

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی

کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسار مس نه کوهی، شمال

غرب کرمان

نگارنده:

امیر پاکیزه سناجردی

اساتید راهنما:

دکتر فردین موسیوند

دکتر عبد الرحمان رجبی

استاد مشاور:

دکتر سجاد مغفوری

تیرماه ۱۳۹۷

تقديم به:

پدر و مادر

مهربانم و،

همسر عزیزم

Shalhevet Yigal

## سپاسگزاری

- ❖ سپاس و ستایش خداوند بخشنده مهربان را که همه مرید اراده اوئیم.
- ❖ در به نتیجه رسیدن این تحقیق، خود را مدیون زحمات و مساعدت‌های عزیزان بسیاری میدانم که بی‌تردید، بدون همکاری و پشتیبانی ایشان، امکان بثمر رسیدن مطلوب آن وجود نمی‌داشت. لذا بر خود لازم میدانم بدین وسیله زحماتشان را ارج نهاده و از همه آن‌ها صمیمانه قدردانی و تشکر نمایم.
- ❖ استاد راهنمای دلسوز و بزرگوارم، جناب آقای دکتر فردین موسیوند، که بی‌شک راهنمایی‌های ارزنده، دانش و دلسوزی‌های ایشان سبب به انجام رسیدن این تحقیق شده‌است و این حقیر در این راه از دانش و راهنمایی‌های ایشان بهره بسیار برده‌ام استادی که در بسیاری از جنبه‌ها از جمله علمی، اخلاقی، معنوی و اجتماعی الگو و راهنما بودند.
- ❖ استاد راهنمای بزرگوارم، جناب آقای دکتر عبدالرحمان رجبی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند.
- ❖ استاد مشاور بزرگوارم، جناب آقای دکتر سجاد مغفوری، که با قبول زحمت مشاوره این تحقیق، در رفع نقایص و مشکلات علمی از هیچ کوششی فروگذار نکردند.
- ❖ جناب آقایان دکتر فردوست، دکتر علیپور، دکتر صادقیان، دکتر قاسمی و دکتر رضائی استادانی مهربان و دلسوز که صبورانه و دلسوزانه در انجام این تحقیق از راهنمایی‌های ارزشمند این بزرگواران بهره‌مند شده‌ام. همچنین از آقایان مهندس میرباقری مسئول آزمایشگاه اپتیک، مهندس محمدیان مسئول کارگاه مقطع، آقای آقایی بخش حمل و نقل و خانم فارسی مسئول آموزشگاه دانشکده علوم زمین جهت زحماتشان قدردانی و تشکر می‌نمایم.
- ❖ دوستان عزیز و گرامی، آقایان ایمانی، طاشی، عبدالهی، میری، بازارنوی، صالحی، ولیخانی، قوسی‌پور، بخاطر همکاری در طول مراحل تحقیق و همچنین بسیاری از عزیزانی که متأسفانه اینجا امکان تشکر از تک تک ایشان مقدور نیست، تشکر و قدردانی می‌کنم.



## تعهدنامه

اینجانب امیر پاکیزه سناجرودی دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی زمین‌شناسی اقتصادی دانشکده‌ی علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده‌ی پایان‌نامه با عنوان **کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسار مس نه‌کوهی، شمال غرب کرمان تحت راهنمایی دکتر فردین موسیوند** متعهد می‌شوم:

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

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

## چکیده

کانسار مس نه‌کوهی در ۴۰ کیلومتری شمال غرب کرمان، در پهنه ساختاری- رسوبی ایران مرکزی (بلوک پشت‌بادام) و در داخل توالی آتشفشانی- رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین رخ داده است. سنگ‌های میزبان کانه‌زایی بطور عمده شامل شیل سیاه و گدازه داسیتی مربوط به سری ریزو می باشند. توالی میزبان کانسار از پایین به بالا شامل چهار واحد سنگی می باشد که عبارتند از: ۱- واحد رسوبی- آذرآواری شامل ماسه‌سنگ، سنگ آهک حاوی فسیل دوکفه‌ای و گاستروپود، توف- کریستال توف، سنگهای برونومی آهن و منگنزدار (Unit<sup>1</sup>)، ۲- واحد ماسه‌سنگی کرم رنگ با لایه‌بندی منظم (Unit<sup>2</sup>)، ۳- واحد آتشفشانی- رسوبی شامل شیل سیاه و داسیت (Unit<sup>3</sup>)، ۴- شامل ماسه سنگ، دولومیت و سنگ آهک (Unit<sup>4</sup>). بر اساس مطالعات کانی‌شناسی، ساخت و بافت و نوع ارتباط ماده معدنی با سنگ میزبان، می توان ۴ رخساره کانسنگی در کانسار مس نه‌کوهی تشخیص داد، که عبارتند از: ۱) رخساره رگه- رگچه‌ای یا پهنه استرینگر، این رخساره به صورت شبکه‌ای از رگه- رگچه‌های نامنظم کانه‌دار که سنگ‌های میزبان شیلی و داسیتی (گاه‌ها رخساره کانسنگ لایه‌ای) را قطع می‌کند دیده می‌شود، ۲) مجموعه دهانه‌ای، این رخساره حاوی قطعات رخساره لایه‌ای در زمینه‌ای از کانی‌های سولفیدی و کربناتی می‌باشد، ۳) رخساره کانسنگ لایه‌ای، این رخساره شامل لایه‌ها و لامینه‌های سولفیدی است که ناشی از ته‌نشینی همزمان کانی‌های سولفیدی با ذرات تشکیل دهنده سنگ میزبان شیلی در کف دریا است و ۴) واحد رسوبی- برونومی نواری حاوی نوارها و لامینه‌های غنی از هماتیت و منگنز. کانسار نه‌کوهی از لحاظ کانی‌شناسی حاوی کانی‌های اولیه پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، هماتیت و پیرولوزیت و کانی‌های ثانویه مالاکیت، کوولیت، دیژنیت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن و منگنز بوده و کانی‌های باطله بطور عمده شامل کلسیت، باریت، کوارتز، کلریت و ژیپس می‌باشد. دگرسانی‌های عمده شامل دگرسانی کلریتی و کربناته- سریسیتی- سیلیسی می‌باشند. کانسار مورد مطالعه به طور کلی از ۳ افق معدنی مس دار و ۲ افق غنی از آهن و منگنز تشکیل شده که عبارتند از: OH1: در داخل واحد ۱ توالی رسوبی- آذرآواری به صورت رسوبی- برونومی نواری غنی از آهن و منگنز است، OH2: مشابه افق اول است (در داخل واحد ۱)، OH3: در داخل واحد ۳ آتشفشانی- رسوبی و از پایین به بالا دارای رخساره‌های استرینگر، مجموعه دهانه‌ای و لایه‌ای می باشد، OH4: مشابه افق سوم و همراه با رخساره‌های استرینگر، مجموعه دهانه‌ای و لایه‌ای است، OH5: این افق تنها به صورت رخساره استرینگر باریتی رخ داده است. محیط تکتونیکی کانسار

نه‌کوهی با توجه به بررسی‌های ژئوشیمیایی صورت گرفته، در حوضه کمان آتشفشانی مرتبط با حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل گردیده‌است. بر اساس مطالعات ژئوشیمی بر روی کانسنگ، این کانسار غنی از مس می‌باشد و میزان روی و سرب بسیار پایین دارد و میزان مس در پهنه‌ی استرینگر (۱۰/۸۷ درصد) کانسار بیشتر از قسمت‌های لایه‌ای (حدود ۱۸۱ گرم در تن) است زیرا کانه‌زایی مس بصورت کالکوپیریت در این پهنه رخ داده است. همچنین براساس مطالعه میکروترمومتری سیالات درگیر، ادخال‌های غالب در این کانسار از نوع دو فاز ی مایع- بخار (L+V) با شوری نسبتاً متوسط تا پایین (۹-۱۱ درصد وزنی معادل نمک طعام) و دمای همگن‌شدن بین ۱۸۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشند. با توجه به مقدار مثبت  $\delta^{34}\text{S}$  (۸/۵ تا ۱۸/۱) منشأ اصلی گوگرد برای کانه‌زایی سولفیدی در کانسار نه‌کوهی، منشأ احیای غیرآلی سولفات آب دریا پیشنهاد می‌شود. با توجه به ویژگی‌های اساسی کانه‌زایی در کانسار نه‌کوهی از جمله محیط تکتونیکی، توالی میزبان کانه‌زایی، رخساره‌های کانه‌دار، شکل هندسی ماده معدنی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی، محتوای فلزی، منطقه‌بندی موجود در کانسار، دگرسانی و مقایسه آنها با ویژگی‌های اساسی ذخایر مس با میزبان آتشفشانی- رسوبی، کانسار مس نه‌کوهی را می‌توان در رده کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد تیپ بتورست (فلسیک سیلیسی کلاستیک) (Bathurst type) Siliciclastic felsic طبقه‌بندی نمود.

واژگان کلیدی: توالی آتشفشانی- رسوبی، مس، سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS)، پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین، نه‌کوهی، پشت‌بادام.

## مقالات مستخرج شده از این پایان نامه:

- (۱) پاکیزه سناجردی، ا.، موسیوندف.، رجبی ع.ا.، مغفوری س.، (۱۳۹۶)، " افق‌های کانهدار، دگرسانی و تیپ کانهازایی سولفید توده‌ای آتشفشانزاد مس نه‌کوهی شمال غرب کرمان " ، سی و ششمین گردهمایی علوم زمین سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.
- (۲) پاکیزه سناجردی، ا.، موسیوندف.، رجبی ع.ا.، مغفوری س.، (۱۳۹۶)، " ساخت، بافت و کانی- شناسی رخساره‌های کانهدار در کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد مس نه‌کوهی، شمال غرب کرمان " نهمین همایش زمین شناسی اقتصادی، بیرجند، دانشگاه بیرجند.
- (۳) پاکیزه سناجردی، ا.، موسیوندف.، رجبی ع.ا.، مغفوری س.، (۱۳۹۶)، " کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) نه‌کوهی: نمونه‌ای از کانهازایی نوع Bathurst در شمال غرب کرمان " ، فصلنامه علمی- پژوهشی علوم زمین، تهران، ایران.

## فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه ..... ۲
- ۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ..... ۲
- ۳-۱- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه ..... ۳
- ۴-۱- وضعیت معیشتی ..... ۴
- ۵-۱- زمین ریخت شناسی ..... ۴
- ۶-۱- مطالعات انجام شده قبلی ..... ۵
- ۷-۱- طرح مسئله ، اهمیت موضوع و هدف از مطالعه ..... ۶
- ۸-۱- روش مطالعه ..... ۷
- ۱-۸-۱- مطالعه منابع و گرد آوری اطلاعات ..... ۷
- ۲-۸-۱- مطالعات صحرایی ..... ۸
- ۳-۸-۱- مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی ..... ۹
- ۴-۸-۱- مطالعات دفتری و تجزیه و تحلیل داده‌ها ..... ۹
- ۹-۱- رده‌بندی کانسارهای مس ..... ۱۰
- ۱۰-۱- فازهای کانی سازی مس در ایران ..... ۱۰
- ۱-۱۰-۱- پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین ..... ۱۰
- ۲-۱۰-۱- پالئوزوئیک ..... ۱۰
- ۳-۱۰-۱- ژوراسیک- کرتاسه ..... ۱۱
- ۴-۱۰-۱- کرتاسه- پالئوسن ..... ۱۱
- ۵-۱۰-۱- بیشتر ذخایر مس ایران ..... ۱۱
- ۱۱-۱- تیپ‌های کانی‌زایی مس در ایران ..... ۱۱

## فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای

- ۱-۲- جایگاه زمین‌شناسی ..... ۱۴
- ۲-۲- ویژگی‌های زمین ساختی بلوک پشت‌بادام ..... ۱۵
- ۳-۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۱۸
- ۴-۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۱/۲۰۰۰۰ ..... ۱۹
- ۲-۴-۱- پرکامبرین ..... ۱۹

- ۲-۴-۲- سیلورین- دونین ..... ۱۹
- ۲-۴-۳- تریاس ..... ۱۹
- ۲-۴-۴- ژوراسیک ..... ۱۹

### فصل سوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه معدنی

- ۳-۱- مقدمه ..... ۲۲
- ۳-۲- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه ..... ۲۲
- ۳-۲-۱- واحد اصلی ۱: (unit1) ..... ۲۲
- ۳-۲-۲- واحد اصلی ۲: (unit2) ..... ۲۳
- ۳-۲-۳- واحد اصلی ۳: (unit3) ..... ۲۳
- ۳-۲-۴- واحد اصلی ۴: (unit4) ..... ۲۳
- ۳-۲-۱-۱- ماسه سنگ تیره رنگ ..... ۲۶
- ۳-۲-۱-۲- سنگ آهک فسیل‌دار ..... ۲۷
- ۳-۲-۱-۳- کریستال توف ..... ۲۸
- ۳-۲-۱-۴- واحد رسوبی- برون‌دیمی نواری غنی از آهن و منگنز (Fe-Mn exhalites) ..... ۲۹
- ۳-۲-۲-۱- ماسه سنگ کرم رنگ ..... ۳۰
- ۳-۲-۳-۱- شیل سیاه ..... ۳۱
- ۳-۲-۳-۲- گدازه‌های داسیت ..... ۳۲
- ۳-۲-۳-۳- شیل قرمز ..... ۳۴
- ۳-۲-۳-۴- داسیت منشوری ..... ۳۴
- ۳-۲-۴-۱- ماسه سنگ خاکستری روشن ..... ۳۵
- ۳-۲-۴-۲- سنگ آهک دولومیتی شده ..... ۳۵

### فصل چهارم: کانه‌زایی و دگرسانی

- ۴-۱- مقدمه ..... ۳۸
- ۴-۲- رخداد کانه‌زایی در منطقه نه‌کوهی ..... ۴۰
- ۴-۳- ویژگی‌های کانه‌زایی مس در کانسار مس نه‌کوهی، افق و رخساره‌های کانه‌دار ..... ۴۱
- ۴-۳-۱- شکل هندسی ماده معدنی ..... ۴۳

|         |                                                               |
|---------|---------------------------------------------------------------|
| ۴۵..... | ۲-۳-۴- رخساره‌های کانه‌دار کانسنگی                            |
| ۴۶..... | ۲-۳-۴- ۱- رخساره رگه- رگچه‌ای                                 |
| ۴۸..... | ۲-۲-۳-۴- رخساره مجموعه دهانه‌ای                               |
| ۴۹..... | ۳-۲-۳-۴- رخساره کانسنگ لایه‌ای                                |
| ۵۰..... | ۴-۲-۳-۴- رخساره واحد رسوبی- برون‌دمی نواری غنی از آهن و منگنز |
| ۵۱..... | ۳-۳-۴- افق‌های کانه‌دار                                       |
| ۵۱..... | ۱-۳-۳-۴- افق اول                                              |
| ۵۲..... | ۲-۳-۳-۴- افق دوم                                              |
| ۵۲..... | ۳-۳-۳-۴- افق سوم                                              |
| ۵۲..... | ۴-۳-۳-۴- افق چهارم                                            |
| ۵۳..... | ۵-۳-۳-۴- افق پنجم                                             |
| ۵۳..... | ۴-۴- دگرسانی                                                  |
| ۵۴..... | ۱-۴-۴- عوامل موثر بر دگرسانی                                  |
| ۵۵..... | ۲-۴-۴- دگرسانی کلریتی                                         |
| ۵۶..... | ۳-۴-۴- دگرسانی کربناته- سربستی- سیلیسی                        |

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

|         |                                                        |
|---------|--------------------------------------------------------|
| ۶۲..... | ۱-۵- مقدمه                                             |
| ۶۲..... | ۲-۵- ساخت و بافت کانی‌های سولفیدی در کانسار مس نه‌کوهی |
| ۶۲..... | ۱-۲-۵- ساخت و بافت نواری و لامینه‌ای                   |
| ۶۴..... | ۲-۲-۵- ساخت و بافت رگه- رگچه‌ای                        |
| ۶۵..... | ۳-۲-۵- ساخت و بافت برشی                                |
| ۶۶..... | ۴-۲-۵- ساخت و بافت دانه‌پراکنده                        |
| ۶۷..... | ۵-۲-۵- بافت جانشینی                                    |
| ۶۷..... | ۶-۲-۵- بافت‌های کلوفرمی                                |
| ۶۹..... | ۳-۵- کانی‌شناسی                                        |

|         |                                                        |
|---------|--------------------------------------------------------|
| ۶۹..... | ۵-۳-۱-کانی‌های اولیه                                   |
| ۶۹..... | ۵-۳-۱-۱-پیریت                                          |
| ۷۰..... | ۵-۳-۱-۲-کالکوپیریت                                     |
| ۷۱..... | ۵-۳-۱-۳-اسفالریت                                       |
| ۷۲..... | ۵-۳-۱-۴-هماتیت و پیرولولوزیت                           |
| ۷۳..... | ۵-۳-۲-کانی‌های ثانویه                                  |
| ۷۳..... | ۵-۳-۲-۱-مالاکیت و آزوریت                               |
| ۷۴..... | ۵-۳-۲-۲-کوپریت و دیژنیت                                |
| ۷۴..... | ۵-۳-۲-۳-گوتیت                                          |
| ۷۵..... | ۵-۳-۳-کانیهای باطله                                    |
| ۷۵..... | ۵-۳-۳-۱-کلسیت                                          |
| ۷۵..... | ۵-۳-۳-۲-باریت                                          |
| ۷۶..... | ۵-۳-۳-۳-کوارتز                                         |
| ۷۶..... | ۵-۳-۴-توالی پاراژنز کانی‌ها                            |
| ۷۶..... | ۵-۴-۱-مرحله ۱: فعالیت‌های آتشفشانی - برون‌دمی و دیاژنز |
| ۷۷..... | ۵-۴-۲-مرحله ۲: پس از کانه‌زایی (هوازدگی و برون‌زاد)    |

### فصل ششم: مطالعات ژئوشیمیایی

|         |                                                                     |
|---------|---------------------------------------------------------------------|
| ۸۰..... | ۶-۱-مقدمه                                                           |
| ۸۰..... | ۶-۲-نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها                                  |
| ۸۱..... | ۶-۳-عناصر اصلی و عناصر کمیاب                                        |
| ۸۱..... | ۶-۴-سنسوردگیری                                                      |
| ۸۶..... | ۶-۵-ژئوشیمی سنگهای آذرین                                            |
| ۸۶..... | ۶-۵-۱-تعیین سری ماگمایی و طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی                |
| ۸۷..... | ۶-۵-۲-الگوی پراگندگی عناصر نادر خاکی در سنگ‌های آتشفشانی کوه آب‌نیل |
| ۸۹..... | ۶-۵-۳-تعیین محیط تکتونیکی                                           |
| ۹۰..... | ۶-۶-ژئوشیمی عناصر نادر خاکی                                         |



|    |                                                                          |
|----|--------------------------------------------------------------------------|
| ۹۱ | ۶-۱- الگوی پراگندگی عناصر نادر خاکی در ماده معدنی                        |
| ۹۳ | ۶-۷- ژئوشیمی مس                                                          |
| ۹۳ | ۶-۸- میزان پراگندگی و ضریب همبستگی عناصر                                 |
| ۹۶ | ۶-۹- ویژگی‌های ژئوشیمیایی رخساره‌های استرینگر، دهانه‌ای و کانسنگ لایه‌ای |

## فصل هفتم: مطالعات سیالات درگیر و ایزوتوپی پایدار

|     |                                                             |
|-----|-------------------------------------------------------------|
| ۱۰۴ | ۷-۱- مقدمه                                                  |
| ۱۰۴ | ۷-۲- نمونه برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها                     |
| ۱۰۶ | ۷-۳- پتروگرافی سیالات درگیر                                 |
| ۱۰۶ | ۷-۳-۱- شکل ظاهری سیالات درگیر                               |
| ۱۰۶ | ۷-۳-۲- اندازه و نوع سیالات درگیر                            |
| ۱۰۷ | ۷-۴- طبقه‌بندی و پاراژنز سیالات درگیر                       |
| ۱۱۰ | ۷-۵- مطالعات دما سنجی سیالات درگیر                          |
| ۱۱۱ | ۷-۵-۱- سرمایش                                               |
| ۱۱۲ | ۷-۵-۲- گرمایش                                               |
| ۱۱۲ | ۷-۶- تعیین دما و شوری سیال درگیر در کانسار نه‌کوهی          |
| ۱۱۴ | ۷-۷- چگالی سیال                                             |
| ۱۱۵ | ۷-۸- تعیین فشار حاکم در زمان تشکیل کانسنگ                   |
| ۱۱۷ | ۷-۹- مطالعات ایزوتوپی پایدار                                |
| ۱۱۷ | ۷-۹-۱- مقدمه                                                |
| ۱۱۸ | ۷-۹-۲- آماده‌سازی نمونه و روش مطالعه                        |
| ۱۱۸ | ۷-۹-۳- فراوانی و نسبت ایزوتوپی گوگرد در رخساره‌های کانه‌دار |
| ۱۲۰ | ۷-۹-۴- ترکیب ایزوتوپی سیال کانه‌ساز                         |

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

|     |                                                   |
|-----|---------------------------------------------------|
| ۱۲۵ | ۸-۱- مقدمه                                        |
| ۱۲۵ | ۸-۲- مختصری از شواهد مشاهده شده در کانسار نه‌کوهی |

|          |                                                                                        |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۲۶..... | ۸-۲-۱- سنگ میزبان و همراه.....                                                         |
| ۱۲۷..... | ۸-۲-۲- شکل هندسی ماده معدنی.....                                                       |
| ۱۲۷..... | ۸-۲-۳- رخساره‌های کانه‌دار .....                                                       |
| ۱۲۸..... | ۸-۲-۴- کانی‌شناسی .....                                                                |
| ۱۲۹..... | ۸-۲-۵- ساخت و بافت و منطقه‌بندی آنها.....                                              |
| ۱۳۰..... | ۸-۲-۶- دگرسانی و منطقه بندی آنها.....                                                  |
| ۱۳۰..... | ۸-۲-۷- جایگاه تکتونیکی.....                                                            |
| ۱۳۱..... | ۸-۲-۸- نتایج ژئوشیمی و سیال درگیر .....                                                |
| ۱۳۲..... | ۸-۳- شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد نه‌کوهی.....           |
| ۱۳۲..... | ۸-۳-۱- منشأ فلزات .....                                                                |
| ۱۳۳..... | ۸-۳-۲- منشأ گوگرد .....                                                                |
| ۱۳۴..... | ۸-۳-۳- منشأ سیالات .....                                                               |
| ۱۳۴..... | ۸-۴- کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد .....                                         |
| ۱۳۵..... | ۸-۵- تقسیم‌بندی کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد .....                              |
| ۱۳۸..... | ۸-۶- الگوی تشکیل کانسار مس نه‌کوهی.....                                                |
| ۱۳۹..... | ۸-۶-۱- مرحله ۱: فعالیت‌های آتشفشانی - برون‌دمی و دیاژنز.....                           |
| ۱۴۰..... | ۸-۶-۲- مرحله ۲: پس از کانه‌زایی (هوازدگی و برونزاد).....                               |
| ۱۴۰..... | ۸-۷- تیپ کانه زایی کانسار مس نه‌کوهی.....                                              |
| ۱۴۶..... | ۸-۸- بازسازی حوضه آتشفشانی- رسوبی منطقه نه‌کوهی و جایگاه کانسار مس نه‌کوهی در آن ..... |
| ۱۴۷..... | ۸-۹- توزیع زمانی و مکانی کانسارهای تیپ سولفید توده ای آتشفشانزاد در ایران.....         |

### فهرست شکل‌ها

|        |                                                                                   |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| ۳..... | شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده معدنی نه‌کوهی.....           |
| ۵..... | شکل ۱-۲: نمایی از توپوگرافی منطقه که از توالی آتشفشانی- رسوبی پرکامبرین پسین..... |

- شکل ۲-۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (علامت ستاره) در نقشه پهنه‌های ساختاری- رسوبی ..... ۱۵
- شکل ۲-۲: نقشه ساده شده ۱/۱۰۰۰۰۰ باغین و موقعیت کانسار مس نه‌کوهی در آن ..... ۱۸
- شکل ۲-۳: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ ..... ۲۰
- شکل ۳-۱: ستون چینه شناسی عمومی از واحدهای سنگی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین ..... ۲۴
- شکل ۳-۲: نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس منطقه معدنی نه‌کوهی و موقعیت کانسار مس ..... ۲۵
- شکل ۳-۳: مقطع عرضی از واحدهای زمین‌شناسی و موقعیت افق‌های کانه‌دار ..... ۲۶
- شکل ۳-۴ (الف): تصویر صحرایی از واحد ماسه سنگ تیره‌رنگ (دید به سمت شمال شرق) ..... ۲۷
- شکل ۳-۵ (الف): تصویر صحرایی از واحد آهکی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه ..... ۲۸
- شکل ۳-۶ (الف): تصویر صحرایی از واحد کریستال توف در منطقه ..... ۲۹
- شکل ۳-۷ (الف): تصویر صحرایی از واحد رسوبی- برون‌دمی نواری ..... ۳۰
- شکل ۳-۸ (الف): تصویر صحرایی از واحد ماسه‌سنگی (دید به سمت جنوب شرق) ..... ۳۱
- شکل ۳-۹: تصویر صحرایی از توالی آتشفشانی- رسوبی سنگ‌های میزبان افق‌های کانه‌زایی ..... ۳۲
- شکل ۳-۱۰: تصاویر صحرایی از سنگهای توالی میزبان کانسار نه‌کوهی ..... ۳۳
- شکل ۳-۱۱: تصاویر مغزه‌های حفاری و مقاطع میکروسکوپی سنگ‌های توالی میزبان ..... ۳۳
- شکل ۳-۱۲ (الف): نمایی از داسیت‌های منشوری در منطقه مورد مطالعه ..... ۳۴
- شکل ۳-۱۳: نمایی از توالی آتشفشانی- رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین ..... ۳۵
- شکل ۳-۱۴ (الف): تصویر صحرایی که نمایی از تناوب سنگ‌های تخریبی ..... ۳۶
- شکل ۴-۱: موقعیت کانسار مس VMS نه‌کوهی و کانسارهای سرب و روی ..... ۳۹
- شکل ۴-۲: موقعیت کانسار مس نه‌کوهی و آهن نه‌کوهی در توالی آتشفشانی- رسوبی ..... ۴۰
- شکل ۴-۳: نمایی از توالی میزبان کانه‌زایی مس در منطقه نه‌کوهی ..... ۴۱
- شکل ۴-۴: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۱:۱۰۰۰ ..... ۴۲
- شکل ۴-۵: تصویر صحرایی از آثار معدن کاری قدیمی در مرز واحد شیل و داسیت ..... ۴۲
- شکل ۴-۶: موقعیت رخساره‌های کانه‌دار در مغزه‌های حفاری ..... ۴۴
- شکل ۴-۷ (الف): نمایی از رخساره استرینگر در مغزه حفاری که رگه- رگچه‌های کلسیتی ..... ۴۷
- شکل ۴-۸ (الف، ب): رخساره مجموعه دهانه‌ای که حاوی قطعات رخساره لایه‌ای ..... ۴۸
- شکل ۴-۹ (الف و ب): تصاویری از مغزه‌های حفاری رخساره لایه‌ای ..... ۵۰

- شکل ۴-۱۰- الف) رخساره رسوبی- برون‌دمی حاوی نوارها ..... ۵۱
- شکل ۴-۱۱- نمایی از سنگ‌های میزبان افق‌های کانه‌زایی مس در کانسار نه‌کوهی ..... ۵۳
- شکل ۴-۱۲- تصویر شماتیک از پهنه بندی دگرسانی در کانسار مس نه‌کوهی ..... ۵۵
- شکل ۴-۱۳- الف) تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی پهنه استرینگر ..... ۵۶
- شکل ۴-۱۴- الف) تصویر صحرایی از دگرسانی کربناته- سربستی- سیلیسی ..... ۵۷
- شکل ۴-۱۵- نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده ..... ۵۸
- شکل ۴-۱۶- نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده ..... ۵۹
- شکل ۴-۱۷- نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده ..... ۵۹
- شکل ۴-۱۸- نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده ..... ۶۰
- شکل ۵-۱- تصاویری از رخساره کانسنگ لایه‌ای و ساخت و بافت نواری آن ..... ۶۳
- شکل ۵-۲- تصاویری از ساخت و بافت رگه- رگچه‌ای در پهنه استرینگر ..... ۶۴
- شکل ۵-۳- تصاویری از ساخت و بافت برشی، ..... ۶۵
- شکل ۵-۴- الف و ب) تصویری از مغزه حفاری از رخساره کانسنگ لایه‌ای ..... ۶۶
- شکل ۵-۵- تصاویر میکروسکوپی از بافت جانشینی حاشیه‌ای ..... ۶۷
- شکل ۵-۶- تصاویر میکروسکوپی از بافت فرامبوئیدال در پیریت‌های نسل اول ..... ۶۸
- شکل ۵-۷- تصاویر میکروسکوپی بافت پیریت اسفروئیدی و پیریت‌های دانه‌پراکنده ..... ۶۸
- شکل ۵-۸- تصاویر میکروسکوپی از پیریت‌های خودشکل در کانسار نه‌کوهی ..... ۶۹
- شکل ۵-۹- الف) تصویر میکروسکوپی از پیریت‌های دانه‌ریز نسل اول ..... ۷۰
- شکل ۵-۱۰- تصویر میکروسکوپی از رخساره تغذیه کننده ..... ۷۱
- شکل ۵-۱۱- الف) تصویر میکروسکوپی از پیریت‌های نسل اول ..... ۷۱
- شکل ۵-۱۲- الف) نوارها و لامینه‌های غنی از هماتیت و منگنز ..... ۷۲
- شکل ۵-۱۳- نمایی نزدیک از از مالاکیت و آزوریت ناشی از اکسیداسیون سولفیدها ..... ۷۳
- شکل ۵-۱۴- الف) تصویر میکروسکوپی از تبدیل شدن کالکوپیریت از اطراف به کولیت ..... ۷۴
- شکل ۵-۱۵- الف و ب) تصاویر میکروسکوپی از همراهی گوتیت ..... ۷۵
- شکل ۶-۱- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه در نمودار Pearce, 1996 ..... ۸۷
- شکل ۶-۲- نمودار فراوانی عناصر نادر خاکی به نجارشده به گوشته اولیه ..... ۸۸

