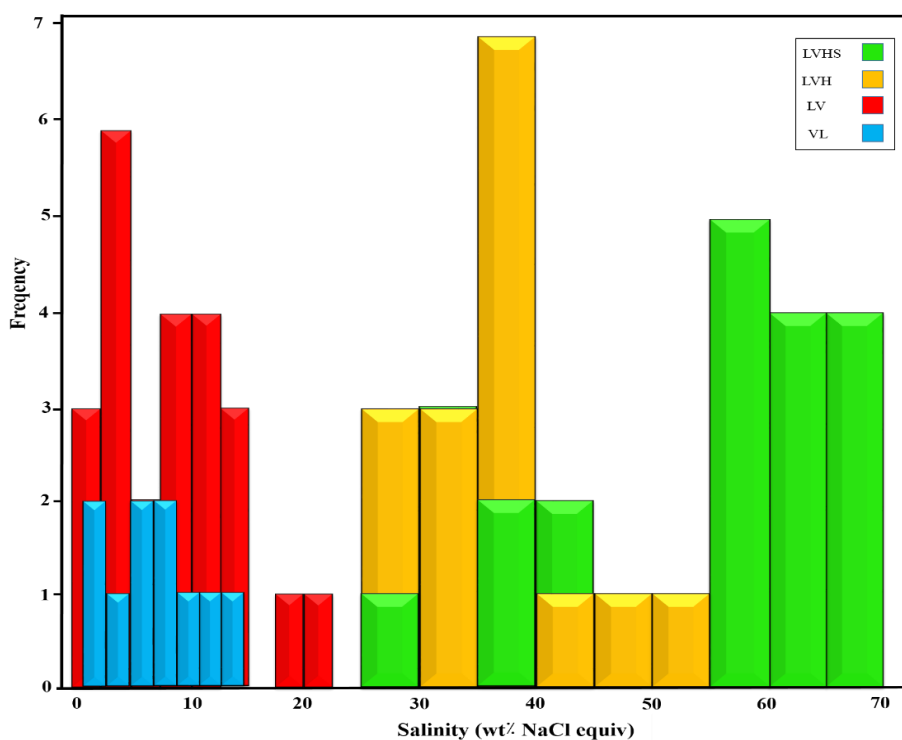
KOP-TP16-23	10	Elongated	V+L+H	-	565/9	65/57
KOP-TP16-24	10	Euhedral	V+L+H	-	278/8	26/56
KOP-TP16-25	9	Unshaped	V+L	-9/3	-	13/18
KOP-TP16-26	8	Subhedral	V+L	-	-	-
KOP-TP16-27	8	Subhedral	L+V+H	-	295/6	38/75
KOP-TP22-1	10	Unshaped	L+V	-7/2	-	10/73
KOP-TP22-2	8	Subhedral	L+V	-3	-	4/96
KOP-TP22-3	7	Euhedral	L+V+H+S	-	480/1	55/72
KOP-TP22-4	5	Euhedral	L+V+H+S	-	519/9	58/01
KOP-TP22-5	14	Euhedral	L+V+H+S	-	571/9	67/76
KOP-TP22-6	12	Subhedral	L+V+H+S	-	572	69/38
KOP-TP22-7	6	Euhedral	L+V+H+S	-	528/7	59/41
KOP-TP22-8	7	Euhedral	L+V+H+S	-	512/9	60/39
KOP-TP22-9	8	Euhedral	L+V+H+S	-	476/2	56/21
KOP-TP22-10	13	Unshaped	V+L+S	-4/5	416/2	7/17
KOP-TP22-11	12	Unshaped	L+V	-7	-	10/49
KOP-TP22-12	9	Unshaped	V+L	-	428/1	-
KOP-TP22-13	7	Unshaped	V+L+S	-	406/9	-
KOP-TP22-14	8	Negativecrystal	V+L	-7/9	-	11/58
KOP-TP22-15	9	Subhedral	V+L+S	-1/9	-	3/23
KOP-TP22-16	8	Subhedral	V+L+S	-	408/9	-
KOP-TP22-17	8	Euhedral	V+L	-	349/4	-
KOP-TP22-18	10	Subhedral	V+L	-	378/6	-
KOP-TP22-19	6	Euhedral	L+V+H	-	435/9	50/9
KOP-TP22-20	7	Elongated	L+V+H	-	300/7	38/79
KOP-TP22-21	8	Elongated	L+V+H	-	387/9	46/71

## ۶-۵-۱- شوری سیالات

در آزمایش انجماد، میانبار سیال به زیر دمای اتاق سرد می‌شود تا جایی که تغییر فاز از مایع به جامد مشاهده شود. بسته به نوع فازهای تشکیل دهنده، ترکیب، چگالی و یا شوری، سیالات مختلف در دماهای مختلفی منجمد می‌شوند. بعد از اینکه انجماد کامل صورت گرفت دوباره نمونه بصورت تدریجی گرم می‌شود تا یخ شروع به ذوب شدن کند. اولین قطره مایعی که ظاهر می‌شود یا به عبارتی اولین دمایی که یخ در آن ذوب می‌شود، دمای یوتکتیک (ET) نامیده می‌شود. این دما ارتباط مستقیم با نوع نمک‌ها و کاتیون‌های موجود در مایع دارد. گرم کردن تا جایی که آخرین بلور یخ ذوب شود ادامه می‌یابد. دمایی که در آن یخ تماماً ذوب می‌شود دمای نهایی ذوب یخ (Tm) نامیده می‌شود و نشان دهنده میزان شوری سیال است. نتایج مطالعات سرمایه‌ش نشان می‌دهد که میزان کمینه و بیشینه‌ی شوری میانبارهای سیال در منطقه‌ی مورد مطالعه ۰/۳۵ و ۶۹/۳۸ درصد وزنی معادل نمک طعام است. درجه شوری میانبارهای سیال دو فاز ی غنی در مایع (LV)، از ۰/۳۵ تا ۲۱/۷۵ و میانبارهای چهار فاز ی (LVHS) از ۲۹/۷۶ تا ۶۹/۳۸ درصد وزنی معادل نمک طعام متغیر هستند. این دو گروه به ترتیب با مقادیر ۳۴ و ۳۰ درصد، فراوانترین میانبارهای سیال در منطقه به شمار می‌روند. شوری میانبارهای سه فاز ی (LVH) با فراوانی ۲۲ درصد در بین میانبارهای سیال، از ۲۶/۳۷ تا ۵۰/۹ می‌باشد. در نهایت میانبارهای دو فاز ی غنی از بخار (VL) با کمترین فراوانی (۱۴ درصد)، ۰/۷ تا ۱۳/۱۸ درصد وزنی شوری معادل نمک طعام را دارا می‌باشند (شکل ۶-۵). در جدول (۶-۳) میزان شوری میانبارهای سیال منطقه‌ی مورد مطالعه با تعدادی از کانسارهای مس پورفیری بخش جنوبی کمان ماگمایی ارومیه- دختر مقایسه شده است. همانطور که مشخص است مقدر شوری یاد شده در مورد کانسار کوه‌پنج با آنچه که در مورد سایر کانسارها در جدول ذکر شده است، مطابقت دارد.

جدول ۳-۶- مقایسه سیالات کانه‌ساز کوه‌پنج با چند کانسار مس پورفیری در بخش جنوبی ارومیه- دختر.

نام کانسار	درجه‌ی شوری (درصد وزنی نمک طعام)	منابع
مس کوه‌پنج	۰/۳۵ تا ۶۹/۳۸ درصد	تحقیق حاضر
مس سرچشمه	۹ تا ۶۱ درصد	Hezarkhani, 2006
مس میدوک	۱ تا ۶۰/۷ درصد	Hezarkhani, 2008
مس چاه فیروزه	۰/۲ تا ۶۰ درصد	Hezarkhani, 2009



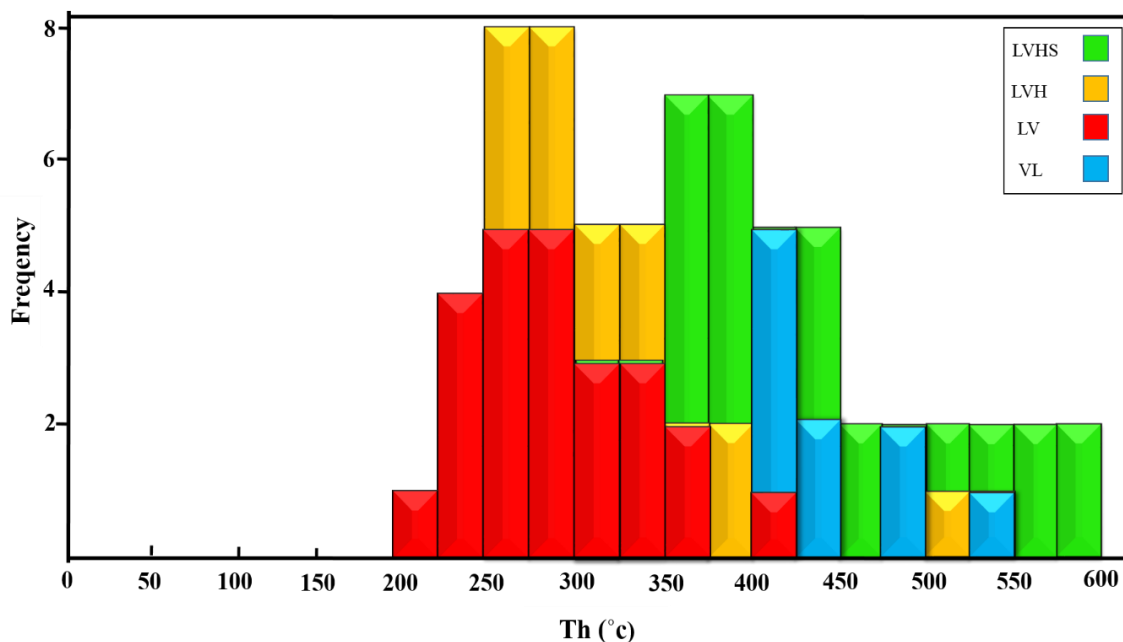
شکل ۳-۶. هیستوگرام فراوانی میزان شوری بر حسب درصد وزنی معادل نمک NaCl برای هر یک از انواع میانبارهای سیال منطقه‌ی کوه‌پنج.

### ۳-۵-۶- دمای به دام افتادن میانبارهای سیال

در این مرحله طی گرم کردن سیال، فازهای مختلف تشکیل‌دهنده سیال آنقدر حرارت داده می‌شوند تا همه فازهای آن به یک فاز اصلی همگن شوند. در تمامی سیالات درگیر مطالعه شده حالت همگن شدن بصورت فاز مایع می‌باشد. در این مطالعات دمای همگن شدن یا Th سیالات درگیر بدست می‌آید



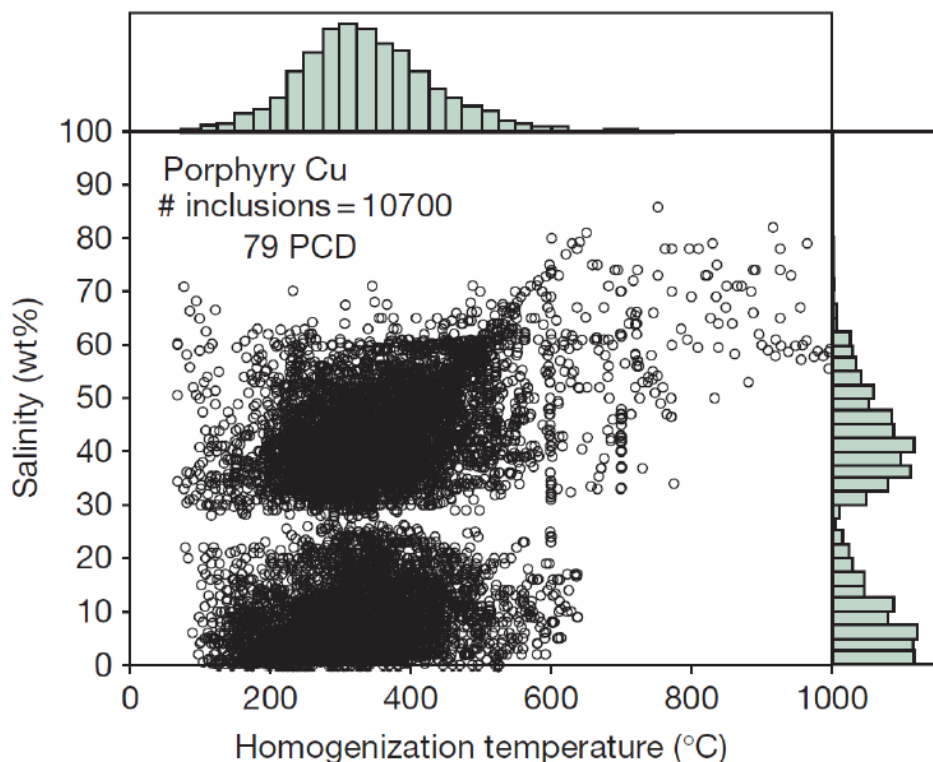
که به عنوان حداقل دمای به دام افتادن میانبار سیال یا تشکیل بلور میزبان در نظر گرفته می‌شود. نتایج مطالعات گرمایش سیالات نشان می‌دهد که تغییرات دمای همگن شدن میانبارها به فاز مایع از ۲۱۴/۹ تا ۵۶۹/۹۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است (شکل ۶-۶). این دما در میانبارهای دو فازی مایع و بخار (LV) در میزبان کوارتز بین ۲۱۴/۲ تا ۴۲۲/۳ درجه سانتی‌گراد، در میانبارهای دو فازی بخار و مایع (VL) بین ۴۰۲/۸ تا ۵۴۳/۴ درجه سانتی‌گراد، در میانبارهای ۳ فازی نوع مایع-بخار-هالیت (LVH) بین ۲۵۰/۳ تا ۵۰۳ درجه سانتی‌گراد و برای میانبارهای سیال ۴ فازی (LVHS) بین ۳۰۱/۶ تا ۵۶۹/۹ می‌باشد (شکل ۶-۶).



شکل ۶-۶. هیستوگرام فراوانی دمای همگن شدن میانبارهای سیال منطقه‌ی مورد مطالعه برای هر یک از انواع میانبارهای سیال.

مقایسه دمای همگن شدن و شوری ۷۹ کانسار مس پورفیری نشان می‌دهد که دمای همگن شدن از ۱۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد گسترده است اما بیشترین دامنه دمای همگن شدن در حدود ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است (Bodnar et al., 2014). همانطور که در شکل (۶-۶) مشخص است در مورد کانسار کوه‌پنج نیز این دامنه‌ی دمایی صدق می‌کند. همچنین شوری این کانسارها از حدود ۰ تا ۶۰ درصد

وزنی معادل نمک طعام گسترده است اما دو بازه متمایز مشاهده می‌شود که بیشترین فراوانی را دارند (شکل ۶-۷). اولین محدوده عمدتاً شوریه‌های کمتر از ۱۰ درصد را نشان می‌دهد و دومین محدوده شوریه حدود ۴۰ درصد وزنی نمک طعام را نشان می‌دهد (Bodnar et al., 2014). شکل (۶-۵) نیز این مطلب را در مورد کانسار کوه‌پنچ تأیید می‌کند.

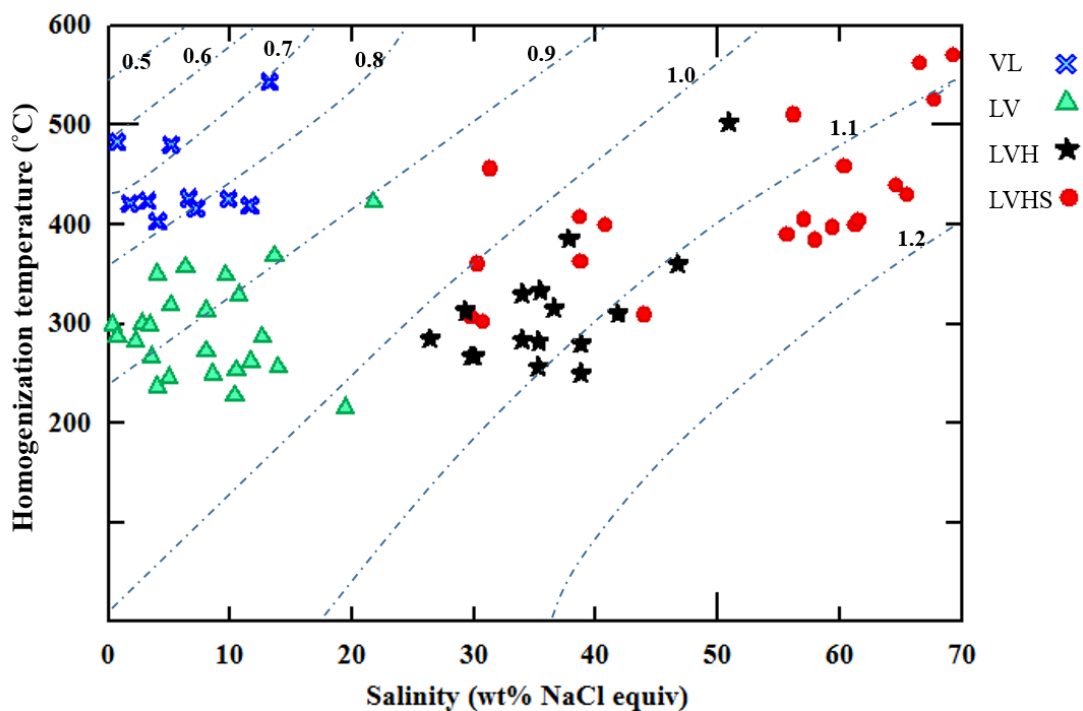


شکل ۶-۷. نمودار دمای همگن شدن و شوریه ۷۹ کانسار مس پورفیری دنیا (Bodnar et al., 2014).

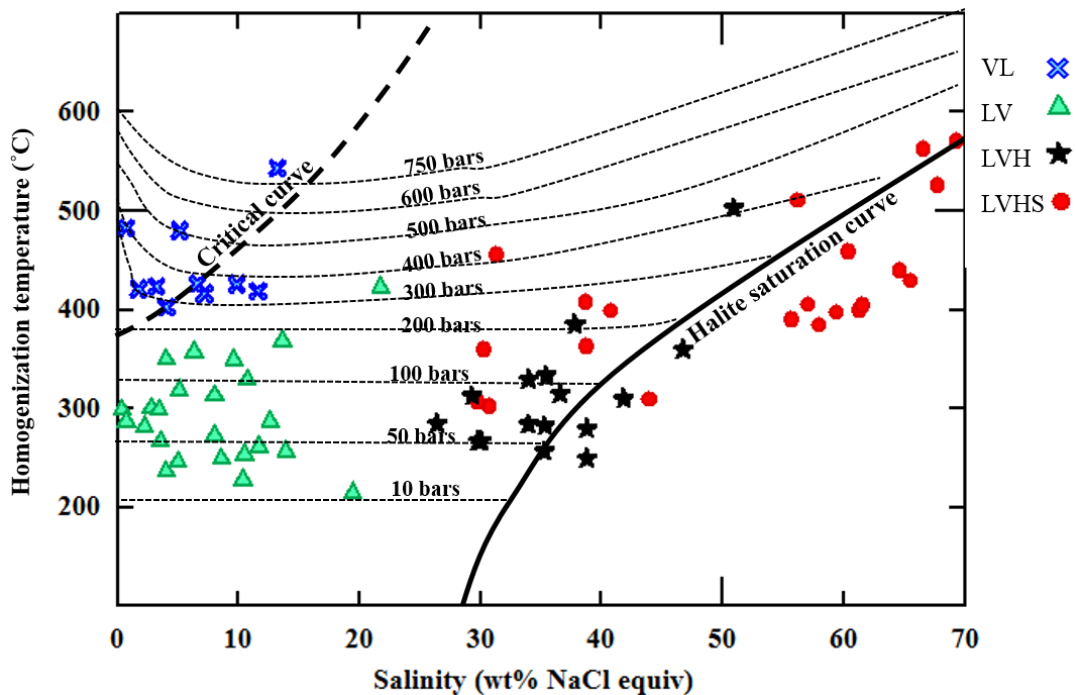
#### ۶-۶- محاسبه چگالی، فشار و عمق به دام افتادن میانبارهای سیال

زمانی که اطلاعات به دست آمده در مورد دمای همگن شدن میانبارهای سیال با اطلاعات داده‌های شوریه ترکیب می‌شوند، می‌توان چگالی سیال را بدون در نظر گرفتن شرایط به تله افتادن آن تعیین 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.