- شکل ۶-۳- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی رشته‌کوه آبیل در نمودار Y در برابر Nb..... ۸۹
- شکل ۶-۴- موقعیت نمونه‌های آتشفشانی رشته‌کوه آبیل در نمودار La/Yb..... ۹۰
- شکل ۶-۵- نمودار عناصر کمیاب و نادر خاکی در مواد معدنی سولفیدی..... ۹۲
- شکل ۶-۶- مقایسه نمودار الگوی عناصر کمیاب و نادر خاکی در رخساره استرینگر..... ۹۳
- شکل ۶-۷- نمودارهای هیستوگرام عناصر برای عناصر مختلف برای رخساره‌های کانسار مس نه‌کوهی..... ۹۸
- شکل ۶-۸- نمودار میزان عنصر مس، روی و سرب در مغزه‌های حفاری کانسار مس نه‌کوهی..... ۹۹
- شکل ۶-۹- میزان تغییرات عناصر نسبت به عمق در گمانه BH-17..... ۱۰۰
- شکل ۶-۱۰- میزان تغییرات عناصر نسبت به عمق در گمانه BH-02..... ۱۰۱
- شکل ۶-۱۱- میزان تغییرات عناصر نسبت به عمق در گمانه BH-03..... ۱۰۲
- شکل ۷-۱- الف) تصویر از بخش‌های کلسیتی- سولفیدی..... ۱۰۵
- شکل ۷-۲- الف و ب) تصویری از سیالات درگیر دو فازی..... ۱۰۹
- شکل ۷-۳- الف) تصویری از سیالات درگیر دو فازی غنی از فاز بخار..... ۱۱۰
- شکل ۷-۴- نمودار توزیع فراوانی دمای همگن شدن در کانسار مس نه‌کوهی..... ۱۱۳
- شکل ۷-۵- نمودار میزان شوری در میان بارهای سیال در کانسار مس نه‌کوهی..... ۱۱۳
- شکل ۷-۶- نمودار درجه شوری در برابر دمای همگن شدن سیالات درگیر دوفازی..... ۱۱۴
- شکل ۷-۷- نمودار دمای همگن شده در برابر شوری و تعیین چگالی سیال..... ۱۱۵
- شکل ۷-۸- تعیین فشار بخار محلول براساس دمای همگن شدن..... ۱۱۶
- شکل ۷-۹- نمودار تعیین عمق بر حسب دمای همگن شدن..... ۱۱۷
- شکل ۷-۱۰- نمودار تغییرات ایزوتوپی گوگرد برای نمونه‌های سولفیدی..... ۱۲۱
- شکل ۷-۱۱- نمودار فراوانی  $\delta^{34}S$  در نمونه‌های سولفیدی کانسار نه‌کوهی..... ۱۲۱
- شکل ۷-۱۲- نمودار تغییرات ایزوتوپی گوگرد برای نمونه‌های سولفات..... ۱۲۲
- شکل ۷-۱۳- نمودار تغییرات کانیهای سولفات در رخساره استرینگر..... ۱۲۲
- شکل ۷-۱۴- تغییرات و کانیهای سولفات دریایی..... ۱۲۳
- شکل ۸-۱- مدل نمادین از رخساره‌های کانه‌دار کانسار نه‌کوهی..... ۱۲۷
- شکل ۸-۲- انواع رخساره‌های موجود در کانسار مس نه‌کوهی..... ۱۲۸
- شکل ۸-۳- محل قرارگیری سیالات درگیر کانسار نه‌کوهی در نمودار درجه همگن‌سازی..... ۱۳۲

- شکل ۸-۴- ستون چینه‌شناسی تیپ‌های مختلف کانسارهای سولفید توده‌ای ..... ۱۳۸
- شکل ۸-۵- مدل شماتیک از ویژگی‌های اصلی مدل‌های متفاوت کانه‌زایی VMS ..... ۱۴۳
- شکل ۸-۶- بازسازی حوضه آتشفشانی- رسوبی در زمان پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین ..... ۱۴۷
- شکل ۸-۷- موقعیت نهشته‌های شناخته‌شده VMS ایران در نقشه پهنه‌های ساختاری مختلف ..... ۱۴۸

### فهرست جداول

- جدول ۴-۱- مشخصات گمانه‌های حفرشده در منطقه نه‌کوهی ..... ۴۳
- جدول ۴-۲- مشخصات لیتولوژی و کانه‌زایی هریک از واحدها براساس عمق ..... ۴۵
- جدول ۴-۳- مشخصات و نتایج نمونه‌های آنالیزشده به روش XRD از کانسار نه‌کوهی ..... ۵۷
- جدول ۵-۱- مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانی‌ها به همراه ساخت و بافت آنها در کانسار مس نه‌کوهی ..... ۷۸
- جدول ۶-۱- مشخصات نمونه‌های آنالیز شده ICP-MS رخساره‌های کانه‌دار کانسار نه‌کوهی ..... ۸۲
- جدول ۶-۲- مقادیر غلظت عناصر اصلی، عناصر کمیاب و نادر خاکی (گرم در تن) ..... ۸۳
- جدول ۶-۳- مقادیر غلظت عناصر کمیاب و نادر خاکی (گرم در تن) سنگ‌های آتشفشانی ..... ۸۵
- جدول ۶-۴- ضرایب همبستگی عناصر در کانسار مس نه‌کوهی ..... ۹۴
- جدول ۶-۵- ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی رخساره‌های سه گانه ..... ۹۶
- جدول ۷-۱- رده‌بندی انواع سیالات درگیر بر مبنای انواع فازهای موجود در دمای اتاق ..... ۱۰۸
- جدول ۷-۲- نتایج آنالیزهای دماسنجی، تعیین شوری در سیالات درگیر نمونه‌های کانسار نه‌کوهی ..... ۱۱۱
- جدول ۷-۳- نسبت‌های ایزوتوپی گوگرد کانی‌های سولفیدی رخساره‌های مختلف کانسار نوده ..... ۱۲۰
- جدول ۸-۱- عیار و تناژ کانسارهای منطقه معدنی بتورست کانادا ..... ۱۴۲
- جدول ۸-۲- مقایسه کانسار نه‌کوهی با ویژگی‌های انواع کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد ..... ۱۴۴
- جدول ۸-۳- مقایسه ویژگی‌های کانسار نه‌کوهی با کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد ..... ۱۴۵

# فصل اول:

## کلیات

## ۱-۱- مقدمه

مس یکی از عناصر متداولی است که بشر بطور گسترده از آن استفاده می‌کند. بدلیل خاصیت هدایت الکتریکی و حرارتی، مصرف این عنصر رو به افزایش است. از این رو، بدلیل تقاضای بالا برای این ماده معدنی، شناسایی و اکتشاف کانسارهای جدید آن نیز حائز اهمیت است، و نیز مطالعه زمین شناسی اقتصادی این کانسارها، در بهینه سازی پروژه‌های اکتشافی در مراحل مختلف از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است.

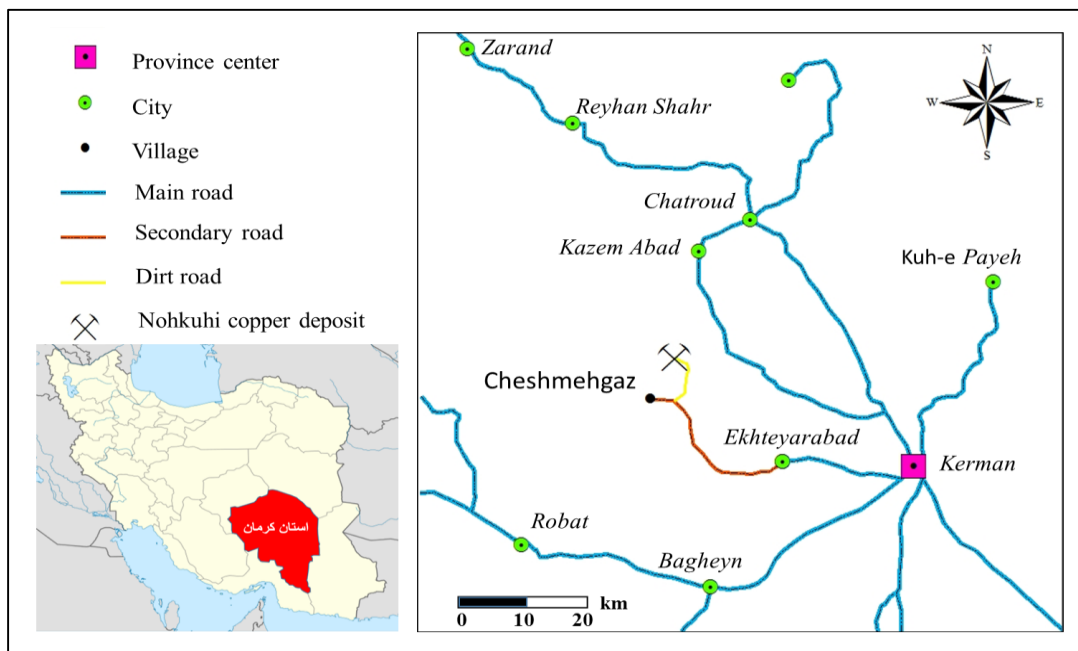
از دیدگاه زمین ساختی، کشور ایران در سیستم کوهزایی آلپ- هیمالیا (آلی) واقع شده است. از نظر کانی سازی مس، که از شمال غرب از بخش شرقی صربستان آغاز می‌شود، بعد از گذشتن از ترکیه وارد ایران شده و از جنوب شرق وارد افغانستان و پاکستان می‌شود. در این کمربند فعالیت‌های ماگمایی و انتشار سنگ‌های بازیک و اولترا بازیک، مجموعه آتشفشانی- رسوبی و فعالیت های آذرین همزمان و همراه با کوهزایی آلی به صورت یک گزینه شاخص عمل کرده است. کانسارهای مس، بیشتر در محدوده سنگ‌های آتشفشانی به سن ترشیاری رخ داده است (قربانی، ۱۳۸۶). در این راستا مطالعه کانسار مس نه‌کوهی در توالی آتشفشانی رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین در شمال غرب کرمان هم از لحاظ علمی و هم از لحاظ اکتشافی می‌تواند حائز اهمیت باشد، چرا که نتایج حاصل از این بررسی می‌تواند بعنوان الگو جهت شناسایی و اکتشاف ذخایر جدید مس در این پهنه و سایر گستره‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ایران مورد استفاده قرار گیرد.

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

کانسار مس نه‌کوهی در ۴۰ کیلومتری شمال غرب کرمان و ۵ کیلومتری شمال شرق روستای چشمه‌گز در بلوک پشت‌بادام از خرده قاره‌های ایران مرکزی (شکل ۱-۱) و در داخل توالی آتشفشانی- رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین و با مختصات جغرافیایی  $44^{\circ}48'$   $56^{\circ}$  طول شرقی و  $30^{\circ}27'11''$  عرض شمالی در محدوده نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ باغین (Djocovic and Dimitrigevic, 1973) واقع گردیده است. راه دسترسی



به کانسار مس نه‌کوهی از طریق جاده آسفالتی کرمان به اختیارآباد و سپس به سمت روستای چشمه‌گز امکان پذیر می‌باشد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده معدنی نه‌کوهی.

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

منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای گرم و خشک است، این منطقه دارای زمستان‌های معتدل و تابستان‌های گرم است. بارندگی بیشتر در فصل زمستان صورت می‌گیرد و تعداد روزهای خشک ۲۲۱ روز است، میزان بارندگی در سال ۱۸۰ میلیمتر و میانگین حرارت ماکزیمم ۳۵ درجه و میانگین حرارت مینیمم ۲/۸- درجه سانتیگراد می‌باشد. به دلیل شرایط خاص آب و هوایی و پایین بودن میزان بارندگی سالیانه منطقه پوشش گیاهی بسیار کمی داشته است، در مناطق کوهستانی و نیمه کوهستانی تعداد زیادی چشمه آب شیرین وجود دارد، قابل توجه است که خشکسالی شدید در چند سال اخیر باعث خشک شدن چشمه‌ها و رودخانه‌های فصلی منطقه از اواسط بهار شده است.

#### ۱-۴- وضعیت معیشتی

بافت کلی در منطقه همانند سایر نقاط استان کرمان است. مردم منطقه اکثراً فقیر می‌باشند و در صورت انجام عملیات معدن‌کاری از لحاظ تأمین کارگر هیچ‌گونه مشکلی وجود ندارد. با توجه به شرایط آب و هوایی و میزان بارندگی، کشاورزی محدود بوده است. منابع درآمد مردم در این منطقه دامداری، کشاورزی و تولید صنایع دستی می‌باشد.

#### ۱-۵- زمین ریخت شناسی

محدوده مورد مطالعه از یک رشته کوه با روند تقریبی NW- SE به نام نه‌کوهی یا آب‌نیل که عمدتاً از توالی آتشفشانی- رسوبی تشکیل یافته‌است و دارای توپوگرافی خشن می‌باشد شکل (۱-۲). ریخت شناسی اصلی منطقه را ضخامتی از واحدهای تخریبی نظیر واحدهای آهکی و ماسه‌سنگی، سنگ‌های آتشفشانی، سنگ- های رسوبی شیل‌سیاه و ماسه‌سنگ، تشکیل می‌دهند. بلندترین نقطه دارای ارتفاع ۲۴۵۹ متر و پست‌ترین نقطه ۱۹۰۰ متر می‌باشد.



شکل ۱-۲: نمایی از توپوگرافی منطقه که از توالی آتشفشانی- رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین تشکیل شده است. (دید به سمت شمال).

## ۱-۶- مطالعات انجام شده قبلی

به طور کلی مطالعاتی در سال‌های گذشته توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و همچنین گروه معدنی زرمش و محققین دانشگاهی در پهنه ساختاری ایران مرکزی (بلوک باپشت بادام) و منطقه نه‌کوهی صورت گرفته است، مهم‌ترین مطالعات صورت گرفته در منطقه به‌صورت زیر می‌باشند:

- زهره بخش و وحدتی دانشمند (۱۳۶۶)، نقشه زمین‌شناسی چهارگوشه رفسنجان، سری ۱/۲۵۰۰۰۰، شماره I10، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- (Djocovic and Dimitrigevic, 1979)، نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ باغین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- ژئوشیمی و پتروژنز سنگ های آذرین فلسیک کوه آبیل (شمال غرب کرمان)، دوست محمدی و همکاران، پنجمین همایش ملی زمین شناسی دانشگاه پیام نور، دانشگاه پیام نور استان زنجان، ۱۳۹۰
- ژئوشیمی و ماگماتیسیم سنگ های آذرین کوه آبیل چشمه گز (شمال غرب کرمان)، دوست محمدی و همکاران، مجله ژئوشیمی دانشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند، ۱۳۹۱
- مطالعات اولیه بر روی این کانسار، مطالعات زمین شناسی و صحرایی گروه معدنی زرمش (۱۳۹۲) و حاج صادقی در سال ۱۳۹۴ اولین مطالعه دانشگاهی بر روی این کانسار بوده است، نقشه ۱:۱۰,۰۰۰ منطقه و لاگ نگاری گمانه های حفر شده مورد بازبینی قرار گرفته و مطالعات سنگ شناسی و کانی شناسی بر روی نمونه های منتخب از گمانه ها نیز صورت گرفته است. بررسی های انجام شده بر روی آنالیزهای گمانه ها شامل حذف مقادیر پرت، نرمال سازی، خوشه بندی و تحلیل عاملی می باشد. این تحقیق کانسار مس نه کوهی را به عنوان کانه زایی سولفید توده ای آتشفشانزاد تیپ سیلیسی کلاستیک-فلسیک معرفی کرده است.

## ۱-۷- طرح مسئله ، اهمیت موضوع و هدف از مطالعه

محدوده مورد مطالعه در ورقه های زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ رفسنجان (زهرة بخش و وحدتی دانشمند، ۱۳۶۶) و ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی باغین (Djocovic and Dimitrigevic, 1940) در پهنه ساختاری ایران مرکزی (بلوک پشت بادام) و در داخل توالی آتشفشانی- رسوبی پر کامبرین پسین- کامبرین پیشین رخ داده است .

مطالعات زمین شناسی و صحرایی گروه معدنی زرمش (۱۳۹۲) و مطالعات مدلسازی ریاضی و آماری حاج صادقی (۱۳۹۴) این کانسار را از نوع کانسارهای سولفید توده ای آتشفشانزاد (VMS) دانسته اند. اما با وجود

این پژوهش، هنوز در تعیین ژنز کانه زایی شواهد کافی ارائه نشده و رخساره‌های کانه‌دار تفکیک و معرفی نگردیده و برای ارائه تیپ کانه‌زایی هیچ مقایسه‌ای با انواع تیپ‌های مختلف کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد براساس طبقه‌بندی‌های جدید صورت نگرفته‌است. هدف از این پژوهش، بررسی‌های زمین-شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، دگرسانی، ژئوشیمی و بحث در مورد چگونگی الگوی تشکیل و تیپ کانه‌زایی است که در نهایت میتواند بعنوان راهنمای اکتشافی برای مطالعه کانسارهای مشابه در توالی چینه‌ای مشابه در دیگر پهنه‌های ساختاری ایران مفید واقع شود. بنابراین اهداف مورد نظر این پژوهش عبارتند از:

- ❖ بررسی شکل هندسی پیکره معدنی و تشخیص رخساره‌های کانه‌دار
- ❖ بررسی کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیک کانی‌ها در کانسار مس نه‌کوهی
- ❖ بررسی مناطق دگرسانی و پهنه‌بندی آنها
- ❖ بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و پهنه‌بندی فلزی کانسار مس نه‌کوهی
- ❖ الگوی تشکیل کانسار مس نه‌کوهی و کنترل‌کننده‌های اصلی کانه زایی در منطقه مورد مطالعه
- ❖ تعیین تیپ کانه‌زایی کانسار مس نه‌کوهی و مقایسه با موارد مشابه در ایران و جهان
- ❖ تعیین محیط زمین‌ساختی تشکیل کانسار مس نه‌کوهی
- ❖ ارائه کلیده‌های اکتشافی جهت کشف ذخایر جدید در منطقه

## ۸-۱- روش مطالعه

مراحل مختلف انجام این تحقیق بشرح زیر است:

### ۸-۱-۱- مطالعه منابع و گردآوری اطلاعات

مطالعه منابع و گردآوری اطلاعات، گام نخست در این تحقیق بوده که به‌شرح زیر انجام گردیده است:

- تهیه و مطالعه کتب و مقالات در زمینه موضوع پایان نامه
- جمع‌آوری تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و بررسی مقالات و گزارشاتی که به نحوی در ارتباط با منطقه مورد مطالعه و پهنه ساختاری ایران مرکزی (بلوک پشت بادام) و کانه‌زایی‌های مشابه در جهان می‌باشند.

## ۱-۸-۲- مطالعات صحرایی

- مطالعات صحرایی در ۱۴ روز به اهداف متفاوتی صورت گرفته است:
- ✓ بازدید به منظور آشنایی با محدوده مورد مطالعه
  - ✓ شناسایی واحدهای مختلف سنگی و ارتباط آن‌ها با یکدیگر
  - ✓ انجام نمونه برداری سیستماتیک از رخساره‌های مختلف کانسار و مغزه‌های حفاری
  - ✓ تهیه نقشه زمین‌شناسی و دگرسانی از کانسار مس نه‌کوهی
  - ✓ 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 چین خوردگی
  - ✓ تعیین جایگاه افق‌های کانه‌دار در منطقه و برداشت نمونه‌های لازم به منظور مطالعات سنگ-شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، سیالات درگیر، مطالعات ایزوتوپی پایدار و سن سنجی
  - ✓ بررسی دقیق افق‌های کانه‌دار، شکل هندسی پیکره‌های معدنی و انواع مواد معدنی و پهنه‌های دگرسانی مربوط در مقیاس‌های رخنمون و نمونه دستی
  - ✓ بازدید نهایی از منطقه و کنترل یافته‌های نهایی بر اساس مدل کانه‌زایی

### ۱-۸-۳- مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی

- ✓ تهیه ۲۵ عدد مقطع نازک، از نمونه‌های سنگی مختلف و انجام مطالعات پتروگرافی بر روی آنها
  - ✓ تهیه ۱۵ عدد مقطع نازک- صیقلی از نمونه‌ها و مطالعه بافت و پاراژنز کانه‌ها
  - ✓ تهیه ۲۰ عدد مقطع صیقلی از نمونه‌های توده‌ی معدنی بر ای مطالعات کانه‌شناسی
  - ✓ تهیه ۵ مقطع دوبرصیقل از رگه‌های کلسیتی- باریتی- سولفیدی) برای مطالعات میکرومتری
- سیالات درگیر
- ✓ جداسازی ۲۱ نمونه جهت انجام تجزیه ایزوتوپی گوگرد از بخش‌های سولفیدی کانسار

### ۱-۸-۴- مطالعات دفتری و تجزیه و تحلیل داده‌ها

- ✓ ترسیم نقشه‌ها با استفاده از نرم افزارهای Arc GIS و Global Mapper
  - ✓ ترسیم نمودارهای ژئوشیمیایی داده‌های حاصل از تجزیه نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی
- مانند GCDkit, Grapher و نرم افزارهای آماری مانند SPSS
- ✓ تجزیه و تحلیل و تلفیق داده‌های حاصل از بررسی‌های صحرایی و مطالعه مقاطع میکروسکوپی و داده‌های ژئوشیمیایی
  - ✓ تطبیق و تلفیق داده‌های ذکر شده با داده‌های حاصل از مطالعه مقالات و کتابها برای ارائه مدل کانه‌زایی در منطقه
  - ✓ دسته‌بندی، پردازش و تلفیق نتایج حاصل از مراحل قبلی و همچنین استفاده از نرم افزارهای مختلف کامپیوتری جهت تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی و مطالعه کتابها و مقالات و نگارش پایان نامه

## ۹-۱- رده‌بندی کانسارهای مس

کسler (Kessler, 1994) کانسارهای مس را بر اساس خصوصیات ژنتیکی آنها را به پنج گروه اصلی تقسیم کرده است که شامل کانسارهای مس ماگمایی- گرمایی، مس سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد، مس ماگمایی، مس با میزبان رسوبی و مس تیپ کویناوی (تیپ مانتو یا لایه‌های سرخ آتشفشانی).

## ۱۰-۱- فازهای کانی سازی مس در ایران

### ۱-۱۰-۱- پرکامبرین پسین - کامبرین پیشین

همراه با توالی آتشفشانی- رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین در بلوک پشت بافق- بادام کانسار مس نه‌کوهی گزارش می‌شود، همچنین چند اثر معدنی مانند کانی‌سازی مس، سرب، روی، نقره و کبالت به همراه سنگ‌های آهکی و دولومیتی در نواحی خونگاه (کوه دنا) و ده معدن، در سنگ‌های کامبرین پیشین دیده شده که از نظر اقتصادی اهمیت ندارند. اصولاً سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی- آتشفشانی و همچنین سنگ‌های دگرگونی که دارای منشأ آذرین هستند (مانند سنگ‌های ناحیه تکاب، انارک، بافق و...) فراوانی کمی از مس نشان می‌دهند. در صورتی که همین سنگ‌ها در نواحی یادشده، بی‌هنجاری قابل توجهی از سرب و روی دارند. در ماسه سنگ‌های سازند زاگون به سن کامبرین میانی نیز آثار خفیفی از کانه‌زایی مس رسوبی در پهنه البرز مشاهده شده است (قربانی، ۱۳۸۱).

### ۱-۱۰-۲- پالئوزوئیک

همراه با برخی از سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک پسین مانند سری تکنار که منشأ آذرین یا آذرآواری دارند، آثاری از مس شناخته شده است (Malekzadeh et al., 2005).



### ۱-۱۰-۳- ژوراسیک- کرتاسه

نشانه‌های متعدد در سنگ‌های رسوبی- تخریبی ژوراسیک- کرتاسه در ناحیه وسیعی از جنوب راور(کانسار مس رسوبی مارکشه) تا شمال طبس به چشم می‌خورد(مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶) و همچنین در این دوره کانسار مس سولفید توده‌ای مس جیان در منطقه بوانات قابل ذکر است(موسیوند و همکاران، ۱۳۸۲). (Mousivand et al,2007).

### ۱-۱۰-۴- کرتاسه- پالئوسن

همراه با مجموعه افیولیتی کرتاسه- پالئوسن، شواهدی از ذخایر سولفید توده‌ای در ایران شناخته شده است که میتوان به کانسار مس شیخ عالی در جنوب شرق بافت اشاره کرد (منظمی، ۱۳۷۷). همچنین در این دوره، کانسار مس نوده در جنوب غرب سبزوار(مغفوری و همکاران، ۱۳۹۰) و کانسار مس گرماب پایین در جنوب شرق شاهرود قابل ذکر است(طاشی و همکاران، ۱۳۹۶).

۱-۱۰-۵- بیشتر ذخایر مس ایران در ترشیاری تشکیل شده‌اند. این ذخایر وابستگی تنگاتنگی با سنگ‌های ماگمایی ترشیاری دارند.

### ۱-۱۱- تیپ‌های کانی‌زایی مس در ایران

۱- کانسارهای مس ماگمایی- هیدروترمال (سیستم‌های پورفیری، اسکارن و رگه‌ای)  
این گروه کانسارها در ایران و خصوصاً در زون ارومیه- دختر کشف شده‌اند. بزرگ‌ترین معادن مس ایران مانند سرچشمه و سونگون (Shahabpour et al,1987; Shafiei et al., 2009)، کهنک غربی (بازارنوعی، ۱۳۹۶).

- ۲- کانسارهای تیپ سولفید توده‌ای آتشفشانزاد، مانند چاه‌گز، بوانات، مس نوده، مس شیخ عالی و مس گرماب پایین (موسیوند، ۱۳۸۹؛ موسیوند، ۱۳۸۲؛ مغفوری، ۱۳۹۰؛ منظمی و همکاران، ۱۳۷۷، طاشی و همکاران، ۱۳۹۳)، ، کانسار مس گل چشمه (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۶).
- ۳- کانسارهای تیپ مانتو (سنگ‌های آتشفشانی- لایه سرخ یا کویناوی)، مانند مس عباس‌آباد و چغندر سر (Khadem, 1964 و طائفی و همکاران، ۱۳۹۳)، کانسار مس ماری (Maghfouri et al., 2017).
- ۴- کانسارهای مس با میزبان رسوبی، کانسار مس مارکشه (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۷)، کانسارهای مس شمال تربت حیدریه (سپهری‌راد، ۱۳۸۸) و کانسار مس تسوج (تقی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶).

## فصل دوم:

# زمین‌شناسی ناحیه‌ای

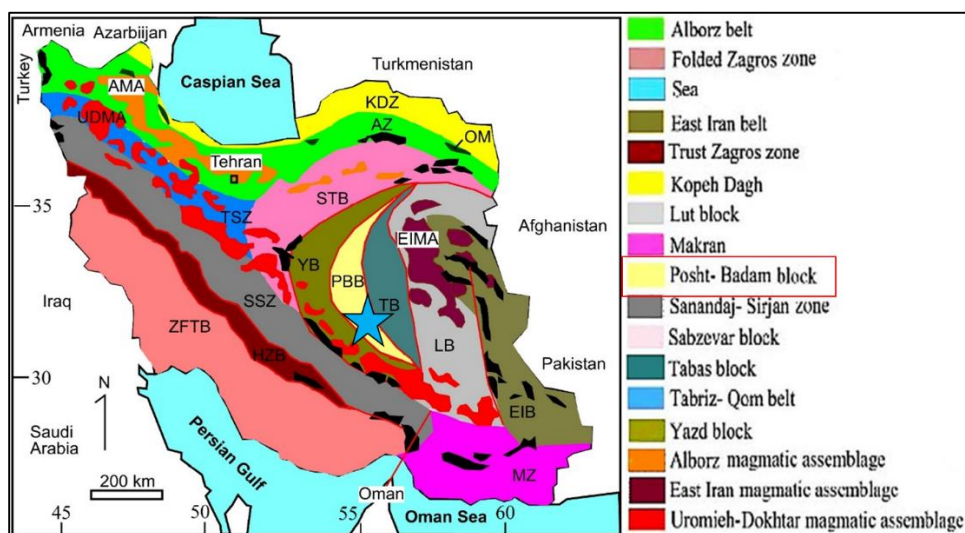
## ۲-۱- جایگاه زمین‌شناسی

در گذشته، خرده قاره ایران مرکزی را بخشی از توده میانی ایران مرکزی می‌دانستند، ولی به باور اشتوکلین (shtocklin, 1968)، پس از سخت شدن پی‌سنگ پرکامبرین، بخش یاد شده در زمان پالئوزوئیک ویژگی سکویی داشته و در زمان‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک به منطقه‌ای پرتحرک و پویا تبدیل شده است. با وجود این، باید گفت که الگوی ساختاری حاکم بر این خرده قاره از نوع بلوک‌های جداشده با گسل‌های عمده است که هر یک ویژگی جداگانه دارند و پویایی خرده قاره در همه جا یکسان نیست. شواهد موجود نشان می‌دهند که کوهزایی کاتانگایی در این ناحیه در پرکامبرین پسین و پیش از یک رژیم سکویی حاکم شده است. در ردیف‌های پالئوزوئیک این ناحیه نبوده‌های چینه‌نگاری مهمی وجود دارد که مهمترین آنها نبوده‌های چینه‌ای آغاز دونین میانی و کربونیفر پسین است. فرازمین شتری با درازای بیش از ۱۰۰ کیلومتر، در بخش شمال خاوری بلوک طبس، خاور شهرستان طبس و در پایانه شمالی گسل نایبند قرار دارد. کهن‌ترین واحد سنگی رخنمون‌یافته این منطقه سنگ نهشته‌های دونین (سازند شیشتو) است که به همراه سایر ردیف‌های پالئوزوئیک- تریاس میانی و همانند سایر نواحی ایران، در شرایط سکویی انباشته شده‌اند. از ردیف‌های ژوراسیک، گسترش نهشته‌های آواری زغال‌دار (گروه شمشک)، به لحاظ فراخاست در زمان تریاس پسین، محدود به پهلوه‌های خاوری- باختر است ولی ردیف‌های ژوراسیک میانی- بالایی جوان‌ترین واحد سنگ‌چینه‌ای دریایی هستند.

کانسار مس نه‌کوهی در پهنه ساختاری ایران مرکزی (بلوک پشت بادام) قرار گرفته است (شکل ۲-۱). خرده قاره ایران مرکزی از قسمت غرب به شرق به ترتیب شامل بلوک یزد- بافق - پشت بادام، بلوک طبس و بلوک لوط تشکیل شده است (علوی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۱).

---

<sup>۱</sup> -Alavi



شکل ۲-۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (علامت ستاره) در نقشه پهنه‌های ساختاری- رسوبی ایران.

## ۲-۲- ویژگی‌های زمین ساختی بلوک پشت‌بادام

براساس مطالعات تالبوت و علوی (Talbot and Alavi 1996)، پوسته قاره‌ای ایران مرکزی، طی کامبرین زیرین، تحت تأثیر فرایندهای زمین‌ساخت کشتی متحمل کافت ناقص (Aborted rift) در طول حاشیه غربی گندوانا شده است که رخداد ماگماتیسم کامبرین زیرین و بالازدگی سست کره را دلیل این کافت‌زایی می‌دانند. رخداد ماگماتیسم در پهنه پشت‌بادام و طی نئوپروتروزوئیک پسین- کامبرین پیشین، همراه با کشتی پشت کمانی بوده است (Ramezani and Tucker, 2003). این زمین‌ساخت کشتی با فعالیت آتشفشانی نوع قلیایی و نفوذ گرانیت‌ها شروع شده است. نفوذ گرانیت‌ها، پیدایش آلکالی ریولیت و توف اسیدی، تشکیل سازند تاشک و سری‌های ریزو و دسو (سازند اسفوردی) همزمان با این فعالیت کشتی بوده است (Nadimi, 2006; Ramezani and Tucker, 2003). سری ریزو یکی از قدیمی ترین برونزدها در بلوک پشت بادام است و به طور عمده شامل سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشانی- رسوبی و دولومیت می‌باشد و یک طبیعت

بایمدال دارد (kohbanani, 1996; Al- Taha kohbanani, 1994; Darvishzadeh and Al- Taha, 2013). مطالعات قبلی انجام شده بر روی ماگماتیسم سری ریزو (پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین) نشانگر محیط زمین‌ساختی کافت قاره‌ای همراه با ماگماتیسم بایمودال است (آل طه، ۱۳۷۳؛ طهمورثی، ۱۳۷۵؛ کنعانیان، ۱۳۷۶ و صدرزاده، ۱۳۹۰) است.