چگالی میانبارهای سیال منطقه‌ی کوه‌پنج بر پایه نمودار شکل (۶-۸) در بازه ۰/۶ تا ۱/۱۵ گرم بر سانتی-متر مکعب قرار گرفته است. این گستره وسیع دما و شوری که منجر به تغییرات چگالی سیالات می‌شود می‌تواند ناشی از تغییرات متعدد در سامانه در اثر نفوذ سیال‌های جدید و اثرات آن بر سامانه و همچنین تغییرات در شرایط فیزیکی سامانه مثل فشار باشد. فشار به‌دام‌افتادگی میانبارهای سیال بر پایه نمودار شکل (۶-۹) در منطقه کوه‌پنج، از ۱۰ بار تا ۷۵۰ بار متغیر است.

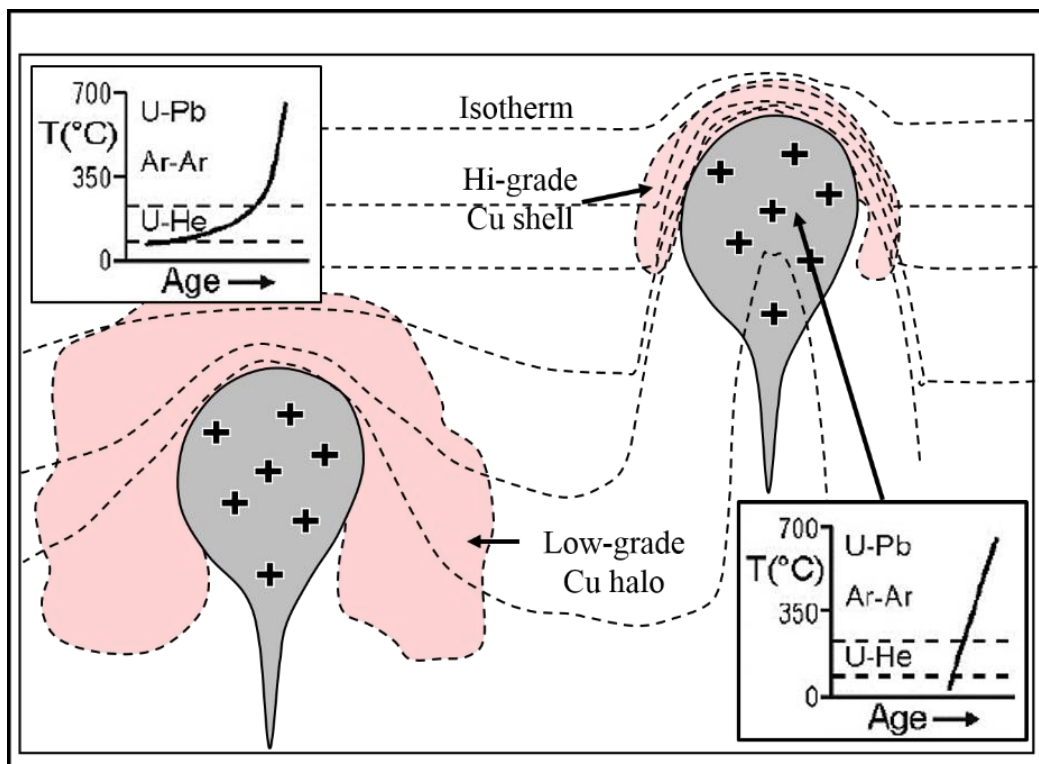


شکل ۶-۸. نمودار دما - شوری جهت تعیین چگالی محلول‌های NaCl-H<sub>2</sub>O اشباع از بخار (Wilkinson, 2001)، که چگالی نمونه‌های کوه‌پنج در دامنه‌ی ۰/۶ تا ۱/۱۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب قرار می‌گیرد.



شکل ۶-۹. نمودار تعیین فشار- بخار محلول بر حسب دمای همگن شدن و شوری (Driesner and Heinrich, 2007) که فشار به دام افتادگی میانبرهای سیال در منطقه کوه پنج تا ۷۵۰ بار است.

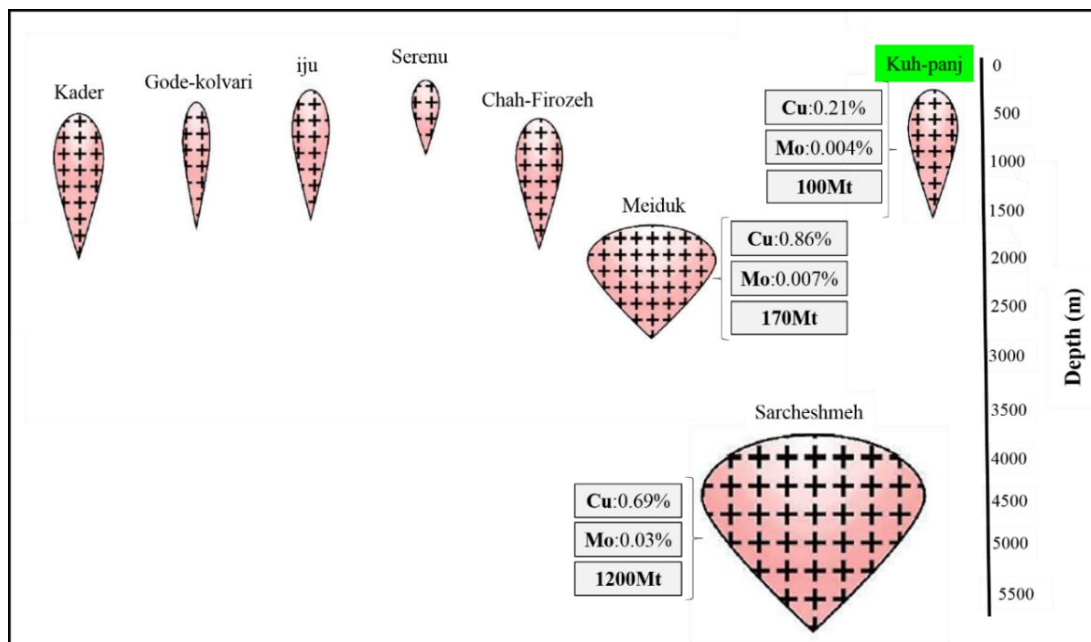
عمق جایگیری کانسارهای مس پورفیری در الگوی پراکندگی کانه‌زایی آنها موثر است (McInnes et al., 2005). هرچقدر عمق جایگیری کمتر باشد، گرادیان زمین گرمایی در اطراف توده نفوذی شدیدتر است و با فاصله گرفتن از توده، دما به سرعت افت می‌کند، تحت این شرایط محتوای فلزی سیالات در اطراف و داخل توده نفوذی ته‌نشست می‌یابد و فرصت چندانی برای دور شدن از توده نفوذی و گسترش کانه‌زایی در سنگ میزبان پیدا نمی‌کند. اما اگر عمق جایگزینی زیاد باشد، گرادیان زمین گرمایی تا فواصل بسیار دورتر از توده نفوذی با شیب ملایم کاهش می‌یابد، بنابراین با دور شدن سیالات کانه‌دار از توده نفوذی همچنان شرایط برای پایداری کمپلکس‌ها فراهم است و بنابراین بخش زیادی از کانی‌سازی می‌تواند در سنگ‌های میزبان انجام شود (شکل ۶-۱۰). در هر کدام از حالت‌های فوق (عمق جایگیری کم یا زیاد) اگر سیال فلزدار از محیط خارج شود، کانسار را غیراقتصادی می‌نماید.



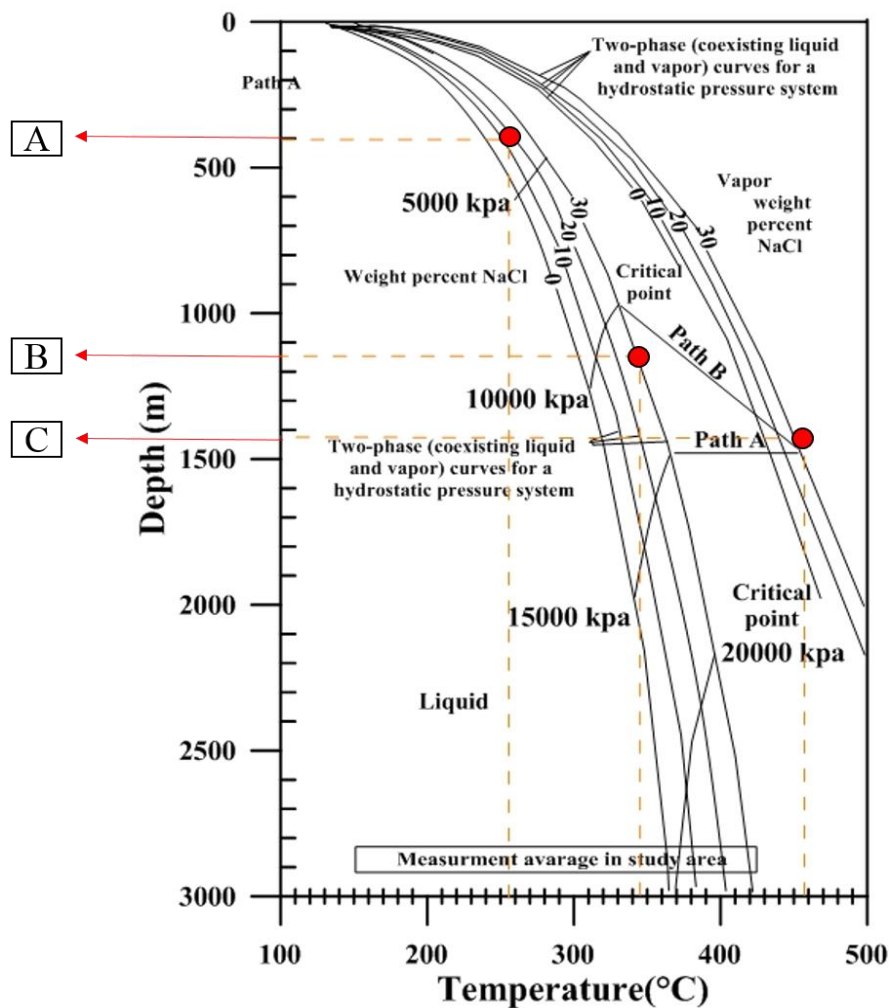
شکل ۶-۱۰. تصویر شماتیک از تأثیر عمق جایگیری توده نفوذی و ارتباط کانه‌زایی با گرادیان زمین گرمایی (McInnes et al., 2005).

از کانسارهای مهم کمر بند کرمان، کانسار سرچشمه در عمق حدود ۵ کیلومتر تشکیل شده است (McInnes et al., 2005) و کانه‌زایی در سنگ‌های میزبان آتشفشانی گسترش زیادی دارد. در مقابل کانسار میدوک در عمق کمتر (حدود ۲/۴ کیلومتر) تشکیل شده و کانه‌زایی عمدتاً در داخل توده نفوذی اتفاق افتاده است (تقی پور، ۱۳۸۶). در کانسار مس کوه‌پنج برای نمونه‌های با محدوده‌ی دمایی ۲۰۰ تا ۳۰۰، ۳۰۰ تا ۴۰۰ و بالای ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد میانگین دما و شوری برآورد شده است. نتایج حاصل از ترسیم این مقادیر بر روی نمودار شکل (۶-۱۲) عمق بدام‌افتادگی سیال کانه‌ساز را به ترتیب ۴۰۰، ۱۱۵۰ و ۱۴۲۰ متر نشان می‌دهد. با توجه به نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی (فصل قبل) در مورد عیار مولیبدن (در گمانه‌ی ۲) به نظر می‌رسد که با افزایش عمق مقادیر این عنصر همچنان در حال افزایش است. لذا با توجه به این که حفاری انجام شده تنها تا عمق ۵۰۰ متری ادامه داشته است، نمی‌توان با قطعیت در مورد حداکثر عمق تشکیل کانسار صحبت کرد. با این وجود، بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر متوسط عمق به‌دام‌افتادگی سیال در کانسار مس کوه‌پنج حدود ۱۱۰۰ متر تخمین زده می‌شود.

شکل (۱۱-۶) طرح نمادین عمق تقریبی جایگیری، عیار متوسط مس و مولیبدن (برای کانسارهای سرچشمه، میدوک و کوه پنچ)، و همچنین میزان ذخیره‌ی سامانه‌های پورفیری خوشه میدوک (کدر، گود- کولواری، ایجو، سرنو، چاه- فیروزه، میدوک)، کانسار مس سرچشمه (محمددوست، ۱۳۹۶) و کانسار مس کوه پنچ را نشان می‌دهد.



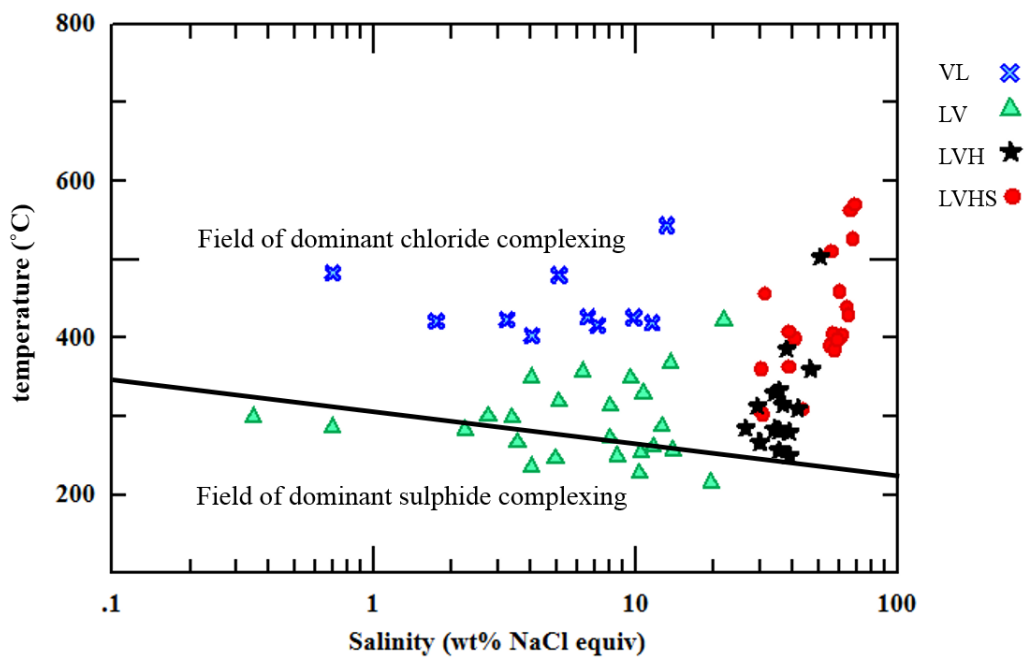
شکل ۱۱-۶. طرح شماتیک از عمق تقریبی جایگزینی سامانه‌های پورفیری خوشه میدوک، کانسار سرچشمه (محمددوست، ۱۳۹۶) و کانسار کوه پنچ (تناژ کانسار توسط: خالقی، ۱۳۸۰) گزارش شده است.



شکل ۶-۱۲. نمودار دما-فشار-عمق جهت تعیین عمق تشکیل کانسار (Haas, 1971, 1976; Sourirajan and Kennedy, 1962)، که در آن عمق تقریبی بدام افتادن میانبارهای سیال در نمونه‌های مطالعه شده مشخص گردیده است.

## ۶-۷- تعیین نوع کمپلکس‌های احتمالی

بر اساس مطالعات بارنز (Barenz, 1997)، در سیال‌های گرمابی با شوری بالا و دماهای بالا، کمپلکس‌های کلروری، و در دماهای پایین و شوری کم، کمپلکس‌های سولفیدی فلزات پایدار هستند. در کانسار کوه‌پنج کمپلکس‌های کلریدی و سولفیدی هر دو در حمل فلزات نقش داشته‌اند. در این میان به دلیل دمای بالای اغلب میانبارهای سیال، غلبه با کمپلکس‌های کلریدی می‌باشد (شکل ۶-۱۳).

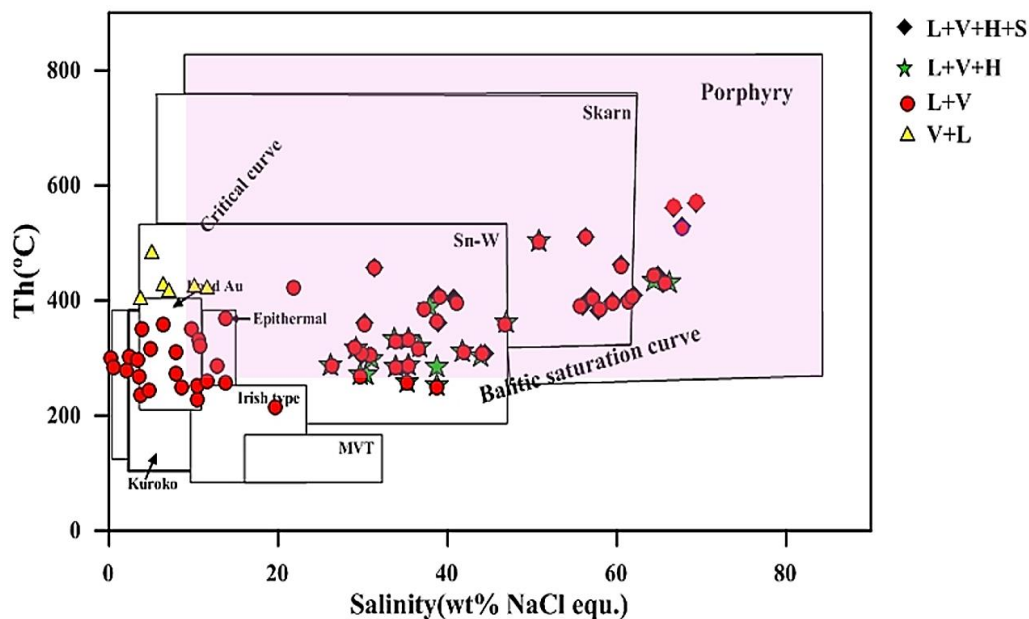


شکل ۶-۱۳. نمودار دمای همگن‌شدگی- شوری سیالات (Pirajno, 2009) جهت تعیین کمپلکس (آنیون) موثر در حمل عناصر کانسار ساز.

## ۶-۸- تعیین نوع کانسار احتمالی

بر اساس نمودار شکل (۶-۱۴) که برپایه محدوده دمای همگن‌شدن و شوری میانبارهای سیال کانسارهای مختلف طراحی شده است (Wilkinson, 2001)، میانبارهای سیال مورد مطالعه در محدوده کانسارهای پورفیری قرار می‌گیرند.



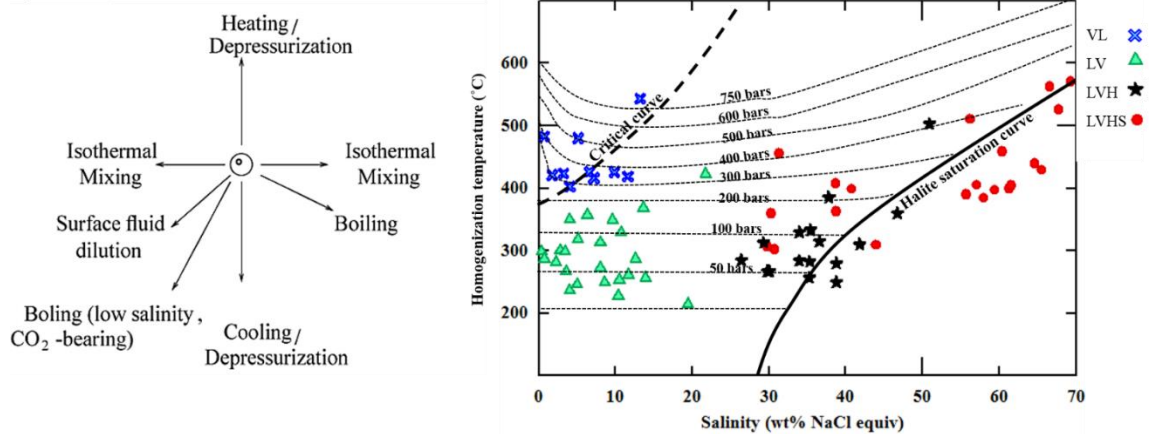


شکل ۶-۱۴. نمودار دمای همگن شدن - میزان شوری سیالات درگیر در کانسارهای مختلف، که کانسار مس کوه پنچ در محدوده‌ی کانسارهای پورفیری قرار می‌گیرد.

## ۶-۹- تعیین عوامل فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسار

در فرایند ایجاد سیالات مختلف مکان‌های متفاوت سیالات بوسیله انواع فرایندهای ایجاد جوش یا جوشش با ایجاد بخار و در سیستم‌های باز و از دست دادن  $H_2O$  پدید می‌آیند. جوشش و اختلاط سیالات دو عامل مهمی است که معمولاً شرایط لازم برای تشکیل کانسار را فراهم می‌آورند و باعث فوق‌اشباع شدن سیال گرمابی در محدوده سنگ‌ها و ته‌نشست کانسار می‌شود (Wilkinson, 2001). حرکت سیالات ماگمایی - جوی در سنگ میزبان بعنوان مسئول اصلی کانه‌زایی، می‌توانند توسط عوامل فیزیکی و شیمیایی مختلف فلزات خود را بر جای گذارند. با توجه به نمودار شکل (۶-۱۵) فرایند عادی سرد شدگی سیال با منشأ ماگمایی و اختلاط آن با آب‌های جوی مهمترین عامل در ته‌نشست فلزات بوده است. بزرگ بودن حباب گاز در سیال درگیر نشان‌دهنده‌ی این است که سیال در زمان به‌دام افتادن در حال جوشش بوده است (شهابپور ۱۳۸۶). وجود میانبارهای سیال دو فاز غنی در بخار که ۱۴

درصد کل میانبارها را به خود اختصاص داده‌اند و همچنین وجود ساخت برشی در مغزه‌های پورفیری نشان می‌دهند که فرایند جوشش نیز یکی از عوامل فرعی در ته‌نشست عناصر بوده است.



شکل ۶-۱۵. موقعیت قرارگیری نمونه‌های مربوط به منطقه مورد مطالعه در نمودار شوری در مقابل دمای همگن شدن

(Wilkinson, 2001) و روند فیزیکی مربوط به تشکیل کانسار.

فصل ہفتم  
بیچہ گیری، تیب و الگوی سسٹمیں  
کانسار و پھیپھاروں

## ۷-۱- مقدمه

تعیین تیپ کانی‌زایی و ارائه‌ی مدلی برای پیدایش یک کانسار مستلزم انجام مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی، میکروترمومتری و شیمی میانبارهای سیال و... می‌باشد. در تحقیق حاضر بررسی‌های گسترده‌ای برای دستیابی به ویژگی‌های زمین‌شناسی و معدنی کانسار مس کوه‌پنج و سنگ میزبان آن انجام شده است. در این فصل ابتدا به توصیف ویژگی‌های شاخص کانه‌زایی مس کوه‌پنج (زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، دگرسانی، ژئوشیمی سنگ و کانسنگ و میانبارهای سیال) پرداخته شده است، پس از آن صفات بارز کانه‌زایی کوه‌پنج با تیپ‌های شناخته شده‌ی کانسارهای مس پورفیری و با تعدادی کانسار مس پورفیری معروف در ایران و جهان مقایسه شده است و در ادامه برای تکوین کانه‌زایی مس کوه‌پنج مدل زایشی ارائه شده است. در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادهای لازم در این راستا ذکر گردید.

## ۷-۲- ویژگی‌های مهم کانه‌زایی مس کوه‌پنج

**زمین‌شناسی:** کانسار کوه‌پنج در بخش جنوبی کمربند ماگمایی ارومیه- دختر (کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان) واقع شده است. توده‌ی نفوذی با ترکیب داسیت تا گرانودیوریت با سن میوسن پایانی، به درون توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن شامل گدازه‌ها و آذرآواری‌های ریوداسیتی تزریق شده است. دایک‌های مشتق شده از این توده‌ی نفوذی ترکیب گرانودیوریت، دیوریت و داسیتی را نشان می‌دهند. این دایک‌ها ارتفاعات منطقه را ایجاد کرده‌اند.

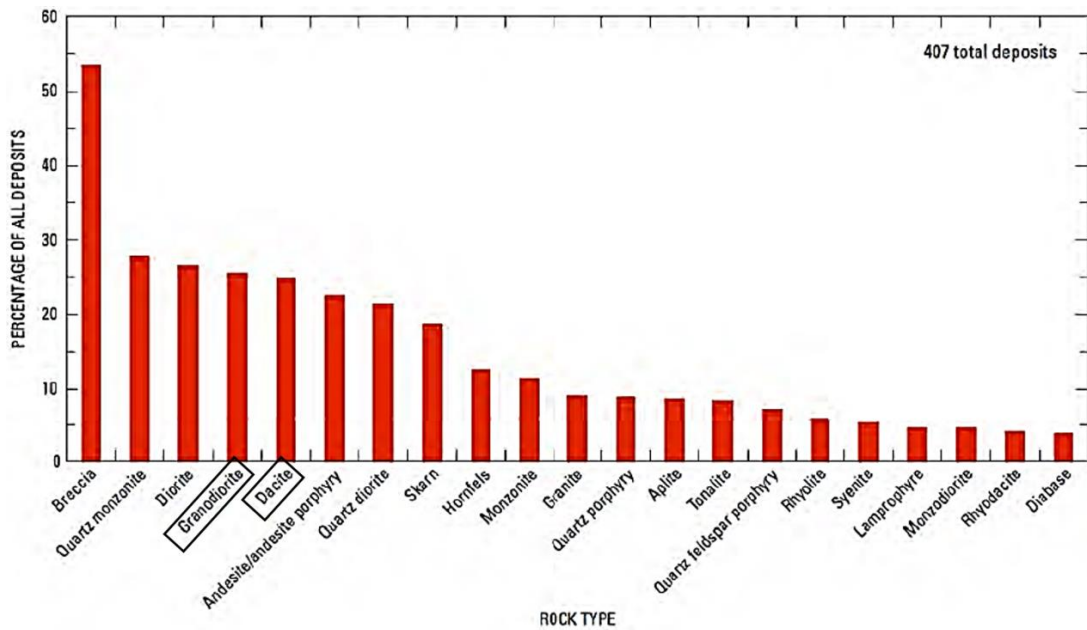
**دگرسانی و کانه‌زایی:** منطقه‌ی مورد مطالعه دارای انواع دگرسانی مربوط به کانسارهای پورفیری نوع حاشیه قاره (مونزونیتی) است. این دگرسانی‌ها شامل، پتاسیک، پروپیلیتیک، فلیک و آرژلیک هستند که با دگرسانی‌های سریسیتی و سیلیسی همراهی می‌شوند. در کانسار مس کوه‌پنج منطقه بندی

دگرسانی از داخل به خارج به ترتیب شامل پتاسیک، فلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک می‌باشد که کانه-زایی مس محدود به دگرسانی‌های پتاسیک و فلیک است. کانه‌زایی در این کنسار به صورت درونزاد و برونزاد رخ داده است. کانه‌های درونزاد به ترتیب فراوانی شامل پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، هماتیت، گالن، اسفالریت، به مقدار جزعی بورنیت و ندرتاً مولیبدنیت می‌باشند. کانه‌ها در منطقه‌ی برونزاد شامل هماتیت، گوتیت، لیمونیت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا و به مقدار کم کالکوسیت و کوولیت می‌باشد.

**ساخت و بافت کانه‌زایی:** بر پایه شواهد صحرایی، نمونه‌های دستی و میکروسکوپی، ساخت‌های کانی-سازی شامل داربستی (استوک ورک)، رگه-رگچه‌ای و گاهاً پراکنده و برشی می‌باشند و بافت‌ها عبارت‌اند از: دانه‌پراکنده، رگچه‌ای، داربستی، جانشینی، باقیمانده، پرکننده‌ی فضاهای خالی. در این میان بافت غالب کانه‌زایی دانه‌پراکنده، داربستی و رگه-رگچه‌ای است. توالی رگچه‌های موجود در منطقه‌ی کوه‌پنج بر اساس رده‌بندی سیلیتو (Sillitoe, 2010) به تیپ‌های M (رگچه‌های مگنتیتی)،  $A_1$  (رگچه‌های مگنتیت-کالکوپیریت)،  $A_2$  (رگچه‌های کالکوپیریت-پیریت-مگنتیت)، D (رگچه‌های پیریت)، رگچه-های کوارتز نابارور تقسیم‌بندی می‌شوند.

**ژئوشیمی سنگ‌های دربرگیرنده کنسار:** طبق نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی و استفاده از نمودارهای مربوطه، سنگ‌های کوه‌پنج، اعم از نفوذی‌ها و دایک‌های منطقه در محدوده‌ی مرز بین کوارتزمونزونیت و گرانودیوریت قرار می‌گیرند. این امر با نتایج حاصل از مطالعات میکروسکوپی این سنگ‌ها تا حدود زیادی مطابقت دارد. ماگمای سازنده واحدهای اصلی منطقه در قلمرو ماگماهای کالک‌آلکالن پتاسیم متوسط تا بالا و از نظر درجه اشباع از آلومینیم، مت‌آلومین و پرآلومین قرار می‌گیرند. در مورد سنگ‌های آتشفشانی منطقه گدازه‌های ائوسن نیز مطابق با نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی ترکیب ریوداسیتی نشان می‌دهند. بر اساس نتایج نمودارهای عنکبوتی و سایر ویژگی‌های ژئوشیمیایی ماگمای سازنده این سنگ‌ها خصوصیات ماگماهای آداکیتی پر سیلیس را نشان می‌دهد.

شکل (۷-۱) توزیع فراوانی سنگ‌های موجود در کنسارهای مس پورفیری در جهان را براساس گردآوری سینگر و همکاران (Singer et al., 2008) نشان می‌دهد. در این بین داسیت و گرانودیوریت با فراوانی نزدیک به ۲۷ درصد در رده‌ی چهارم و پنجم جدول قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که ترکیب سنگ-شناسی توده‌ی پورفیری کوه‌پنج از نوع داسیت-گرانودیوریت می‌باشد.



شکل ۷-۱. نمودار توزیع فراوانی انواع سنگ‌های موجود در کنسارهای مس پورفیری براساس گردآوری سینگر و دیگران (Singer et al., 2008)، که در آن جایگاه سنگ میزبان کانه‌زایی کوه‌پنج مشخص گردیده است.

**ژئوشیمی کانسنگ:** بر اساس تجزیه‌های شیمیایی ۴۸۳ نمونه مغزه حفاری از دو گمانه اکتشافی مقادیر کمینه، متوسط و بیشینه مس به ترتیب برابر ۰/۰۲، ۰/۲۱ و ۱/۹۸ درصد بوده است و عیار مولیبدن ۲ تا ۲۸۱/۵ گرم در تن (متوسط ۴۳ گرم در تن) تغییر می‌کند. ۳ نمونه انتخابی از مغزه‌های حفاری برای عنصر طلا عیارهای ۶، ۱۹ و ۹۶ میلی‌گرم در تن می‌باشد. مس با مولیبدن دارای همبستگی مثبت، و سرب و روی به عنوان عناصر ردیاب ژئوشیمیایی کنسارهای پورفیری با مس همبستگی منفی و با آهن همبستگی مثبت نشان می‌دهند. همیافتی ژئوشیمیایی این عناصر در کنسار کوه‌پنج با سایر کنسارهای مس پورفیری جهان مطابقت دارد. روند تغییرات عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های کانسنگ،

با روند این عناصر در نمونه‌های سنگ مطابقت دارد. در کانسارهای مس پورفیری عیار مس از ۰/۲ تا بیش از ۱ درصد (متوسط ۰/۷ درصد) و عیار مولیبدن از ۵۰ تا ۳۰۰ گرم در تن (متوسط ۱۷۵ گرم در تن) تغییر می‌کند (Sillitoe, 2010). با توجه به اطلاعات دوگمانه‌ی شماره‌ی ۲ و ۶ کانسار کوه‌پنچ با مقدار متوسط مس و مولیبدن به ترتیب ۰/۲۱ درصد و ۴۳ گرم در تن در رده کانسارهای مس پورفیری کم‌عیار و نیمه اقتصادی قرار می‌گیرد. توجه داشته باشید که این اطلاعات مربوط به دو گمانه از حفاری‌های منطقه می‌باشد؛ لذا این تفسیر نیز محدود به این دو گمانه است.

**میانبارهای سیال:** برای مطالعه میانبارهای سیال در کانسار کوه‌پنچ تعداد ۵ نمونه انتخاب گردید. فراوانی میانبارهای سیال در مقاطع مورد مطالعه بسیار بالا بوده است. بر اساس مطالعات پتروگرافی میانبارهای سیال، میانبارهای دو فاز غنی از مایع و میانبارهای چهار فاز جامد (LVHS) بیشترین حجم میانبارها را به خود اختصاص دادند. حضور فاز جامد نشان دهنده شوری بالای سیال می‌باشد. دمای همگن‌شدگی ۲۱۴/۹ تا ۵۶۹/۹۵ درجه سانتی‌گراد (بطور متوسط ۳۵۶ درجه سانتی‌گراد) و میزان شوری نیز از ۰/۳۵ تا ۶۹/۳۸ (بطور متوسط ۲۷/۱۵) درصد وزنی معادل نمک طعام تغییر می‌کند. براساس مطالعات انجام شده بر روی نمونه‌های منطقه مورد مطالعه فرایند عادی سرد شدن سیال و اختلاط سیال ماگمایی با سیالات جوی مهمترین فرایندهای ته‌نشست هستند. براساس دمای همگن‌شدگی و شوری، فشار به‌دام افتادن میانبارهای سیال کمتر از ۷۵۰ بار می‌باشد و عمق جایگزینی از حدود ۴۰۰ متر تا بیش از ۱۴۲۰ متر رخ داده است. عامل اصلی کنترل‌کننده کانی‌زایی در منطقه، وجود خطواره‌های تکتونیکی، تزریق و عمق جایگیری توده نفوذی داسیتی تا گرانودیوریتی، ترکیب واحدهای آتشفشانی- رسوبی و فعالیت هیدروترمالی توده‌ی نفوذی می‌باشد.

## ۷-۳- مقایسه ویژگی های کانسار مس کوه پنچ با تیپ های معروف کانسارهای

### مس پورفیری

مقایسه ی کانسار کوه پنچ با کانسارهای تیپ مونزونیتی و دیوریتی نشان می دهد که ویژگی های این کانسار با کانسارهای مونزونیتی همخوانی دارد (جدول ۷-۱).

جدول ۷-۱. مقایسه ویژگی های کانسار کوه پنچ با کانسارهای مس پورفیری مدل مونزونیتی و دیوریتی (Gilbert and Park, 1977).

خصوصیات	مدل لوول و گیلبرت	مدل دیوریتی	کانسار مس کوه پنچ
موقعیت تکتونیکی	عمدتاً حاشیه قاره	عمدتاً در جزایر قوسی	حاشیه قاره
توده نفوذی معمولی	آداملیت، گرانودیوریت، تونالیت	سینیت، مونزونیت	داسیت
توده نفوذی کم یاب	کوارتز دیوریت	دیوریت	گرانودیوریت
دایک های همزمان یا بعد از کانه سازی	دایک های بازیک به تعداد محدود	دایک های بازیک قطور به تعداد زیاد	دایک های فلسیک تا حدواسط به تعداد متوسط
مناطق دگرسانی به طرف خارج	پتاسیک، فلیک، رسی، پروپیلیتیک	پتاسیک، پروپیلیتیک	پتاسیک، فلیک، رسی، پروپیلیتیک
مشخص بودن مناطق دگرسانی	مشخص	نامشخص و دارای همپوشانی	مشخص
بافت داربستی	مهم	مهم	متوسط تا زیاد
کوارتز در رگچه ها	معمول	کم	معمول
پیریت در شکستگی ها	معمول	معمول	معمول
آلبیت	جزئی	معمول	متوسط
فرم توده معدنی	استوانه ای	تخت	استوانه ای
درصد پراکندگی ماده معدنی در توده نفوذی	٪۷۰	>٪۵۰	۶۵ تا ۷۰ درصد
بافت انتشاری کالکوپیریت	وجود دارد	مهم است	وجود دارد
عیار مس در منطقه درونزاد	٪۴۵	۰/۴۶	۰/۲۱
طلا	فرعی	۰/۳ گرم در تن	فرعی (۴۱ میلی گرم در تن)
عیار مولیبدن	۰/۰۱۵	۰/۰۰۷	۰/۰۴۳
انیدریت یا ژپس	معمولی (به مقدار فرعی)	معمولی (بیشتر است)	معمولی (به مقدار کم)
غنی سازی برونزاد	معمولی	کم	معمولی
غلظت گوگرد در سیال گرمابی	بالا	پایین	متوسط
برشی	ممکن است	نادر است	ممکن است



## ۴-۷- مقایسه ویژگی های کانسار مس کوه پنج با برخی از کانسارهای مس

### پورفیری در ایران و جهان

ویژگی های زمین شناسی و معدنی کانسار مس کوه پنج با تعدادی کانسار مس پورفیری شناخته شده در ایران از قبیل سرچشمه، میدوک، سونگون، علی آباد و دره زرشک و چاه فیروزه مقایسه شده است. اگرچه اختلافات جزعی میان کانسار مس کوه پنج با کانسارهای نام برده شده وجود دارد ولی کانسار کوه پنج بیشترین تشابه را با این کانسارها دارا می باشد.

جدول ۲-۷. مقایسه ویژگی های کانسار مس کوه پنج با برخی از کانسارهای مس پورفیری ایران.