عمده‌ترین واحدهای رخنمون‌یافته در منطقه از قدیم به جدید شامل ماسه‌سنگ کوارتزیتی، سنگ آهک کریستالین تیره‌رنگ و تناوبی از شیل و سنگ‌های آتشفشانی به سن پرکامبرین، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سنگ آهک و دولومیت به سن سیلورین و دونین، دولومیت و دولومیت آهکی به سن تریاس و سنگ آهک، شیل و سیلتستون به سن ژوراسیک می‌باشد (شکل ۲-۲). بر اساس مطالعات دوست محمدی و همکاران (۱۳۹۱) عمده سنگ‌های منطقه شامل دو مجموعه است. مجموعه زیرین شامل سری ریزو و مجموعه بالایی سری رسوبات پالئوزوئیک و مزوزوئیک. تمرکز مطالعات بر روی سری ریزو بوده و واحدهای شناسایی در این مجموعه به شرح زیر می‌باشد. واحد رسوبی تحتانی: پایین‌ترین مجموعه یادشده از کنگلومرای متوسط تا ضخیم لایه تشکیل شده است. واحد آتشفشانی- رسوبی: در این واحد، نوارهایی از گدازه‌های اسیدی، توف‌ها و آذرآواری‌های وابسته که دچار دگرسانی شدید شده‌اند.

این بلوک میان گسل پوشیده نایین- کوهبنان در خاور و گسل پشت بادام در باختر قرار دارد. نکته اساسی این بلوک رخنمون‌های دگرگونی منسوب به پرکامبرین است که بیشتر از نوع سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشانی- آواری و آذرآواری به همراه مرم‌های آهکی و دولومیتی است. این پی‌سنگ پروتروزوئیک عربستان است که مجموعه پان آفریکن نام دارد. سنگ‌های ماگمایی این بلوک محدود به پرکامبرین نیستند، ردیف‌های پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین ان (سری ریزو و دسو)، به ویژه در شمال کرمان، همراهانی از گدازه‌های قلیایی و خاستگاه کافتی دارند و به نظر می‌رسد که پدیده کافتی شدن از ویژگی‌های این بلوک باشد.

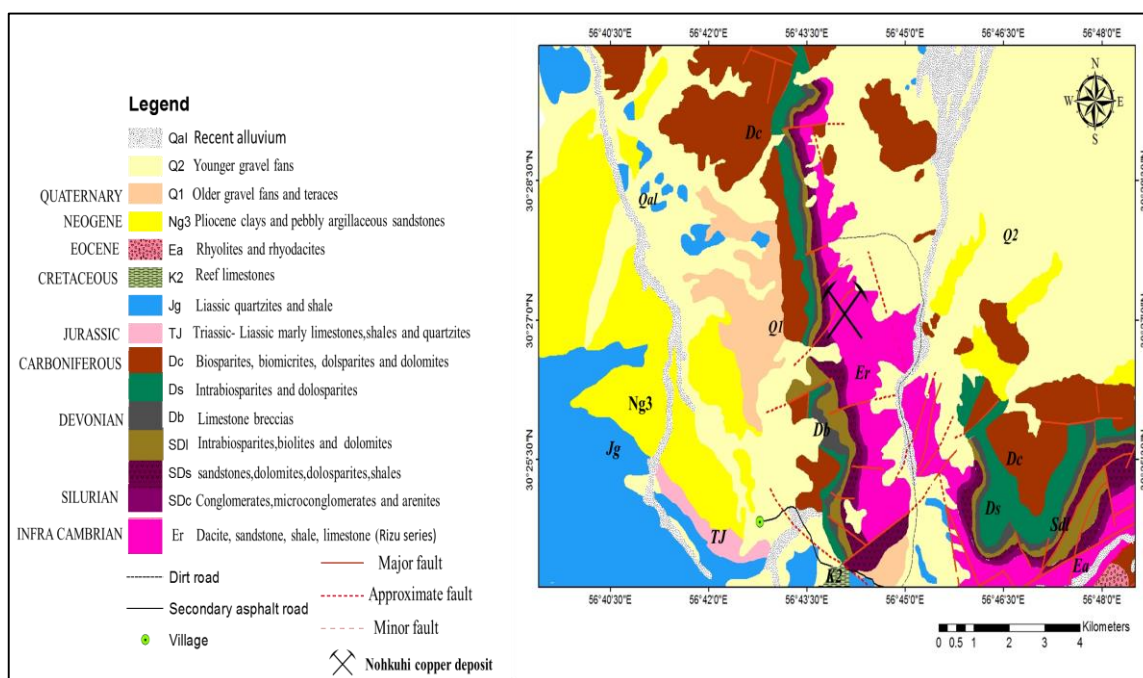
نخستین واحد سنگ چینه‌ای پس از کوهزایی کاتانگایی است که به طور دگرشیب بر روی سری مراد نشسته شده است. پیچیدگی ساختاری و برونزدهای گنبدی سبب شده تا این سری نظم چینه‌ای نداشته باشد، به همین دلیل برش الگو ندارد و ستبرای آن ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر برآورد شده است. شیل، ماسه‌سنگ، کربنات و لایه‌های ایگنیمبریت از سازندهای سری ریزو هستند که به طور معمول، سنگ‌های کربناتی در زیر شیل و ماسه‌سنگ در وسط و سنگ‌های ریولیتی بنفش رنگ و توف در بالا قرار دارند (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۴). سنگواره‌هایی مانند Medusite, Sprigging و همچنین سن پرتوسنجی (U-Pb) ۵۹۵ تا  $120 \pm 760$  میلیون سال (در معدن کوشک) سبب شده تا سری ریزو به سن پرکامبرین پسین نسبت داده شود (هوکریده، ۱۹۶۲). اشتوکلین (۱۹۹۰) به جای سری ریزو از واژه «سازند ریزو» استفاده کرده و براین باور است که این واحد سنگ‌چینه‌ای هم ارز زمانی سه سازند بایندور، سلطانیه و باروت است. بدین سان، از نظر سنی، سری ریزو منحصر به پرکامبرین پسین نبوده و تغییرات سنی آن از پرکامبرین پسین تا کامبرین پیشین است.

در شرق زرنند و کوه‌های آب‌نیل و بر روی سری ریزو تاکنون دو پژوهش صورت گرفته است. کوهبنانی به مطالعه پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه پرداخت (کوهبنانی، ۱۳۷۲). مطالعات وی نشان داد در این منطقه سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی رخمون دارند که بر اساس شباهت‌های ظاهری با سری ریزو و تعیین سن‌های به عمل آمده سن آنها به پرکامبرین پسین نسبت داده شده است. به طور کلی سنگ‌های آذرین منطقه به دو گروه عمده قابل تفکیک هستند نخست سنگ‌های ولکانیکی اسیدی که در رده ریولیت‌ها قرار گرفته‌اند و دوم تعداد زیادی دایک‌های دلریتی که همزمان با تشکیل سنگ‌های اسیدی با قرابت آکالن در بین آنها تزریق شده‌اند.

## ۲-۳- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده نقشه های زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ رفسنجان (زهره بخش و وحدتی دانشمند، ۱۳۶۶) و نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ باغین (Djocovic and Dimitrigevic, 1940) در پهنه ساختاری ایران مرکزی (بلوک پشت بادام) واقع شده است.

واحدهای رخمون یافته در منطقه از قدیم به جدید با استفاده از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ باغین به (شکل ۲-۲) اختصار در زیر آورده شده‌اند.



شکل ۲-۲: نقشه ساده شده ۱/۱۰۰۰۰۰ باغین و موقعیت کانسار مس نه کوهی در آن با تغییرات از (Djocovic and Dimitrigevic, 1979).

عمده‌ترین واحدهای رخمون یافته در منطقه از قدیم به جدید شامل ماسه سنگ کوارتزیتی، آهک کریستالین تیره‌رنگ و تناوبی از شیل و سنگ‌های آتشفشانی به سن پرکامبرین، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سنگ آهک و دولومیت به سن سیلورین و دونین، دولومیت و دولومیت آهکی به سن تریاس و سنگ آهک، شیل و سیلتستون به سن ژوراسیک می‌باشد.



## ۲-۴- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۱/۲۰۰۰۰

در ادامه برپایه اطلاعات نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۰۰۰۰ منطقه، واحدهای سنگی از قدیم به جدید به صورت زیر می‌باشند (شکل ۲-۳).

### ۲-۴-۱- پرکامبرین

سنگ‌های مربوط به این دوران، در محدوده مورد بررسی تحت عنوان سری ریزو نام‌گذاری شده‌اند. این سری با یک واحد ماسه‌سنگ کوارتزیتی به ضخامت ۲۵ متر آغاز شده و سپس در برخی بخش‌ها به کنگلومرا و میکروکنگلومرا تبدیل می‌شود. روی این بخش تخریبی ضخامت کمی از سنگ آهک کریستالین تیره‌رنگ قرار گرفته و در ادامه بخش‌های آذرین و آذرآواری وابسته به این سری بر روی بخش‌های رسوبی قرار می‌گیرند. سنگ‌های ولکانیکی اسیدی بخش‌های آذرین این سری را تشکیل داده‌اند.

### ۲-۴-۲- سیلورین - دونین

لایه‌های سنگی مربوط به این دوره‌ها به طور دگرشیب بر روی سنگ‌های قدیمی‌تر (پرکامبرین) جای گرفته‌اند که شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ کوارتزی و مقدار کمتری دولومیت، سنگ آهک دولومیتی می‌باشد.

### ۲-۴-۳- تریاس

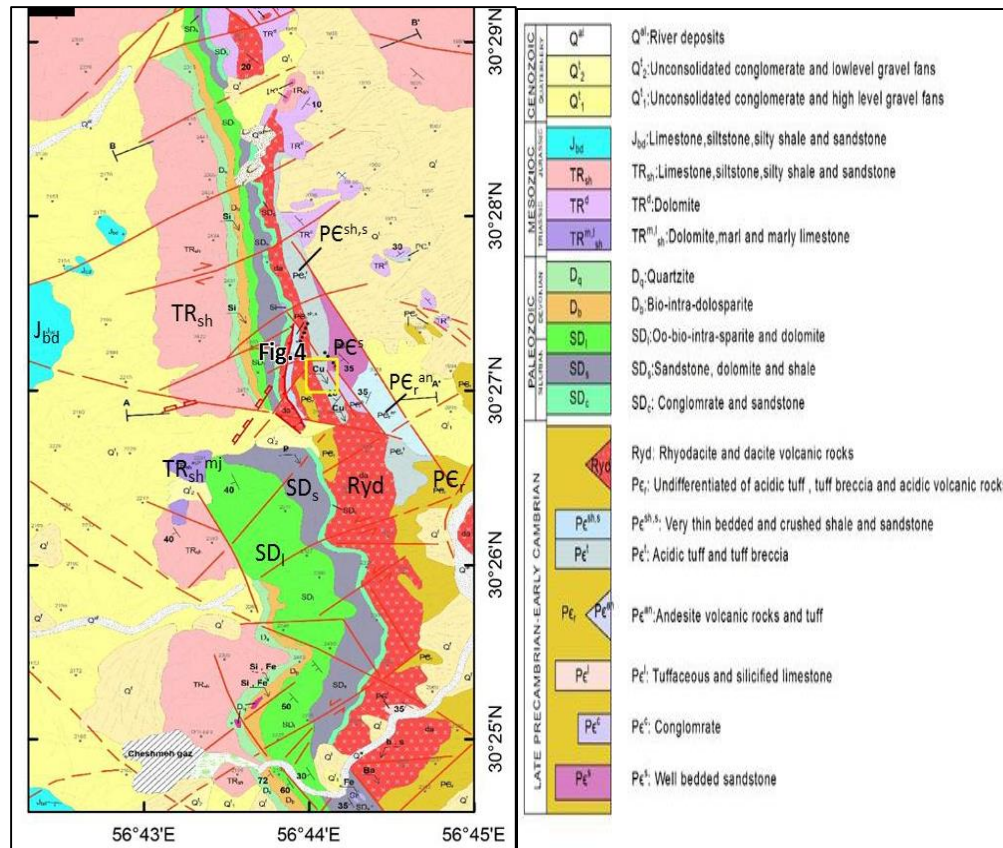
چینه‌های این دوره شامل دولومیت و دولومیت آهکی به رنگ قهوه‌ای است که تاکنون بررسی‌های فسیل-شناسی نتایج سنی بارزی بدست نداده ولی بدلیل جایگاه چینه‌شناسی سن این سنگ‌ها تریاس و معادل سازند شتری در نظر گرفته می‌شوند.

### ۲-۴-۴- ژوراسیک

گسترش جغرافیایی سنگ‌های این دوره به قسمت‌های شمالی منطقه مورد بررسی شده محدود بوده و با لیتولوژی میکروکنگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل و سیلت (که گاهی بالایه‌های زغال همراه هستند) معادل سازند شمشک ارزیابی می‌شوند. با توجه به سنگ‌شناسی این سازند بخوبی می‌توان با حرکت به سوی افق‌های بالاتر به ازدیاد عمق دریا پی برد. با عمیق شدن دریا در زمان ژوراسیک بالایی، سنگ آهک و شیل‌های

دارای فسیل‌های دوکفه‌ای، آمونیت و بلمنیت وابسته به سازند بادامو تشکیل شده‌است. در شکل (۳-۲)

نقشه ۱/۲۰۰۰۰ محدوده نه‌کوهی مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ (گروه معدنی زرمش، ۱۳۹۳).

فصل سوم:

زمین شناسی و سنگ-

شناسی

منطقه معدنی

### ۳-۱- مقدمه

هدف از بررسی زمین‌شناسی محدوده معدنی مورد نظر، مطالعه واحدهای سنگی در محدوده، روابط بین آنها، ساختار و ارتباط هر یک از این پدیده‌ها با کانه‌سازی می‌باشد. بررسی این پدیده‌ها و ویژگی‌ها کمک بسیار زیادی به شناخت موقعیت زمانی و مکانی کانه‌زایی‌ها و پی‌جویی آن در دیگر نقاط مشابه خواهد کرد. از آنجا که میزبان کانه‌زایی مس در منطقه مورد مطالعه توالی آتشفشانی- رسوبی می‌باشد، بنابراین سعی گردید تا با استفاده از نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ باغین، نقشه ۱/۲۰۰۰۰ منطقه تصاویر ماهواره‌ای، عملیات صحرایی صورت گرفته در محدوده معدنی، ستون چینه‌شناسی عمومی و نقشه‌های زمین‌شناسی از محدوده مورد مطالعه و نقشه نمادین از کانسار مس نه‌کوهی تهیه گردد. بنابراین با توجه به ستون چینه‌شناسی عمومی، هریک از واحدهای سنگی به ترتیب سنی در زیر توضیح داده می‌شوند.

### ۳-۲- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه

واحدهای سنگی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین در محدوده مورد مطالعه، برحسب جایگاه چینه‌شناسی، تغییرات ترکیب سنگ‌شناسی از قدیم به جدید چهار واحد اصلی ( $unit^1, unit^2, unit^3, unit^4$ ) تقسیم می‌شود (شکل ۳-۱، ۳-۲، ۳-۳). در منطقه مورد مطالعه واحد اصلی کانه‌زایی مس نه‌کوهی در  $unit^3$  رخ داده‌است.

#### ۳-۲-۱- واحد اصلی ۱: ( $unit^1$ )

سنگ‌های این واحد شامل ماسه‌سنگ تیره رنگ، آهک کرم رنگ فسیل‌دار، توف سبز رنگ، کریستال توف می‌باشد. قابل‌ذکر است که ۲ افق غنی از آهن و منگنز در داخل این واحد آتشفشانی- رسوبی به صورت رسوبی- برون‌دمی نواری غنی از آهن و منگنز رخ داده است (شکل‌های ۳-۱ و ۳-۳).

### ۳-۲-۲- واحد اصلی ۲: (unit<sup>2</sup>)

واحد ماسه‌سنگی به صورت کرم رنگ تا قهوه‌ای رنگ با لایه‌بندی منظم در صحرا قابل مشاهده است و همچنین تحت تأثیر چین‌خوردگی و گسلش‌های منطقه قرار گرفته است (شکل ۳-۱).

### ۳-۲-۳- واحد اصلی ۳: (unit<sup>3</sup>)

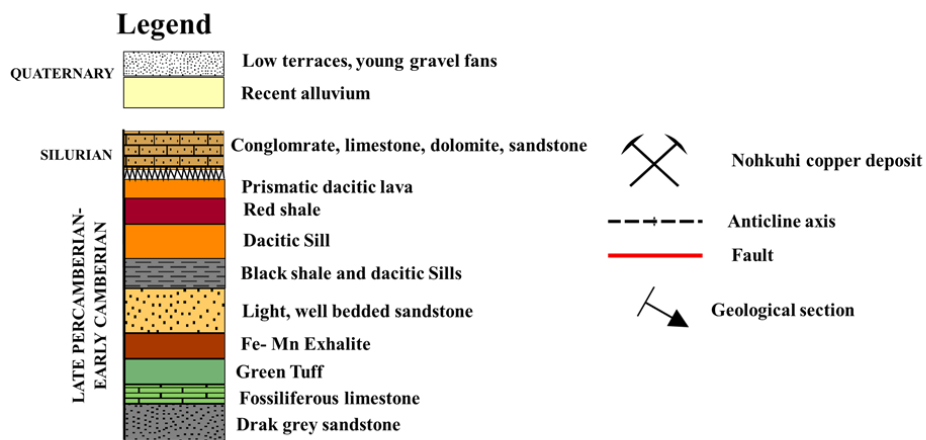
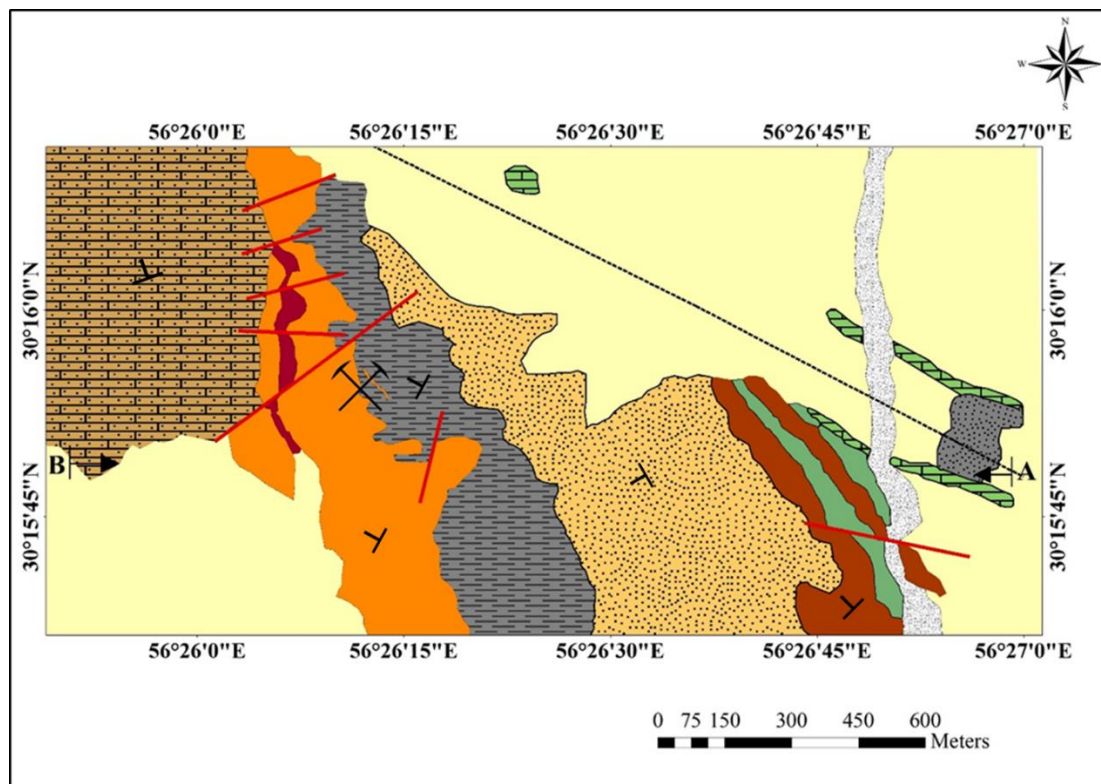
کانه‌زایی مس نه‌کوهی در این واحد آتشفشانی- رسوبی رخ داده است، و نیز دربردارنده زیر واحدهایی شامل گدازه‌های داسیتی، شیل سیاه، شیل قرمز و داسیت‌های منشوری می‌باشد. بخش عمده ماده معدنی در درون شیل‌های سیاه و گدازه‌های داسیتی دیده می‌شود (شکل ۳-۱ و ۳-۳).

### ۳-۲-۴- واحد اصلی ۴: (unit<sup>4</sup>)

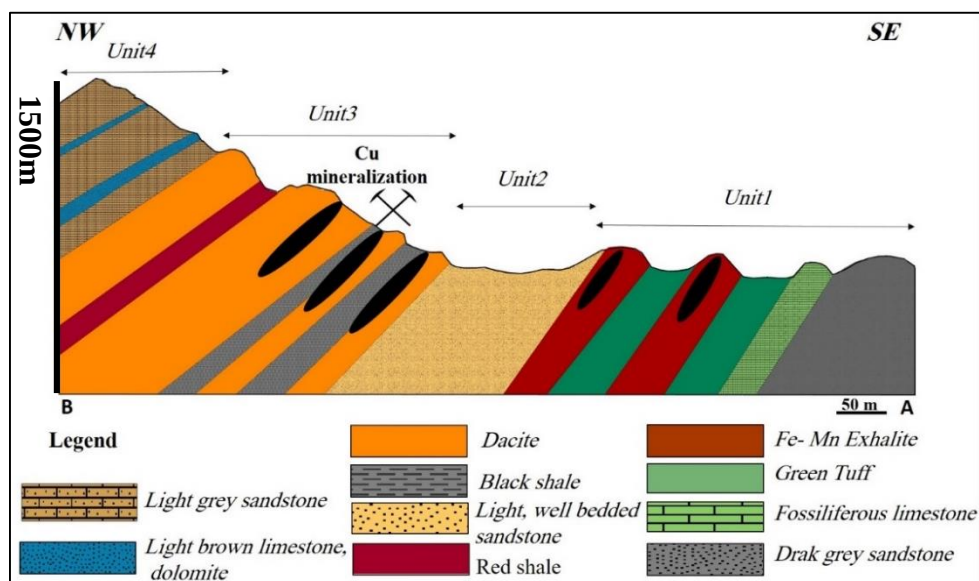
این واحد اصلی، ضخامتی از سنگ‌های تخریبی شامل ماسه سنگ، دولومیت و سنگ آهک است که این واحد به صورت صخره‌ساز می‌باشد و بر روی سنگ‌های قدیمی‌تر جای گرفته‌اند (شکل ۳-۱).

| Age                                | Symbol | Lithology                                               |
|------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------|
| LATE PERCAMBERIAN- EARLY CAMBERIAN | U.4    | Light grey sandstone<br>Light brown limestone, dolomite |
|                                    | UNIT3  | Prismatic dacite<br>Red shale                           |
|                                    |        | Dacite<br>Black shale                                   |
|                                    | UNIT2  | Light, well bedded sandstone                            |
|                                    | UNIT1  | Fe- Mn Exhalite                                         |
|                                    |        | Green Tuff                                              |
|                                    |        | Fossiliferous limestone                                 |
|                                    |        | Dark grey sandstone                                     |

شکل ۳-۱- ستون چینه‌شناسی عمومی از واحدهای سنگی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین در منطقه نه‌کوهی.



شکل ۳-۲- نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس منطقه معدنی نه‌کوهی و موقعیت کانسار مس نه‌کوهی در آن.



شکل ۳-۳- مقطع عرضی از واحدهای زمین‌شناسی و موقعیت افق‌های کانده‌دار در کانسار نه‌کوهی.

### ۳-۲-۱-۱- ماسه سنگ تیره رنگ

این زیر واحد قدیمی‌ترین واحد چینه‌ای در پرکامبرین پسین در منطقه است (شکل ۳-۱) که تا ۵۰ متر رخنمون داشته است و رنگ رخساره‌ای این واحد تیره رنگ می‌باشد. اساس ترکیب کانی‌شناسی این سنگ را بلورهای ریز کوارتز تشکیل می‌دهند. ماسه‌سنگ‌ها بیشتر از قطعات تخریبی با کانی‌شناسی کوارتز، فلدسپات، موسکویت، سرسیت و اکسیدهای آهن تشکیل شده‌اند. کانی اصلی تشکیل دهنده این سنگ بلورهای کوارتز است و دارای گردشگی بد تا متوسط و جورشدگی خوبی دارد (شکل ۳-۴).

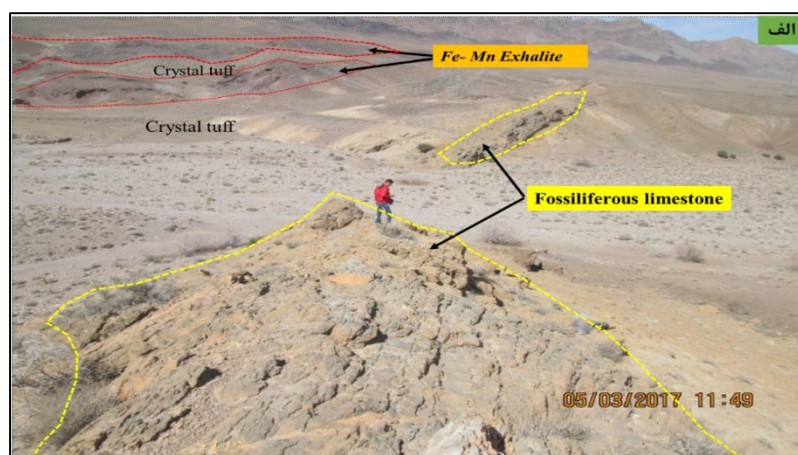


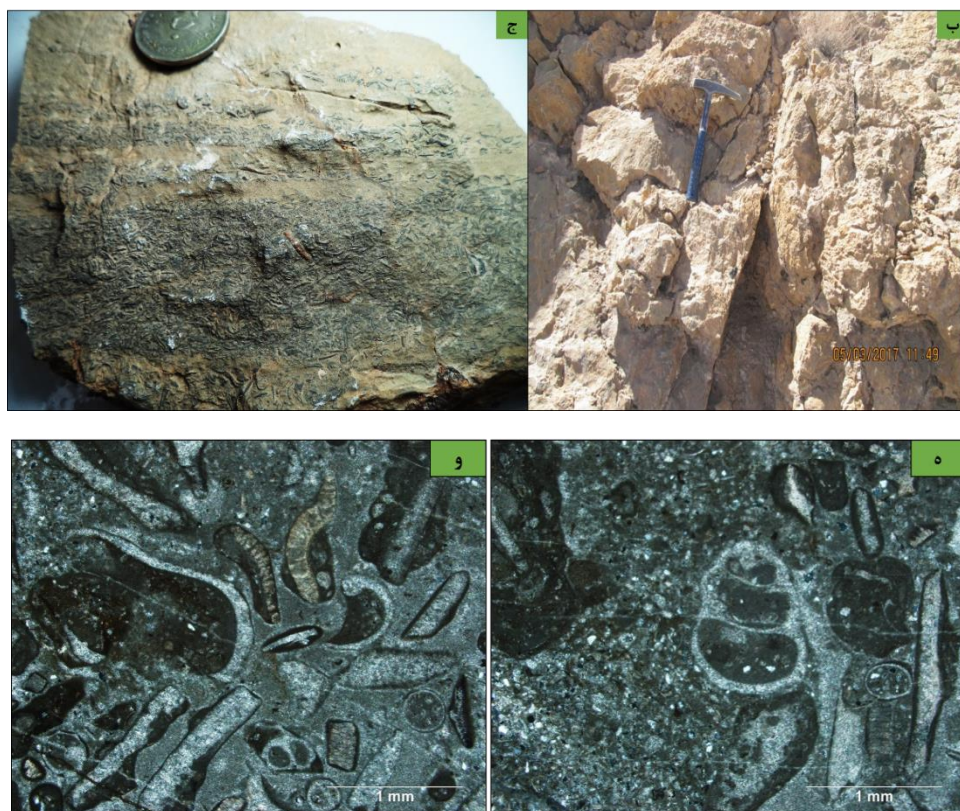


شکل ۳-۴- الف) تصویر صحرایی از واحد ماسه سنگ تیره‌رنگ (دید به سمت شمال شرق)، ب) نمایی نزدیک از واحد ماسه-سنگی، ج) تصویر میکروسکوپی (نور عبوری: ppl) از واحد ماسه‌سنگ تیره‌رنگ، که از بلورهای کوارتز تشکیل شده است.

### ۳-۲-۱-۲- سنگ آهک فسیل‌دار

زیر واحد آهکی فسیل‌دار با ضخامت حدود ۱۵ متر نیز یکی دیگر واحدهای تشکیل دهنده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد و سیمای برجسته و به رنگ کرم روشن تا خاکستری دیده می‌شود. از نظر ترکیب کانی-شناسی یک سنگ آهک باری کلسیت گرینستون تا پکستون بوده که ابتدا در اثر دیاژنز و پدیده دولومیتی شدن به یک سنگ دولومیتی تبدیل شده است. مطالعه فسیل‌های شاخص دارای فسیل‌های دو کفه‌ای و گاستروپود می‌باشد، همچنین این واحد سنگی دارای یکسری رگه‌های کلسیتی می‌باشد (شکل ۳-۵).





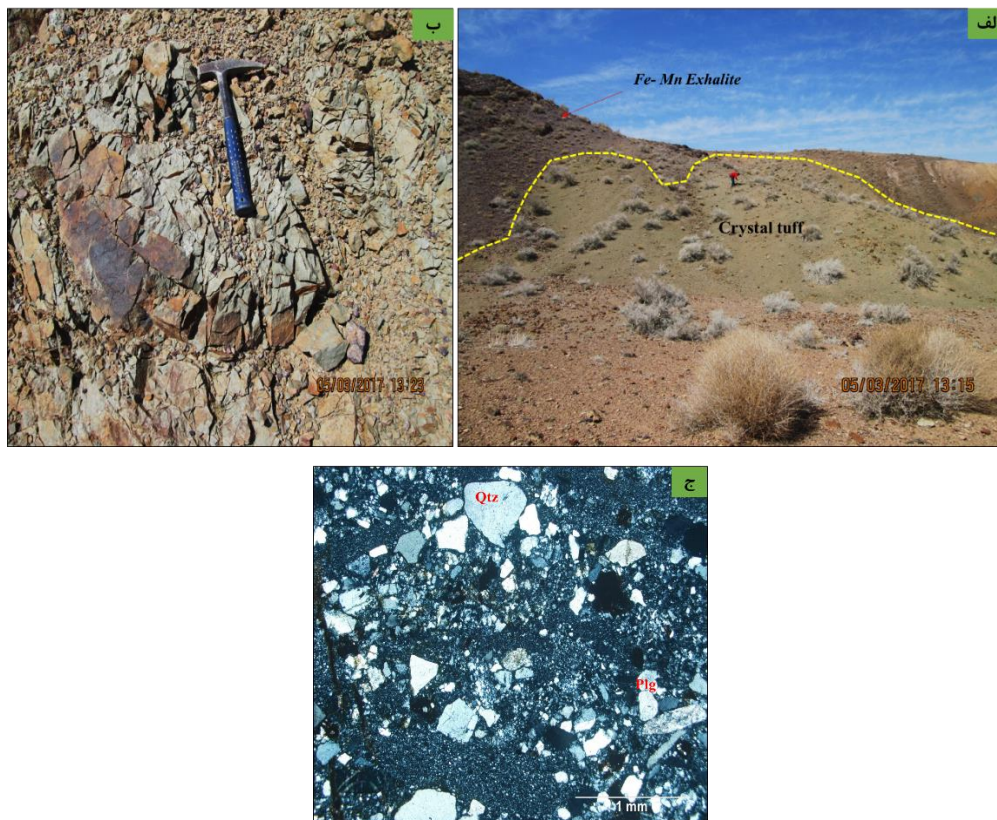
شکل ۳-۵- الف) تصویر صحرایی از واحد آهکی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت غرب)، ب و ج) نمایی نزدیک از واحد آهکی کرم رنگ روشن تصویر نمونه دستی سنگ آهک فسیل دار، ه و و) تصویر میکروسکوپی از واحد آهکی، که دارای فسیل دوکفه ای و گاستروپود می باشد.