موارد مقایسه	سرچشمه	میدوک	سونگون	علی آباد و دره زرشک	چاه فیروزه	کوه پنج
موقعیت تکتونیکی	حاشیه قاره ای جزایر قوسی	حاشیه قاره ای جزایر قوسی	حاشیه قاره ای	حاشیه قاره ای	حاشیه قاره ای	حاشیه قاره ای
توده نفوذی منشأ	گرانودیوریت	گرانیت- گرانودیوریت دیوریت- کوارتز دیوریت	مونزونیت- کوارتز مونزونیت گرانودیوریت	گرانودیوریت	کوارتز مونزونیت کوارتز دیوریت	داسیت- گرانودیوریت
سری ماگمایی	کالک آلکان	کالک آلکان پتاسیم متوسط	کالک آلکان پتاسیم بالا تا متوسط	کالک آلکان	کالک آلکان	کالک آلکان پتاسیم بالا تا متوسط
زون های دگرسانی	پتاسیک- فیلیک- آرژلیک- پروپیلیتیک	پتاسیک، سدیک- پتاسیک- سدیک- فیلیک- آرژلیک- پروپیلیتیک	پتاسیک- پتاسیک- فیلیک، آرژلیک- پروپیلیتیک	فیلیک- آرژلیک- پروپیلیتیک	فیلیک- پتاسیک- پروپیلیتیک- سیلیسی	پتاسیک- فیلیک- آرژلیک- پروپیلیتیک- سریستی- سیلیسی

Cu	Cu	Cu+ (Mo-Ag)	Cu-Mo (Au- Ag)	Cu (Au)	Cu-Mo (Au- Ag)	عناصر مهم فلزی
پیریت - کالکوپیریت - مولیبدنیت بورنیت - گالن - اسفالریت مگنتیت - هماتیت - کالکوسیت	پیریت - کالکوپیریت -  مولیبدنیت - بورنیت  مگنتیت	کالکوپیریت - بورنیت  مولیبدنیت	پیریت - کالکوپیریت -  مولیبدنیت - اسفالریت  پیروتیت - آناژیت - مگنتیت	پیریت - کالکوپیریت -  اسفالریت - مولیبدنیت  بورنیت	کالکوپیریت - پیریت  مولیبدنیت	کانی های هیپوژن
کم تا متوسط	-	؟	بسیار جزئی	کم	جزئی	مگنتیت
هیپوژن زیاد - سوپرژن کم	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	کم	گسترش زون هیپوژن و سوپرژن
۱۰۰ میلیون تن	۱۰۰ میلیون تن	دره زرشک ۲۴ میلیون تن علی اباد ۴۰ میلیون تن	بزرگ	متوسط - ۱۷۰ میلیون تن	بزرگ - ۱۲۰۰ میلیون تن	اندازه و میانگین ذخیره کانسار
۰/۲۱	۰/۵	دره زرشک ۰/۹  علی اباد ۰/۷۳	۰/۴	۰/۸۶	۰/۶۹	عیار متوسط مس (درصد (
۰/۰۰۴		دره زرشک ۰/۰۰۴  علی اباد ۰/۰۰۶	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۳	عیار متوسط مولیبدن (درصد)
مطالعات این پایانامه	Mohammadost et al., 2017	عبدل زاده و همکاران، ۱۳۸۵	Hezarkhani, 2006	Alirezaei et al 2017	Shahabpour , 2008	مراجع

جدول ۷-۳- مقایسه ویژگی‌های کانسار مس کوه‌پنج با تعدادی از کانسارهای مس پورفیری شناخته شده در جهان.

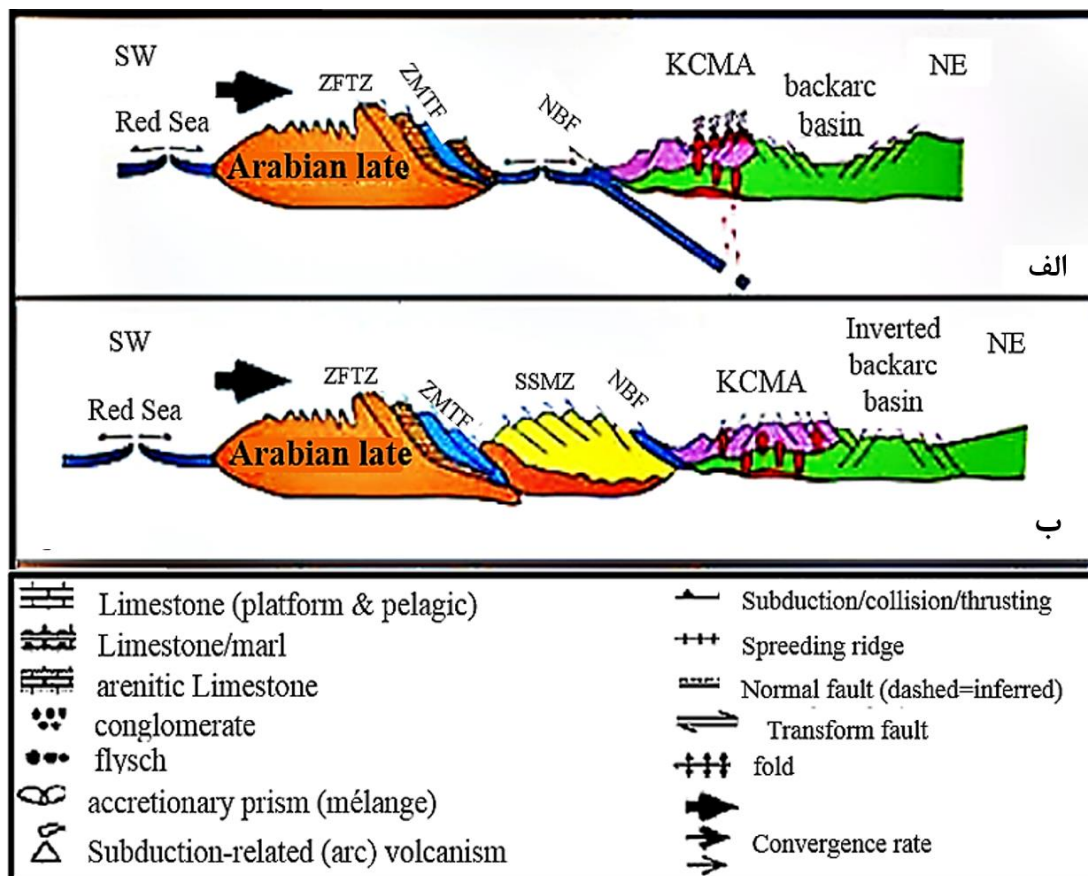
موارد مقایسه کانسار	کانسار مس - طلا دوپوزا	کانسار مس لارامید	کانسار مس - طلا - مولیبدن پورفیری پبل	کانسار مس - مولیبدن پورفیری باداگوان	کانسار مس کوه پنج
موقعیت جغرافیایی	مرکز تبت	جنوب مکزیک	جنوب شرق آلاسکا	شمال شرق چین	جنوب شرق ایران
موقعیت نکتونیک	زون فرورانش	زون فرورانش	حاشیه قاره	زون فرورانش	حاشیه قاره
توده نفوذی منشأ	گرانودیوریت دیوریت	دیوریت - گرانودیوریت استوک کوارتز فلدسپاتی	دیوریت - گرانودیوریت مونزونیت - مونزودیوریت	گرانیت	داسیت - گرانودیوریت
سری ماگمایی	کالک‌آلکانل پتاسیم بالا	کالک‌آلکانل	کالک‌آلکانل	کالک‌آلکانل	کالک‌آلکانل پتاسیم بالا تا متوسط
زون های دگرسانی	پتاسیک، پروپیلیتیک، سیلیسی	فیلیک - کوارتز سریسیت پروپیلیتیک - پتاسیک	پتاسیک - سدیک پتاسیک پروپیلیتیک - آرژیلیک	کوارتز سریسیت - سریسیت پروپیلیتیک پروپیلیتیک	پتاسیک - فیلیک آرژیلیک - پروپیلیتیک سریسیتی - سیلیسی
عیار متوسط مس (درصد)	بالای ۰/۴ درصد	۰/۴۵	بالای ۰/۴ درصد	بالای ۰/۴ درصد	۰/۲۱
عناصر مهم فلزی	Cu-Au	Cu	Cu-Au-Mo	Cu-Mo	Cu
کانی‌های فلزی هیپوژن	پیریت - کالکوپیریت - بورنیت - گالن - اسفالریت - مگنتیت - همتایت - کالکوسیت	پیریت کالکوپیریت	کالکوپیریت - مولیبدنیت پیریت - بورنیت	مولیبدنیت - کالکوپیریت پیریت	پیریت - کالکوپیریت - بورنیت - گالن - اسفالریت - مگنتیت - همتایت - کالکوسیت
ساخت و بافت	رگه - رگچه‌ای جانشین	رگه - رگچه‌ای داربستی و برشی	دانه پراکنده رگه - رگچه‌ای	دانه پراکنده	دانه پراکنده - داربستی رگه - رگچه‌ای
اندازه و میانگین ذخیره کانسار	-	۲۰ میلیون تن	۶/۳۶ میلیون تن مس ۳۳۴۱ تن طلا مولیبدن ۲/۵ میلیون تن	-	۱۰۰ میلیون تن
دمای همگن شدگی (°C) سیال	-	-	۳۷۷-۵۰۶°C	۳۰۰°C تا ۳۶۰°C	۲۱۴/۹-۵۶۹/۹°C
میزان شوری سیال (wt.% NaCl)	-	-	۹/۵۰ درصد	۳۷/۴۰ درصد	۰/۳۵-۶۹/۳۸ درصد
مراجع	Zhu et al 2017	Ochoa-Landín et al., 2016	Gregory, 2016	Kuifeng et al., 2016	مطالعات این پایانامه

## ۷-۵- الگوی تشکیل کانسار مس کوه پنچ

با توجه به آنچه که تاکنون در مورد کانسار کوه پنچ گفته شد در ادامه به الگوی پیدایش و تکوین این کانسار پرداخته شده است. برای پیدایش و تکوین کانسار مس کوه پنچ به طور سلسله مراتبی مراحل زیر پیشنهاد می‌گردد:

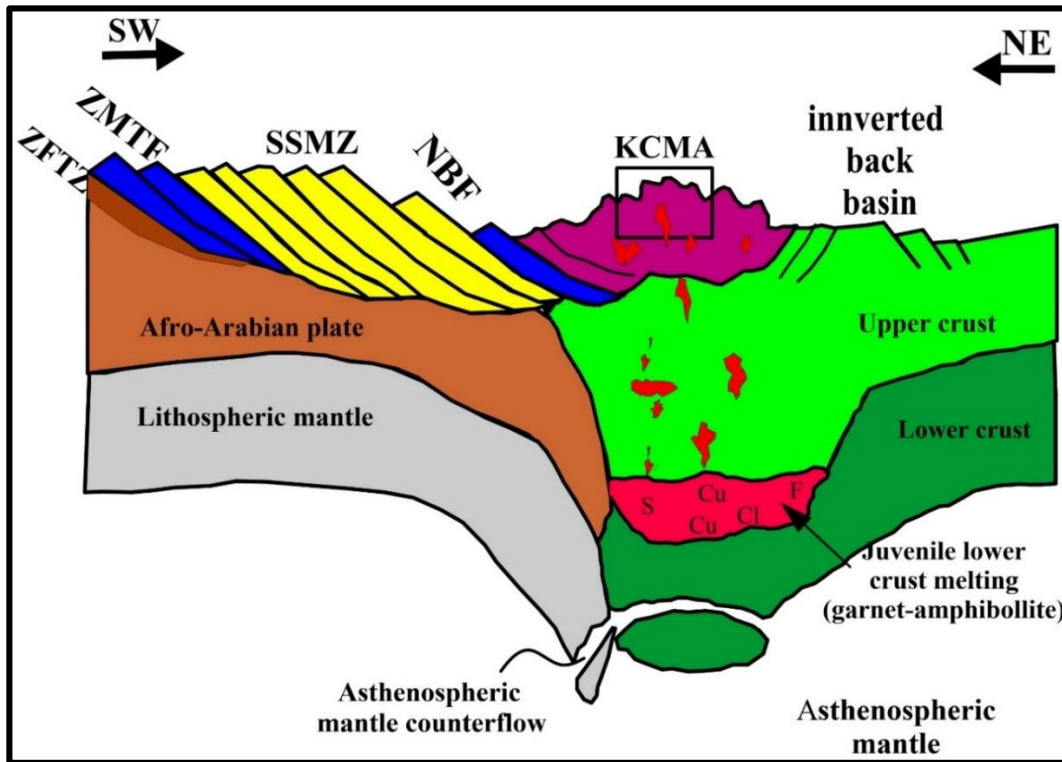
**مرحله اول:** در طول دوره‌ی ائوسن میانی- پایانی همزمان با فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی نئوتتیس به زیر پوسته‌ی قاره‌ای ایران مرکزی و از ذوب بخشی پوسته‌ی اقیانوسی فرورونده، زمینه برای تشکیل محیط‌های تکتونیکی کششی در موقعیت مکانی کمر بند ارومیه- دختر فراهم شده است. در این محیط کششی سریبی از سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی نهشته شده‌اند. در محدوده‌ی کوه پنچ در این زمان توالی از سنگ‌های آذرآواری (توفهای ریوداسیتی) و گدازه‌های آتشفشانی با ترکیب ریوداسیتی در حوزه‌های رسوبی کششی تشکیل شده‌اند (شکل ۷-۲- الف).

**مرحله دوم:** در زمان ائوسن پایانی- الیگوسن زیرین پوسته‌ی اقیانوسی نئوتتیس بسته شده و در زمان الیگوسن پایانی- میوسن زیرین توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی نیمه‌بارور تا نابارور (تیپ جبال‌بارز) به درون سری آذرآواری ائوسن میانی- بالایی تزریق شده‌اند. ماگمای والد این تیپ گرانیتوئیدها در نتیجه‌ی اختلاط ماگمای مافیکی ناشی از ذوب پوسته‌ی اقیانوسی با ماگمای فلسیک ناشی از ذوب پوسته‌ی قاره‌ای زیرین به وجود می‌آید (شکل ۷-۲- ب). بر پایه‌ی نتایج تحقیق حاضر اثری از ماگماتیسم‌های این زمان در محدوده‌ی کوه پنچ مشاهده نمی‌شود.



شکل ۷-۲. طرح کاملی از بسته شدن اقیانوس نئوتتیس و برخورد آلپ- هیمالیا، الف) ائوسن میانی - پایانی، ب) الیگوسن پایانی - میوسن زیرین (Shafiei, 2008). ZFTZ: زون گسلی تراستی زاگرس، ZMTF: گسل رورانده اصلی زاگرس، SSMZ: زون دگرگونی سنندج- سیرجان، NBF: گسل نایین- بافت، KCMA: کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان.

**مرحله سوم:** در میوسن بالایی طی ضخیم‌شدگی پوسته‌ی قاره‌ای فعالیت‌های ماگمایی گرانیتوئیدهای پورفیری تیپ کوه‌پنج فعال می‌گردند. در منطقه‌ی کوه‌پنج این تیپ نفوذی‌ها ترکیب سنگ‌شناسی داسیت تا گرانودیوریتی با گرایش آداکیتی دارند که از ذوب بخشی پوسته‌ی قاره‌ای ضخیم شده‌ی زیرین (گارنت- آمفیبولیت) حاصل شده‌اند. این نفوذی‌ها همراه با تعدادی دایک گرانودیوریتی، دیوریتی و داسیتی به درون توفها و گدازه‌های ریوداسیتی ائوسن تزریق شده‌اند و ضمن دگرسانی سنگ‌های میزبان در تشکیل کانه‌زایی مس و عناصر همراه نقش داشته‌اند (شکل ۷-۳).



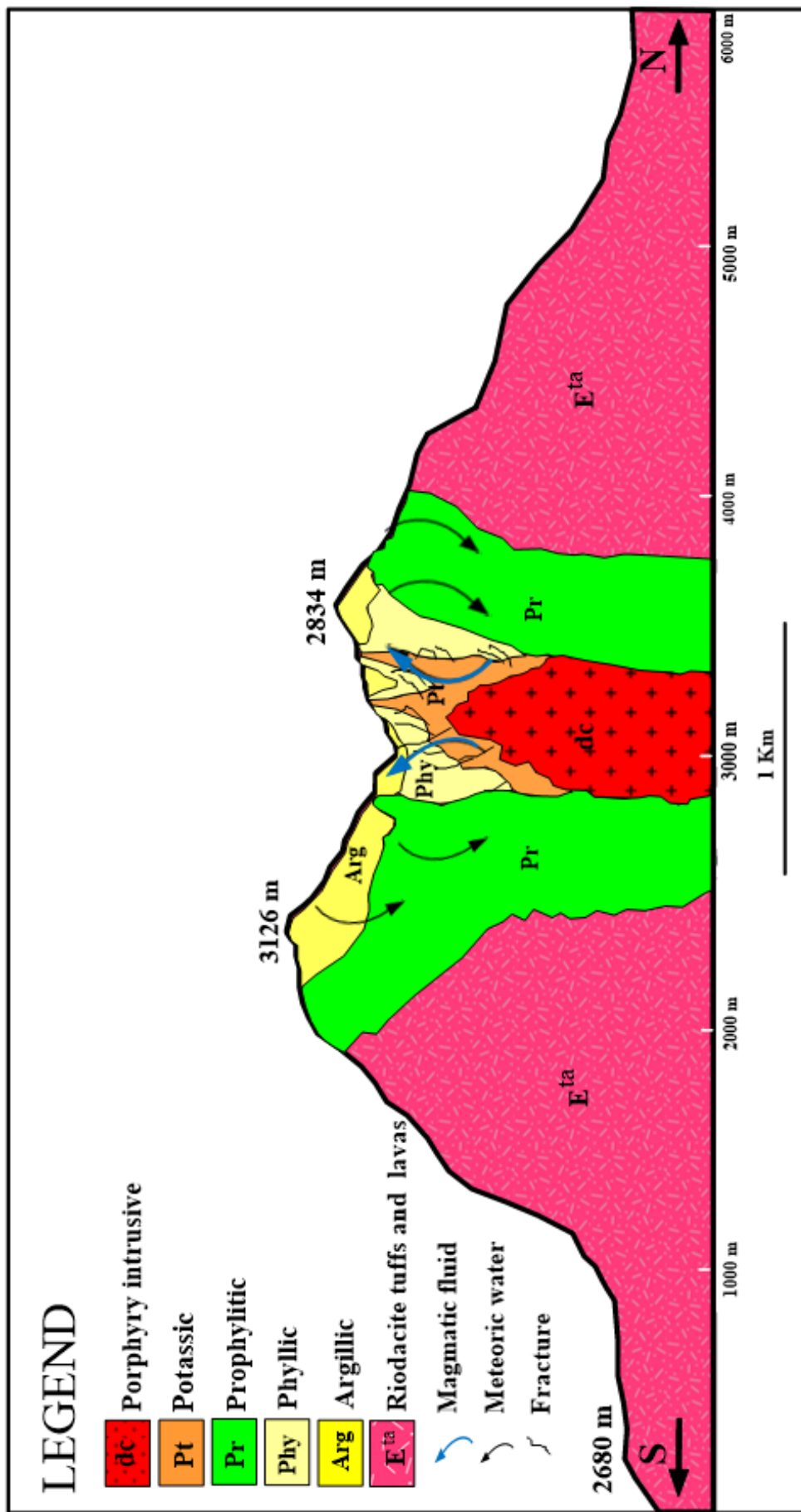
شکل ۷-۳. مدل تشکیل ماگماهای آداکیتی و کالک‌آلکان تیپ کوه‌پنج ناشی از ذوب پوسته‌ی زیرین ضخیم شده، که در آن موقعیت کانسارهای تیپ کوه‌پنج با کادر مشخص شده است.