### ۳-۲-۱-۳- کریستال توف

این زیر واحد جزء واحدهای چینهای پرکامبرین پسین در منطقه است. این زیر واحد در شرق کانسار و همشیب با توالی چینه شناسی منطقه دیده می شود و دارای مورفولوژی نرم و تپه ای شکل است و رنگ رخساره آن به رنگ سبز با لکه های بلورین سفید و تیره دیده می شود و دارای حدود ۵۰ متر ضخامت دارد. همچنین واحد رسوبی- برون دمی نواری غنی از آهن و منگنز بر روی واحد کریستال توف قرار گرفته است. از نظر کانی شناسی این واحد سنگی دارای کانی های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار و هورنبلند می باشد (شکل ۳-۶). پلاژیوکلاز در برخی موارد حالت تحلیل رفتگی دارند که ناشی از تغییرات نظیر دما و فشار در طی صعود ماگما یا تغییرات شیمیایی آن می باشد (Chen and Zhang, 2008). بلورهای کوارتز به صورت زاویه دار و

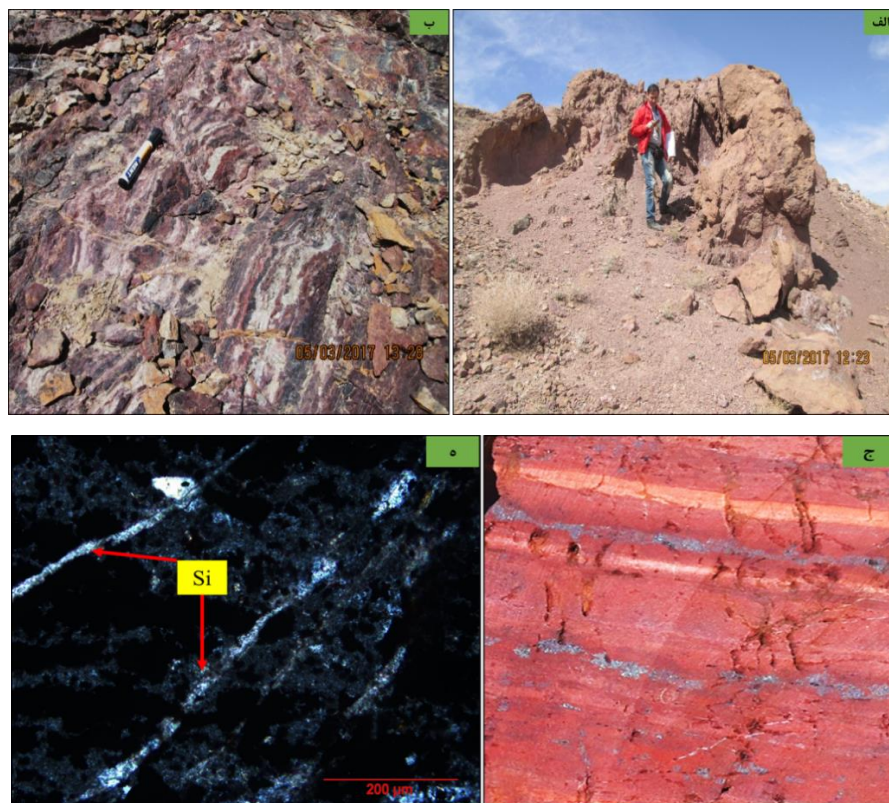


بی شکل بوده و دارای ریز شکستگی‌هایی در داخل خود می‌باشند که احتمالاً ناشی از فشار وارده بر بلورها در هنگام انفجار و خروج مواد پیروکلاستیکی می‌باشد.



شکل ۳-۶- الف: تصویر صحرایی از واحد کریستال توف در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت غرب)، ب: نمایی نزدیک از واحد واحد کریستال توف سبزرنگ، ج: تصویر میکروسکوپی از واحد کریستال توف، که دارای کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپار می‌باشد.

۳-۲-۱-۴- واحد رسوبی- برون‌دمی نواری غنی از آهن و منگنز (Fe-Mn exhalites)  
این واحد در شرق کانسار و در توالی چین‌ه‌شناسی میزبان کانسار گسترش یافته است. سن این واحد پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین می‌باشد. این واحد در کانسار مس نه‌کوهی گسترش زیادی دارد و رخنمون تا طول آن ۹۰ متر و ضخامت آن تا ۶۵ متر می‌رسد (شکل ۳-۷). این واحد کربناته دارای نوارهای غنی از آهن و منگنز می‌باشد که در فصل ۴ پرداخته می‌شود.

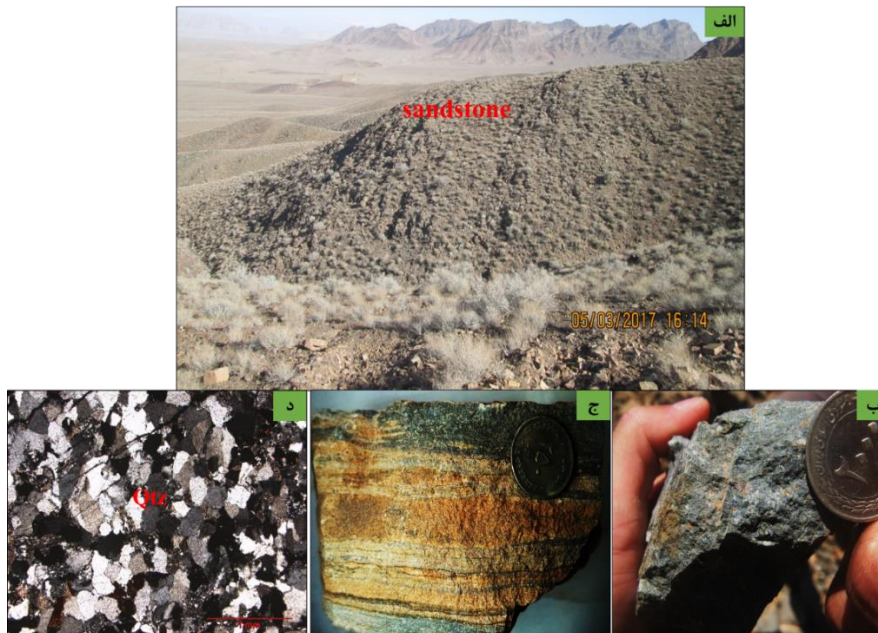


شکل ۳-۷- الف) تصویر صحرایی از واحد رسوبی- برونمی نواری غنی از آهن و منگنز (دید به سمت شمال)، ب و ج) نمایی نزدیک از این واحد که دارای نوارهای غنی از آهن و منگنز می‌باشد، ه) تصویر میکروسکوپی از واحد رسوبی کربناته که در آن رگه‌های کوارتز دیده می‌شود.

### ۳-۲-۱- ماسه سنگ کرم رنگ

واحد ماسه سنگی به صورت کرم رنگ تا قهوه‌ای رنگ و با بیرون زدگی گسترده در صحرا قابل مشاهده است و ضخامت این واحد تا ۳۵۰ متر می‌رسد و همچنین تحت تأثیر چین خوردگی و گسلش‌های منطقه قرار گرفته است. ماسه‌سنگ‌ها بیشتر از قطعات تخریبی با کانی‌شناسی کوارتز، فلدسپات، موسکویت، کلریت، سرسیت و اکسیدهای آهن تشکیل شده‌اند. کانی اصلی تشکیل دهنده این سنگ بلورهای کوارتز دانه درشت تا متوسط است و دارای گرد شدگی بد تا متوسط و جورشدگی خوبی می‌باشد. این نوع ماسه سنگ با عنوان کوارتزآرنایت نامگذاری می‌شود. از نظر دگرسانی این زیرواحد، تحت تأثیر محلول‌های گرمابی غنی از Fe و

Mg قرار گرفته و دچار دگرسانی کلریتی شده است و نیز در اثر این فرایند سنگ ظاهری سبز رنگ پیدا می کند. روند ساختاری این واحد شمال باختر- جنوب خاور می باشد ولی به خاطر چین خوردگی ها و گسلش، این راستا تغییر کرده است (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸- الف) تصویر صحرایی از واحد ماسه سنگی (دید به سمت جنوب شرق)، ب) تصویر نمونه دستی از واحد ماسه- سنگی که دچار دگرسانی کلریتی شده است، ج، تصویر نمونه دستی از ماسه سنگ دارای لایه بندی منظم، د) تصویر میکروسکوپی از نمونه ماسه سنگی که اساس ترکیب کانی شناسی آن از کوارتز تشکیل شده است.

### ۳-۲-۳-۱- شیل سیاه

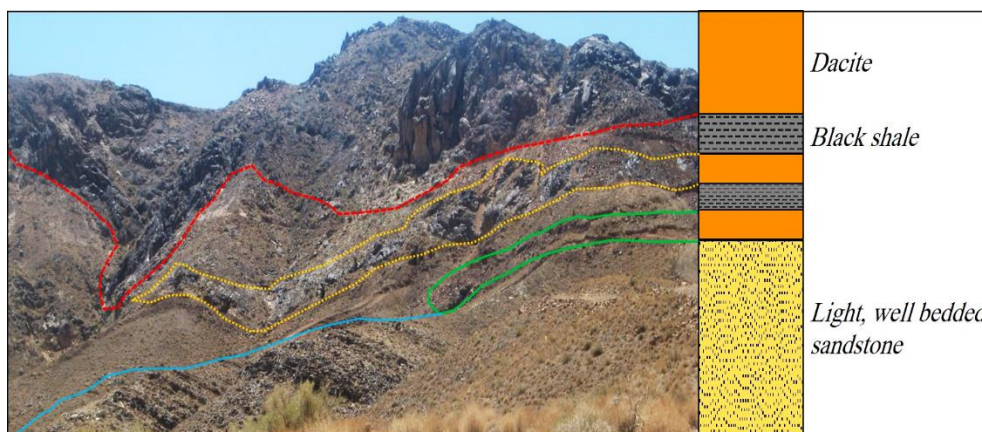
رنگ غالب این واحد در نمونه های تازه سیاه، در بعضی از نمونه ها در اثر دگرسانی شدید رنگ آن سفید تا قهوه ای است و همچنین ضخامت این واحد تا ۳۰۰ متر می رسد (شکل ۳-۹). شیل های سیاه دارای لایه بندی و لامیناسیون بوده و غنی از کانی های سولفیدی هستند که به موازات لایه بندی شیل ها جای گرفته اند. بخش عمده ماده معدنی در درون شیل های سیاه و گدازه های داسیتی دیده می شود (شکل ۳-۱۰). در این واحد در اثر اکسید شدن کانه های سولفیدی اکسیدهای آهن، ژئپس و مالاکیت در سطح مشاهده می شوند. از نظر کانی شناسی در این واحد کوارتز، رگه- رگچه های کلسیتی و سریسیتی دیده می شود. مرز واحدهای



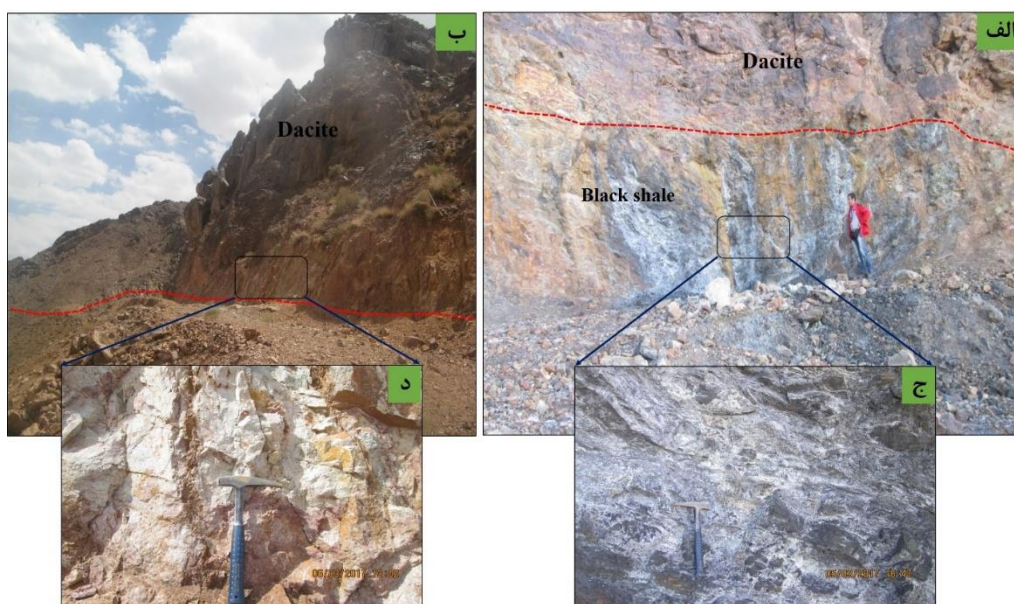
داسیتی با شیل‌های سیاه به صورت پپریتی (peperitic) است بطوری که قطعات برشی از جنس داسیت در داخل شیل ها و بالعکس مشاهده می‌شود که نشانه نفوذ واحد داسیتی در شیل‌ها در زمان رسوبگذاری و زیر آب دریا می‌باشد (شکل ۳-۱۱). از نظر دگرسانی این زیر واحد، شدیداً تحت تاثیر سیالات داغ قرار گرفته و دچار دگرسانی کربناته-سریسیتی-سیلیسی شده است.

### ۳-۲-۲-۳ گدازه‌های داسیت

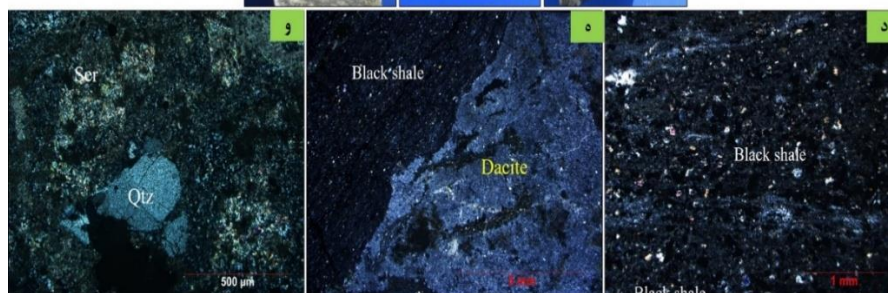
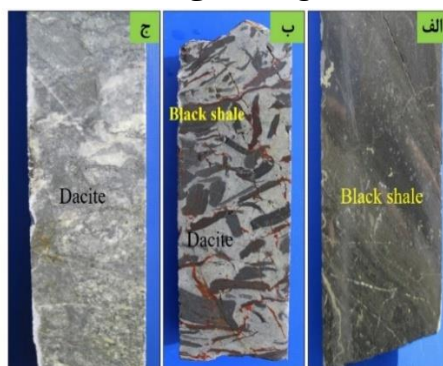
رنگ این واحد در سطوح تازه به رنگ روشن و در بخش‌های هوازده دارای جلای ورنی است، و در ضمن رنگ سطح هوازدهی این واحد بدلیل حضور کانی‌های سولفیدی در امتداد درزه و شکستگی‌ها، به رنگ قهوه‌ای تیره می‌باشد. این واحد آتشفشانی همچنین دارای روند ساختاری شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد که به صورت دو واحد گدازه‌ای در داخل واحد شیلی شیه وجود دارد و مرز آنها به صورت پپریتی (peperitic) است (شکل ۳-۱۰). گدازه‌های داسیتی دارای کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات، سرسیت و کربنات هستند و بافت پورفیری در آنها قابل مشاهده است. بلورهای پلاژیوکلاز در اثر دگرسانی به بلورهای سریسیت تبدیل شده‌اند (شکل ۳-۱۱).



شکل ۳-۹- تصویر صحرایی از توالی آتشفشانی-رسوبی سنگ‌های میزبان افقی‌های کانه‌زایی مس در کانسار نه‌کوهی و انطباق آن با ستون چینه‌شناسی کانسار.



شکل ۳-۱۰- تصاویر صحرایی از سنگهای توالی میزبان کانسار نه کوهی: الف و ب) تصویر از واحد های داسیتی و شیلی سنگ میزبان کانسار (دید به سمت غرب)، ج و د) نمائی نزدیک از شیل های سیاه و گدازه های داسیتی.



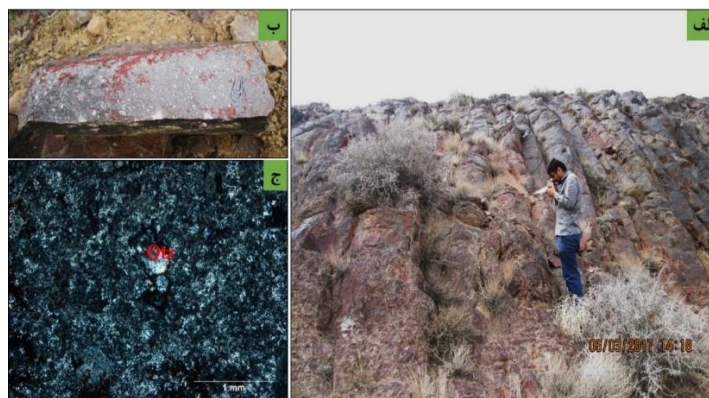
شکل ۳-۱۱- تصاویر مغزه-های حفاری و مقاطع میکروسکوپی س نگاهی توالی میزبان الف) شیل سیاه ، ب) نمونه مغزه حفاری نشان دهنده قطعات برشی شیل در واحد داسیت، ج) نمونه مغزه حفاری از واحد داسیت، د) نمایی میکروسکوپی از واحد شیلی، ه) مقطع میکروسکوپی از قطعات شیل در داخل واحد داسیت، و) مقطع میکروسکوپی از داسیت با بافت پورفیری و آثار دگرسانی سربستی (ser) در آن.

### ۳-۲-۳-۳- شیل قرمز

این واحد مشتمل بر شیل‌های قرمز تا ارغوانی رنگ متورق است، که در زیر گدازه‌های داسیتی قرار گرفته است و ضخامت این واحد تقریباً ۱۰ تا ۱۵ متر می‌باشد. روند ساختاری این واحد مانند واحدهای سنگی همجوار، شمال غرب- جنوب شرق است. در این واحد آثاری از کانه‌زایی مشاهده نمی‌شود (شکل ۳-۱۳).

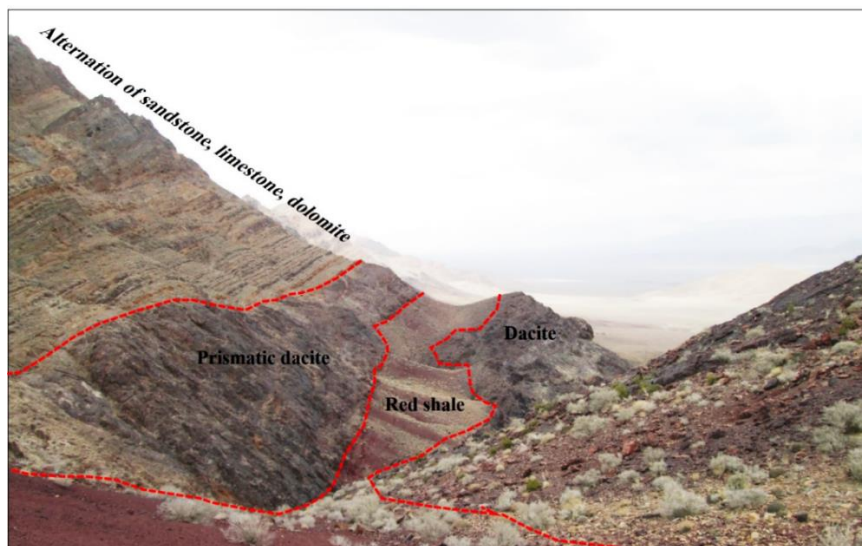
### ۳-۲-۳-۴- داسیت منشوری

داسیت‌های منشوری در منطقه مورد مطالعه در صحرا به رنگ تیره تا خاکستری دیده می‌شود. این واحد آتشفشانی همچنین دارای روند ساختاری شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد. ضخامت این واحد حدود ۱۰۰ متر و با توپوگرافی خشن گسترش دارد. مهم‌ترین ویژگی این واحد آتشفشانی، حالت منشوری بودن آن می‌باشد که این واحد آتشفشانی را از سایر واحدهای آتشفشانی رسوبی در منطقه متمایز می‌کند. این گدازه‌های آتشفشانی از لحاظ موقعیت چینه‌ای در واحد ۳ توالی آتشفشانی- رسوبی قرار دارند. از نظر کانی‌شناسی در مقاطع میکروسکوپی گدازه‌های داسیتی دارای کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات و سرسیت هستند و بافت پورفیری در آنها قابل مشاهده است. بلورهای پلاژیوکلاز در اثر دگرسانی به بلورهای سرسیت تبدیل شده‌اند (شکل ۳-۱۲).



شکل ۳-۱۲- الف) نمایی از داسیت‌های منشوری در منطقه مورد مطالعه که به خوبی حالت منشوری بودن نمایان است، ب) تصویر نمونه دستی از سنگ داسیت با بافت پورفیری، ج) تصویر میکروسکوپی از نمونه داسیت دارای کانی‌های کوارتز، فلدسپات و سرسیت.





شکل ۳-۱۳- نمائی از توالی آتشفشانی- رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شمال).

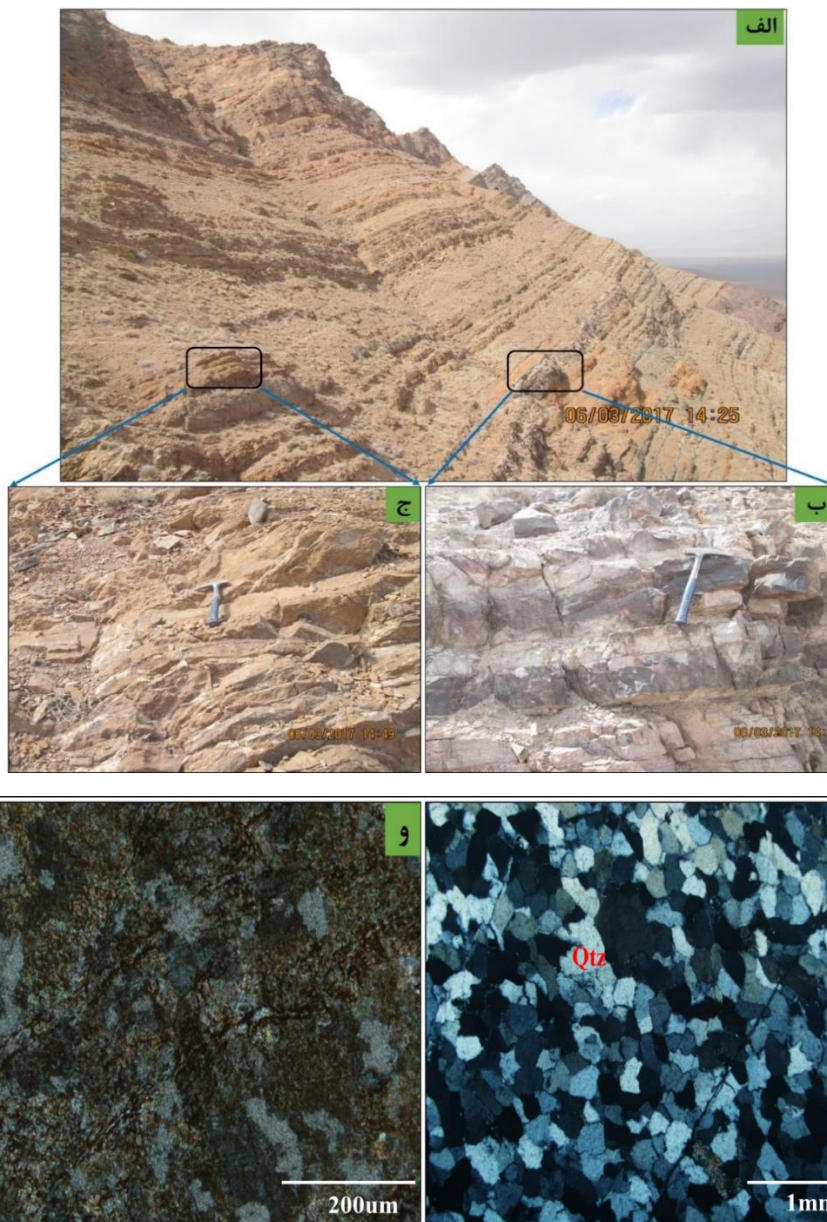
### ۳-۲-۴-۱- ماسه سنگ خاکستری روشن

تناوب سنگ های تخریبی شامل ماسه سنگ، دولومیت و سنگ های آهک در بالای توالی آتشفشانی- رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین قرار گرفته اند ماسه سنگ ها به صورت باندهایی خاکستری روشن به همراه سنگ آهک های قهوه ای تا کرم رنگ دیده می شوند (شکل ۳-۱۳). ماسه سنگ ها بیشتر از قطعات تخریبی با کانی شناسی کوارتز، فلدسپات، موسکویت، سرسیت و اکسیدهای آهن تشکیل شده اند (شکل ۹ ه). کانی اصلی تشکیل دهنده این سنگ بلورهای ریز کوارتز است و دارای گرد شدگی بد تا متوسط و جورشدگی خوبی دارند (شکل ۹ ه). بطور عمده این سنگ فاقد زمینه است و بلورهای کوارتز دارای رابطه مستقیم با یکدیگر هستند. در مواردی فضای میان بلورهای کوارتز را کانی های اوپک، سرسیت و به ندرت سیلیس ثانوی پر کرده است. این نوع ماسه سنگ با عنوان کوارتز آرنایت نامگذاری می شود (شکل ۳-۱۴).

### ۳-۲-۴-۲- سنگ آهک دولومیتی شده

این واحد کربناته دارای رنگ رخساره قهوه ای تا کرم رنگ است که بر اثر پدیده دولومیتی شدن به دولومیت تبدیل شده است، و نیز به صورت متناوب با واحد ماسه سنگی بر روی توالی آتشفشانی- رسوبی رخنمون

دارد و دارای مرز تدریجی می‌باشد. مورفولوژی نسبتاً مرتفع و خشن دارد. ضخامت این واحد تخریبی تا ۲۰۰ متر می‌رسد (شکل ۳-۱۳ و ۳-۱۴).



شکل ۳-۱۴- الف) تصویر صحرایی که نمائی از تناوب سنگ های تخریبی شامل ماسه سنگ، دولومیت و سنگ های آهک را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. ب) نمائی نزدیک از واحد ماسه سنگ، ج) نمائی نزدیک از زیر واحد آهک دولومیتی شده، د) تصویر میکروسکوپی از نمونه ماسه سنگی که اساس ترکیب کانی‌شناسی آن از کوارتز تشکیل شده‌است، و) تصویر میکروسکوپی از آهک دولومیتی شده

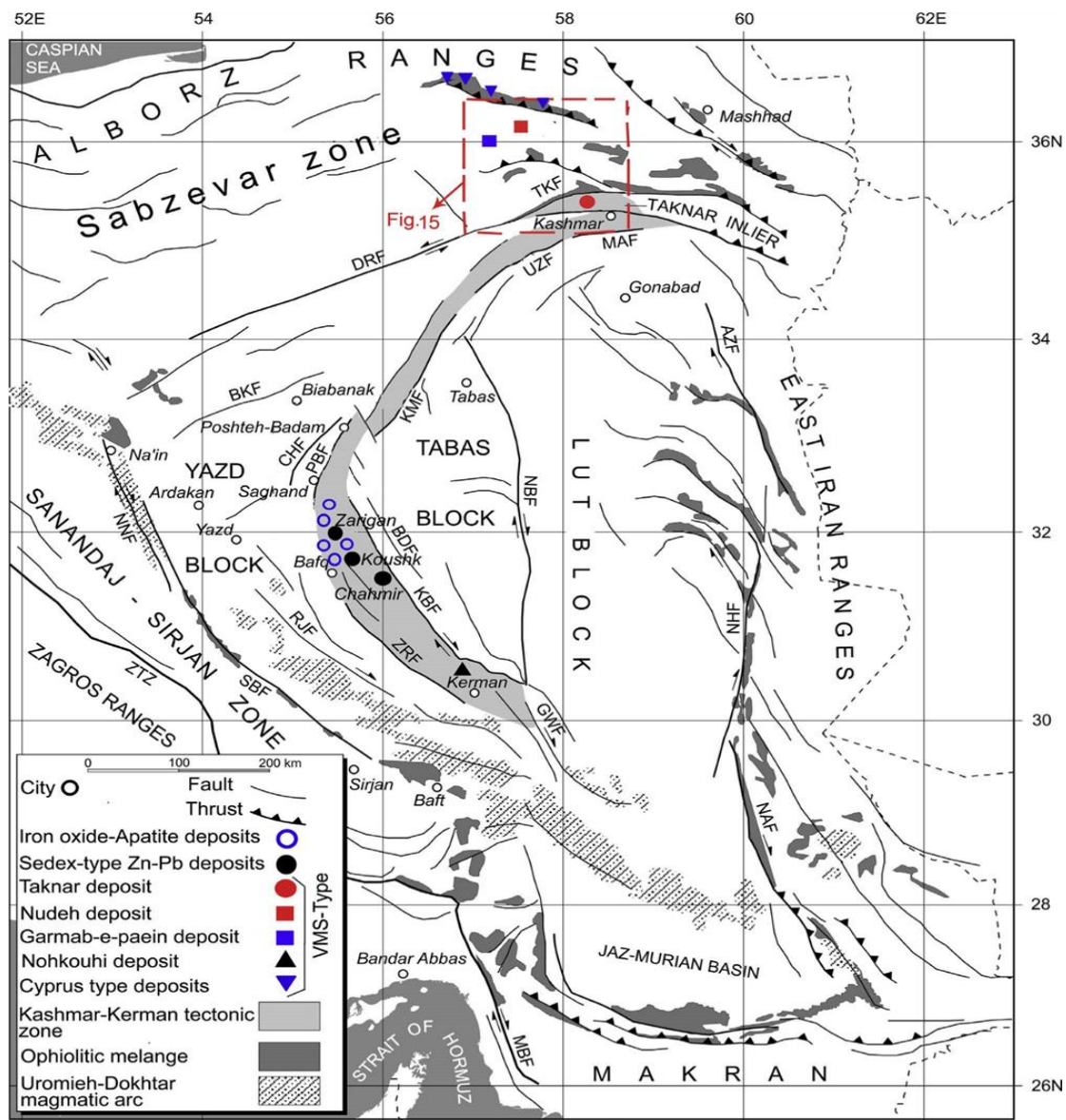
## فصل چهارم:

# کانه‌زایی و دگرسانی

#### ۴-۱- مقدمه

دو اصل مهم در هر مطالعه زمین‌شناسی مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی می‌باشد. شکل‌گیری ذخایر و ارتباط آنها با فرایندهای زمین‌ساختی راهنمای ارزشمندی برای کشف ذخایر جدید و یا ارزیابی مجدد ذخایر می‌باشد. لذا طی بازدیدهای انجام گرفته در منطقه، پهنه‌های کانه‌زایی به همراه دگرسانی‌ها مورد مطالعه قرار گرفت در این فصل به تحلیل کانه‌زایی و بررسی انواع دگرسانی در کانسار نه‌کوهی پرداخته شده‌است.

مطالعاتی که در چندسال اخیر توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و شرکت‌های معدنی و همچنین محققین دانشگاهی صورت گرفته است، منجر به شناسایی و بازنگری رخدادهای متنوعی از کانه‌زایی فلزات پایه در این ناحیه گردیده است. کانسار مس نه‌کوهی اولین کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) در بلوک پشت‌بادام است که در توالی آتشفشانی- رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین گزارش شده است. البته پیشتر، چندین کانسار سرب و روی SEDEX از قبیل کوشک، چاه‌میر و زریگان با این سن در این بلوک معرفی گردیده‌است (Rajabi et al., 2012; Rajabi et al., 2015) (شکل ۴-۱).