**مرحله‌ی چهارم:** پس از جایگیری توده‌ی نفوذی آداکیتی کوه‌پنج به درون توالی آتشفشانی میزبان، طی سرد شدن بخش‌های حاشیه‌ای توده و تشکیل کانی‌های سیلیکاته بدون آب، بخش بالایی سیستم از محلول‌های آبگین غنی شده است. این شرایط با ادامه‌ی تبلور توده‌ی نفوذی تشدید شده و فشار هیدرواستاتیک بیش از پیش افزایش یافته است. چنین فرایندی در نهایت باعث شکستگی غشای متبلور شده‌ی توده‌ی نفوذی شده است. با بروز شکستگی سیالات ماگمایی مقدار زیادی از محلول‌های آبگین با همراهی دگرسانی پتاسیک یا سیلیکات‌های پتاسیم در اثر جانشینی پتاسیم حاصل شده است و ضمن آن عناصر کلسیم و سدیم از سنگ‌های دارای کانی‌های اولیه آلومینوسیلیکاته کاهش یافته است. از واکنش پلاژیوکلاز و پتاسیم فلدسپات اولیه با محلول‌های گرمایی پتاسیم‌دار ارتوز دما پائین متبلور شده

که در همراهی با مگنیتیت می‌باشد. واکنش هورنبلند با محلول‌های گرمابی، بیوتیت ریز دانه ثانویه را تشکیل داده است. از جمله کانی‌های اپک اصلی تشکیل شده در این مرحله می‌توان به مگنیتیت، کالکوپیریت، بورنیت و پیریت اشاره نمود که عمدتاً به صورت دانه پراکنده، رگچه‌ای و گاه‌آبرشی در سنگ حضور پیدا کرده‌اند. طی حرکت سیال به بالا و اطراف همزمان یا کمی بعد از دگرسانی پتاسیک، تحت تأثیر آب‌های جوی- ماگمایی کانی‌های کلریت، کلسیت، اپیدوت و آلبیت تشکیل شده‌اند و سبب ایجاد دگرسانی پروپیلیتیک می‌شوند. به این صورت که پتاسیم توسط کلریتی شدن آزاد شده و وارد ساختمان کانی فرعی سریسیت شده است. آنورتیت به اپیدوت و کلسیت تبدیل می‌شود. آلبیت پایدار مانده و کانی‌های مافیک اولیه به کلریت تبدیل شده‌اند. در برخی نقاط آهن آزاد شده در حضور سولفور، پیریت را ایجاد کرده است. در مراحل میانی و نهایی دگرسانی و کانه‌زایی، پلاژیوکلازها و آلکالی‌فلدسپارها در pH اسیدی به سریسیت تبدیل شده و کانی‌های مافیک (بیوتیت و آمفیبول) توسط کلریت جایگزین شده‌اند. کوارتز ثانویه نیز تشکیل شده که بعضاً به صورت کوارتز بلورین و به شکل پراکنده در متن سنگ و یا به حالت رگچه‌های میلیمتری در زمینه‌ی سنگ نهشته شده است. کاهش دما در اثر اختلاط آب‌های ماگمایی و جوی و نیز تغییرات pH سبب ناپایداری کمپلکس‌های حمل‌کننده‌ی فلزات و قرارگیری بخشی از کانه‌زایی در این زون شده است. کانی سولفیدی هیپوژن در این زون علاوه بر پیریت، شامل کالکوپیریت نیز می‌باشد. زون دگرسانی فیلیک غالباً با شبکه‌ای از شکستگی‌های استوکورکی همراه شده است. همچنین مقداری یون سدیم از تبدیل آلبیت به سریسیت آزاد می‌شود که به علت عدم تشکیل کانی سدیم‌دار جدید نظیر پاراگونیت، توسط سیالات دگرسان‌کننده، از محیط خارج شده است. آثار سریسیتی شدن در کانی‌های فرومنیزین نیز قابل مشاهده است و لذا طی رخداد این دگرسانی، عناصر Ca، Na و Mg توسط سیالات دگرسان‌کننده از سنگ شسته و خارج شده‌اند. تشکیل کانی رسی جدید در سنگ‌های سیلیکاته، دگرسانی رسی را مشخص می‌کند. شرایط اسیدی در تشکیل این دگرسانی مهم است و باعث فروشست همه کاتیون‌های آلکالی تا تکمیل دگرسانی شده است. کائولینیت و فازهای

وابسته مانند مونتموریلونیت، مشخص کننده دگرسانی رسی منطقه هستند. محلول‌های ماگمایی یا گرمایی غنی از منیزیم، آهن، کلسیم، سدیم و یا بی‌کربنات در سنگ‌های آذرین موجب این دگرسانی شده‌اند. سولفید رایج با دگرسانی آرژیلیک پیریت است، اگرچه ممکن است کالکوپیریت به مقدار کمی نیز وجود داشته باشد. فلدسپات‌ها ابتدا به سریسیت و سپس به کائولینیت و آلونیت تبدیل شده‌اند. این دگرسانی از لحاظ مکانی بالای منطقه فیلیک قرار گرفته و از لحاظ زمان تشکیل، همزمان با دگرسانی فیلیک و دیرتر از دگرسانی پتاسیک و پروپیلیتیک و عمدتاً تحت تأثیر آب‌های جوی تشکیل شده است و خارجی‌ترین هاله دگرسانی را تشکیل می‌دهد. طبق نتایج حاصل از مطالعات سیالات درگیر حداقل عمق جایگیری کانسار ۴۰۰ متر بوده است که تحت تأثیر فرسایش و هوازدگی اکنون بخش کوچکی از دگرسانی‌های پتاسیک و فیلیک در سطح رخنمون دارند (شکل ۷-۴).





شکل ۷-۴. تصویر شماتیک از نحوه تشکیل دگرسانی و کانی‌زایی‌ها در کانسار مس پورفیبری کوه‌پنج.

## ۷-۶- نتیجه‌گیری

بر پایه‌ی شواهد صحرایی، مطالعات سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری، کانه‌زایی، ساخت و بافت کانی‌ها، دگرسانی و بررسی میانبارهای سیال یافته‌های تحقیق حاضر به صورت زیر می‌باشد:

طی رخدادهای پس از برخورد پوسته‌ی قاره‌ای ایران مرکزی و عربستان ماگمای والد کانسار کوه‌پنج از ماگماهایی با ماهیت آداکیتی و کالک‌آلکان ناشی از ذوب پوسته‌ی ضخیم شده‌ی زیرین ایجاد شده است. این توده‌ی نفوذی با ترکیب داسیت تا گرانودیوریت در عمق یک کیلومتری از سطح زمین در درون مجموعه‌ی آتشفشانی-رسوبی ائوسن جای گرفته‌اند و سیالات لازم جهت تشکیل کانسار از آن نشأت گرفته‌اند. این سنگ‌ها دارای بافت پورفیری است که درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، آمفیبول، بیوتیت در زمینه‌ی ریزدانه‌ای از فلدسپار (عمدتاً پلاژیوکلاز) قرار گرفته‌اند. از نظر ژئوشیمیایی سنگ‌های داسیتی تا گرانودیوریتی از نوع گرانیتوئیدهای I، متآلومین تا پرآلومین، و در موقعیت‌های کمان قاره‌ای قرار می‌گیرند. انواع دگرسانی‌های مربوط به کانسارهای مس پورفیری حاشیه‌ی قاره شامل پتاسیک، پروپیلیتیک، فیلیک، آرژیلیک و سیلیسی‌شدن در سنگ‌های منطقه به وضوح قابل رؤیت می‌باشند که در این میان کانه‌زایی عمدتاً در زون پتاسیک و فیلیک رخ داده است. به دلیل عمق کم جایگیری توده‌ی نفوذی، کانه‌زایی به توده‌ی نفوذی و فواصل نزدیک به آن محدود می‌شود، چرا که سیال با طی مسافت کوتاهی به علت سرد شدن سریع به واسطه‌ی عمق کم، امتزاج با آب‌های جوی و تغییرات شیمیایی، عناصر خود را برجای گذاشته است. کانه‌زایی عمدتاً به ترتیب به صورت دانه‌پراکنده، رگه - رگچه‌ای و داربستی رخ داده است. پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، گالن، اسفالریت و اولیژیست کانه‌های اولیه کانه‌زایی منطقه می‌باشند که گاهاً با کالکوسیت و بورنیت همراهی می‌شوند. کالکوپیریت کانه اصلی مس است. بر پایه‌ی داده‌های ژئوشیمیایی دو حلقه از گمانه‌های اکتشافی مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین مس به ترتیب ۰/۰۲، ۱/۹ و ۰/۲۱ درصد می‌باشد. مقدار میانگین مولیبدن نمونه‌ها ۴۳ گرم در تن است.

مس با مولیبدن همبستگی ژئوشیمی مثبت و با سرب و روی همبستگی منفی دارد. دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال ۲۱۴/۹ تا ۵۶۹/۹۵ درجه سانتی‌گراد (بطور متوسط ۳۵۶ درجه سانتی‌گراد) و میزان شوری نیز از ۰/۳۵ تا ۶۹/۳۸ (بطور متوسط ۲۷/۱۵) درصد وزنی معادل نمک طعام تغییر می‌کند. براساس دمای همگن‌شدگی و شوری، فشار به‌دام افتادن میانبرهای سیال کمتر از ۷۵۰ بار می‌باشد و عمق جایگزینی از حدود ۴۰۰ متر تا بیش از ۱۴۲۰ متر رخ داده است. مشاهدات صحرایی، مطالعات زمین‌شناسی، پتروگرافی، دگرسانی، کانه‌زایی، کانه‌نگاری، ژئوشیمی، میانبرهای سیال و مقایسه کانسار مورد مطالعه با تعدادی کانسارهای مس پورفیری موجود در ایران و سایر نقاط جهان، نشان می‌دهد که کانسار کوه‌پنج یک کانسار مس پورفیری است.

## ۷-۷- پیشنهادها

- در راستای تکمیل اطلاعات به دست آمده در محدوده کوه‌پنج پیشنهادات زیر قابل ذکر می‌باشد:
- مطالعه دقیق تمامی گمانه‌های حفاری در محدوده مورد مطالعه و تعیین دقیق عمق بخش‌های حاوی کانی‌سازی کانسار.
  - طراحی گمانه‌های اکتشافی با تعداد و عمق بیشتر به منظور ارزیابی عیار و ذخیره قطعی کانسار و درک بهتر شرایط تشکیل کانی‌سازی.
  - تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی سه بعدی زیرسطحی کانسار با استفاده از مطالعه‌ی سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی گمانه‌های اکتشافی.
  - ترسیم مدل سه‌بعدی هندسی ماده معدنی و تعیین میزان ذخیره قطعی با استفاده از اطلاعات حفاری توسط نرم افزار دیتا ماین (Data Mine).
  - تکمیل داده‌های میانبرهای سیال با نمونه‌برداری از مناطق مختلف دگرسانی (پتاسیک، فلیک، پروپیلیتیک و آرژیلیک) در گمانه‌های اکتشافی.

- تجزیه شیمیایی میانبرهای سیال بر روی نمونه‌های مغزه‌های حفاری به روش اسپکتروسکوپی رامان و یا روش‌های پیشرفته دیگر برای ارزیابی منشأ کانی‌سازی و پتانسیل شیمیایی سیال گرمابی در اثبات باروری و ناباروری کانسار کوه‌پنج.
- مطالعه ایزوتوپی گوگرد بر روی جفت‌های پیریت و کالکوپیریت و اکسیژن بروی مگنتیت برای پی بردن به منشأ سیال کانه‌ساز، درجه حرارت و عمق دقیق تشکیل کانه‌زایی.
- انجام مطالعات سن‌سنجی ایزوتوپی بر روی توده‌ی نفوذی داسیت پورفیری و دایک‌های وابسته.

# منابع

## منابع فارسی

- بابائی م، (۱۳۸۸)، "استفاده از روش های چند متغیره پیشرفته جهت مدل سازی اکتشافی منطقه سرچشمه و کوهپنچ کرمان"، پایان نامه ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- تقی پور ن، (۱۳۸۶)، "کاربرد ژئوشیمیایی سیالات درگیر و ایزوتوپی بعنوان راهبردهای اکتشافی، دگرسانی و کانی زایی در کانسار شهر بابک، کرمان". رساله‌ی دکتری. دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- خالقی ف، (۱۳۸۰)، "مطالعه زمین‌شناسی، اکتشاف ژئوشیمیایی نیمه‌تفصیلی و بررسی پتانسیل معدنی کانسار مس پورفیری کوهپنچ بردسیر، کرمان"، پایان نامه ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- خالقی ف. شهاب پور ج، (۱۳۷۹)، "تجزیه و تحلیل داده های ژئوشیمیایی کانسار مس کوهپنچ و کانسار پلی‌متال معین‌آباد و شناسایی سیگنال‌های ژئوشیمیایی آنها"، مجموعه مقالات نوزدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- خان‌ناظر ن ح. غفوری م و امامی م ه، (۱۳۵۰)، "نقشه زمین‌شناسی چهارگوش چهارگنبد"، سری ۱:۱۰۰۰۰۰، شماره ۷۲۴۹، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- روشنی رودسری پ. مختاری ا و طباطبایی ح، (۱۳۹۱)، "بررسی همبستگی ژئوشیمیایی عناصر در سیستم‌های عددی باز و بسته مطالعه موردی کانسار مس کوهپنچ (استان کرمان)"، نشریه روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، شماره ۴، ص ۴۶-۵۸.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، (۱۳۷۸)، "طرح اکتشاف سراسری ذخایر معدنی، پروژه‌ی اکتشاف سیستماتیک در کمربند ارومیه-دختر"، برگه ۱:۱۰۰,۰۰۰ چهارگنبد.
- سهیلی م، (۱۳۷۴)، "نقشه زمین‌شناسی چهارگوش سیرجان"، سری ۱:۲۵۰۰۰۰، شماره I11، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شرکت ملی صنایع مس ایران، (۱۳۸۶)، "گزارش نهایی مطالعات زمین‌شناسی و دگرسانی محدوده کوهپنچ در مقیاس ۱:۵۰۰۰".

- شفاعتی پور م، (۱۳۹۰)، "تلفیق داده‌های سنجش ازدور، ژئوشیمی و ژئوفیزیک با استفاده از روش‌های شبکه مصنوعی و منطق فازی به منظور مشخص کردن پتانسیل معدنی در منطقه چهارگنبد استان کرمان"، پایان نامه ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- شفیع بافتی ب، (۱۳۸۶)، "الگوی فلزایی کمربند مس پورفیری کرمان و رهیافت‌های اکتشافی آن"، رساله‌ی دکتری، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- شهاب‌پور، ج، (۱۳۸۶)، "زمین‌شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه باهنر کرمان، ۵۴۲ ص.
- عبدالزاده م، لیاقت س و مر ف، (۱۳۸۵)، "مطالعه پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین نفوذی کوه ممزار جنوب سرچشمه کرمان"، مجموعه مقالات نهمین همایش زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- عینعلی م، (۱۳۹۲)، "تکوین ذخایر مس پورفیری جنوب کمربند ارومیه - دختر، با نگاهی ویژه به معیارهای تشخیص پورفیری‌های عقیم و بارور"، رساله دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- قربانی م، (۱۳۹۳)، "ماگماتیسم - متامورفیسم ایران"، انتشارات آرین زمین، چاپ اول.
- کریم‌زاده ثمرین ع، (۱۳۸۱)، "کاربرد داده‌های ژئوشیمیایی"، تألیف هاگ رولینسون، دانشگاه تبریز، ۵۵۷ صفحه.
- کریم‌پور م. ح، "زمین‌شناسی کاربردی"، انتشارات صالح، نشر مشهد، ۱۳۷۴.
- محمد دوست ه، (۱۳۹۶)، "مطالعه ویژگی‌های زمین‌شیمیایی و ایزوتوپی سیالات گرمابی کانه‌ساز در توده‌های پورفیری اقتصادی و غیراقتصادی در خوشه میدوک، کمربند مس پورفیری کرمان"، رساله‌ی دکتری، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.
- محمدزاده ز، (۱۳۸۷)، "زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی مس در منطقه چاه فیروزه، شهر بابک، استان کرمان"، پایان نامه ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید بهشتی.

## References

- Aftabi A., Atapour H. (2010). "Regional aspects of Shoshonitic volcanism in Iran", *Episodes*, v. 23, p. 119 -125.
- Aghazadeh M., Hou Z., Badrzadeh Z and Zhou L. (2015). "Temporal–spatial distribution and tectonic setting of porphyry copper deposits in Iran: Constraints from zircon U–Pb and molybdenite Re–Os geochronology", *Ore Geology Reviews* 70, pp. 385–406.
- Alavi M. (1994). "Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretation", *Tectonophysics*, v. 229, p. 211-238.
- Alirezaei A., Arvin M., Dargahi S. (2017). "Adakite-like signature of porphyry granitoid stocks in the Meiduk and Parkam porphyry copper deposits, NE of Shahr-e-Babak, Kerman, Iran: constrains on geochemistry", *Ore Geology Reviews*. S0169-1368(16), 30001-4.
- Ansari A., Sheikh Zakariaii S.J., Dargahi S., Arvin M. (2017). "Petrology and Geochemical Properties of the Granitoid Complex of Chahar-Gonbad, Southeast Iran", *Open Journal of Geology* 7, pp. 847-858.
- Asadi S., Moore F., Zarasvandi A. (2014). "Discriminating productive and barren porphyry copper deposits in the southeastern part of the central Iranian volcano-plutonic belt, Kerman region, Iran", *A review: Earth-Science Reviews* 138, pp. 25–46.
- Atherton M.P., Petford N. (1993). "Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust". *Nature*, v. 362, p. 144–146.
- Audetat A, Gunther D, Heinrich CA. (1998). "Formation of a magmatic-hydrothermal ore deposit: Insights with LA-ICP-MS analysis of fluid inclusions", *Science*, 279(5359): 2091-2094.
- Audetat A, Pettke T, Heinrich CA, Bodnar R J. (2008). "The Composition of Magmatic-Hydrothermal Fluids in Barren and Mineralized Intrusions", *Economic Geology*, 103(5): 877-908.
- Azadi M. Mirmohamadi M and Rasekh p. (2015) "Geometric-Genetic and Mineralogical Classification of veinlets and breccias in Kahang Porphyry Copper Deposit, Northern East Isfahani", *Researchgate*, pp. 1-8.
- Baharifar A., Moinevaziri H., Bellon H., Piqué A. (2004). "The crystalline complexes of Hamadan (Sanandaj–Sirjan zone, western Iran): metasedimentary Mesozoic sequences affected by Late Cretaceous tectono-metamorphic and plutonic events", *Comptes Rendus Geoscience*, 336, 1443-1452.
- Baldwin, J.A., Pearce, J.A., 1982. Discrimination of productive and nonproductive porphyritic intrusions in the Chilean Andes. *Econ. Geol.* 77, pp. 664–674.
- Barnes H. L. (1997). "Geochemistry of hydrothermal ore deposits", *John Wiley & Sons*, p.420-583.

- Barr, D.A., Fox, P.E., Northcote, K.E., and Preto, V.A., 1976, The alkaline suite porphyry deposits—A summary: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum Special Volume 15, p. 359–367.
- Batchelor R.A and Bowden P. (1985). "Petrogenetic Interpretation of Granitoid Rock Series Using Multicationic Parameters". Chemical Geology 48,pp. 43-55.
- Beane R.E and Titly S.R. (1981). "Prophyry copper deposits; part II: Hydrothermal alteration and mineralization"; Econ. Geol. 75th Anniv. Vol., p. 214-269.
- Beiranvand Pour A. (2015). "Hydrothermal alteration mapping from Landsat-8 data, Sar Cheshmeh copper mining district, south-eastern Islamic Republic of Iran". Journal of Taibah University for Science. 9, pp. 155–166.
- 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 and Berberian M. (1982). "Late Cretaceous and Early Miocene Andean-type plutonic activity in northern Makran and Central Iran". Journal of Geological Society of London, v. 139, p.605-614.
- Bodnar R, Moncada D, Lecumberri-Sanchez P, Steele-MacInnis M. "Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits" Publisher:Oxford: Elsevier Ltd, Editors: Karl K. Turekian, Heinrich D. Holland, pp.119-142.
- Calagari A.A. (2003). "Stable isotope (S, O, H and C) studies of phyllic and potassic–phyllic alteration zones of the porphyry copper deposit at Sungun, East Azarbaijan, Iran", Asian Earth Sci. 21, pp. 767–780.
- Castillo P. R. (2012). "Adakite petrogenesis", Lithos, 304-316.
- Chappell B,W and White A.J.R. (1974). "Two contrast granite types": Pacific Geology, pp. 35-43.
- Chiaradia M. (2014). "Copper enrichment in arc magmas controlled by overriding plate thickness". Nat Geosci 7, pp. 43–46.
- Chiaradia M., Ulianov A., Kouzmanov K., Beate B. (2012). "Why large porphyry Cu deposits like high Sr/Y magmas". Scientific Reports 2, p. 685.
- Christiansen E.H., Keith J.D. (1996). "Trace element systematics silicic magmas: A metallogenic prospective. In: Wyman, D.A. (Ed.), Trace Element geochemistry of volcanic rocks: Applications for massive sulfide exploration". Geol. Assoc. Canada 12, pp. 115-151.
- Condie K. (1989). "Plate Tectonics and Crustal Evolution". Pergamon Press, Oxford, p. 476.
- Collins, W.J., Beams, S.D., White, A.J.R., Chappell, B.W., 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. Contrib. Mineral. Petrol. 80, pp. 189-200.
- Cooke DR., Hollings P., Walsh JL. (2005). "Giant porphyry deposits: Characteristics, distribution, and tectonic controls". Economic Geology, 100(5), pp. 801-817.
- Cooke DR., Hollings P., Wilkinson, JJ, Tosdal, RM., (2014) "Geochemistry of Porphyry Deposits" Treatise on Geochemistry 2nd Edition, Elsevier, pp. 357-376.



- Defant, M.J., Drummond, M.S., 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature* 347, 662–665.
- Defant, M.J., Drummond, M.S., (1993). "Mount St. Helens: potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc". *Geology* 21, pp. 547–550.
- Dimitrijevic M. D. (1973). "Geology of Kerman region: Institute for geological and mining exploration and institution of nuclear and other mineral raw materials, Beograd-Yugoslavia": Geol. Survey Iran, Rept Yu/52.
- Drummond M.S., Defant M.J. (1990). "A model for trondhjemite–tonalite –dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons". *Geophys. Res.* 95, pp. 21503–21521.
- 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 XNaCl". *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71.pp. 4880-4901.
- Einali M, Alirezai S, Federica A. (2014). "Chemistry of magmatic and alteration minerals in the Chahfiruzeh porphyry copper deposit, south Iran: implications for the evolution of the magmas and physicochemical conditions of the ore fluids". *Turkish J Earth Sci* 23, pp. 147-165.
- Frost B.R., Arculus R.J., Barnes C.G., Collins W.J., Ellis D.J., Frost C.D. (2001). "A geochemical classification of granitic rock suites". *J. Petrol.* 42, 2033–2048.
- Geiger S., Haggerty R., Dilles J., Reed M.H and Matthai, S. (2002). "New insights from reactive transport modeling: The formation of sericitic vein envelopes during early hydrothermal alteration at Butte, Montana": *Geofluids*, v. 2, p. 185–201.
- Gioncada A. Mazzuoli R., Bisson M & Pareschi, M.T. (2003). "Petrology of volcanic products younger than 42 ka on the Lipari-Vulcano complex (Aeolian Islands, Italy); an example of volcanism controlled by tectonic". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 122, 191-220.
- Golestani M, Karimpour MH, Malekzadeh Shafaroudi A, Hidarian Shahri MR. (2018). "Geochemistry, U-Pb geochronology and Sr-Nd isotopes of the Neogene igneous rocks, at the Iju porphyry copper deposit, NW Shahr-e-Babak, Iran", *Ore Geology Reviews* 93, pp. 290-307.
- Gregory, Melissa J. (2016). "A fluid inclusion and stable isotope study of the Pebble porphyry copper-gold-molybdenum deposit, Alaska", *Ore Geology Reviews*, pp. 08.009.
- Grove T.L., Elkins-Tanton L.T., Parman S.W., Chatterjee N., Müntener O., and Gaetani G.A. (2003), "Fractional crystallization and mantle-melting controls on calc-alkaline differentiation trends". *Contribution to journal*, pp. 515-533.
- Guilbert J. M., Park C. F. (1986). "The Geology of Ore Deposits", W. H. Freeman and Co 1-985.
- Gustafson L and Hunt J. (1975). "The Porphyry Copper Deposit at El Salvador, Chile". *Economic Geology*, v. 70, 77. Pp. 857-912.

- Halter W, Heinrich AC, Pettke T. (2005). "Magma evolution and the formation of porphyry Cu-Au ore fluids: evidence from silicate and sulfide melt inclusions". *Mineralium Deposita*, 39(8):845-863.
- Haas J. L. (1971) "The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure" *Econ. Geology.*, 66, 6, pp 940-946.
- Haas J. L. (1976) "Thermodynamic properties of the coexisting phases and thermodynamic properties of the NaCl component in boiling NaCl solutions" *U.S. Geol. Survey Bull.*, 1421-B, pp 71.
- Hassanzadeh J. (1993). "Metallogenic and tectono-magmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of Iran (Shahr e Babak area, Kerman province)". Unpublished Ph. D. thesis, University of California, Los Angeles, p. 204.
- Hezarkhani A. (2008). "Hydrothermal evolution of the Miduk porphyry copper system, Kerman, Iran": A fluid inclusions investigation, *International Geology Review*, 50.
- Hezarkhani A. (2009). "Hydrothermal fluid geochemistry at the Chah-Firuzeh porphyry copper deposit, Iran;" Evidence from fluid inclusions, *Journal of geochemical exploration* 101, 54-264.
- Hezarkhani A. (2006). "Hydrothermal evolution of The Sar-Cheshmeh porphyry Cu-Mo deposit, Iran": Evidence from fluid inclusions, *Journal of Asian Earth Science*, 28, 409-422.
- Hezarkhani A. (2006). "Petrogeochemistry of the Sungun Porphyry Copper Intrusive Rocks", Azerbaijan, Iran, *Amirkabir Journal of Science and Technology*, v. 15, No. 59-D, p. 91-111.
- 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 33–45.
- Hou Z.Q., Gao Y.F., Qu X.M., Rui Z.Y., Mo X.X. (2004). "Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east–west extension in southern Tibet". *Earth Planet. Sci. Lett.* 220, 139–155.
- Hou ZQ., Ma HW., Zaw K., Zhang YQ., Wang MJ., Wang Z., Pan GT., Tang RL.(2003). "The Himalayan Yulong porphyry copper belt: Product of large-scale strike-slip faulting in eastern Tibet". *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 2003, 98(1):125-145.
- Hou, Z., Yang, Z., Qu, X., Meng, X., Li, Z., Beaudoin, G., Rui, Z., Gao, Y., Zaw, K., (2009). "The Miocene Gangdese porphyry copper belt generated during post-collisional extension in the Tibetan Orogen". *Ore Geol. Rev.* 36, pp. 25–51.
- Hou Z.Q., Zhang H., Pan X., Yang Z. (2011). "Porphyry Cu (–Mo–Au) deposits related to melting of thickened mafic lower crust: examples from the eastern Tethyan metallogenic domain". *Ore Geol. Rev.* 39, pp. 21–45.
- 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.
- John D. A., Ayuso R. A., Barton M. D., Blakely R. J., Bodnar R. J., Dilles J. H., Gray, Floyd, Graybeal F. T., Mars J. C., McPhee D.K., Seal R.R., Taylor R.D and Vikre P.G., (2010). "Porphyry copper deposit model, chap. B of Mineral deposit models for

- resource assessment": U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report. 5070-B, 169 p.
- Kelemen P.B., Hanghøj K., and Greene A.R. (2003). "One view of the geochemistry of subduction-related magmatic arcs, with an emphasis on primitive andesite and lower crust": *Treatise on Geochemistry*, v. 3, p. 593–659.
  - Khannazer N.H., Emami M.H. & Ghaforie M. (1995). "Geological Map of Iran 1:100,000 Series Sheet 7249, Tehran-Naqsheh".
  - Kirkham R.V and Dunne K.P.E. (2000). "World distribution of porphyry, porphyry-associated skarn, and bulk-tonnage epithermal deposits and occurrences": Geological Survey of Canada, Open File 3792a, 26 p.
  - Kuifeng Mi, Zhenjiang Liu, Chunfeng Li, Ruibin Liu, Jianping Wang, Runmin Peng. (2016). "Origin of the Badaguan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia, NE China: Constraints from geology, isotope geochemistry and geochronology", *oregeorev*, pp, 09.029.
  - Landtwing MR., Furrer C., Redmond PB. (2010). "The Bingham Canyon porphyry Cu-Mo-Au deposit. III. Zoned copper-gold ore deposition by magmatic vapor expansion". *Economic Geology* 105: 91–118.
  - Lang J.R and Eastoe C.J. (1988). "Relationships between a porphyry Cu-Mo deposit, base and precious metal veins, and Laramide intrusions, Mineral Park, Arizona": *Economic Geology*, v. 83, p. 551–567.
  - Lang, J.R., Stanley, C.R., and Thompson, J.F.H., 1995, Porphyry copper-gold deposits related to alkalic igneous rocks in the Triassic-Jurassic arc terranes of British Columbia: *Arizona Geological Society Digest* 20, p. 219–236.
  - Lee CTA . (2012). "Copper systematics in arc magmas and implications for crust-mantle differentiation". *Science* 336, pp. 64–68.
  - Lee C-TA, Lee TC, Wu C-T. (2014). "Modeling the compositional evolution of recharging, evacuating, and fractionating (REFC) magma chambers: Implications for differentiation of arc magmas". *Geochim Cosmochim Acta* (143), pp. 8-22.
  - Lowell J. D and Guilbert J. M. (1970). "Lateral and vertical alteration mineralization zoning in porphyry ore deposits". *Econ Geol.*, v. 65, p. 373-408.
  - Maniar P.D and Piccoli P. (1989). "Tectonic Discrimination of Granitoids". *Geological Society of America Bulletin*, 101, 635-643.
  - Martin H, Smithies R.H., Rapp R., Moyen J and Champion D. (2005). "An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid—Relationships and some implications for crustal evolution": *Lithos*, v. 79, p. 1–24
  - Martin H. (1999). "The adakitic magmas modern analogues of Arohaean granitoids", *Lithos* 46: 411-429.
  - McInnes I.A., Evans N.J., Belousova E., Griffin W.L. (2003). "Porphyry copper deposits of the Kerman belt, Iran: timing of mineralization and exhumation processes". *Sci. Res. Rep. Australia. CSIRO*, (41 pp)
  - Middlemost E.A. K. (1994) "Naming materials in the magma and igneous rock system" *Science Reviews.*, 37, pp 215-224.

- Misra K.C. (2000), "Understanding Mineral Deposits". Kluwer Academic Publishers, pp. 845.
- Mitchell, A.H. and Garson, M.S., 1972, Relationship of porphyry copper and circum-Pacific tin deposits to palaeo-Benioff zones: Transaction of Institute of Mining and Metallurgy, v. 81, p. B10-25.
- Mohammad doost H., Ghaderi M., Vijaya Kumar T., Hassanzadeh J., Alirezaei S., Stein H., Babu E. (2017). "Zircon U–Pb and molybdenite Re–Os geochronology, with S isotopic composition of sulfides from the Chah-Firouzeh porphyry Cu deposit, Kerman Cenozoic arc, SE Iran" *Ore Geology Reviews* S0169-1368(16)30688-6.
- Moyen J. F. (2009). "High Sr/Y & La/Yb ratios: The meaning of the adakitic signature", *Lithos* 112, No: 19, 556-574.
- Mungall JE. (2002). "Roasting the mantle: slab melting and the genesis of major Au and Au-rich Cu deposits". *Geology* 30, pp. 915–918.
- Ochoa-Landín L.H. ., Valencia-Moreno M., Calmus T., Del Rio-Salas R., Mendivil-Quijada H., Meza-Figueroa D., Flores-Vásquez I., Zúñiga-Hernández L.G. (2016). "Geology and geochemistry of the Suaqui Verde deposit: A contribution to the knowledge of the Laramide porphyry copper mineralization in south central Sonora, Mexico", *Ore Geology Reviews*.
- Ore Deposits Formed by Oxidation and Supergene Enrichment, <http://www.geol-amu.org/notes/b3-3-7.htm>.
- Omrani J., Agard P., Whitechurch H., Benoit M., Prouteau G., and Jolivet, L., 2008. Arc-magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences, *Lithos* 106, 380–398.
- Parry W. T., Jasumback M. and Wilson P. N., (2002). "Clay Mineralogy of Phyllic and Intermediate Argillic Alteration at Bingham, Utah". *Economic Geology* 97, pp. 221–239.
- Parsapoor A., Khalili M., Tepley F., Maghami, M., (2014). "Mineral chemistry and isotopic composition of magmatic, re-equilibrated and hydrothermal biotites from Darreh-Zar porphyry copper deposit, Kerman (Southeast of Iran)" *Ore Geology Reviews* 66, pp. 200–218.
- Pearce 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.
- Peccerillo A. and Taylor S.R. (1976). "Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 58, p. 63-81.
- Petford, N., Atherton, A., (1996). "Na-rich partial melts from newly underplated basaltic crust: the Cordillera Blanca batholith, Peru". *J. Petrol.* 37, pp. 1491–1521.
- Pirajno, F. (2009). "Hydrothermal processes and mineral systems". Springer, Geological Survey of Western Australia, Perth, Wa, Australia. 1273p.
- Plotinskaya OY., Azovskova OB., Abramov SS., Groznova EO., Novoselov KA., Seltmann R., Spratt J. (2018). "Precious metals assemblages at the Mikheevskoe porphyry copper deposit (South Urals, Russia) as proxies of epithermal overprinting". *Ore Geology Reviews* S0169-1368(17) 30702-3.

- Qu X.M., Hou Z.Q., Huang W. (2001). "Gangdese porphyry copper belt: the second "Yulong" porphyry Cu belt in Tibet" *Mineral Deposits* 20, pp. 355–366.
- Redmond PB, Einaudi MT, Inan EE, Landtwing MR, and Heinrich CA. (2004). "Copper deposition by fluid cooling in intrusion-centered systems – New insights from the Bingham porphyry ore deposit", *Utah. Geology* 32: 217–220.
- Richards J.R. (2009). "Post subduction porphyry Cu–Au and epithermal Au deposits: products of remelting of subduction-modified lithosphere". *Geology* 37, pp. 247–250.
- Richards JP. (2011). "High Sr/Y arc magmas and porphyry Cu ± Mo ± Au deposits": just add water. *Econ Geol* 106, pp.1075–1081.
- Richards JP. (2013). "Giant ore deposits formed by optimal alignments and combinations of geological processes". *Nat Geosci* 6, pp. 911–916.
- Richards J. P. (2015). "Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: From subduction to collision", *Ore Geology Reviews* 70, pp. 323–345.
- Richards J.P., Spell T., Rameh E., Razique A and Fletcher T. (2012). "High Sr/Y Magmas Reflect Arc Maturity, High Magmatic Water Content, and Porphyry Cu-Mo-Au Potential: Example From the Tethyan Arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan", *Mineralium Deposita*, v.107, pp. 295-332.
- Robert F., Brommecker R., Bourne B.T., Dobak P.J., McEwan, C.J., Rowe R. R., Zhou X. (2007). "Models and exploration methods for major gold deposit types". In *Proceedings of Exploration*, Vol. 7, pp. 691-711.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. *Mineralogical Society of America. Reviews in Mineralogy*, vol. 12, 644 p.
- Roshani P., Mokhtari A., Tabatabaei H. (2013). "Objective based geochemical anomaly detection-Application of discriminant function analysis in anomaly delineation in the Kuh-Panj porphyry Cu mineralization (Iran)". *Journal of Geochemical Exploration* 130, pp. 65–73.
- Rusk B.G., Reed M.H and Dilles J.H. (2008). "Fluid inclusion evidence for magmatic-hydrothermal fluid evolution in the porphyry copper-molybdenum deposit at Butte, Montana": *Economic Geology*, v. 103, p. 307–334.
- Sajona F.G., Maury R.C., Prouteau G., Cotten J., Schiano P., Bellon H., Fontaine L. (2000). "Slab melt as metasomatic agent in island arc magma mantle sources, Negros and Batan (Philippines)", *Island Arc*, v. 9, p. 472-486.
- Saric V and Mijalkovic N. (1973), "Metallogenic map of Kerman region. Scale: 1:500000, *Geol. Surv. Iran*".
- Seedorff E., Dilles J.H., Proffett J. M., Einaudi M.T., Zurcher L., Stavast W.J.A., Johnson D.A and Barton M. D. (2005). "Porphyry deposits Characteristics and origin of hypogene features": *Society of Economic Geologists, Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 251–298.
- Seo JH, Guillong M and Heinrich CA. (2012). "Separation of molybdenum and copper in porphyry deposits: The roles of sulfur, redox, and pH in ore mineral deposition at Bingham Canyon". *Economic Geology* 243: 333–356.