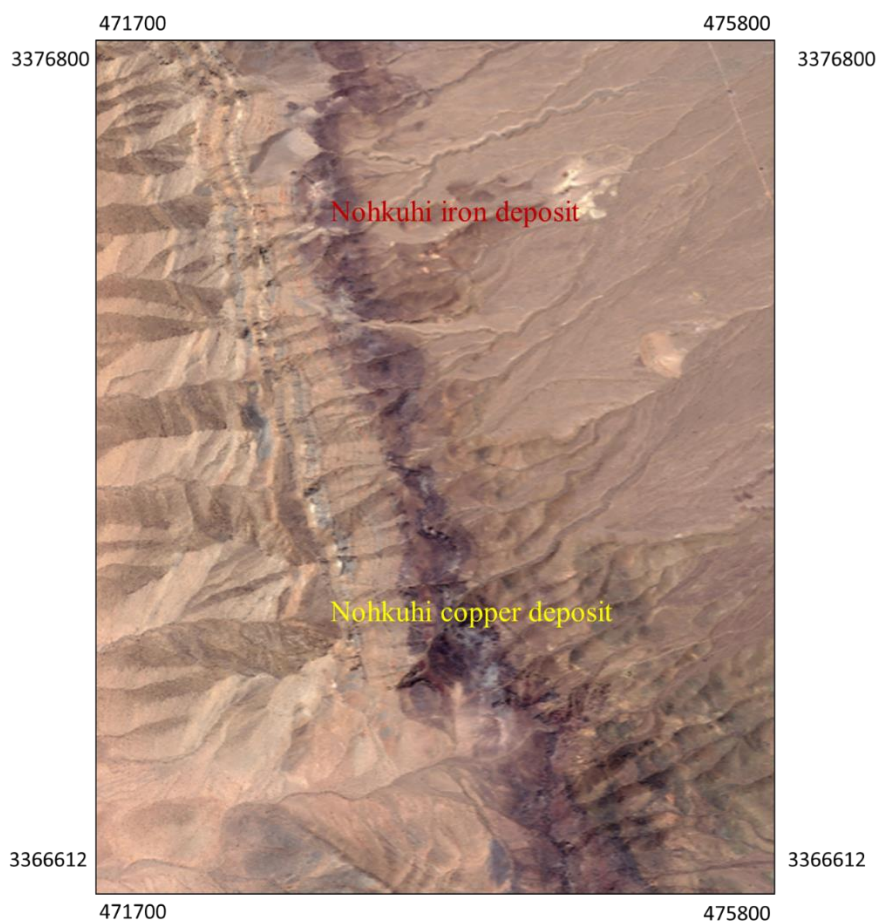


شکل ۴-۱- موقعیت کانسار مس VMS نه کوهی و کانسارهای سرب و روی SEDEX کوشک، چاهمیر و زیرگان در بلوک پشت بادام (Ramezani and Tucker, 2003).



#### ۲-۴- رخداد کان‌زایی در منطقه نه‌کوهی

بررسی‌های صورت گرفته در منطقه نه‌کوهی حاکی از وجود کانسارهای مس و آهن در این منطقه است که دارای جایگاه چینه‌شناسی مشخص می‌باشند (شکل ۲-۴). کانسار آهن نه‌کوهی در توالی آتشفشانی- رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین رخ داده است. قدیمی‌ترین واحدهای رخنمون یافته شامل تناوبی از شیل، ماسه‌سنگ، سنگ آهک و سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب داسیت می‌باشد.



شکل ۲-۴- موقعیت کانسار مس نه‌کوهی و آهن نه‌کوهی در توالی آتشفشانی- رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین.

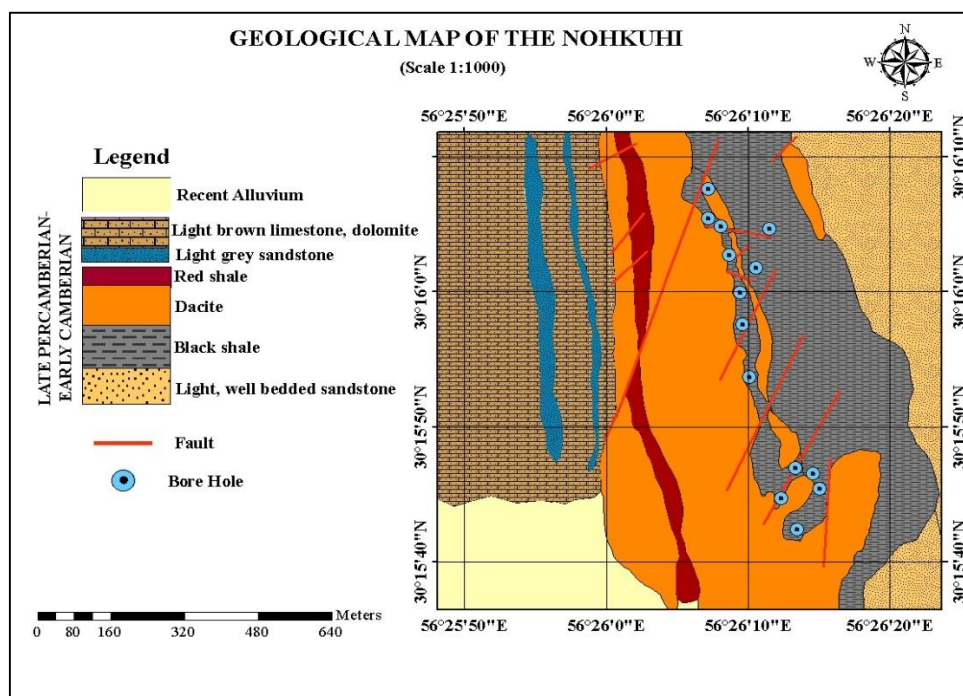
| Age                                | Symbol | Lithology                                                                                | Ore- bearing horizons                          |
|------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| LATE PERCAMBERIAN- EARLY CAMBERIAN | U.4    | Light grey sandstone<br>Light brown limestone, dolomite<br>Prismatic dacite<br>Red shale |                                                |
|                                    | UNIT3  | Dacite<br>Black shale                                                                    | OH-5<br>OH-4 <b>Nohkuhi Cu deposit</b><br>OH-3 |
|                                    | UNIT2  | Light, well bedded sandstone                                                             |                                                |
|                                    | UNIT1  | Fe- Mn Exhalite<br>Green Tuff<br>Fossiliferous limestone<br>Drak grey sandstone          | OH-2<br>OH-1                                   |
|                                    |        | 100 m                                                                                    |                                                |

شکل ۴-۳- نمایی از توالی میزبان کانه‌زایی مس در منطقه نه‌کوهی و موقعیت افق‌های کانه‌دار در آن.

#### ۴-۳- ویژگی‌های کانه‌زایی مس در کانسار مس نه‌کوهی، افق و رخساره‌های کانه‌دار

در منطقه مورد مطالعه تونل‌هایی از فعالیت معدنکاری قدیمی در مرز واحد شیل و داسیت وجود دارد (شکل ۴-۵). کانه‌زایی سولفیدی مس در سنگ‌های آتشفشانی داسیتی و شیل‌های سیاه رخ داده‌است. در طی اکتشافات تفصیلی، در مجموع ۱۹ گمانه در محدوده نه‌کوهی حفاری شده‌است. حفاری‌های انجام‌شده بر روی نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰ تهیه شده از منطقه مورد مطالعه مشخص شده‌اند، مشاهده می‌شود (شکل ۴-۴ و ۴-۶). مشخصات گمانه‌های حفرشده در جدول آورده شده‌است (جدول ۴-۱). در کانسار مورد مطالعه در ۵ افق کانه‌زایی متفاوت تشکیل شده است که مهمترین افق کانه‌زایی در واحد ۳ توالی آتشفشانی- رسوبی رخ داده‌است.

دو افق کانه‌زایی به صورت رسوبات برون‌دیمی نواری غنی از آهن و منگنز در واحد ۱ چینه‌شناسی کانسار رخ داده و در واحد ۳ چینه‌ای که میزبان کانه‌زایی مس نه‌کوهی است سه افق معدنی دیگر که غنی از مس هستند تشکیل شده‌اند (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۴- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مورد مطالعه در مقیاس ۱:۱۰۰۰ و موقعیت گمانه‌های حفاری شده.



شکل ۴-۵- تصویر صحرایی از آثار معدن کاری قدیمی در مرز واحد شیل و داسیت.



جدول ۴-۱- مشخصات گمانه‌های حفر شده در منطقه نه‌کوهی

| گمانه | مختصات |         |         | متر از (متر) | شیب | امتداد |
|-------|--------|---------|---------|--------------|-----|--------|
|       | X      | Y       | Z       |              |     |        |
| NKH01 | 474441 | 3368976 | 2184.6  | 147          | 85  | N98    |
| NKH02 | 474526 | 3368705 | 2200.53 | 160          | 80  | N160   |
| NKH03 | 474503 | 3368747 | 2192.64 | 161          | 85  | N60    |
| NKH04 | 474498 | 3368790 | 2184.67 | 140          | 80  | N90    |
| NKH05 | 474590 | 3368838 | 2197    | 113          | 85  | N40    |
| NKH08 | 474458 | 3368881 | 2184    | 29           | 85  | N75    |
| NKH09 | 474458 | 3368881 | 2184    | 76           | 85  | N30    |
| NKH10 | 474449 | 3368925 | 2188    | 191          | 85  | N90    |
| NKH11 | 474441 | 3368950 | 2169    | 179          | 85  | N90    |
| NKH12 | 474484 | 3368672 | 2159    | 51           | 75  | N282   |
| NKH13 | 474484 | 3368672 | 2159    | 50.6         | 90  | -      |
| NKH14 | 474503 | 3368928 | 2156    | 95.5         | 85  | N275   |
| NKH15 | 474505 | 3368888 | 2157.86 | 80           | 90  | -      |
| NKH16 | 474568 | 3368717 | 2171    | 115          | 85  | N281   |
| NKH17 | 474558 | 3368685 | 2211    | 100.5        | 60  | N290   |
| NKH18 | 474505 | 3368888 | 2166    | 31.4         | 60  | N280   |
| NKH19 | 474570 | 3368752 | 2160    | 81           | 60  | N260   |

#### ۴-۳-۱- شکل هندسی ماده معدنی

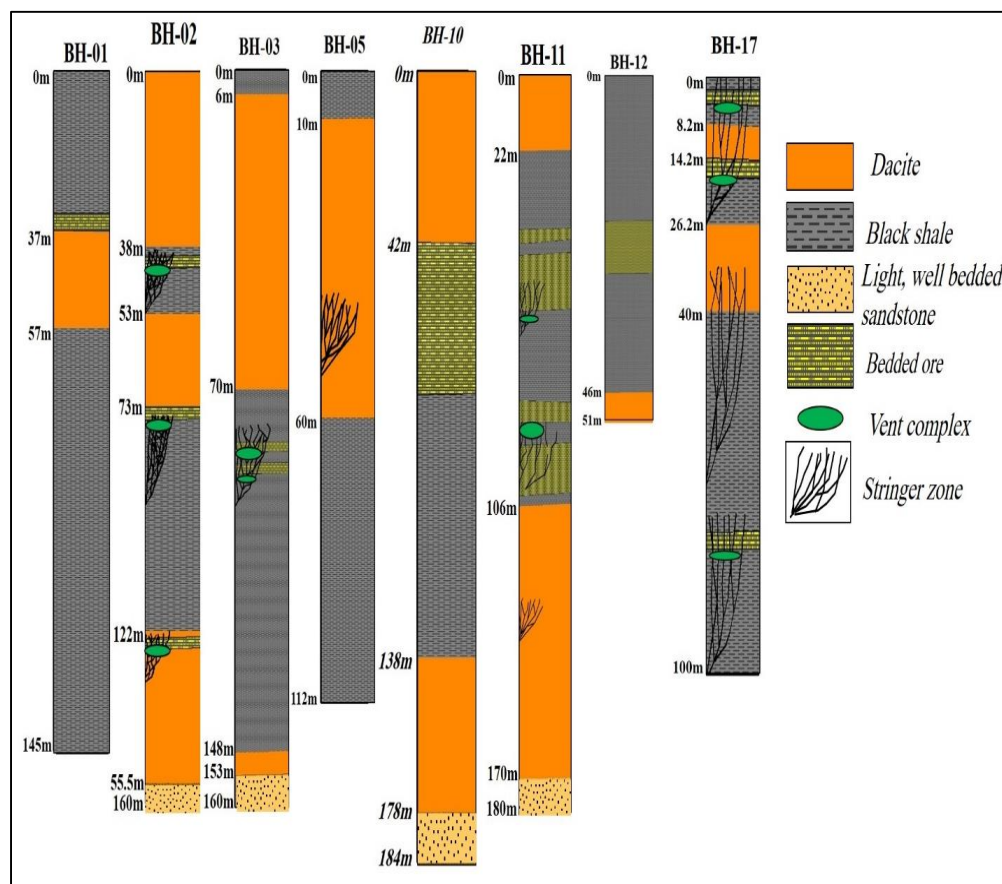
براساس مشاهدات صحرایی و بافتی، شکل هندسی ماده معدنی در کانسار مورد مطالعه بصورت چینه‌سان (لایه‌ای) و همخوان و همروند با لایه‌بندی سنگ‌های درونگیر تشکیل شده‌است که در زیر آنها پهنه کانه‌دار برشی و رگه - رگچه‌ای که در مجموع به صورت قطع کننده و چینه‌کران هستند، نیز دیده می‌شود (شکل ۴-۸). بر اساس مطالعات ساخت و بافت و کانی شناسی و نوع ارتباط ماده معدنی با سنگ میزبان، می‌توان ۴ رخساره کانه‌دار در کانسار مس نه‌کوهی تشخیص داد، که عبارتند از: (جدول ۴-۲):

(۱) رخساره رگه- رگچه‌ای یا پهنه استرینگر

(۲) مجموعه دهانه‌ای

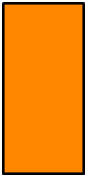
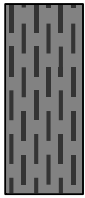
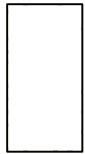
(۳) رخساره کانسنگ لایه‌ای

(۴) واحد رسوبی-بروندمی نواری غنی از آهن و منگنز



شکل ۴-۶- موقعیت رخساره‌های کاننده در مغزه‌های حفاری

جدول ۴-۲- مشخصات لیتولوژی و کانه‌زایی هریک از واحدها براساس عمق.

| تصاویر<br>تغییرات<br>لیتولوژیکی و<br>کانه‌زایی در<br>عمق‌های<br>مختلف | ساخت و بافت<br>ماده معدنی                             | باطله و<br>کانی‌های<br>فرعی | ماده معدنی                              | رخساره‌های<br>کانه‌دار                                       | دگرسانی                       | سنگ میزبان      | راه‌نما                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| مراجعه با<br>شکل                                                      | رگه- رگچه‌ای،<br>جانشینی، دانه<br>پراکنده             | پیریت،<br>کلسیت،<br>باریت   | کالکوپیریت،<br>مقدار کمی<br>اسفالریت    | رگه- رگچه‌ای                                                 | کربناته-<br>سربستی-<br>سیلیسی | گدازه<br>داسیتی |    |
| مراجعه با<br>شکل                                                      | نواری، لامینه، دانه<br>پراکنده، برشی،<br>رگه- رگچه‌ای | پیریت                       | مقدار کمی<br>اسفالریت                   | رخساره کانسنگ<br>لایه‌ای، مجموعه<br>دهانه‌ای، رگه<br>رگچه‌ای | کربناته-<br>سربستی-<br>سیلیسی | شیل سیاه        |   |
| مراجعه با<br>شکل                                                      | رگه- رگچه‌ای،<br>دانه پراکنده                         | باریت،<br>پیریت             | آثاری از کانه-<br>زایی مشاهده<br>نگردید | رگه- رگچه‌ای                                                 | کلریتی                        | ماسه سنگ        |  |

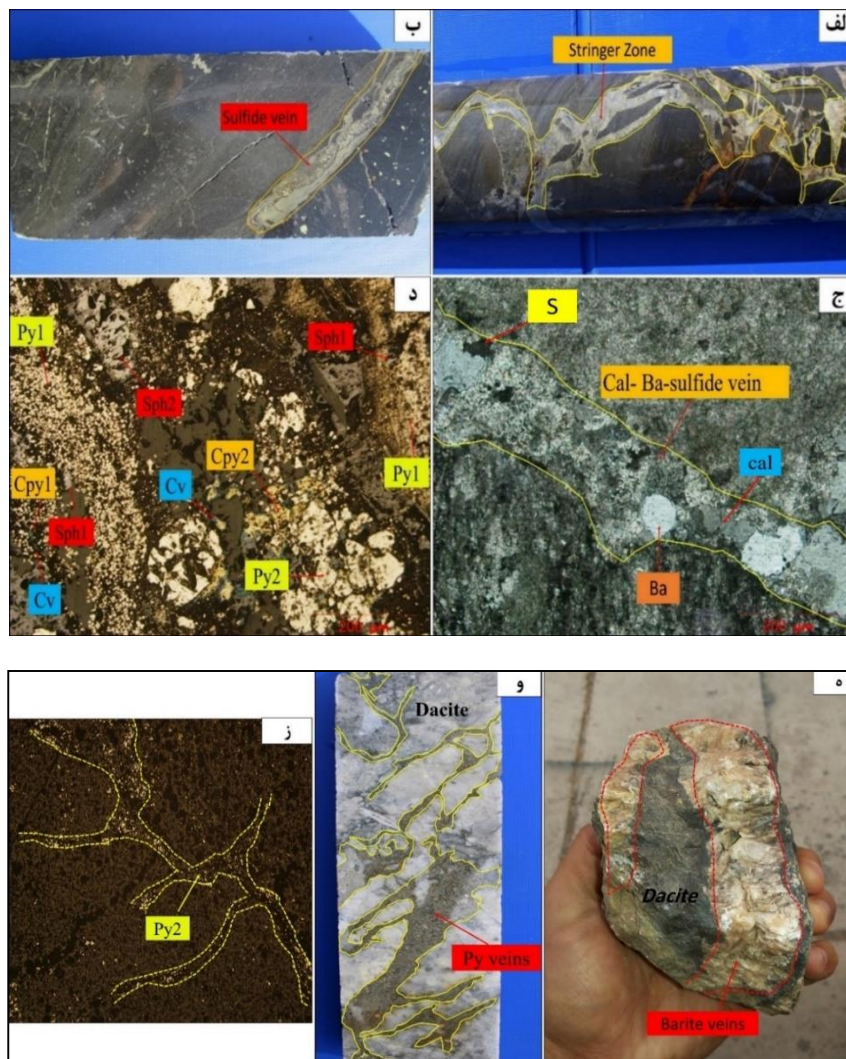
#### ۴-۳-۲- رخساره‌های کانه‌دار کانسنگی

بر اساس ساخت و بافت و کانی‌شناسی چهار رخساره کانسنگی در کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد مس

نه‌کوهی قابل تشخیص است که عبارتند از:

#### ۴-۳-۲-۱- رخساره رگه - رگچه‌ای (Stringer zone)

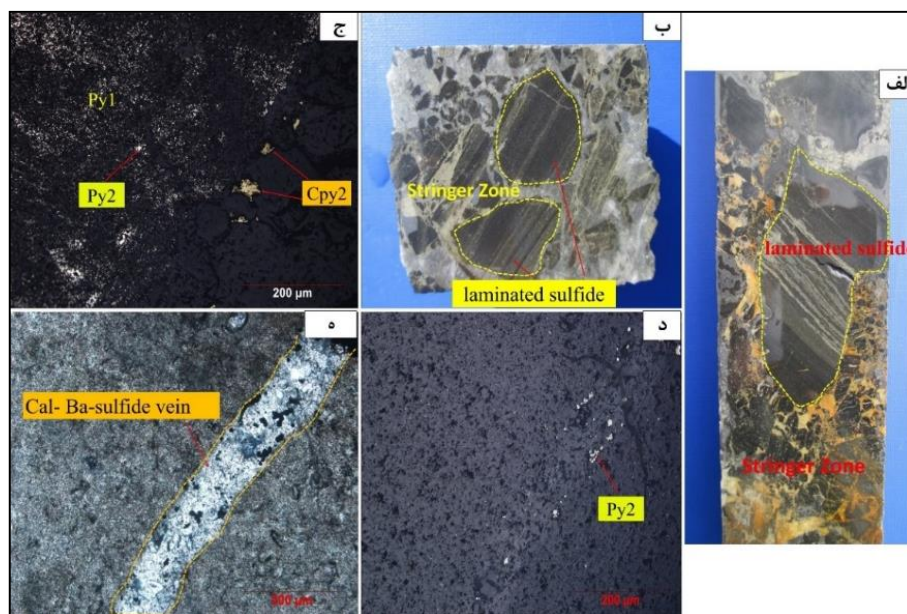
این رخساره به صورت شبکه‌ای از رگه- رگچه‌های کانه‌دار که سنگ‌های میزبان شیلی و داسیتی (گاه‌ا رخساره کانسنگ لایه‌ای) را قطع می‌کند دیده می‌شود. شبکه رگه- رگچه‌ای به صورت نامنظم بوده و حاکی از عبور سیال کانه‌دار می‌باشد و متشکل از کانی‌های پیریت نسل اول و دوم ( $Py_1$ )، ( $Py_2$ )، کالکوپیریت نسل اول و دوم ( $Cpy_1$ ) و ( $Cpy_2$ )، اسفالریت نسل اول و دوم ( $Sph_1$ ) و ( $Sph_2$ )، باریت و کلسیت می‌باشد. کولیت و دیژنیت در طی مراحل سوپرژن و در اثر جانشینی سولفیدهای اولیه در اطراف کالکوپیریت ایجاد شده است (شکل ۴-۹). بر اساس مطالعات کانه‌نگاری پیریت‌های نسل اول در این رخساره ریزدانه و بصورت کلوفرمی می‌باشد. پیریت نسل دوم درشت بلورتر بوده و اندازه ذرات آنها از چند میکرون تا ۳ میلی‌متر می‌رسد. پیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی در کانسار نه‌کوهی می‌باشد. کالکوپیریت مهم‌ترین کانی سولفیدی مس است که در رخساره استرینگر و بصورت دو نسل مشاهده می‌شود. کالکوپیریت‌های نسل دوم ( $Cpy_2$ ) از لحاظ اندازه بسیار درشت بلورتر نسبت به کالکوپیریت‌های نسل اول ( $Cpy_1$ ) می‌باشد. همچنین اسفالریت‌های نسل اول ( $Sph_1$ ) و اسفالریت‌های نسل دوم ( $Sph_2$ )، نیز در این رخساره دیده می‌شود که اسفالریت‌های نسل دوم درشت‌تر هستند. اسفالریت نسبت به پیریت و کالکوپیریت در کانسار مورد مطالعه فراوانی کمتر دارد. باریت در رخساره رگه- رگچه‌ای به میزان بالایی مشاهده می‌شود و بصورت رگه‌های استرینگر باریتی واحد داسیتی و شیلی منطقه را قطع کرده است (شکل ۴-۹). این رخساره در کانسار مس نه‌کوهی دارای گسترش بالایی می‌باشد و همچنین این رخساره در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد نظیر بوانات (موسیوند و همکاران، ۱۳۹۵)، نوده (Maghfouri et al., 2016; 2018)، گرماب پایین (طاشی و همکاران، ۱۳۹۶) نیز دیده می‌شود.



شکل ۴-۷- الف) نمائی از رخساره استرینگر در مغزه حفاری که رگه- رگچه‌های کلسیتی (Ca)- باریتی (Ba) و سولفیدی (S) سنگ میزبان را در جهات مختلف قطع کرده‌است، ب) مغزه حفاری از رخساره رگه- رگچه‌ای (Stringer zone) که دارای بافت رگه‌ای و دانه‌پراکنده سولفیدی در سنگ میزبان شیلی می‌باشد، ج) تصویر میکروسکوپی نشان دهنده رگه کلسیتی (Ca)- باریتی (Ba) و سولفیدی (S) در رخساره استرینگر، د) تصویر میکروسکوپی از رخساره استرینگر که کانی‌های اولیه Py1, Py2, Cpy1, Cpy2, Sph1, Sph2 و ثانویه Cv قابل مشاهده‌است، ه) نمونه دستی از رخساره استرینگر و رگه‌های باریتی قطع کننده سنگ میزبان داسیتی، و) رخساره استرینگر که حاوی بافت رگه- رگچه‌های سولفیدی (غالباً پیریتی) در سنگ میزبان داسیتی می‌باشد، ز) تصویر میکروسکوپی از شبکه رگه- رگچه‌ای پیریتی در رخساره استرینگر.

#### ۴-۳-۲- رخساره مجموعه دهانه‌ای (Vent complex)

رخساره مجموعه دهانه‌ای در میان رخساره‌های لایه‌ای- نواری و استرینگر قرار دارد و شامل پیریت ( $Py_2$ )، کالکوپیریت ( $Cpy$ )، اسفالریت ( $Sph_2$ )، باریت و کلسیت است. در این رخساره بافت های رگه- رگچه‌ای، توده‌ای- نیمه توده‌ای و دانه‌پراکنده بیشتر مشاهده می‌شوند (شکل ۴-۱۰). بافت برشی سولفیدها به همراه قطعات سنگ میزبان در رخساره توده‌ای و رگه- رگچه‌ای کانسارهای سولفیدی در ارتباط مستقیم با فعالیت گسل همزمان با رسوبگذاری و فعالیت گرمایی است (Maghfouri et al., 2016 ; Rajabi et al., 2015). توزیع کانسارهای VMS به توزیع گسل های هم زمان با آتشفشان و توده نفوذی زیر آن بستگی دارد. این گسل‌ها سیالات گرمایی فلزدار، دمابالا و اسیدی را برای تشکیل کانسارهای VMS به سمت کف دریا هدایت می‌کنند (Galley et al., 2007).

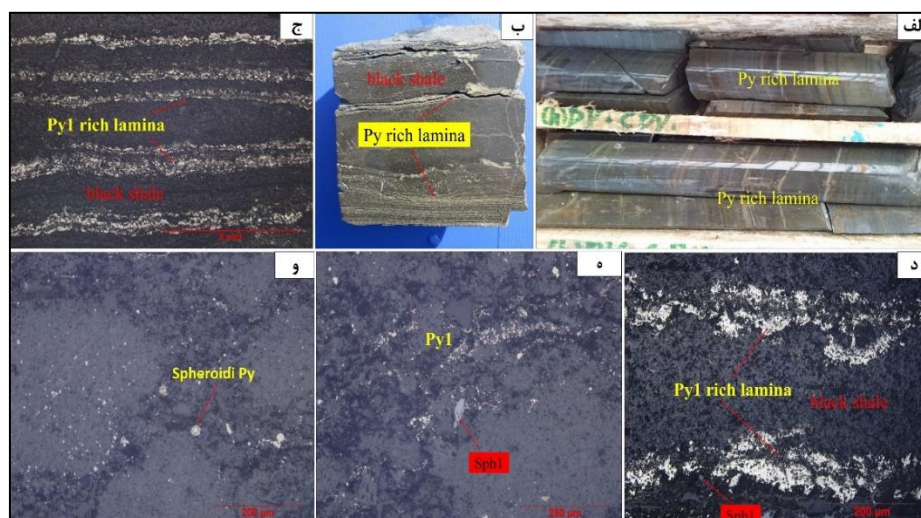


شکل ۴-۸- الف، ب) رخساره مجموعه دهانه‌ای که حاوی قطعات رخساره لایه‌ای در زمینه‌ای از کانی‌های سولفیدی و کربناتی می‌باشد. ج) تصویر میکروسکوپی از رخساره مجموعه دهانه‌ای، که سولفیدهای زمینه شامل کالکوپیریت ( $Cpy_2$ )، پیریت ( $Py_1$ ) و پیریت ( $Py_2$ ) می‌باشد. د و ه) ج) تصاویر میکروسکوپی (د: نور انعکاسی، ه: نور عبوری) که نشان دهنده رگه کلسیتی- باریتی و سولفیدی در رخساره مجموعه دهانه‌ای است.

#### ۴-۳-۲-۳- رخساره کانسنگ لایه‌ای (Bedded ore)

این رخساره شامل لایه‌ها و لامینه‌های سولفیدی است که ناشی از ته‌نشینی همزمان کانی‌های سولفیدی با ذرات تشکیل دهنده سنگ میزبان شیلی در کف دریا است (Devine et al., 2002). همچنین ته‌نشست سولفیدها به صورت پراکنده در کنارهم و تشکیل لایه‌های غنی از پیریت، نشان از افزایش شرایط رسوبگذاری در یک محیط آرام و ته‌نشست سولفیدها در یک محیط رسوبی پایدار می‌باشد. پیریت‌های نسل اول ( $Py_1$ )، کانی اصلی این رخساره بوده و عموماً بصورت ریز دانه و شکل‌دار و با اندازه بین ۵ میکرون تا ۳۰ میکرون دیده می‌شوند. همچنین اسفالریت نسل اول ( $Sph_1$ )، همراه با لامینه‌های پیریتی دیده می‌شود و دارای مقدار کمتری هستند (شکل ۴-۱۱). سولفیدها در این رخساره بیشتر دارای بافت لامینه، نواری، دانه-پراکنده، فرامبوئیدال و اسفروئیدی هستند (شکل ۴-۱۱). وجود لامینه‌های سولفیدی در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد منطقه چاه گز (موسیوند و همکاران، ۱۳۹۰)، کانسار بوانات (موسیوند و همکاران، ۱۳۹۵)، کانسار نوده (Maghfouri et al., 2016; 2018) و کانسار گرماب پایین (طاشی و همکاران، ۱۳۹۶) نیز گزارش شده است.





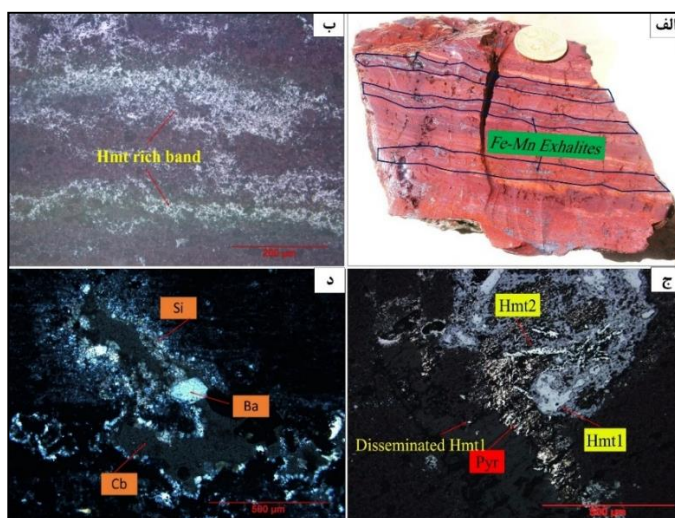
شکل ۴-۹- الف وب) تصاویری از مغزه‌های حفاری رخساره لایه‌ای که نشان دهنده تناوب لامینه‌های سولفیدی با سنگ میزبان شیلی می‌باشد، ج) تصویر میکروسکوپی از تناوب لامینه‌های پیریتی با سنگ میزبان شیلی، د) همراهی پیریت ( $Py_1$ ) با اسفالریت ( $Sph_1$ ) در رخساره کانسنگ لایه‌ای، ه) تصویر میکروسکوپی از پیریت‌های دانه‌ریز نسل اول ( $Py_1$ ) و اسفالریت نسل اول ( $Sph_1$ ) در رخساره کانسنگ لایه‌ای، و) بافت پیریت اسفروئیدی ( $Py_1$ ) و پیریت‌های دانه‌پراکنده در رخساره کانسنگ لایه‌ای.