- Shafiei B., Shahabpour J., Haschke M. (2008). "Transition from Paleogene normal calcalkaline to neogene adakitic-like plutonism and Cu-metallogeny in the Kerman porphyry copper belt": response to neogene crustal thickening. *J. Sci. Islam.* 19, pp. 67–84.
- Shafiei B. (2008). "Metallogenic model of Kerman porphyry copper belt and its exploratory approaches". Unpublished Ph.D. thesis, Shaheed Bahonar University, Kerman, Iran, p. 257.
- Shafiei B. (2010). "Lead isotope signatures of the igneous rocks and porphyry copper deposits from the Kerman Cenozoic magmatic arc (SE Iran), and their magmatic-metallogenetic implications", *Ore Geology Reviews*, v. 38, p. 27-36.
- Shafiei B., Haschke M., Shahabpour J. (2009). "Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran", *Mineralium Deposita*, v. 44, pp. 265-283.
- Shahabpour J. (1982). "Aspects of alteration and mineralization at the Sar Cheshmeh copper-molybdenum Deposit, Kerman, Iran": Unpub Ph.D. thesis Leeds University, 342 pp.
- Shahabpour, J. and Doorandish, M. (2008). "Mine drainage water from the Sarcheshmeh porphyry copper mine, Kerman, IR Iran." *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 141, PP. 105–120.
- Shand S.J. (1943) "Eruptive rocks. Their genesis, composition, classification and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorite" New York: John Wiley and Sons.
- Shepherd T. J., Rankin A. H., Alderton D. H. M. (1985). "A practical guide to fluid inclusion studies". Blackie, P. 22.
- Siivola j. & Schmid R. (2007) List of mineral abbreviations. IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks (SCMR), PP.14.
- Sillitoe, R.H. (1993). "Gold-rich porphyry copper deposits: geological model and exploration implications"; in Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., and Duke, J.M., eds., *Mineral Deposit Modeling: Geological Association of Canada, Special Paper 40*, p. 465-478.
- Sillitoe R.H. (2000). "Gold-rich porphyry deposits: Descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery": *Reviews in Economic Geology*, v. 13, p. 315–345.
- Sillitoe R.H. (2002). "Some metallogenic features of gold and copper deposits related to alkaline rocks and consequences for exploration": *Mineralium Deposits*, v. 37, p. 4–13.
- Sillitoe R.H. (2010). "Porphyry Copper Systems", Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, v. 105, pp. 3–41.
- Sillitoe R. H and Perelló J. (2005). "Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery": *Economic Geology 100th anniversary volume*, p. 845–890.
- Sillitoe, R.H., 1973, The tops and bottoms of porphyry copper deposits: *Economic Geology*, v. 68, p. 700-815.

- Sillitoe, R.H., 1988a, Ores in volcanoes; in Zachrisson, E., ed., Proceedings of the Seventh Quadrennial IAGOD Symposium: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, p. 1-10.
- Sillitoe, R.H. and Bonham, H.F., Jr., 1984, Volcanic landforms and ore deposits: *Economic Geology*, v. 79, p. 1286-1298.
- Singer, D. A., Berger, V. I. and Moring, B. C., 2008. Porphyry copper deposits of the world: Database and grade and tonnage models: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1155 (<http://pubs.usgs.gov/of/2008/1155>).
- Sinclair W.D. (2007). "Porphyry deposits, in Good fellow, W.D., ed., *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods*": Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special. Publication No.5, p. 223-243.
- Sobolev AV and Danyushevsky LV. (1994). "Petrology and Geochemistry of Boninites from the North Termination of the Tonga Trench: Constraints on the Generation Conditions of Primary High-Ca Boninite Magmas". *Journal of Petrology*, 35(5):1183-1211.
- Sobolev AV. (1996). "Melt Inclusions in Minerals as a Source of Principle", *Petrological Information*. *Petrology*, 4(3):209-220.
- Sourirajan S. and Kennedy G. C. (1962) "The system H<sub>2</sub>O-NaCl at elevated temperatures and pressures" *Am. Jour. Sci.*, 260, pp 115-141.
- Stocklin J.(1968). "Structural history and tectonics of Iran; A review". *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 52, p. 1229-1258.
- Sun WD et al. (2011). "The genetic association of adakites and Cu-Au ore deposits". *Int Geol Rev* 53, pp. 691-703.
- Sun WD. (2013). "The link between reduced porphyry copper deposits and oxidized magmas". *Geochim Cosmochim Acta* 103, pp. 263-275.
- Sun WD. (2015). "Porphyry deposits and oxidized magmas". *Ore Geol Rev* 65, pp. 97-131.
- 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, p. 313-345.
- Ulrich T, Gunther D, Heinrich C A. (1999). "Gold concentrations of magmatic brines and the metal budget of porphyry copper deposits", *Nature*, 399(6737): 676-679.
- Ven den Kerkhof A.M., Hein U.F. (2001), "Fluid inclusion petrography". *Lithos*, v. 55, p. 27-47.
- Verdel C., Wernicke B. P., Hassanzadeh J and Guest B. (2011). "A Paleogene extensional arc flare up in Iran", *Tectonics* 30, TC3008, 1-20.
- Wang GG, Ni P, Zhao C, Chen H, Yuan HX, Cai YT, Li L, Zhu AD. (2015). "A combined fluid inclusion and isotopic geochemistry study of the Zhilington Mo deposit, South China: Implications for ore genesis and metallogenic setting". *Ore Geology Reviews*, 67:109-126.

- Wang GG, Ni P, Zhao KD, Wang XL, Liu JQ, Jiang SY, Chen H. (2012). "Petrogenesis of the Middle Jurassic Yinshan volcanic-intrusive complex, SE China: implications for tectonic evolution and Cu–Au mineralization". *Lithos*, (150):135–154.
- Wang R.F., Weinberg R.J., Collins W.P., Richards J, Zhu Di. (2018). "Origin of postcollisional magmas and formation of porphyry Cu deposits in southern Tibet", *Earth-Science Reviews*, 181, pp. 122-143.
- Wilkinson JJ. (2013). "Triggers for the formation of porphyry ore deposits in magmatic arcs". *Nat Geosci* 6, pp. 917–925.
- Wilson M. (1989) "Igneous Petrology: A global tectonic approach" Unwin Hyman Ltd., pp. 46.
- Winchester J.A and Floyd P.A. (1977). "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements", *Chemical geology*, 20, pp .249-2.
- Wilkinson J. J. (2001). "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits" . *Lithos*,55(1), pp. 229-272.
- Yang X.M. (2007). "Using the Rittmann Serial Index to define the alkalinity of igneous rocks". *Neues. Jb. Miner.* 184, pp. 95–103.
- Yogodzinski G.M., Kay R.W., Volynets O.N., Koloskov A.V., Kay S.M. (1995). "Magnesian andesite in the western Aleutian Komandorsky region: Implications for slab melting and processes in the mantle wedge": *Geological. Society of America Bulletin*, v. 107, p. 505– 519.
- Yousefi F., Sadeghian M., Wanhainen Ch., Ghasemi H., Frei D. (2017). "Geochemistry, petrogenesis and tectonic setting of middle Eocene hypabyssal rocks of the Torud–Ahmad Abad magmatic belt: An implication for evolution of the northern branch of Neo-Tethys Ocean in Iran". *Journal of Geochemical Exploration* 178, 1–15.
- Zarasvandi A., Rezaei M., Sadeghi M., Lentz D., Adelpour M., Pourkaseb H. (2015). "Rare earth element signatures of economic and sub-economic porphyry copper systems in Urumieh–Dokhtar Magmatic Arc (UDMA), Iran": *Ore Geology Reviews* 70, pp. 407–423.
- Zhu X., Li G., Chen H., Ma D., Zhang H., Zhang H., Liu C., Wei L. (2017). "Petrogenesis and metallogenic setting of porphyries of the Duobuza porphyry Cu–Au deposit, central Tibet, *Ore Geology*, pp, 07.013.



## پیوست

پیوست ۱: مقادیر عیار عناصر مس، مولیبدن، سرب، روی و آهن مربوط به دوگمانه‌ی حفاری براساس داده‌های شرکت مس.

BHID	From	To	Remarks	Cu(%)	CuOx(%)	Mo(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Fe(%)
KOP-02	0	2	First Sample KOP-02	0.05		53.4	14	170	3.24
KOP-02	2	4		0.11		53.1	58	141	3
KOP-02	4	6		0.08		26.9	28	137	3.09
KOP-02	6	8		0.11		43.5	11	211	3.6
KOP-02	8	10		0.05		38.8	8	177	3.39
KOP-02	10	12		0.1		87.3	9	206	3.61
KOP-02	12	14		0.15		61.7	21	104	3.55
KOP-02	14	16		0.12		35.8	15	95	2.93
KOP-02	16	18		0.04		107.3	12	152	3.42
KOP-02	18	20		0.11		21.7	13	125	3.34
KOP-02	20	22		0.1		33.8	9	117	3.12
KOP-02	22	24		0.12		5.9	9	127	3.23
KOP-02	24	26		0.09		34.7	10	117	3.1
KOP-02	26	28		0.12		6.7	25	133	3.36
KOP-02	28	30		0.23		4	16	130	3.43
KOP-02	30	32		0.2		8.6	17	137	3.53
KOP-02	32	34		0.33		10.6	25	158	3.72
KOP-02	34	36		0.28		23.6	16	99	2.78
KOP-02	36	38		0.13		18.7	17	137	3.48
KOP-02	38	40		0.15		26.8	11	111	3.33
KOP-02	40	42		0.57		27.7	24	156	3.41
KOP-02	42	44		0.61		26.8	21	144	3.1
KOP-02	44	46		1.98		47.8	16	199	2.82
KOP-02	46	48		1.51		24.1	24	165	2.62
KOP-02	48	50		1.04		38.8	37	163	2.99
KOP-02	50	52		0.7		33.6	40	130	2.81
KOP-02	52	54		0.96		41.6	21	132	2.76
KOP-02	54	56		0.88		42.5	18	125	2.72
KOP-02	56	58		0.8		43.1	33	134	2.84
KOP-02	58	60		0.69		50.6	51	137	2.8
KOP-02	60	62		0.71		86.6	71	164	3.11
KOP-02	62	64		0.52		21.2	55	166	3.73
KOP-02	64	66		0.66		21.6	43	130	3.05
KOP-02	66	68		0.73		17.1	30	128	3
KOP-02	68	70		0.58		17.3	46	136	2.85

KOP-02	70	72		0.34		11.1	38	205	4.07
KOP-02	72	74		0.62		26.8	27	128	3.17
KOP-02	74	76		0.52		23.9	26	147	3.82
KOP-02	76	78		0.67		22	22	148	3.13
KOP-02	78	80		0.69		46.2	81	319	2.91
KOP-02	80	82		0.17		16.9	36	170	3.33
KOP-02	82	84		0.43		49.7	24	191	2.84
KOP-02	84	86		0.17		28.3	27	210	3.64
KOP-02	86	88		0.14		17.4	31	181	3.15
KOP-02	88	90		0.13		16.6	21	153	3.09
KOP-02	90	92		0.19		19.9	23	173	3.72
KOP-02	92	94		0.17		18.5	41	170	3.03
KOP-02	94	96		0.1		13.5	22	200	3.5
KOP-02	96	98		0.27		13.5	43	252	3.75
KOP-02	98	100		0.2		31.5	26	188	5.05
KOP-02	100	102		0.16		22.6	29	156	3.27
KOP-02	102	104		0.14		13.8	23	148	3.17
KOP-02	104	106		0.12		23.1	41	199	3.21
KOP-02	106	108		0.12		56.9	1470	10915	6.37
KOP-02	108	110		0.17		31.7	149	486	5.11
KOP-02	110	112		0.12		18.2	13	219	3.48
KOP-02	112	114		0.1		11.3	15	225	3.64
KOP-02	114	116		0.19		162.5	13	216	3.34
KOP-02	116	118		0.14		14.1	13	230	3.21
KOP-02	118	120		0.14		25.5	18	213	3.23
KOP-02	120	122		0.1		18.6	14	146	3.13
KOP-02	122	124		0.11		26.7	14	162	3.14
KOP-02	124	126		0.1		15.6	13	139	3.28
KOP-02	126	128		0.19		49	17	165	3.01
KOP-02	128	130		0.12		36.3	16	143	3.13
KOP-02	130	132		0.14		27	14	142	3.08
KOP-02	132	134		0.18		23.7	18	152	3
KOP-02	134	136		0.14		18.2	14	134	3.14
KOP-02	136	138		0.16		19.3	14	144	3.1
KOP-02	138	140		0.11		14.9	13	138	3.22
KOP-02	140	142		0.1		23.1	29	196	3.14
KOP-02	142	144		0.13		15.2	455	933	3.58
KOP-02	144	146		0.09		12.7	109	397	3.3
KOP-02	146	148		0.14		26.7	22	192	3.12
KOP-02	148	150		0.14		33.3	158	494	3.45
KOP-02	150	152		0.11		21.1	287	791	3.42
KOP-02	152	154		0.08		18.2	45	211	3.04

KOP-02	154	156		0.22		16.9	28	213	2.97
KOP-02	156	158		0.14		20.9	45	258	2.82
KOP-02	158	160		0.11		18	42	262	3.14
KOP-02	160	162		0.13		52.8	134	456	2.72
KOP-02	162	164		0.17		69.9	858	1834	3.35
KOP-02	164	166		0.14		33	582	2146	3.75
KOP-02	166	168		0.24		19.5	157	519	3.31
KOP-02	168	170		0.29		23.6	56	244	2.97
KOP-02	170	172		0.31		27.1	36	233	3.02
KOP-02	172	174		0.26		19.5	21	163	3.13
KOP-02	174	176		0.18		21.2	18	134	3.32
KOP-02	176	178		0.17		29.3	20	129	3.28
KOP-02	178	180		0.08		22	23	121	3.23
KOP-02	180	182		0.21		52.3	29	157	3.15
KOP-02	182	184		0.23		51.5	108	356	2.91
KOP-02	184	186		0.17		28.6	32	183	2.79
KOP-02	186	188		0.18		26.4	18	162	2.88
KOP-02	188	190		0.3		62.1	26	170	2.64
KOP-02	190	192		0.25		66.3	30	183	2.9
KOP-02	192	194		0.21		34	18	130	3.26
KOP-02	194	195.5		0.05		21.1	35	192	3.65
KOP-02	195.5	198		0.21		30.6	31	172	2.68
KOP-02	198	200		0.25		45.3	93	314	2.64
KOP-02	200	202		0.14		20.2	152	361	2.95
KOP-02	202	204		0.17		43.7	39	228	3.02
KOP-02	204	206		0.17		31.3	38	159	2.94
KOP-02	206	208		0.2		27.3	24	147	3.27
KOP-02	208	210		0.21		109.7	123	345	2.94
KOP-02	210	212		0.17		51.4	223	568	3.38
KOP-02	212	214		0.16		40.9	575	1187	2.77
KOP-02	214	216		0.2		44.5	91	272	2.86
KOP-02	216	218		0.15		9.6	18	116	3.39
KOP-02	218	220		0.14		18.7	10	101	3.27
KOP-02	220	222		0.17		21.8	11	87	3.22
KOP-02	222	224		0.2		20.7	14	87	2.99
KOP-02	224	226		0.17		267.2	17	93	3.07
KOP-02	226	228		0.18		23	16	93	3.17
KOP-02	228	230		0.19		23.7	33	140	2.8
KOP-02	230	232		0.15		15	12	91	3.13
KOP-02	232	234		0.13		11.4	17	109	3.22
KOP-02	234	236		0.15		69.7	102	311	3.74
KOP-02	236	238		0.18		19.6	44	164	3.3

KOP-02	238	240		0.19		28	172	517	3.26
KOP-02	240	242		0.15		19.3	78	178	2.99
KOP-02	242	244		0.21		15.4	20	109	3.27
KOP-02	244	246		0.16		15.8	130	301	3.25
KOP-02	246	248		0.22		41.7	94	334	3.38
KOP-02	248	250		0.18		18.5	101	278	3.41
KOP-02	250	252		0.12		11.9	16	111	3.62
KOP-02	252	254		0.16		23.7	51	194	3.07
KOP-02	254	256		0.19		25.6	43	149	2.79
KOP-02	256	258		0.12		19.5	20	99	3.22
KOP-02	258	260		0.12		13.4	11	76	3.32
KOP-02	260	262		0.3		30.7	17	89	3.4
KOP-02	262	264		0.27		48.7	15	86	3.07
KOP-02	264	266		0.26		80.7	10	83	2.85
KOP-02	266	268		0.28		112.3	14	88	2.83
KOP-02	268	270		0.23		58.3	13	87	2.85
KOP-02	270	272		0.26		38.8	10	94	2.87
KOP-02	272	274		0.21		36.6	218	613	3.11
KOP-02	274	276		0.24		43.3	14	96	2.59
KOP-02	276	278		0.25		107.8	14	90	2.48
KOP-02	278	280		0.29		66.5	14	88	2.61
KOP-02	280	282		0.23		57.8	13	92	2.53
KOP-02	282	284		0.24		83.2	14	79	2.88
KOP-02	284	286		0.26		87.4	13	80	2.53
KOP-02	286	288		0.31		79.8	16	79	2.28
KOP-02	288	290		0.26		72.9	16	77	2.56
KOP-02	290	292		0.23		138.4	19	102	2.65
KOP-02	292	294		0.23		73.4	15	80	2.46
KOP-02	294	296		0.2		93.1	12	101	3.31
KOP-02	296	298		0.22		82.5	14	95	2.24
KOP-02	298	300		0.21		84.2	16	77	2.43
KOP-02	300	302		0.25		143.7	12	92	2.65
KOP-02	302	304		0.19		45.6	19	84	2.71
KOP-02	304	306		0.27		65.9	15	77	2.52
KOP-02	306	308		0.29		88.2	11	76	2.27
KOP-02	308	310		0.33		69.1	13	83	2.54
KOP-02	310	312		0.23		55.5	13	80	2.83
KOP-02	312	314		0.28		78	18	78	2.47
KOP-02	314	316		0.26		74	10	77	2.44
KOP-02	316	318		0.3		68.5	16	87	2.58
KOP-02	318	320		0.34		47.2	9	78	2.55
KOP-02	320	322		0.36		140.3	6	92	2.95

KOP-02	322	324		0.31		49.5	8	91	3.77
KOP-02	324	326		0.31		64.1	10	95	3.15
KOP-02	326	328		0.24		97.9	9	88	2.82
KOP-02	328	330		0.22		76.1	9	88	3.37
KOP-02	330	332		0.24		50.6	15	87	3.01
KOP-02	332	334		0.19		106.2	105	299	3.81
KOP-02	334	336		0.26		74.9	31	116	3.02
KOP-02	336	338		0.2		80.7	7	93	3.02
KOP-02	338	340		0.25		53.1	13	94	4.24
KOP-02	340	342		0.2		55.2	19	111	3.72
KOP-02	342	344		0.32		81.2	14	96	5.06
KOP-02	344	346		0.28		49	13	96	4.25
KOP-02	346	348		0.19		95.2	15	96	3.63
KOP-02	348	350		0.23		72.3	12	95	3.27
KOP-02	350	352		0.23		88.4	12	97	3.14
KOP-02	352	354		0.18		90.1	23	92	2.95
KOP-02	354	356		0.24		111.8	11	89	3.12
KOP-02	356	358		0.18		57.1	123	222	3.73
KOP-02	358	360		0.13		47.5	3134	7431	3.71
KOP-02	360	362		0.12		46.7	493	3087	3.26
KOP-02	362	364		0.1		17.9	25	102	2.98
KOP-02	364	366		0.18		36	22	97	2.82
KOP-02	366	368		0.35		97.8	18	87	2.08
KOP-02	368	370		0.27		128.2	15	76	2.24
KOP-02	370	372		0.25		74.4	12	80	3.01
KOP-02	372	374		0.06		11.1	16	76	3.51
KOP-02	374	376		0.07		15	7	62	3.25
KOP-02	376	378		0.25		89.7	11	65	2.64
KOP-02	378	380		0.24		85.9	9	70	3.37
KOP-02	380	382		0.19		40.5	11	66	2.69
KOP-02	382	383		0.18		52.2	9	60	2.64
KOP-02	383	384		0.09		27.1	25	89	4.48
KOP-02	384	386.5		0.07		75.4	10	90	4.38
KOP-02	386.5	388		0.3		65.4	17	67	2.99
KOP-02	388	390		0.26		81.1	19	66	3.03
KOP-02	390	392		0.32		88	6	58	1.93
KOP-02	392	394		0.23		105.8	9	51	1.81
KOP-02	394	396		0.18		46.5	10	62	2.65
KOP-02	396	398		0.3		70.8	11	65	2.2
KOP-02	398	400		0.12		30	8	58	3.22
KOP-02	400	402		0.31		70.3	11	66	2.21
KOP-02	402	404		0.2		47.8	11	63	2.27