#### ۴-۳-۲-۴- رخساره واحد رسوبی- برون‌دیمی نواری غنی از آهن و منگنز

(Fe-Mn es exhalit)

این رخساره در شرق کانسار و در توالی چین‌شناسی میزبان کانسارگسترش یافته است. این رخساره در کانسار مس نه‌کوهی گسترش زیادی دارد و رخنمون آن تا طول آن ۹۰ متر و ضخامت آن تا ۶۵ متر می‌رسد. بر اساس مطالعات میکروسکوپی کانه‌های تشکیل‌دهنده این رخساره شامل هماتیت اولیه، پیرولولزیت، باریت، کربنات و کوارتز می‌باشد. در این رخساره دو نسل هماتیت که شامل هماتیت‌های نسل اول ( $Hmt_1$ ) و هماتیت‌های نسل دوم ( $Hmt_2$ ) می‌باشند مشاهده می‌شود که هماتیت‌های نسل دوم حاصل تبلور هماتیت-های نسل اول می‌باشند (شکل ۴-۱۲).





شکل ۴-۱۰- الف) رخساره رسوبی- بروندمی حاوی نوارها و لایینه‌های غنی از هماتیت و منگنز، ب) تصویر میکروسکوپی از لایینه‌های غنی از هماتیت در رخساره بروندمی، ج) تصویر میکروسکوپی از هماتیت نسل اول ( $Hmt_1$ ) با بافت توده‌ای، هماتیت‌های نسل دوم ( $Hmt_2$ ) با بافت رگه- رگچه‌ای و پیرولولوزیت (Pyr) با بافت رگه- رگچه‌ای در رخساره بروندمی، د) رگه‌های کربناته- باریتی- سیلیسی در رخساره بروندمی.

#### ۴-۳-۳- افق‌های کانهدار

بر اساس مطالعات صحرایی و بررسی و مطالعه مغزه های حفاری، کاندهزایی مس در کانسار مس نه‌کوهی بصورت چینه کران (Stratabound) و چینه‌سان (Stratiform) بوده و در افق‌های متعدد رخ داده است (شکل‌های ۴، ۵، ۶ و ۷). (شکل‌های ۴ و ۵).

در زیر ویژگی‌های اساسی هریک از افق‌های کاندهزایی کانسار مس نه‌کوهی ارائه می‌گردد:

#### ۴-۳-۳-۱- افق اول (OH1)

این افق معدنی دربخش شرقی کانسار و در داخل واحد ۱ توالی آتشفشانی- رسوبی سری ریزو تشکیل شده است. سنگ میزبان آن رسوبات- بروندمی نواری غنی از آهن و منگنز است. این افق کاندهزایی گسترش زیادی

داشته و طول آن ۹۰ متر و ضخامت آن تا ۶۵ متر می رسد. بر اساس مطالعات میکروسکوپی کانه‌های تشکیل دهنده این افق شامل هماتیت اولیه، پیرولولزیت، باریت، کربنات و کوارتز می باشد.

#### ۴-۳-۳-۲- افق دوم (OH2)

این افق معدنی مشابه و همروند افق اول در واحد ۱ توالی چینه شناسی رخ داده است. همچنین گسترش طولی این افق تا ۱۲۰ متر و ضخامت آن تا ۷۰ متر می رسد. کانی شناسی این افق معدنی مشابه با افق یک بوده و به طور عمده از هماتیت، پیرولولزیت و رگه‌های دیاژنتیکی باریتی- کربناته و سیلیسی تشکیل شده است.

#### ۴-۳-۳-۳- افق سوم (OH3)

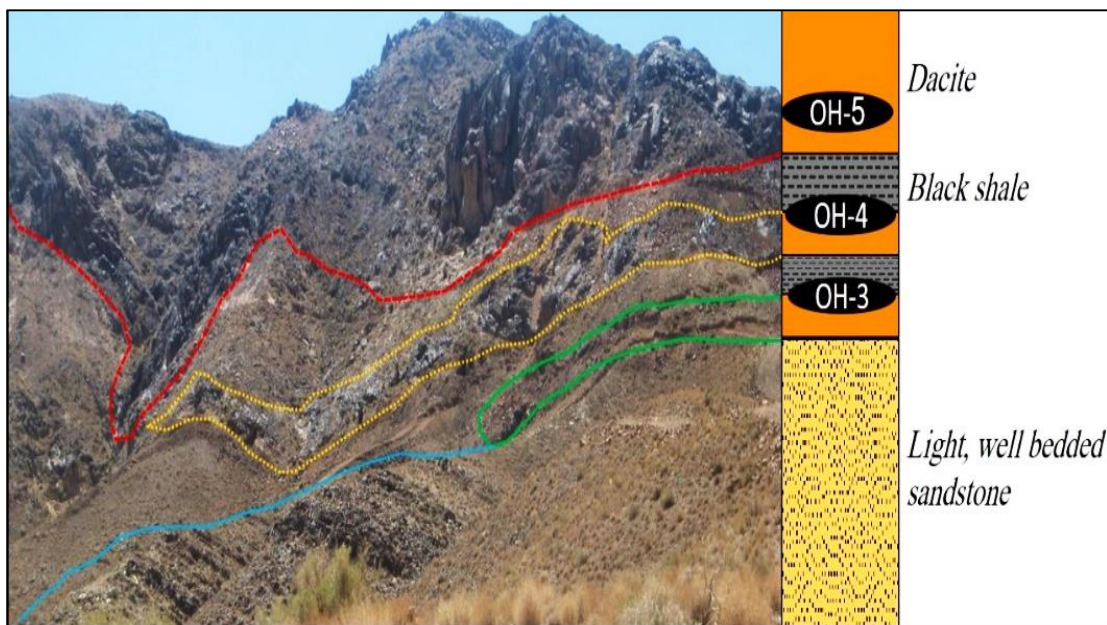
این افق کانه‌دار در واحد ۳ توالی آتشفشانی- رسوبی میزبان قابل مشاهده بوده و بیشتر کنده کاریهای قدیمی بر روی این افق کانه‌زایی در کانسار نه‌کوهی صورت گرفته است. کانه زایی در این افق دارای سنگ میزبان شیل سیاه و داسیت بوده و به صورت چینه کران و چینه‌سان، با بافت و ساختهای رگه- رگچه‌ای، برشی و لایه‌ای رخ داده است (شکل‌های ۴ و ۵ و ۶).

#### ۴-۳-۳-۴- افق چهارم (OH4)

این افق کانه‌زایی مشابه با افق سوم در واحد ۳ توالی آتشفشانی- رسوبی میزبان و در واحدهای شیلی و داسیتی تشکیل شده است. کانه‌زایی به صورت چینه کران و چینه‌سان بوده و دارای بافت و ساخت رگه- رگچه‌ای، برشی و لایه‌ای می باشد (شکل‌های ۴ و ۵ و ۶).

#### ۴-۳-۵- افق پنجم (OH5)

این افق کانه‌زایی نیز در واحد ۳ توالی چین‌های و در گدازه‌های داسیتی تشکیل شده‌است. این کانه‌زایی به صورت چین‌کران بوده و باریت مهمترین کانی تشکیل دهنده این افق بصورت رگه- رگچه ای می باشد.



شکل ۴-۱۱- نمایی از سنگ‌های میزبان افق‌های کانه‌زایی مس در کانسار نه‌کوهی

#### ۴-۴- دگرسانی

به طور کلی، هرگونه تغییر ترکیب کانی‌شناسی، شیمیایی و فیزیکی که توسط فرایندهای گرمایی، در سنگ ایجاد می‌شود، تحت عنوان دگرسانی یا آلتراسیون نامیده می‌شود. دگرسانی به طور شاخص یک فرایند شستشوی پایه می‌باشد. سنگ‌های دربرگیرنده کانسارهای گرمابی تقریباً همیشه آثار واکنشی نشان می‌دهند، که توسط نسبت کاتیون‌های فلزی به یون هیدروژن در محلول دگرسان کننده کنترل می‌شود. اگر نسبت یون‌های قلیایی به یون هیدروژن در محلول پایین باشد، فلدسپات و سایر سیلیکات‌ها نا پایدار شده و فرایند هیدرولیز روی می‌دهد که منجر به خروج کاتیون‌ها شده، در جریان این سیال‌ها و سنگ‌ها خود را

با شرایط جدید تطبیق می‌دهند که دگرسانی سنگ دیواره گویند. آثار دگرسانی ممکن است در حد چهنای یک یا چند دانه کانی در دیواره رگه بوده یا تا کیلومترها در اطراف شبکه‌ای از رگه‌ها گسترش داشته باشد.

#### ۴-۴-۱- عوامل موثر بر دگرسانی

✓ خصوصیات سنگ دیواره

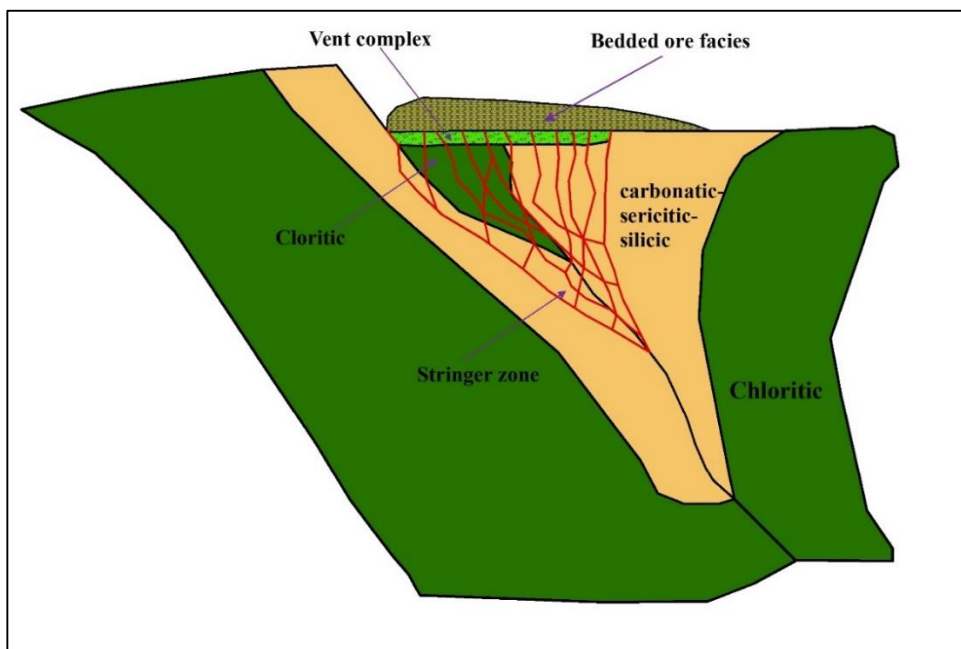
✓ خصوصیات سیال مهاجم (که تعیین‌کننده فاکتورهای چون Eh، Ph، فشار بخار، ترکیب آنیون-

کاتیون و درجه آبکافت)

✓ دما- فشاری که واکنش در آن رخ می‌دهد (McMillan and Pantelyev, 1990).

یکی از خصوصیات جالب توجه دگرسانی، منطقه‌بندی آن است. بیشتر محدوده‌های معدنی مس، دگرسانی-های شاخص و نسبتاً مشابهی دارند که با مطالعات عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای قابل تشخیص است که این خود در اکتشاف کانسارهای مس همراه با دگرسانی بسیار استفاده می‌شود (Lentz, 1998). میزان دگرسانی برحسب فاصله با افق معدنی متفاوت بوده و بیشترین میزان دگرسانی مربوطه به کمرباطین و نزدیک به افق معدنی است؛ و شدت دگرسانی به سمت کمرباطین کاسته می‌شود (Peter et al., 1999).

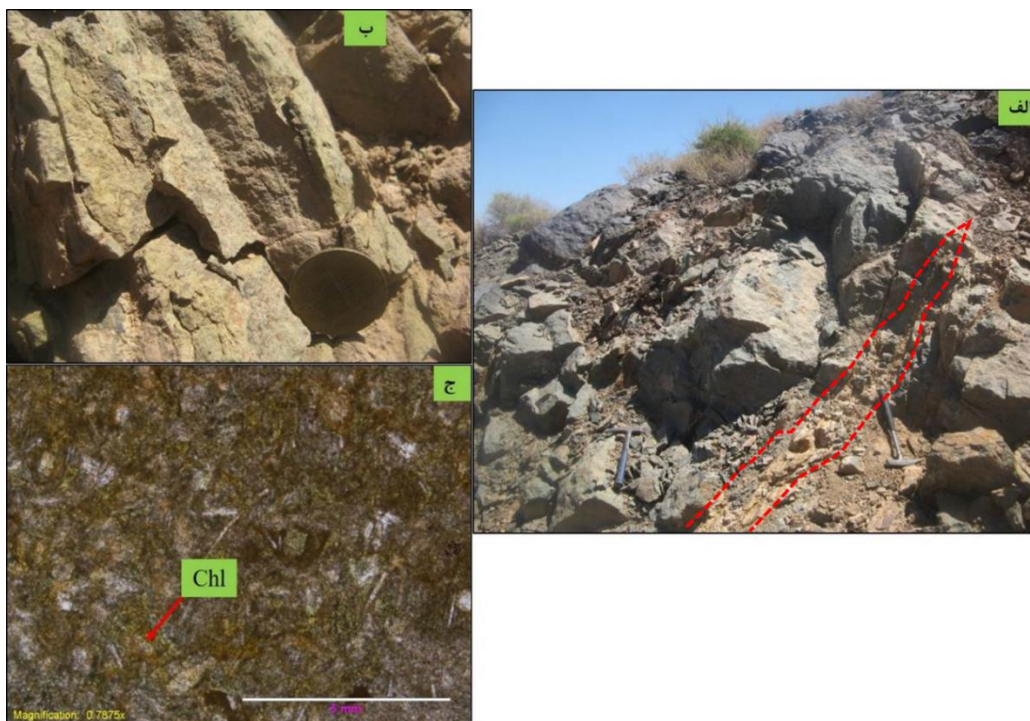
براساس مطالعات صحرایی، میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD، بر روی تعدادی از نمونه‌های برداشت‌شده از کانسارنه‌کوهی نشان می‌دهد مهم‌ترین دگرسانی‌های موجود شامل دگرسانی کلریتی، آلبیتی و کربناته-سریسیتی-سیلیسی می‌باشد و دگرسانی کلریتی در کانسارنه‌کوهی بالاترین میزان را دارا می‌باشد. بر اساس بررسی‌های انجام شده، یک پهنه‌بندی منظمی برای انواع دگرسانی‌ها در کانسارنه‌کوهی قابل تشخیص است. به طور کلی دگرسانی کلریتی در مرکز سامانه کانه‌زایی و کربناته-سریسیتی-سیلیسی در اطراف سامانه و یک دگرسانی کلریتی ناحیه‌ای در حاشیه گسترش دارد (شکل ۴-۱۴) (جدول ۴-۳).



شکل ۴-۱۲- تصویر شماتیک از پهنه بندی دگرسانی در کانسار مس نه‌کوهی.

#### ۴-۴-۲- دگرسانی کلریتی

این دگرسانی، گسترده ترین نوع دگرسانی در کانسار مس نه‌کوهی بوده که در رخساره استرینگر و کمر پایین کانسار دیده می‌شود. کلریتی شدن یکی از مهم ترین پدیده‌هایی است که در اثر محلول‌های گرمابی غنی از Fe و Mg ایجاد می‌شود و در اثر این فرایند سنگ ظاهری سبز رنگ پیدا می‌کند (Galley et al., 2007) (شکل‌های ۴-۱۵، ۴-۱۷ و ۴-۱۸).



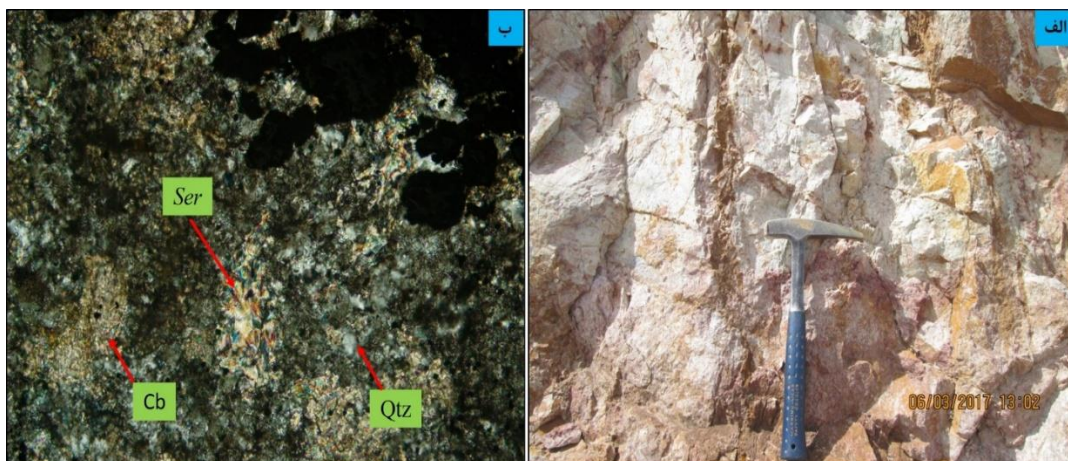
شکل ۴-۱۳- الف) تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی پهنه استرینگر در کانسار نه کوهی، ب) نمایی از رخنمون دگرسانی کلریتی، ج) تصویر میکروسکوپی دگرسانی کلریتی (Chl)

#### ۴-۳-۴- دگرسانی کربناته - سریسیتی - سیلیسی

این دگرسانی در پهنه استرینگر و همراه با میزبان ماده معدنی و به رنگ روشن تا کرم مشاهده می‌شود. دگرسانی سریسیتی که از تأثیر محلول‌های اسیدی بر روی سنگ‌های آذرین به ویژه Al و سنگ‌های رسوبی نظیر شیلها تأثیر گذاشته و آنها را هیدرولیز کرده و بر اثر خارج شدن کاتیون‌های Ca, Mg, Na و باقی ماندن کاتیون K در سیستم تشکیل می‌شود. در طی سریسیتی شدن، فلدسپات‌ها، هورنبلندها، بیوتیت متلاشی شده و کوارتز آزاد شده باعث سیلیسی شدن سنگ می‌گردد (شکل‌های ۴-۱۶ و ۴-۱۹).

دگرسانی سریسیتی بطور عمده در کانسارهای VMS تیپ‌های بایمودال فلسیک و سیلیسیکلاستیک فلسیک معمول می‌باشد و در سنگ‌های میزبان فلسیک گسترش دارد (Franklin et al., 2005).

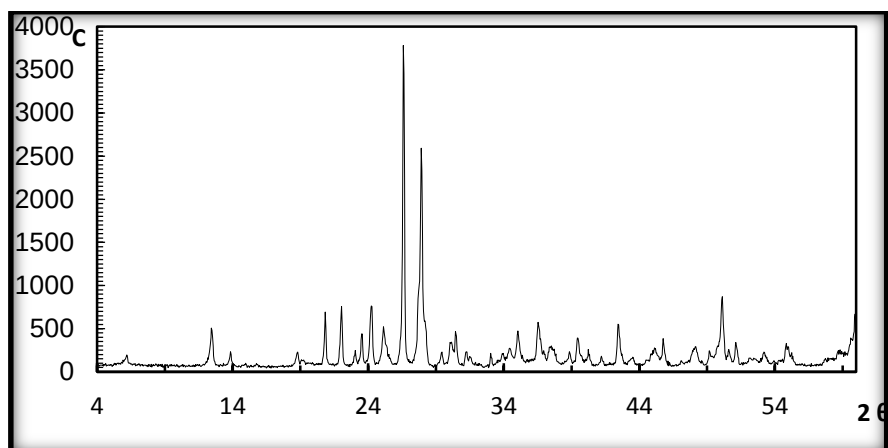




شکل ۴-۱۴- الف) تصویر صحرایی از دگرسانی کربناته- سرپسیتی- سیلیسی در کانسار نه کوهی ب) تصویر میکروسکوپی دگرسانی سرپسیتی (Ser)- کربناتی (Cb)- سیلیسی (Qtz)

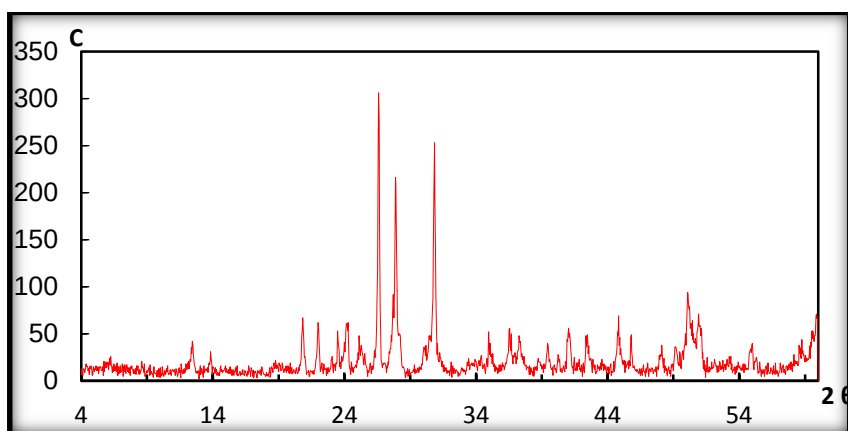
جدول ۴-۳- مشخصات و نتایج نمونه‌های آنالیز شده به روش XRD از کانسار نه کوهی

| کانسار  | شماره نمونه | نوع نمونه دستی                              | نتایج حاصل از آنالیز XRD            | محل نمونه برداری                    |
|---------|-------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| نه کوهی | NKD1        | واحد ماسه سنگ کمربندین دارای دگرسانی کلریتی | آلبیت، کوارتز، کلریت                | پهنه کلریتی کانسار                  |
| نه کوهی | NKD2        | واحد ماسه سنگ کمربندین دارای دگرسانی کلریتی | آلبیت، کوارتز، دولومیت، کلریت       | پهنه کلریتی کانسار                  |
| نه کوهی | NKD3        | گدازه های داسیتی دارای دگرسانی سرسیتیک      | کوارتز، اورتوکلاز، موسکویت، جاروسیت | پهنه سرسیتیک کانسار (میزبان کانسار) |
| نه کوهی | NKD4        | گدازه های داسیتی دارای دگرسانی سرسیتیک      | آلبیت، کوارتز، میکروکلین، موسکویت   | پهنه سرسیتیک کانسار (میزبان کانسار) |



| Sample:                | Major Phase(s)                                                              | Minor Phase(s) | Trace Phase(s) |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| NKD-1                  | Albite (09-0466)                                                            | --             | --             |
| <b>Az: 18480-81819</b> | NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>                                          |                |                |
| Date :<br>22/4/2018    | Quartz (33-1161)                                                            |                |                |
| kV = 40                | SiO <sub>2</sub>                                                            |                |                |
| mA = 30                | Chlorite (29-0701)                                                          |                |                |
| Ka. = Cu               | (Mg,Fe) <sub>6</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub> |                |                |
| Fil. = Ni              |                                                                             |                |                |

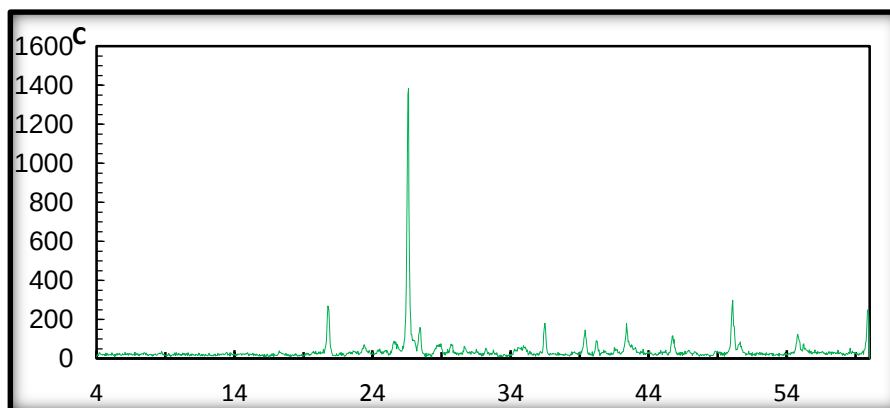
شکل ۴-۱۵- نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده برای نمونه NKD1 کانسار نه کوهی





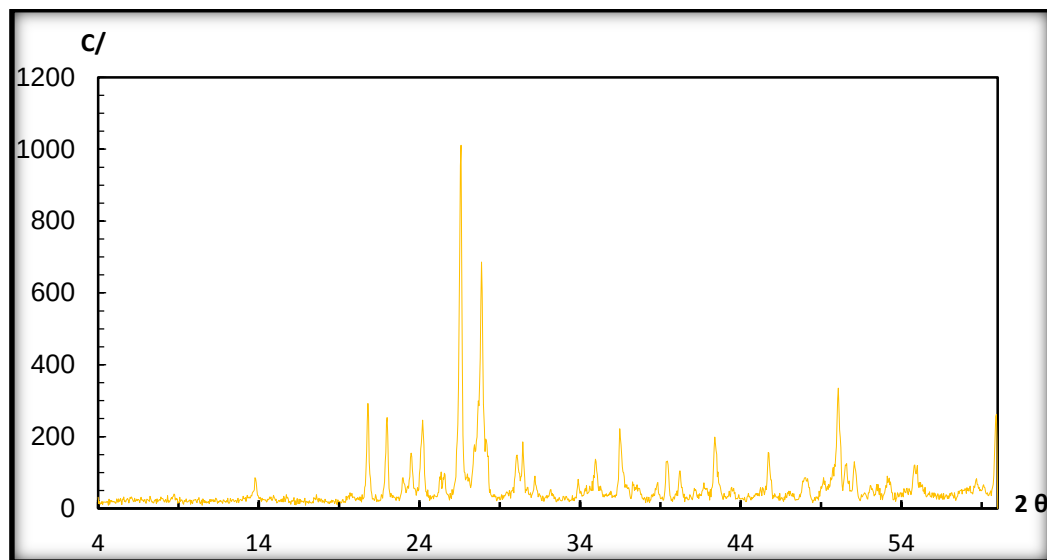
| Sample:                | Major Phase(s)                                                                                    | Minor Phase(s)                                                                                       | Trace Phase(s) |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| NKD-2                  | Albite (09-0466)<br>NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>                                            | Muscovite - illite (26-0911)<br>KAl <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> | --             |
| <b>Az: 18480-81820</b> |                                                                                                   |                                                                                                      |                |
| Date :<br>22/4/2018    | Quartz (33-1161)<br>SiO <sub>2</sub>                                                              |                                                                                                      |                |
| kV = 40                | Dolomite (36-0426)<br>CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                                         |                                                                                                      |                |
| mA = 30                | Chlorite (29-0701)<br>(Mg,Fe) <sub>6</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub> |                                                                                                      |                |
| Ka. = Cu               |                                                                                                   |                                                                                                      |                |
| Fil. = Ni              |                                                                                                   |                                                                                                      |                |

شکل ۴-۱۶ - نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده برای نمونه NKD2، کانسار نه‌کوهی



| Sample:                | Major Phase(s)                                            | Minor Phase(s)                                                                                       | Trace Phase(s) |
|------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| NKD-3                  | Quartz (33-1161)<br>SiO <sub>2</sub>                      | Muscovite - illite (26-0911)<br>KAl <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> | --             |
| <b>Az: 18480-81821</b> |                                                           |                                                                                                      |                |
| Date :<br>22/4/2018    | Orthoclase (31-0966)<br>KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> | Jarosite (36-0427)<br>KFe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>             |                |
| kV = 40                |                                                           |                                                                                                      |                |
| mA = 30                |                                                           |                                                                                                      |                |
| Ka. = Cu               |                                                           |                                                                                                      |                |
| Fil. = Ni              |                                                           |                                                                                                      |                |

شکل ۴-۱۷ - نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده برای نمونه NKD3، کانسار نه‌کوهی



| Sample:                | Major Phase(s)                     | Minor Phase(s)                                                       | Trace Phase(s)                 |
|------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| NKD-4                  | Albite (09-0466)                   | Microcline (19-0932)                                                 | Hematite (33-0664)             |
| <b>Az: 18480-81822</b> | NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> | KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>                                    | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Date :<br>22/4/2018    | Quartz (33-1161)                   | Muscovite - illite (26-0911)                                         |                                |
| kV = 40                | SiO <sub>2</sub>                   | KAl <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> |                                |
| mA = 30                |                                    |                                                                      |                                |
| Ka. = Cu               |                                    |                                                                      |                                |
| Fil. = Ni              |                                    |                                                                      |                                |

شکل ۴-۱۸- نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده برای نمونه NKD4، کانسار نه‌کوهی

## فصل پنجم

ساخت، بافت، کانی شناسی

و توالی پاراژنز کانه‌ها

## ۵-۱- مقدمه

بررسی ویژگی‌های ساختی و بافتی موجود در سنگ‌های همبر و کانسنگ می‌تواند در شناخت محیط تشکیل و شرایط حاکم به هنگام تشکیل یک کانسار مفید باشند. بررسی دقیق ویژگی‌های ساخت و بافتی و کانی شناسی، در تعیین توالی کانی‌شناسی، اکتشاف، نوع کانسارسازی و الگوی کانی‌زائی، فرایندهای اعمال شده بر روی کانسار در طول زمان (تکوین کانسار و غیره) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بدین منظور در منطقه مورد مطالعه، از رخساره‌های مختلف کانه‌زایی و سنگ دربرگیرنده آنها تعداد ۱۵ مقطع نازک- صیقلی، ۲۰ مقطع صیقلی، بررسی و مطالعه گردید. به منظور تشخیص برخی کانی‌ها، تعداد ۴ نمونه از کانسار مس نه‌کوهی به روش XRD مورد بررسی قرار گرفت.

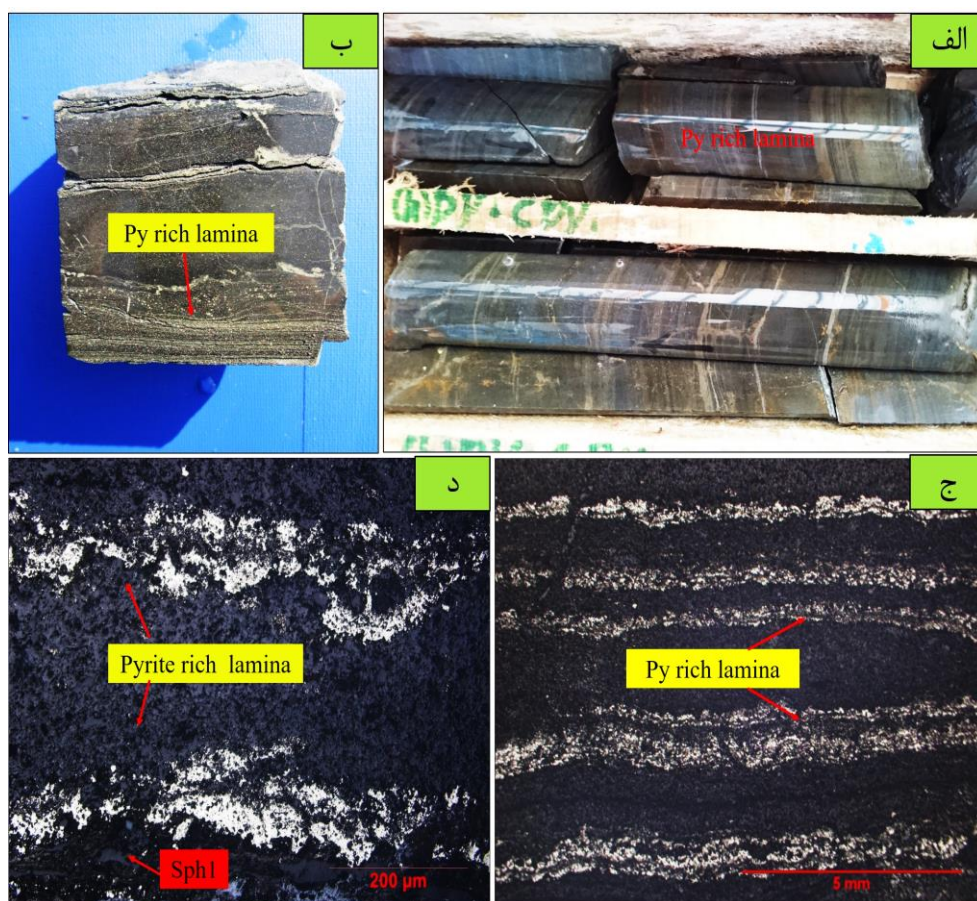
## ۵-۲- ساخت و بافت کانی‌های سولفیدی در کانسار مس نه‌کوهی

شکل هندسی ماده معدنی در کانسار مورد مطالعه بصورت چین‌ه‌سان (لایه‌ای) و همخوان و همروند با لایه-بندی سنگ‌های درونگیر تشکیل شده‌است که در زیر آنها پهنه کانه‌دار برشی و رگه - رگچه‌ای که در مجموع به صورت قطع کننده و چین‌ه‌کران هستند، نیز دیده می‌شود. ماده معدنی در رخساره‌های متفاوت کانسار، بافت و ساخت گوناگون را نشان می‌دهد. مهمترین ساخت و بافت‌های موجود در کانسنگ به شرح ذیل می‌باشد:

## ۵-۲-۱- ساخت و بافت نواری و لامینه

ساخت و بافت نواری یکی از ویژگی‌های بارز رخساره کانسنگ لایه‌ای در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد می‌باشد که ناشی از ته‌نشینی همزمان کانی‌های سولفیدی با ذرات تشکیل دهنده سنگ میزبان شیلی در کف دریا است (Devine et al., 2002). وجود این گونه لامینه‌ها نشان‌دهنده رابطه بافتی نزدیک بین ذرات رسوبی و سولفیدی و در نتیجه تشکیل همزمان ذرات آنها می‌باشد. همچنین ته‌نشست سولفیدها

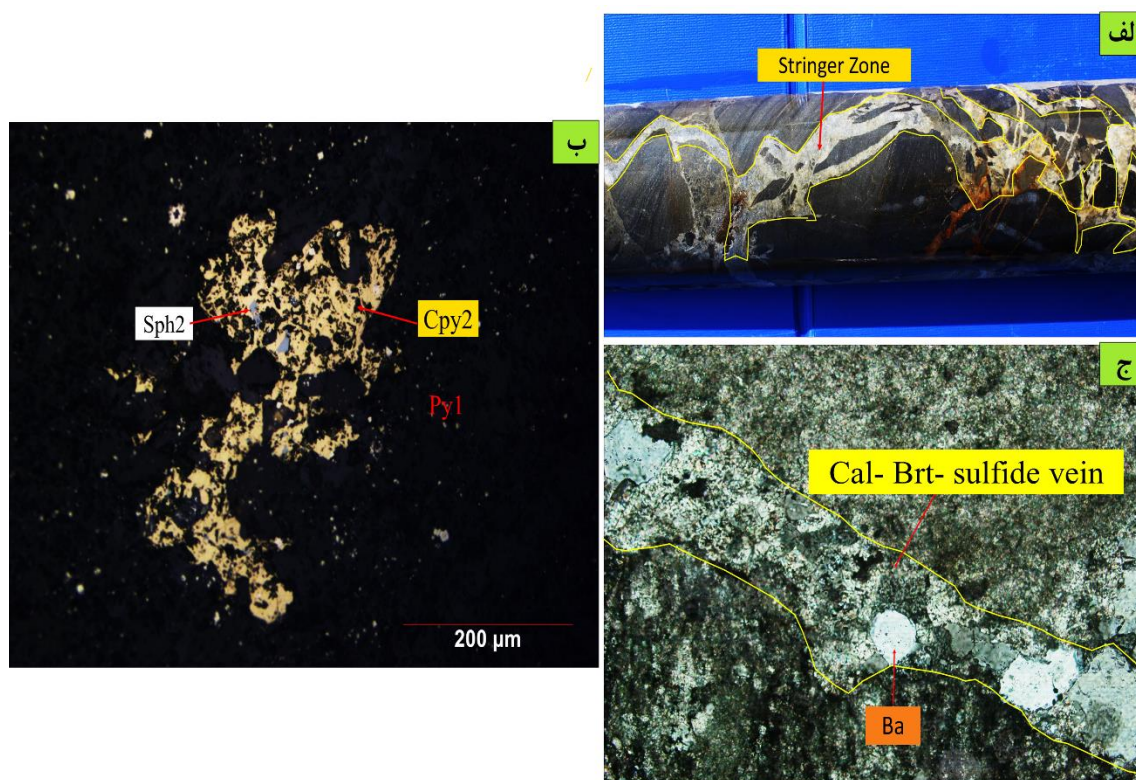
به صورت پراکنده در کنارهم و تشکیل لایه‌های غنی از پیریت، نشان از افزایش شرایط رسوبگذاری در یک محیط آرام و ته‌نشست سولفیدها در یک محیط رسوبی پایدار می‌باشد. بافت‌های نواری و لامینه در کانسار مورد مطالعه به خوبی قابل مشاهده است و ضخامت لامینه‌ها متغیر بوده و از میلی‌متر تا سانتی‌متر تغییر می‌کند. اینکه در این رخساره از نظر بافتی، پیریت‌ها دارای بافت فرامبوئیدال می‌باشد. بافت نواری شامل تناوبی از نوارهای غنی از پیریت و مقدار کمتر اسفالریت همراه با سنگ میزبان شیلی است (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۵- تصاویری از رخساره کانسنگ لایه‌ای و ساخت و بافت نواری آن، الف و ب) مغزه‌های حفاری از رخساره لایه‌ای که نشان‌دهنده تناوب لامینه‌های سولفیدی با سنگ میزبان شیلی که نشان‌دهنده ته‌نشینی همزمان ذرات سولفیدی و ذرات تشکیل‌دهنده سنگ میزبان است، ج) تصویر میکروسکوپی از تناوب لامینه‌های پیریتی با سنگ میزبان شیلی، د) همراهی پیریت ( $Py_1$ ) با اسفالریت ( $Sph_1$ ) در رخساره کانسنگ لایه‌ای.

## ۵-۲-۲- ساخت و بافت رگه- رگچه‌ای

این ساخت و بافت عمدتاً در رخساره رگه- رگچه‌ای در واحد شیلی و داسیتی مشاهده می‌شود که در آن رگه‌رگچه‌های کلسیتی، باریتی، سولفیدی سنگ میزبان را در جهات مختلف قطع نموده است. بافت رگه- رگچه‌ای به طور عمده از پیریت و کالکوپیریت و مقدار کمتری اسفالریت تشکیل شده است (شکل ۵-۲) و این نشانه وجود پهنه بندی فلزی در کانسار نه‌کوهی است. باریت به صورت رگه- رگچه‌ای به میزان بالایی واحد داسیتی و شیلی منطقه را قطع کرده‌است.

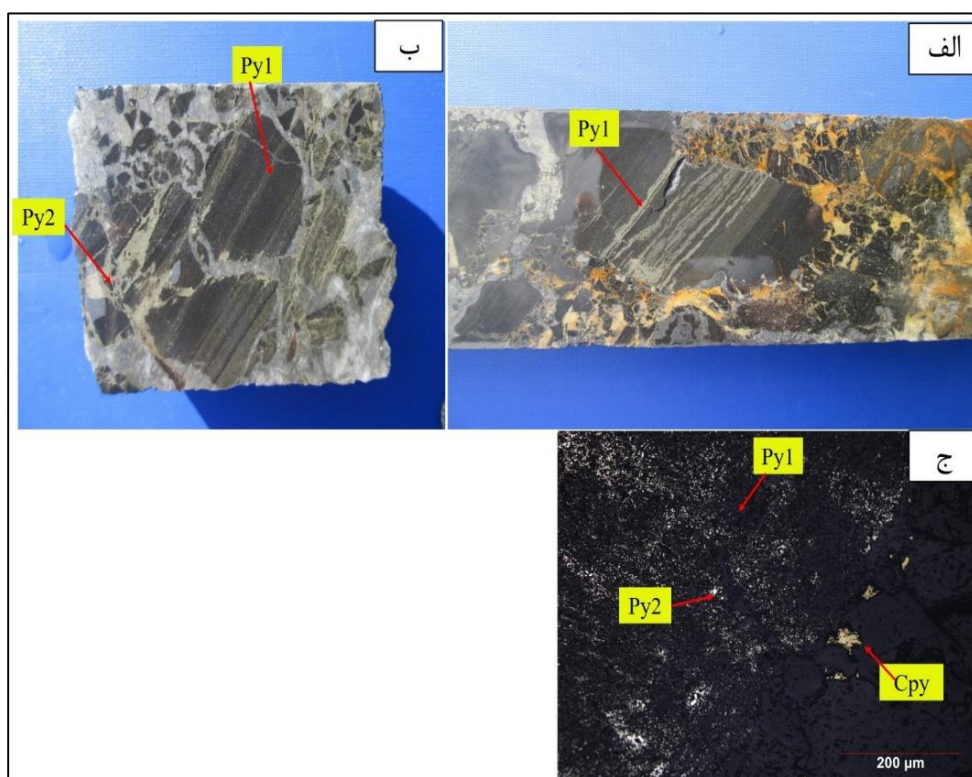


شکل ۵-۲- تصاویری از ساخت و بافت رگه- رگچه‌ای در پهنه استرینگر، الف) مغزه حفاری از پهنه استرینگر به همراه رگه- رگچه‌های کلسیتی (Ca)- باریتی (Ba) - سولفیدی (S) سنگ میزبان را در جهات مختلف قطع کرده‌است، ب) تصویر میکروسکوپی از همراهی کالکوپیریت ( $Cpy_2$ ) و اسفالریت ( $Sph_2$ ) و پیریت اسفروئیدی ( $Py_1$ )، ج) تصویر میکروسکوپی نشان دهنده رگه کلسیتی (Ca)- باریتی (Ba) - سولفیدی (S) در رخساره استرینگر.



### ۵-۲-۳- ساخت و بافت برشی

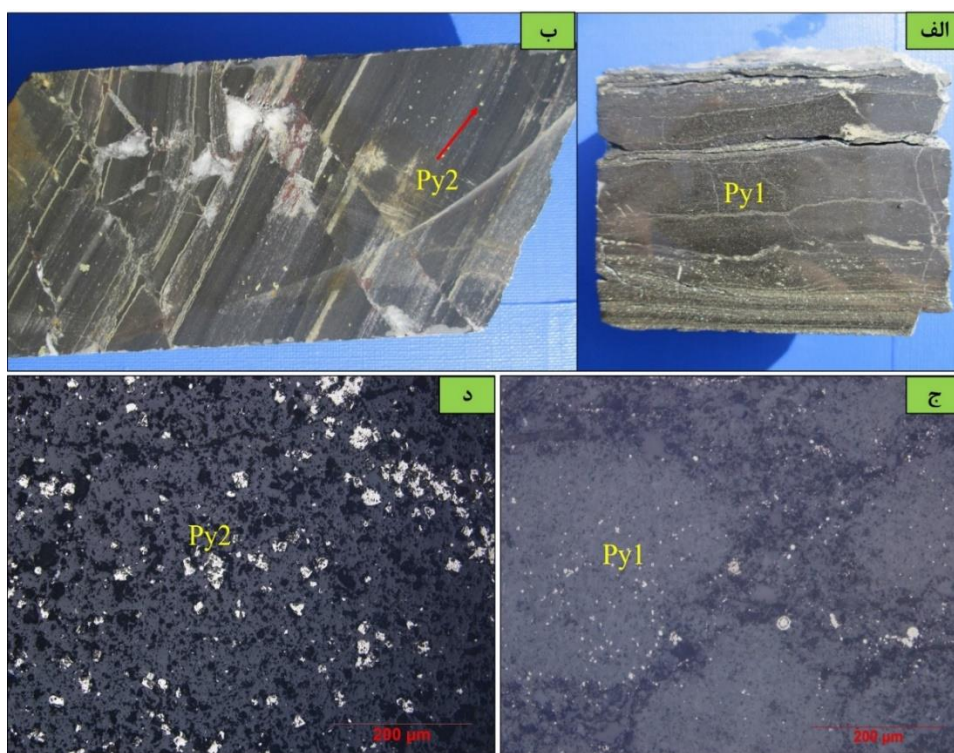
این ساخت و بافت در رخساره مجموعه دهانه‌ای وجود دارد که سنگ میزبان و ماده معدنی به صورت قطعه قطعه و اشکال زاویه‌دار در آمده‌اند (شکل ۵-۳). لامینه‌های سولفیدی و رگه‌های استرینگر بصورت بافت و ساخت برشی به هم در آمیخته‌اند. بافت برشی سولفیدها به همراه قطعات سنگ میزبان در رخساره توده‌ای و رگه- رگچه‌ای کانسارهای سولفیدی در ارتباط مستقیم با فعالیت گسل همزمان با رسوبگذاری و فعالیت گرمایی بوده و در کانسارهای روی- سرب رسوبی- برون‌می کوشک و چاه میر (Rajabi et al., 2012, 2015) و کانسارهای سولفید توده‌ای نوع بشورست کانادا (Goodfellow, 2007) نیز دیده می‌شود.



شکل ۵-۳- تصاویری از ساخت و بافت برشی، الف و ب) مغزه حفاری از بافت برشی که حاوی قطعات رخساره لایه‌ای در زمینه‌ای از کانی‌های سولفیدی و کربناتی می‌باشد، ج) تصویر میکروسکوپی از رخساره مجموعه دهانه‌ای، که سولفیدهای زمینه شامل کالکوپیریت (Cpy)، پیریت نسل اول (Py<sub>1</sub>) و پیریت نسل دوم (Py<sub>2</sub>) می‌باشد.

## ۵-۲-۴- ساخت و بافت دانه پراکنده

بافت دانه پراکنده در کانسار مس نه‌کوهی در رخساره‌های لامینه و استرینگر قابل مشاهده است که به این صورت کانی‌های پیریت از این رخساره‌ها بافت دانه‌پراکنده نشان می‌دهد و به صورت کلی می‌توان گفت این بافت‌ها نشان‌دهنده همزمانی اولیه سولفیدها در حین تشکیل سنگ دربرگیرنده و به همراه سایر ذرات سنگ میزبان می‌باشد. پیریت به صورت دانه پراکنده و بی‌شکل در این لامینه‌های سولفیدی شکل گرفته است (شکل ۵-۴).

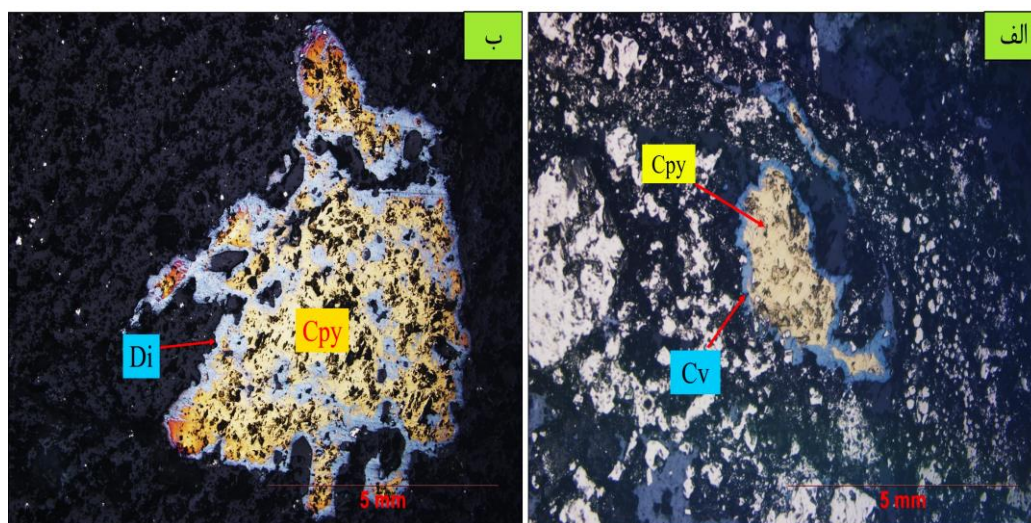


شکل ۵-۴- الف و ب) تصویری از مغزه حفاری از رخساره کانسنگ لایه‌ای که دارای پیریت‌های نسل اول اول ( $Py_1$ ) با بافت دانه پراکنده می‌باشد، ب) تصویری از مغزه حفاری از رخساره رگه رگچه‌ای حاوی پیریت نسل دوم ( $Py_2$ ) با بافت دانه پراکنده، ج) تصویر میکروسکوپی نشان‌دهنده پیریت‌های نسل اول با بافت دانه پراکنده در رخساره کانسنگ لایه‌ای، د) تصویر میکروسکوپی حاوی پیریت‌های نسل دوم به صورت دانه پراکنده در رخساره رگه-رگچه‌ای.



## ۵-۲-۵- بافت جانشینی

این نوع بافت به بافت جانشینی ثانویه هم معروف است. جانشینی یک کانه توسط کانه یا کانی دیگر، از جمله فرایندهایی است که در طی هوازدگی بسیاری از کانسنگ‌ها رخ می‌دهد. از جمله بافت‌های جانشینی که به راحتی در کانسار قابل تشخیص هستند می‌توان به جانشینی سولفیدهای فلزی (نظیر پیریت) با اکسیدها (نظیر هماتیت، گوتیت، لیمونیت) اشاره نمود. همچنین کانی‌های سولفیدی در در امتداد شکستگی‌ها و حواشی به کانی‌های کولیت و دیژنیت تبدیل می‌شوند. در کانسار مس نه‌کوهی بافت جانشینی در رخساره رگه-رگچه‌ای قابل مشاهده است، که جانشینی کالکوپیریت به کولیت و دیژنیت می‌باشد (شکل ۵-۵).

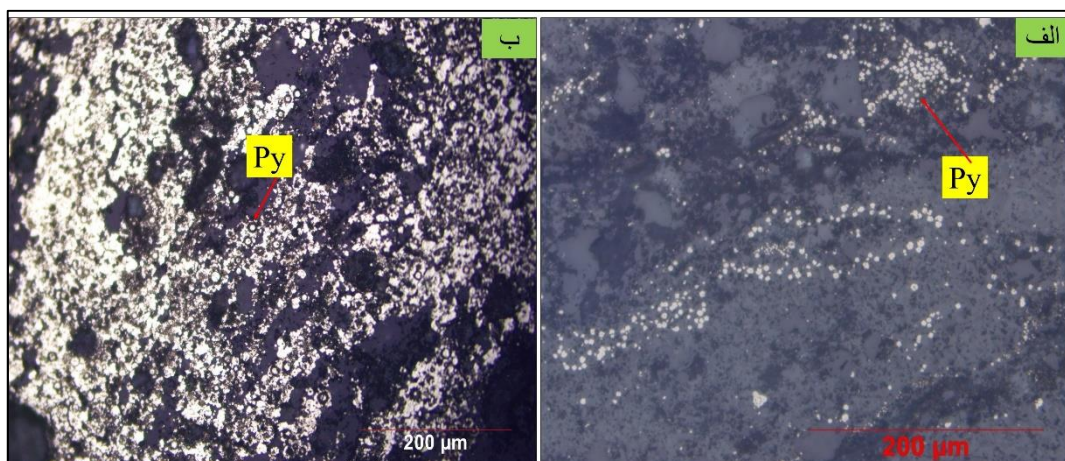


شکل ۵-۵- تصاویر میکروسکوپی از بافت جانشینی حاشیه‌ای، الف) تبدیل شدن کالکوپیریت از اطراف به کولیت (CV)، ب) تبدیل شدن کالکوپیریت از اطراف به دیژنیت.

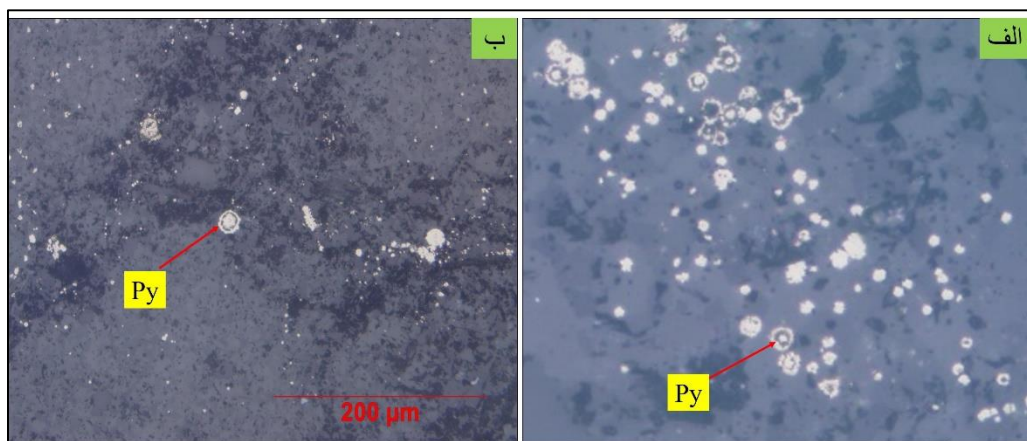
## ۵-۲-۶- بافت‌های کلوفرمی

این بافت شامل تجمع پیریت‌های ریز دانه است که به صورت کلوفرمی در کنار هم قرار گرفته اند و تبلور پیدا کرده اند. پیریت‌های فرامبوئیدال جزء پیریت‌های نسل اول هستند و این فرم پیریت‌ها بیانگر محیط

دریایی هستند. بافت پیریت اسفروئیدی در رخساره کانسنگ لایه‌ای که جزء پیریت‌های نسل اول هستند در مقاطع صیقلی دیده می‌شود (شکل‌های ۵-۶ و ۵-۷).



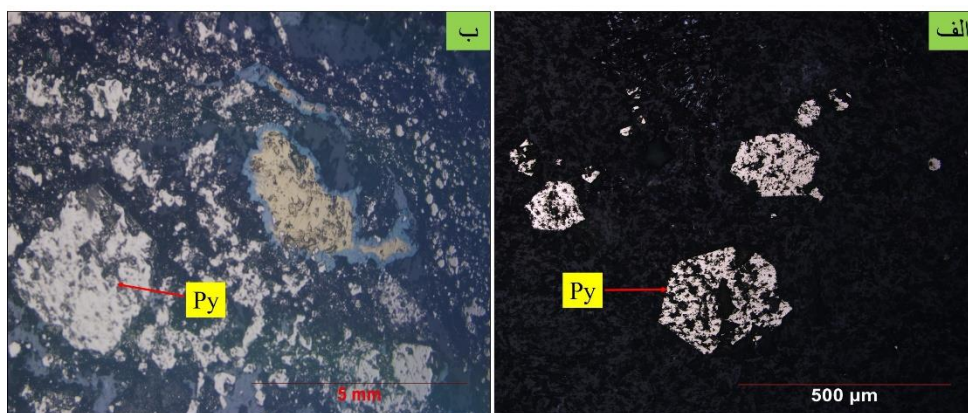
شکل ۵-۶- تصاویر میکروسکوپی از بافت فرامبوئیدال در پیریت‌های نسل اول در رخساره کانسنگ لایه‌ای.



شکل ۵-۷- تصاویر میکروسکوپی بافت پیریت اسفروئیدی ( $Py_1$ ) و پیریت‌های دانه‌پراکنده در رخساره کانسنگ لایه‌ای.

## پیریت‌های خودشکل

پیریت تمایل زیادی برای تبلور اشکال شکل‌دار دارد، در کانسار نه‌کوهی پیریت‌های نسل دوم در اکثر موارد دچار تبلور مجدد شده و موجب تشکیل بافت‌های خودشکل پیریت شده‌است، که عمدتاً شکل کوبیک دارند (شکل ۵-۸).



شکل ۵-۸- تصاویر میکروسکوپی از پیریت‌های خودشکل در کانسار نه‌کوهی.

### ۵-۳- کانی‌شناسی

مطالعات کانی‌شناسی بر روی مقاطع صیقلی، نازک- صیقلی نمونه‌های معدنی کانسار مس نه‌کوهی انجام گرفت و از لحاظ کانی‌شناسی حاوی کانی‌های اولیه پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، هماتیت و پیرولوزیت و کانی‌های ثانویه مالاکیت، کوولیت، دیژنیت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن و منگنز بوده و کانی‌های باطله بطور عمده شامل کلسیت، باریت، کوارتز، کلریت و ژیپس می‌باشد.

### ۵-۳-۱- کانی‌های اولیه

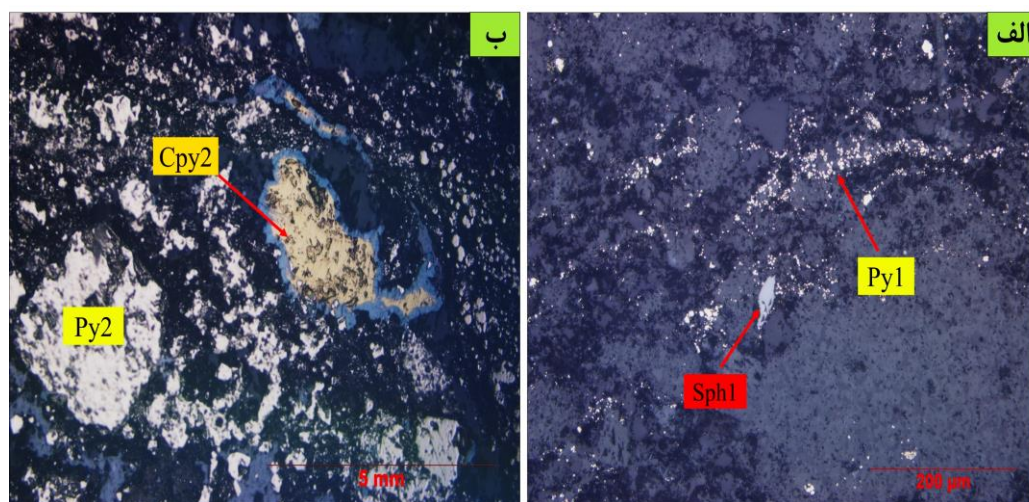
کانی‌های اولیه در کانسار نه‌کوهی شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، هماتیت و پیرولوزیت می‌باشد که در ادامه به همراه انواع بافت‌ها به اختصار اشاره شده‌است.

### ۵-۳-۱-۱- پیریت

پیریت به عنوان فراوان‌ترین کانی سولفیدی در کانسار نه‌کوهی در رخساره‌های کانسنگ لایه‌ای، مجموعه دهانه‌ای و رگه- رگچه‌ای دیده می‌شود. این کانی در هر رخساره با ویژگی‌های بافتی متفاوتی به وضوح دیده می‌شود. بر اساس مطالعات کانه‌نگاری پیریت به صورت دو نسل می‌باشد. پیریت‌های نسل اول ریزدانه



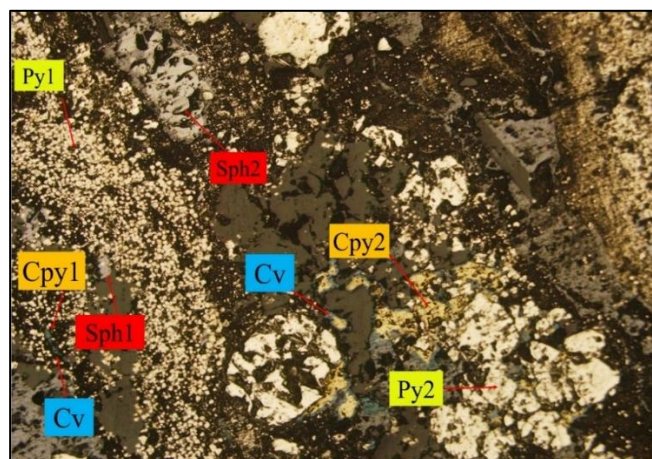
و بصورت کلوفرمی می باشد. پیریت نسل دوم درشت بلورتر بوده و اندازه ذرات آنها از چند میکرون تا ۳ میلی متر می رسد. همچنین وجود پیریت‌های فرامبوئیدال در نمونه‌ها که جزء پیریت‌های نسل اول می باشد. در رخساره کانسنگ لایه‌ای پیریت‌های نسل اول همراه با کانی اسفالریت یافت می‌شود و با پیریت نسل دوم اغلب همراه کانی‌های کالکوپیریت و اسفالریت می باشد (شکل ۵-۹). در بخش لایه‌ای پیریت نسل دوم محصول فرایند دیاژنز بوده و از تبلور مجدد پیریت نسل اول حاصل شده است.



شکل ۵-۹- الف) تصویر میکروسکوپی از پیریت‌های دانه‌ریز نسل اول ( $Py_1$ ) و اسفالریت نسل اول ( $Sph_1$ ) در رخساره کانسنگ لایه‌ای، ب) تصویر میکروسکوپی از پیریت‌های خودشکل نسل دوم اول ( $Py_2$ ) و کالکوپیریت ( $Cpy_2$ ) در رخساره رگه- رگچه‌ای.

## ۵-۳-۱-۲- کالکوپیریت

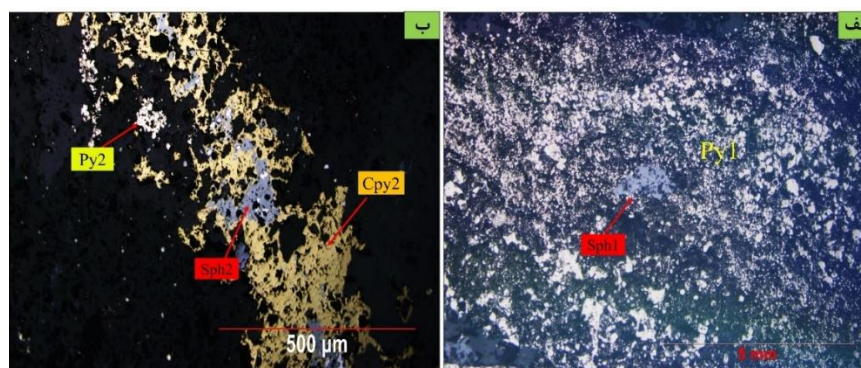
کالکوپیریت مهمترین کانی سولفیدی مس است که در رخساره رگه- رگچه‌ای یافت می‌شود. کالکوپیریت بصورت رگه- رگچه‌ای نامنظم بوده و بصورت دو نسل مشاهده می‌شود. کالکوپیریت‌های نسل دوم ( $Cpy_2$ ) از لحاظ اندازه بسیار درشت بلورتر نسبت به کالکوپیریت‌های نسل اول ( $Cpy_1$ ) می‌باشد. بافت رگه- رگچه‌ای به طور عمده از پیریت و کالکوپیریت و مقدار کمتری اسفالریت تشکیل شده است (شکل ۵-۱۰).



شکل ۵-۱۰- تصویر میکروسکوپی از رخساره تغذیه کننده که کانی‌های اولیه  $Py_1$ ,  $Py_2$ ,  $Cpy_1$ ,  $Cpy_2$ ,  $Sph_1$  و ثانویه  $Cv$  قابل مشاهده است.