KOP-02	404	406		0.21		81	11	63	2.3
KOP-02	406	408		0.15		82.3	8	59	2.52
KOP-02	408	410		0.22		108.7	8	58	2.54
KOP-02	410	412		0.17		96.5	10	59	2.68
KOP-02	412	414		0.18		64.8	9	62	2.28
KOP-02	414	416		0.14		57.2	8	62	2.77
KOP-02	416	418		0.16		56.7	7	65	3.19
KOP-02	418	420		0.29		146	7	62	2.25
KOP-02	420	422		0.28		100.9	8	67	2.51
KOP-02	422	424		0.15		72.6	7	69	2.95
KOP-02	424	426		0.12		94.5	7	61	3.04
KOP-02	426	428		0.12		128.7	8	61	2.91
KOP-02	428	430		0.13		93.1	7	57	2.94
KOP-02	430	432		0.18		101.8	5	64	2.79
KOP-02	432	434		0.31		161.4	10	66	2
KOP-02	434	436		0.26		97.1	10	65	2.45
KOP-02	436	438		0.13		71.3	7	60	2.99
KOP-02	438	440		0.14		141.5	7	57	2.75
KOP-02	440	442		0.28		199.6	9	60	2.58
KOP-02	442	444		0.17		67.9	7	60	2.99
KOP-02	444	446		0.26		123.7	7	62	3
KOP-02	446	448		0.22		104.9	4	57	2.71
KOP-02	448	450		0.18		42	8	59	2.93
KOP-02	450	452		0.17		64.4	7	58	2.91
KOP-02	452	454		0.13		54.9	7	50	2.33
KOP-02	454	456		0.16		73	6	60	2.54
KOP-02	456	458		0.11		140.8	7	58	3.2
KOP-02	458	460		0.16		86.9	8	62	2.46
KOP-02	460	462		0.24		128.5	11	73	2.48
KOP-02	462	464		0.39		195.7	12	76	2.25
KOP-02	464	466		0.16		281.5	9	65	3
KOP-02	466	468		0.15		100.6	9	60	2.93
KOP-02	468	470		0.13		60.3	14	65	3
KOP-02	470	472		0.12		49.8	17	67	3.13
KOP-02	472	474		0.1		137.9	24	77	3.44
KOP-02	474	476		0.1		61.7	25	68	3.22
KOP-02	476	478		0.13		162.5	13	62	3.55
KOP-02	478	480		0.14		120	17	59	3.26
KOP-02	480	482		0.09		52.5	12	54	3.18
KOP-02	482	484		0.11		52.6	13	64	3.36
KOP-02	484	486		0.12		73.6	12	63	3.04
KOP-02	486	488		0.12		51.2	9	58	2.83

KOP-02	488	490		0.16		79.1	23	82	3.12
KOP-02	490	491.9		0.14		85.2	46	109	3.94
KOP-02	492.75	494	From:491.90 To:492.75 CLS	0.14		67.7	110	194	4.97
KOP-02	494	496		0.26		60.2	20	84	3.01
KOP-02	496	498		0.4		158.3	8	56	3.43
KOP-02	498	500		0.15		58.5	5	49	2.47
KOP-02	500	502		0.22		104.1	6	44	2.61
KOP-02	502	504		0.17		81.2	6	49	2.56
KOP-02	504	505.4	End Sample KOP-02	0.16		64.8	8	53	2.5
KOP-06	0	2	First Sample KOP-06&CR: 5%	0.06		39	32	110	2.76
KOP-06	2	4		0.13		30	214	139	2.74
KOP-06	4	6		0.18		13	89	194	3.18
KOP-06	6	8		0.06		5	18	189	3.22
KOP-06	8	10		0.07		23	55	461	4.42
KOP-06	10	12		0.03		4	8	296	3.84
KOP-06	12	14		0.07		7	10	398	4.28
KOP-06	14	16		0.17		19	473	868	7.06
KOP-06	16	18		0.15		19	27	188	3.41
KOP-06	18	20		0.08		30	27	111	2.66
KOP-06	20	22		0.07		84	23	92	2.28
KOP-06	22	24		0.41		30	25	114	2.85
KOP-06	24	26		0.96		65	22	269	5.02
KOP-06	26	28		0.65		23	35	97	2.59
KOP-06	28	30		0.14		75	146	32	2.77
KOP-06	30	32		0.64		43	149	159	3.47
KOP-06	32	34		0.38		17	85	367	3.47
KOP-06	34	36		0.42		17	17	150	2.17
KOP-06	36	38		0.41		26	13	162	2.02
KOP-06	38	40		0.38		21	16	182	2.11
KOP-06	40	42		0.2		8	10	163	2.56
KOP-06	42	44		0.19		9	7	152	2.49
KOP-06	44	46		0.18		18	12	167	2.72
KOP-06	46	48		0.37		63	10	147	2.78
KOP-06	48	50		0.26		17	8	141	2.3
KOP-06	50	52		0.16		8	7	172	2.97
KOP-06	52	54		0.27		13	6	141	2.6
KOP-06	54	56		0.29		14	342	887	3.37
KOP-06	56	58		0.22		16	3	213	3.22
KOP-06	58	60		0.17		10	3	187	3.29
KOP-06	60	62		0.29		15	18	158	2.79
KOP-06	62	64		0.17		53	287	788	3.88
KOP-06	64	66		0.2		9	9	116	2.63

KOP-06	66	68		0.19		6	11	142	3.69
KOP-06	68	70		0.24		10	16	127	3.71
KOP-06	70	72		0.23		9	56	154	3.56
KOP-06	72	74		0.17		20	72	453	3.15
KOP-06	74	76		0.29		88	153	435	2.82
KOP-06	76	78		0.29		29	15	138	3.09
KOP-06	78	80		0.11		16	17	117	3.11
KOP-06	80	82		0.06		20	3	98	2.99
KOP-06	82	84		0.12		14	9	105	2.65
KOP-06	84	86		0.05		6	148	395	3.25
KOP-06	86	88		0.04		9	10	148	3.6
KOP-06	88	90		0.1		12	11	119	2.87
KOP-06	90	92		0.05		12	6	108	2.88
KOP-06	92	94		0.06		12	559	879	4.95
KOP-06	94	96		0.09		11	180	507	3.17
KOP-06	96	98		0.12		15	547	1208	3.43
KOP-06	98	100		0.09		8	12	139	2.62
KOP-06	100	102		0.11		12	591	1930	3.55
KOP-06	102	104		0.08		9	373	1028	3.17
KOP-06	104	106		0.16		20	161	802	5.31
KOP-06	106	108		0.17		247	16	151	3
KOP-06	108	110.65		0.12		42	102	323	3.64
KOP-06	110.65	112		0.08		40	19	138	2.74
KOP-06	112	114		0.09		41	24	125	2.67
KOP-06	114	115.1		0.16		64	27	123	2.67
KOP-06	115.1	118		0.1		49	9	83	4.14
KOP-06	118	120		0.16		26	8	107	2.73
KOP-06	120	122		0.12		20	9	113	3.38
KOP-06	122	123		0.1		85	11	133	4.65
KOP-06	123	124		0.14		30	12	80	2.93
KOP-06	124	126		0.14		28	13	74	2.84
KOP-06	126	128		0.14		23	11	77	2.84
KOP-06	128	130		0.18		37	13	73	2.8
KOP-06	130	132		0.16		29	12	72	2.79
KOP-06	132	134		0.23		19	11	81	2.91
KOP-06	134	135		0.22		15	10	73	2.96
KOP-06	135	136		0.37		19	19	271	3.29
KOP-06	136	138		0.28		30	50	162	3.22
KOP-06	138	140		0.22		26	10	59	2.8
KOP-06	140	142		0.18		22	13	41	4.08
KOP-06	142	144		0.16		16	14	43	3.75
KOP-06	144	146		0.26		17	13	70	3.15



KOP-06	146	147		0.25		24	24	202	8.35
KOP-06	147	148		0.26		25	25	157	3.78
KOP-06	148	150		0.28		47	19	87	3.99
KOP-06	150	152		0.24		47	23	46	2.23
KOP-06	152	154		0.29		45	20	41	2.42
KOP-06	154	156		0.26		47	20	42	2.45
KOP-06	156	158		0.38		62	21	42	2.13
KOP-06	158	160		0.29		70	16	37	2.18
KOP-06	160	162		0.29		24	12	40	2.45
KOP-06	162	163		0.2		34	17	31	2.25
KOP-06	163	164		0.23		26	11	25	2.5
KOP-06	164	165.5		0.15		23	8	16	3.82
KOP-06	165.5	168		0.22		48	12	34	2.13
KOP-06	168	170		0.23		24	35	55	2.37
KOP-06	170	172		0.21		25	24	44	2.19
KOP-06	172	174		0.25		17	20	45	2.12
KOP-06	174	176		0.25		25	14	39	2.2
KOP-06	176	178		0.22		26	10	44	1.97
KOP-06	178	180		0.18		40	13	43	1.79
KOP-06	180	182		0.21		13	10	46	2.21
KOP-06	182	184		0.19		24	13	50	2.45
KOP-06	184	186		0.47		23	11	59	2.5
KOP-06	186	188		0.32		23	30	53	1.72
KOP-06	188	190		0.23		59	9	52	1.51
KOP-06	190	192		0.28		126	17	61	1.96
KOP-06	192	194		0.29		57	38	74	2.22
KOP-06	194	196		0.15		24	5	49	2.22
KOP-06	196	198		0.13		90	10	52	2.37
KOP-06	198	200		0.16		70	10	45	2.32
KOP-06	200	202		0.12		18	19	64	2.17
KOP-06	202	204		0.1		30	11	48	2.04
KOP-06	204	206		0.11		34	12	51	2.32
KOP-06	206	208		0.05		28	4	50	2.38
KOP-06	208	210		0.13		24	6	49	2.77
KOP-06	210	212		0.17		31	9	49	2.61
KOP-06	212	214		0.25		113	211	456	2.71
KOP-06	214	216		0.21		43	177	515	2.82
KOP-06	216	218		0.15		22	11	66	3.04
KOP-06	218	220		0.27		30	9	45	2.94
KOP-06	220	222		0.25		64	9	36	2.62
KOP-06	222	223.2		0.19		24	6	38	2.63
KOP-06	223.2	226		0.06		3	13	47	3.05

KOP-06	226	228		0.18		19	6	33	2.41
KOP-06	228	230		0.29		38	5	31	2.03
KOP-06	230	232		0.16		21	6	38	2.98
KOP-06	232	234		0.15		13	5	38	2.01
KOP-06	234	236.45		0.19		20	4	31	2.09
KOP-06	236.45	238		0.13		28	3	27	1.94
KOP-06	238	240		0.19		32	3	29	1.91
KOP-06	240	242		0.15		29	5	28	2.19
KOP-06	242	244.5		0.18		38	5	30	2.76
KOP-06	244.5	246		0.08		12	67	189	3.2
KOP-06	246	248		0.04		4	1452	2764	3.45
KOP-06	248	250		0.02		2	154	276	2.74
KOP-06	250	252		0.03		2	15	37	2.76
KOP-06	252	254		0.07		21	33	35	2.98
KOP-06	254	256		0.2		29	13	30	2.73
KOP-06	256	258		0.28		86	22	50	2.25
KOP-06	258	260		0.2		30	36	71	2.49
KOP-06	260	262		0.15		27	17	44	2.69
KOP-06	262	263.4		0.17		21	37	79	3.42
KOP-06	263.4	264.7		0.19		23	6	43	3.32
KOP-06	264.7	266		0.13		18	5	37	2.41
KOP-06	266	268		0.15		38	11	44	2.26
KOP-06	268	270		0.16		10	5	53	2.61
KOP-06	270	272		0.14		11	10	75	2.93
KOP-06	272	274		0.14		13	12	88	2.56
KOP-06	274	276		0.11		24	10	57	2.35
KOP-06	276	278		0.1		15	9	43	2.3
KOP-06	278	280		0.1		27	6	54	2.28
KOP-06	280	282		0.09		16	8	65	2.33
KOP-06	282	284		0.1		15	10	75	2.47
KOP-06	284	286		0.1		13	10	75	2.54
KOP-06	286	288		0.11		23	16	67	2.72
KOP-06	288	290		0.2		35	12	60	2.4
KOP-06	290	292		0.18		17	9	86	2.15
KOP-06	292	294		0.2		18	5	64	2.59
KOP-06	294	296		0.26		20	6	50	2.6
KOP-06	296	298		0.19		37	12	40	2.7
KOP-06	298	300		0.15		21	7	23	2.17
KOP-06	300	302		0.12		29	3	23	1.59
KOP-06	302	304		0.18		32	5	22	2.4
KOP-06	304	306		0.23		52	14	20	2.66
KOP-06	306	307		0.23		221	17	12	3.43

KOP-06	307	308		0.16		29	12	48	2.41
KOP-06	308	310		0.17		32	52	137	2.35
KOP-06	310	312		0.19		37	71	172	2.41
KOP-06	312	314		0.17		25	3	40	2.51
KOP-06	314	316		0.15		22	3	40	2.5
KOP-06	316	318		0.17		18	7	39	3.07
KOP-06	318	320		0.19		13	21	67	2.25
KOP-06	320	322		0.15		24	3	41	2.4
KOP-06	322	324		0.16		50	3	47	2.85
KOP-06	324	326		0.16		18	4	43	2.36
KOP-06	326	328		0.12		11	30	95	2.72
KOP-06	328	330		0.16		6	3	42	2.6
KOP-06	330	332	CR:37%	0.08		15	3	51	2.51
KOP-06	332	334		0.08		33	3	49	2.65
KOP-06	334	336		0.1		22	430	966	4.59
KOP-06	336	338		0.13		13	12	37	2.78
KOP-06	338	340		0.13		11	3	28	2.23
KOP-06	340	342		0.14		16	3	38	2.41
KOP-06	342	344		0.18		65	3	34	2.51
KOP-06	344	346		0.19		14	3	34	2.45
KOP-06	346	348		0.13		19	3	37	2.68
KOP-06	348	350		0.12		26	4	37	2.65
KOP-06	350	352		0.14		16	3	30	2.66
KOP-06	352	354		0.13		28	3	30	2.45
KOP-06	354	356		0.16		14	3	30	2.44
KOP-06	356	358		0.25		15	3	25	2.52
KOP-06	358	360		0.31		20	4	37	2.76
KOP-06	360	362		0.42		26	3	32	2.52
KOP-06	362	364		0.25		19	3	33	3.08
KOP-06	364	366		0.21		21	3	45	3.17
KOP-06	366	368		0.18		17	3	49	3.06
KOP-06	368	370		0.17		33	3	38	2.84
KOP-06	370	372		0.18		32	3	30	2.47
KOP-06	372	374		0.15		12	3	32	2.9
KOP-06	374	376		0.2		16	3	39	2.78
KOP-06	376	378		0.24		12	16	75	2.65
KOP-06	378	380		0.2		12	4	42	3.02
KOP-06	380	382		0.31		29	5	40	2.77
KOP-06	382	384		0.32		19	4	27	3.18
KOP-06	384	386		0.23		15	3	39	3.06
KOP-06	386	388		0.25		15	7	43	2.54
KOP-06	388	390		0.24		58	3	18	3.47

KOP-06	390	392		0.2		62	3	15	3.4
KOP-06	392	394		0.19		43	24	23	3.21
KOP-06	394	396		0.19		18	3	34	2.77
KOP-06	396	398		0.26		8	3	38	3.01
KOP-06	398	400		0.19		11	5	28	2.87
KOP-06	400	402		0.15		7	4	30	2.94
KOP-06	402	404		0.2		8	3	31	3.14
KOP-06	404	406		0.17		11	4	39	3.18
KOP-06	406	408		0.17		12	3	39	3.35
KOP-06	408	410		0.14		47	10	40	2.7
KOP-06	410	412		0.2		39	13	41	2.97
KOP-06	412	414		0.18		6	29	66	2.85
KOP-06	414	416		0.27		13	7	24	3.44
KOP-06	416	418		0.22		9	3	28	2.96
KOP-06	418	420		0.16		10	3	28	2.92
KOP-06	420	422		0.12		10	4	20	3.2
KOP-06	422	424		0.07		7	8	18	2.55
KOP-06	424	426		0.18		7	5	24	3.06
KOP-06	426	428		0.1		10	3	26	2.76
KOP-06	428	430		0.1		14	3	24	3.18
KOP-06	430	432		0.16		27	6	25	3.14
KOP-06	432	434		0.13		7	26	34	2.89
KOP-06	434	436		0.14		7	7	31	2.82
KOP-06	436	438		0.18		8	4	23	2.65
KOP-06	438	440		0.17		6	12	244	2.67
KOP-06	440	442		0.17		11	12	85	2.84
KOP-06	442	444		0.19		7	56	120	2.35
KOP-06	444	445.55	End Sample KOP-06	0.13		7	6	28	3.19

## **Abstract**

The Koh-panj copper deposit is located in Kerman province and 65 km of Sirjan city. This area is situated in the southern part of the Orumieh-Dokhtar magmatic belt and the Dehaj-Sarduieh magmatic belt. Dacite and granodiorite bodies intruded into Eocene volcanic-sedimentary sequence including lava and rhyodacite tuffs. The granodiorite, diorite and dacite dikes derived from this intrusive. The hydrothermal alterations in the area include potassic, phyllic, argillic, prophylic, which are accompanied by sericite and silicic alterations. The mineralization divided into hypogene and supergene zones. The hypogene ores, in order of frequency, include pyrite, chalcopyrite, magnetite, oligiste, galena, sphalerite, bornite, and rarely molybdenite. The supergene minerals include hematite, goethite, limonite, malachite, azurite, Chrysocolla, and low calcite and covellite. The structures of Mineralization are stockwork, vein-veinlets and the main textures are disseminated, vein-veinlets and displacement. Geochemical studies show that igneous rocks originate from the medium-high potassium calc-alkaline and metaalumine-peralumine magma, and related to continental magmatic arcs. Based on the results of spider diagrams and other geochemical properties, rock forming magma have the characteristics of high-silica adakitic magmas. The average grade of Cu and Mo are 0.21% and 43 ppm, respectively. The correlation between Cu and Mo is positive, but their correlation with pb, Zn and Fe is negative. Based on fluid inclusion study, the homogenization temperature vary from 214.9°C to 569.95°C (average 356°C) and the salinity range from 0.35% to 69.38% (average of 27.15 wt% NaCl equev.), that refers to fluid cooling and mixing magmatic and meteoric waters. Based on homogenization temperature and salinity, copper mineralization occurred at a pressure below 700 bars and a depth of 400 to 1420 meters. Finally, according to this studies the Kouh-panj mineralization suggest a porphyry type copper deposit.

**Keywords:** Mineralogy, Alteration, Geochemistry, Fluid inclusion, Porphyry copper, Kouh-panj.





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

**Mineralogy, geochemistry, and genesis of the  
Kouhpanj copper deposit, East of Pariz,  
Kerman**

**By: Atefeh Allahbakhshipoor**

**Supervisor:  
Dr. Masoud Alipour-Asll**

September 2018