### ۵-۳-۱-۳- اسفالریت

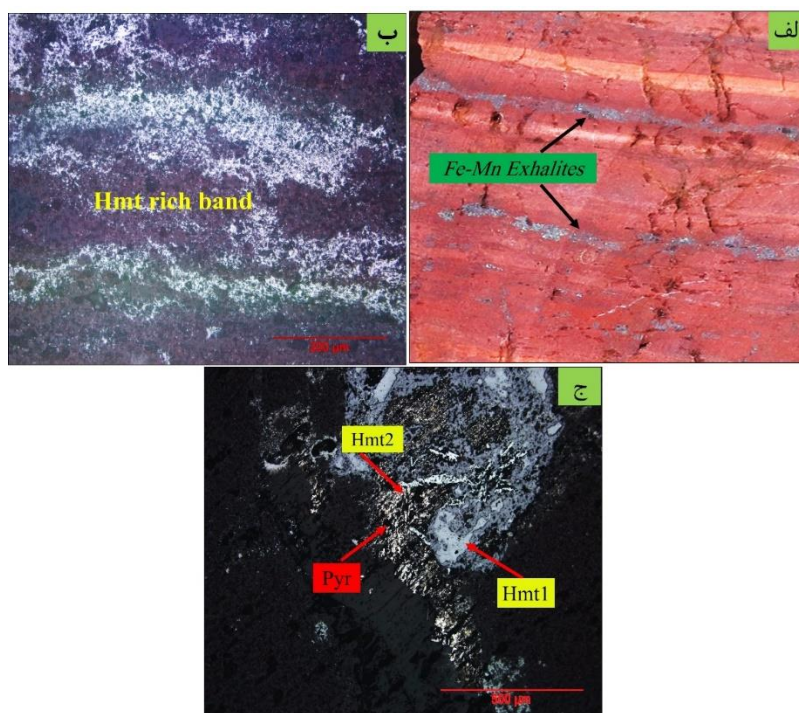
اسفالریت در رخساره‌های کانسنگ لایه‌ای و رگه- رگچه‌ای یافت می‌شود و به این صورت که اسفالریت‌ها دارای دو نسل می‌باشد. اسفالریت‌های نسل دوم ( $Sph_2$ ) درشت‌تر از اسفالریت‌های نسل اول ( $Sph_1$ ) است. اسفالریت نسل اول همراه با پیریت‌های نسل اول در رخساره کانسنگ لایه‌ای و نیز اسفالریت نسل دوم همراه با کالکوپیریت  $Cpy_2$  رخساره استرینگر یافت می‌شود (شکل ۵-۱۱). اسفالریت نسبت به پیریت و کالکوپیریت در کانسار مورد مطالعه فراوانی کمتر دارد.



شکل ۵-۱۱- الف) تصویر میکروسکوپی از پیریت‌های نسل اول ( $Py_1$ ) و اسفالریت نسل اول ( $Sph_1$ ) در رخساره کانسنگ لایه‌ای، ب) تصویر میکروسکوپی از کالکوپیریت ( $Cpy$ ) و اسفالریت ( $Sph_2$ ) در رخساره رگه- رگچه‌ای

### ۵-۳-۱-۴- هماتیت و پیرولوزیت

هماتیت و پیرولوزیت در کانسار مس نه‌کوهی در رخساره واحد رسوبی- برون‌دمی نواری دیده می‌شود. هماتیت به صورت دو نسل شامل هماتیت‌های نسل اول ( $Hmt_1$ ) و هماتیت‌های نسل دوم ( $Hmt_2$ ) می‌باشد که هماتیت‌های نسل دوم حاصل تبلور هماتیت‌های نسل اول می‌باشند (شکل ۵-۱۲). بافت نواری در واحد رسوبی- برون‌دمی غنی از آهن و منگنز موجود در افق‌های کانه دار ۱ و ۲ به وفور دیده می‌شود. پیرولوزیت نسبت به هماتیت فراوانی کمتری دارد.



شکل ۵-۱۲- الف) نوارها و لامینه‌های غنی از هماتیت و منگنز در رخساره رسوبی- برون‌دمی، (ب) تصویر میکروسکوپی از لامینه‌های غنی از هماتیت در رخساره برون‌دمی، (ج) تصویر میکروسکوپی از هماتیت نسل اول ( $Hmt_1$ ) با بافت توده‌ای، هماتیت‌های نسل دوم ( $Hmt_2$ ) با بافت رگه- رگچه‌ای و پیرولوزیت (PyT) با بافت رگه- رگچه‌ای.

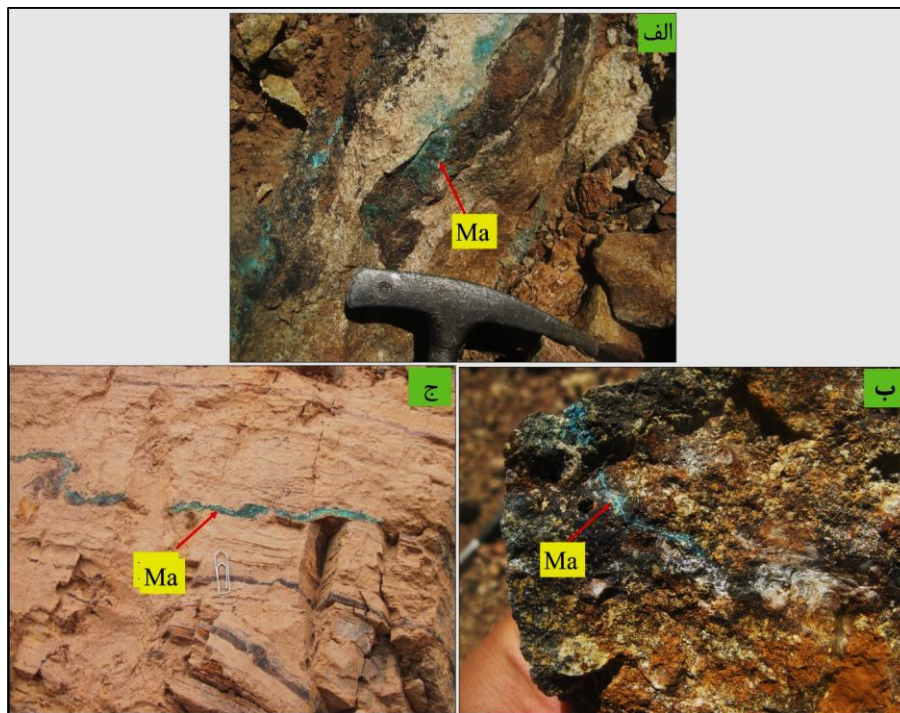


## ۵-۳-۲- کانی‌های ثانویه

از کانی‌های ثانویه در کانسار مس نه‌کوهی می‌توان به مالاکیت، کوولیت، دیژنیت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن اشاره نمود.

## ۵-۳-۲-۱- مالاکیت و آزوریت

مالاکیت به عنوان یک کانی غیر سولفیدی پس از کانه‌زایی سولفیدی، در طی فرایند سوپرژن اکسیدی کانه‌های کربناته مس نظیر مالاکیت و آزوریت به همراه اکسیدها و هیدروکسیدها آهن تشکیل می‌گردند (جانشین سولفیدهای مس در افق‌های کانه‌دار شده‌اند). کانی‌های کربناته به فراوانی در مناطق سطحی کانسار مس نه‌کوهی دیده می‌شود به صورت رگه- رگچه های مالاکیت سنگ میزبان را قطع کرده است (شکل ۵-۱۳).

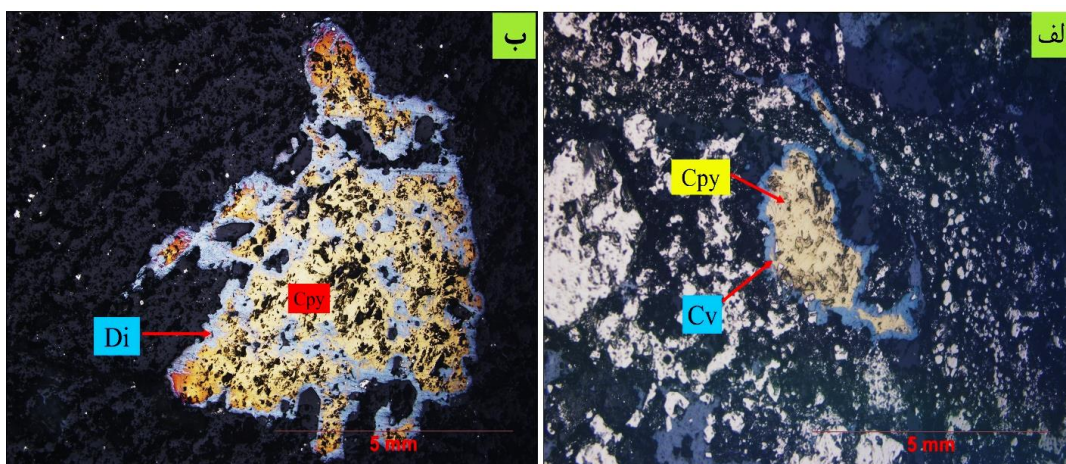


شکل ۵-۱۳- نمائی نزدیک از مالاکیت و آزوریت ناشی از اکسیداسیون سولفیدها.



## ۵-۳-۲- کوولیت و دیژنیت

کوولیت و دیژنیت در طی مراحل سوپرژن و در اثر جانشینی در سولفیدهای مس اولیه ایجاد می‌شود. کوولیت با فرمول  $\text{CuS}$  و ۶۶/۴ درصد مس، غالباً پس از تشکیل کانی‌های سولفیدی و در شرایط سوپرژن تشکیل می‌شود. این کانی‌ها در طی مراحل سوپرژن و در اثر جانشینی در سولفیدهای اولیه در اطراف کالکوپیریت در کانسار نه‌کوهی ایجاد شده است (شکل ۵-۱۴). کوولیت در مقاطع صیقلی دارای رنگ آبی، طیفی از آبی تیره و آبی نیلی تا سفید متمایل به آبی، چند رنگی قوی و آنیزوتروپی بالا می‌باشد. دیژنیت در مقاطع صیقلی دارای رنگ مایل به آبی، صیقل خوب و انعکاس متوسط دارد.

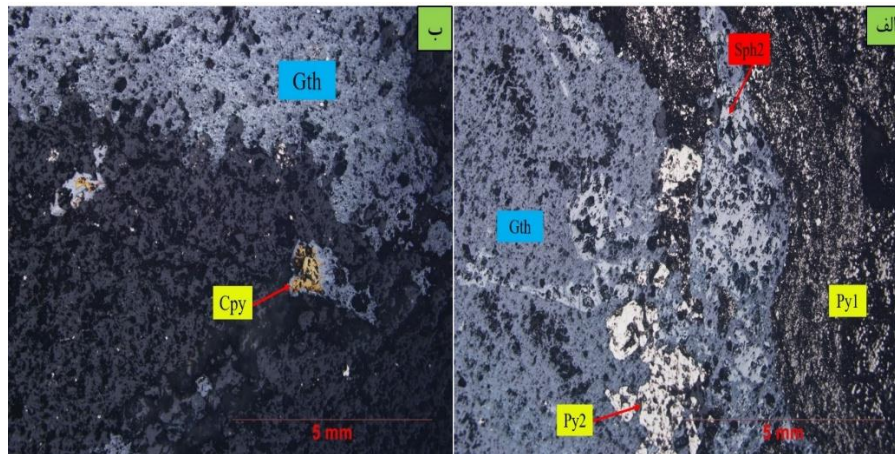


شکل ۵-۱۴ الف) تصویر میکروسکوپی از تبدیل شدن کالکوپیریت از اطراف به کوولیت (CV)، ب) تصویر میکروسکوپی از تبدیل شدن کالکوپیریت از اطراف به دیژنیت.

## ۵-۳-۲- گوتیت

گوتیت بر اثر هوازدگی در کانسار مس نه‌کوهی همراه با کانی‌های اولیه مشاهده می‌شود، گوتیت از کانی‌های هیدروکسید آهن است که توسط هوازدگی و یا دگرسانی کانی‌های حاوی آهن نیز ایجاد می‌شود. بر اثر پدیده انحلال و اکسیداسیون سطحی کانی‌های سولفیدی در قسمت‌های سطحی کانسار دچار انحلال شده

و یون گوگرد آنها خارج و هیدروکسیدهای آهن برجای مانده است. گوتیت همراه با اسفالریت نسل دوم یافت می شود و دارای بافت رگه رگچه ای است (شکل ۵-۱۵).



شکل ۵-۱۵- الف و ب) تصاویر میکروسکوپی از همراهی گوتیت با کانی های سولفیدی در کانسار نه کوهی.

### ۵-۳-۳- کانی های باطله

از مهمترین کانی های باطله مرتبط به کانه زایی در کانسار مس نه کوهی کلسیت، باریت و کوارتز اشاره نمود.

#### ۵-۳-۳-۱- کلسیت

کلسیت به عنوان یک کانی باطله بیشترین فراوانی را در رخساره های رگه- رگچه ای و مجموعه دهانه ای دارد. تشکیل این کانی همزمان با بیشترین فعالیت گرمایی در کانسار بوده و با بخش سولفیدی کانسار همراهی است.

#### ۵-۳-۳-۲- باریت

باریت یکی از مهم ترین باطله هایی که ماده معدنی را در کانسار مس نه کوهی همراهی می کند. باریت در رخساره رگه- رگچه ای به میزان بالایی مشاهده می شود. این کانی به شکل چند ضلعی، تیغه ای، تبلور یافته

رخ می‌دهد. کانی‌های سولفیدی که باریت را همراهی می‌کند نظیر کالکوپیریت، پیریت و اسفالریت می‌باشند.

### ۵-۳-۳-۳- کوارتز

این کانی یکی دیگر از باطله‌های کانسار است که نسبت به کانی‌های دیگر از فراونی خیلی کمتری برخوردار است. تشکیل این کانی همزمان با فعالیت کانه‌زایی در کانسار بوده و همراه کانی باریت و کلسیت با باریت دیده می‌شود و در آنالیز XRD در نمونه‌ها مشخص شده است.

### ۵-۴- توالی پاراژنز کانی‌ها

به مجموعه‌ای از کانی‌ها و باطله‌های همراه، که با یکدیگر و در حال تعادل نسبت به همدیگر تشکیل می‌شوند، پاراژنز می‌نامند و ترتیب زمانی و مکانی در تشکیل کانه‌ها را توالی پاراژنتیکی می‌نامند. توالی پاراژنتیک معرف ترتیب یا تقدم و تأخر نهشته شدن کانی‌ها به صورت فازهای جدا یا مجموعه کانی‌ها در یک کانسار است. وجود رخساره‌های کانه‌دار و نسل‌های مختلف کانی‌ها در کانسار نه‌کوهی، نشان از رخداد کانسنگ در چند مرحله می‌باشد. بر اساس پاراژنز کانیایی و مطالعات میکروسکوپی، دو مرحله کانه‌زایی را میتوان در کانسار نه‌کوهی تشخیص داد که شامل مراحل زیر می‌باشند (جدول ۵-۱):

### ۵-۴-۱- مرحله ۱: فعالیت‌های آتشفشانی - برون‌دمی و دیاژنز

اولین مرحله کانه‌زایی در کانسار نه‌کوهی بصورت همزمان با وقوع فعالیت‌های آتشفشانی - برون‌دمی در زمان پرکامبرین پسین - کامبرین پیشین بوده است. نفوذ سیل‌های داسیتی به داخل شیل‌های سیاه در زیر کف دریا موجب فعال شدن جریانهای همرفتی آب دریا در طول گسل‌های همزمان با آتشفشان و رسوبگذاری شده که نتیجه آن ایجاد سیالات داغ و شور بوده که فلزات و عناصر کانسنگ ساز را از سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی کمرپایین شسته را وارد دریا نموده است. نتیجه فعالیت این سامانه گرمایی تشکیل کانسار سولفید

توده‌ای آتشفشانزاد نه‌کوهی و ایجاد رخساره های استرینگر و مجموعه دهانه‌ای در زیر کف دریا و رخساره های لایه‌ای و برون‌دی در کف دریا می باشد. در این رخساره ها کانی‌های پیریت نسل اول و دوم ( $Py_1$ )، ( $Py_2$ )، کالکوپیریت نسل اول و دوم ( $Cpy_1$ ) و ( $Cpy_2$ )، اسفالریت نسل اول و دوم ( $Sph_1$ ) و ( $Sph_2$ )، باریت و کلسیت دیده می شود. در کانسار نه‌کوهی، کانه زایی مس بصورت کالکوپیریت تنها در پهنه استرینگر مشاهده می شود و پهنه چینه‌سان نیز حاوی اسفالریت و فاقد کالکوپیریت می باشد که این پهنه‌بندی فلزی و غنی‌شدگی مس در پهنه استرینگر و افزایش نسبت مس به روی از پهنه چینه‌سان به سمت پهنه استرینگر از ویژگی‌های تیپیک کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) می‌باشد (Franklin et al., 2005; Galley et al., 2007). بر اساس نتایج ساخت و بافت این کانه‌زایی‌ها بیشتر به صورت رگه- رگچه‌ای، برشی، شکاف پرکن، لامینه، نواری، کلوفرمی و دانه‌پراکنده می باشد. دگرسانی‌های عمده شامل دگرسانی‌های کلریتی و سربیسیتی- کربناتی- سیلیسی بوده که همراه با کانه زایی و توسط سیالات کانسنگ ساز رخ داده اند. بعد از ته نشست سولفیدها و تدفین آنها، فرایند دیاژنز موجب تبلور کانیها شده است. در بخش لایه‌ای پیریت نسل دوم محصول فرایند دیاژنز بوده و از تبلور مجدد پیریت نسل اول حاصل شده است. همچنین در توالی چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه کانه‌زایی به صورت رخساره رسوبی- برون‌دی که حاوی نوارها و لامینه‌های غنی از هماتیت و منگنز رخ داده است.

## ۵-۴-۲: مرحله ۲: پس از کانه‌زایی (هوازدگی و برونزاد)

در این مرحله، عملکرد فرایندهای هوازدگی و برونزاد باعث تحرک مجدد عناصر و ته‌نشست برخی کانی‌های سولفیدی (مثل کوولیت و دیژنیت) و اکسیدی-هیدروکسیدی-کربناتی ثانویه (مالاکیت و اکسید-هیدروکسیدهای آهن و منگنز در کانسار شده است).

جدول ۵-۱- مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانی‌ها به همراه ساخت و بافت آنها در کانسار مس نه‌کوهی

| Minerals |                       | Volcanic- Exhalative        |            | Diagenesis | Weathering and Supergene |
|----------|-----------------------|-----------------------------|------------|------------|--------------------------|
|          |                       | Stratabound                 | Stratiform |            |                          |
|          |                       | Stringer zone/ Vent complex | Bedded ore |            |                          |
| Mineral  | Pyrite I              | _____                       | ██████████ |            |                          |
|          | Sphalerite I          | _____                       | _____      |            |                          |
|          | Chalcopyrite I        | _____                       |            |            |                          |
|          | Pyrite II             | ██████████                  | .....      | _____      |                          |
|          | Sphalerite II         | _____                       |            |            |                          |
|          | Chalcopyrite II       | ██████████                  |            |            |                          |
|          | Hematite              |                             | ██████████ | _____      | ██████████               |
|          | Pyrolusite            |                             | _____      | _____      | _____                    |
|          | Barite                | ██████████                  |            |            |                          |
|          | Calcite               | ██████████                  |            |            |                          |
|          | Sericite              | ██████████                  |            |            |                          |
|          | Quartz                | ----                        |            |            |                          |
|          | Cholorite             | ██████████                  |            |            |                          |
|          | Coveline              |                             |            |            | _____                    |
|          | Digenite              |                             |            |            | _____                    |
|          | Malachite             |                             |            |            | ██████████               |
|          | Goethite              |                             |            |            | ██████████               |
|          | Limonite              |                             |            |            | ██████████               |
|          | Gypsum                |                             |            |            | _____                    |
| Textures | Disseminated          | _____                       | _____      |            |                          |
|          | Laminated             |                             | ██████████ |            |                          |
|          | Vein- veinlets        | ██████████                  |            |            |                          |
|          | Brecciated            | ██████████                  |            |            |                          |
|          | Massive- semi massive | _____                       |            |            |                          |
|          | Replacmented          | _____                       |            |            | _____                    |
|          | Colloform             | _____                       | _____      |            | _____                    |

## فصل ششم

# مطالعات ژئوشیمیایی

## ۶-۱- مقدمه

مطالعات ژئوشیمیایی از جمله مهم‌ترین بخش‌های مورد مطالعه یک کانسار است. سنگ به عنوان یک سیستم ژئوشیمیایی، تحت تأثیر عوامل مختلفی است که تعادل آن را برهم زده و باعث ایجاد شرایط جدیدی می‌شوند. چگونگی توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در محیط‌های سنگی هر منطقه و تشخیص ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر، از مهم‌ترین جنبه‌هایی است که همواره در مطالعات ژئوشیمیایی مد نظر قرار می‌گیرد و با استفاده از این داده‌ها، می‌توان به ویژگی‌های محیط تشکیل و فرآیندهای موثر در تشکیل یک ذخیره معدنی پی برد (Piercey, 2011). بررسی فراوانی و توزیع عناصر اصلی، فرعی و کمیاب موجود در ذخایر سولفیدی، به منظور درک بهتر رفتار سولفیدها و ارتباط آن‌ها با یکدیگر، در ارائه الگوها و روش‌های مناسب، جهت اکتشاف ذخایر مشابه، سودمند می‌باشد (Piercey, 2010, 2011). اهداف ژئوشیمیایی در این فصل بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین و رسوبی توالی میزبان کانه‌زایی، تعیین محیط تکتونیکی و ماهیت ماگمایی سنگ‌های آذرین و طبقه‌بندی آنها، مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی و توزیع عناصر در مواد معدنی می‌باشد.

## ۶-۲- نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها

به این منظور، پس از بررسی‌های صحرایی و انجام مطالعات میکروسکوپی بر روی واحدهای سنگی و به توالی سنگ‌های میزبان و رخساره‌های کانه‌دار، جهت بررسی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی و عناصر معدنی، ۹ نمونه کانسنگ به روش ICP-MS در آزمایشگاه شرکت مطالعات مواد معدنی زر آزما تهران (جدول ۶-۱) و ۴ نمونه واحد سنگی آنالیز XRD در آزمایشگاه شرکت تحقیقات مواد معدنی کانساران بینالود مورد تجزیه قرار گرفتند. علاوه بر این، در این تحقیق از داده‌های آنالیزی (۵۶۵ نمونه کانسنگ) گروه معدنی و بازرگانی زرمش (۱۳۹۴) که به روش ICP-OES و همچنین (۸ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی) از آنالیزهای انجام



گرفته توسط دوست محمدی و همکاران (۱۳۹۱) به روش ICP-MS در آزمایشگاه ALS chemex Canada نیز استفاده گردیده است (جدول ۶-۳).

### ۶-۳- عناصر اصلی و کمیاب

عناصر اصلی، عناصری هستند که در هر تجزیه سنگی غالباند. این عناصر عبارتند از: P, K, Na, Ca, Mg, Mn, Fe, Al, Ti, Si و غلظت آن‌ها به صورت درصد وزنی (Wt%) اکسید بیان می‌شود. در حال حاضر طیف‌سنجی فلورسان پرتو (XRF) رایج‌ترین روش تجزیه برای تعیین شیمی عناصر اصلی و کمیاب نمونه‌های سنگی است.

عناصر کمیاب به عناصری گفته می‌شود که در حد کمتر از ۱/۰٪ حضور دارند و غلظت آن‌ها به صورت قسمت در میلیون (ppm) یا ندرتاً قسمت در بیلیون (ppb) بیان می‌شود. ولی این روال همیشه رعایت نمی‌شود و گاهی غلظت عناصر کمیاب در تراز بیشتر از ۱/۰٪ نیز گزارش شده است. طیف‌سنجی گسیل پلاسمای جفتیده القائی، یک روش نسبتاً جدید با کارائی خیلی زیاد در ژئوشیمی است. در اصل این روش، توانایی اندازه‌گیری اکثر عناصر موجود در جدول تناوبی را با حدود آشکارسازی پایین و دقت خوب در گستره چندین مرتبه بزرگی، دارا است. جدول ۶-۲ مربوط به نتایج حاصل از آنالیز ICP-MS می‌باشد که غلظت عناصر کمیاب و نادر خاکی و عناصر اصلی را به صورت عنصری در نمونه‌های برداشت شده از کانسار نه‌کوهی نشان می‌دهد.

### ۶-۴- سنسوردگیری

داده‌های سنسورد به داده‌های گفته می‌شود که، به علت بالا بودن حد حساسیت دستگاه‌های اندازه‌گیری، تعدادی از داده‌ها به صورت مقادیر کوچکتر یا بزرگتر از حد حساسیت دستگاه یافت می‌شوند. چنین اعدادی می‌تواند بررسی‌های آماری را مختل کند. زیرا اولاً روش‌های آماری نیاز به مجموعه کاملی از داده‌های

غیرسنسورد دارد و ثانیاً در مواردی، نظیر جداسازی زمینه از آنومالی که سنجش‌های نسبی صورت می‌گیرد، داده‌های سنسورد موجب ارزیابی‌های غیر دقیق می‌شود. اگر داده‌های سنسورد تخمین زده شده و جایگزین گردند مقدار زمینه و شدت آنومالی‌ها دقیقتر محاسبه خواهد شد. با بررسی همه جانبه داده‌های سنسورد و روش‌های مختلف جایگزینی آنها، به جای مقادیر کمتر از حد تشخیص، مقدار  $\frac{3}{4}$  و برای مقادیر بیشتر از حد تشخیص مقدار  $\frac{4}{3}$  حد آن جایگزین گردد. در داده‌های ژئوشیمیایی تحقیق حاضر برخی از عناصر به صورت سنسورد گزارش شده بود و مقدار این عناصر با  $\frac{3}{4}$  حد قابل ثبت روش آنالیز برای آن عنصر جایگزین گردید.

جدول ۶-۱- مشخصات نمونه‌های آنالیز شده ICP-MS رخساره‌های کانه‌دار کانسار نه‌کوهی

| شماره نمونه | محل برداشت نمونه       | نوع نمونه                                                                                 | نوع آنالیز |
|-------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| EX-1        | رخساره اگزالیت         | نوارهای غنی از همتیت و منگنز                                                              | ICP-MS     |
| EX-2        | رخساره اگزالیت         | نوارهای غنی از همتیت و منگنز                                                              | ICP-MS     |
| BH2-41      | رخساره کانسنگ لایه‌ای  | مغزه حفاری حاوی لامینه‌های سولفیدی                                                        | ICP-MS     |
| BH2-41.2    | رخساره کانسنگ لایه‌ای  | مغزه حفاری حاوی لامینه‌های سولفیدی                                                        | ICP-MS     |
| BH2-43.5    | رخساره مجموعه دهانه-ای | مغزه حفاری مغزه حفاری حاوی قطعات رخساره لایه‌ای در زمینه‌ای از کانی‌های سولفیدی و کربناتی | ICP-MS     |
| BH2-45      | رخساره مجموعه دهانه-ای | مغزه حفاری با رگه‌های سولفیدی قطع کننده رخساره لایه‌ای                                    | ICP-MS     |
| BH2-44.7    | رخساره رگه- رگچه‌ای    | مغزه حفاری دارای رگه رگچه‌های کلسیتی- باریتی و سولفیدی                                    | ICP-MS     |
| BH2-87.4    | رخساره رگه- رگچه‌ای    | مغزه حفاری غنی از سولفید (Cpy)                                                            | ICP-MS     |
| BH1-45      | رخساره رگه- رگچه‌ای    | مغزه حفاری دارای رگه‌های سولفیدی                                                          | ICP-MS     |

جدول ۶-۲- مقادیر غلظت عناصر اصلی، عناصر کمیاب و نادر خاکی (گرم در تن) از رخساره‌های کانهدار کانسار مس نه-

ICP-MS کوهی به روش

| Element | EX-1   | EX-2  | BH2-41 | BH2-41.2 | BH2-43.5 | BH2-45 | BH2-44.7 | BH2-87.4 | BH1-45 |
|---------|--------|-------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|
| Ag      | 0.3    | 0.2   | 5.7    | 10.3     | 4.3      | 5.5    | 3.6      | 4.6      | 0.7    |
| Al      | 0.33   | 1.89  | 1.04   | 1.31     | 1.01     | 1.08   | 0.99     | 0.58     | 3.65   |
| Al      | 3300   | 18900 | 10400  | 13100    | 10100    | 10800  | 9900     | 5800     | 36500  |
| As      | 132    | 122   | 959    | 783      | 535      | 1071   | 1037     | 946      | 1306   |
| Ba      | 435    | 7700  | 1900   | 261      | 7000     | 4900   | 800      | 63       | 96     |
| Be      | 1.4    | 1.1   | 1.1    | 1.2      | 1.1      | 1.1    | 0.9      | 1.7      | 0.9    |
| Bi      | 0.1    | 0.1   | 0.2    | 0.3      | 0.2      | 0.3    | 0.2      | 5.2      | 2.6    |
| Ca      | 0.59   | 1.11  | 3.41   | 2.86     | 7.1      | 5.17   | 5.9      | 0.32     | 0.97   |
| Ca      | 5900   | 11100 | 34100  | 28600    | 71000    | 51700  | 59000    | 3200     | 9700   |
| Cd      | 0.1    | 0.1   | 1.6    | 1.5      | 1.1      | 1.6    | 1.5      | 0.6      | 2.7    |
| Ce      | 0.75   | 3     | 7      | 7        | 9        | 3      | 10       | 0.75     | 17     |
| Co      | 6.9    | 2.9   | 9.4    | 9.5      | 8.8      | 10.1   | 6.9      | 9.4      | 12.9   |
| Cr      | 46     | 35    | 32     | 51       | 11       | 17     | 15       | 30       | 10     |
| Cs      | 1.2    | 1     | 1      | 1.2      | 0.9      | 1      | 0.9      | 0.7      | 1.1    |
| Cu      | 358    | 114   | 181    | 546      | 544      | 810    | 2478     | 108700   | 53     |
| Dy      | 13.61  | 1.04  | 3.67   | 3.11     | 3.58     | 2.75   | 3.99     | 2.51     | 2.67   |
| Er      | 5.51   | 0.46  | 1.52   | 1.43     | 1.59     | 1.23   | 1.63     | 1.08     | 1.65   |
| Eu      | 2.97   | 1.48  | 2.48   | 1.4      | 2.18     | 1.59   | 2.64     | 0.93     | 0.72   |
| Fe      | 20.15  | 7.75  | 10.46  | 7.2      | 12.11    | 10.6   | 11.35    | 13.16    | 10.28  |
| Fe      | 201500 | 77500 | 104600 | 72000    | 121100   | 106000 | 113500   | 131600   | 102800 |
| Gd      | 12.82  | 2.12  | 7.05   | 4.93     | 5.67     | 4.49   | 7.34     | 3.36     | 3.15   |
| Hf      | 0.375  | 0.375 | 0.56   | 0.69     | 0.56     | 0.61   | 0.53     | 0.375    | 2.1    |
| In      | 0.375  | 0.375 | 0.375  | 0.375    | 0.81     | 0.375  | 0.71     | 2.89     | 0.375  |
| K       | 1376   | 9462  | 5512   | 7861     | 4950     | 5220   | 4729     | 2162     | 6547   |
| La      | 1      | 3     | 3      | 4        | 3        | 2      | 5        | 0.75     | 10     |
| Li      | 7      | 8     | 9      | 11       | 5        | 8      | 7        | 11       | 6      |
| Lu      | 0.29   | 0.075 | 0.14   | 0.15     | 0.18     | 0.13   | 0.14     | 0.075    | 0.24   |
| Mg      | 498    | 980   | 12199  | 11672    | 34100    | 23800  | 28000    | 340      | 4663   |
| Mn      | 1495   | 105   | 2024   | 1861     | 3630     | 2140   | 2302     | 111      | 429    |

|    |       |       |       |       |       |       |       |        |        |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Mo | 8.4   | 15.8  | 17.9  | 32.3  | 13.6  | 34.3  | 2.8   | 39.5   | 0.075  |
| Na | 264   | 445   | 443   | 523   | 341   | 378   | 345   | 373    | 17592  |
| Nb | 1.8   | 2.8   | 2.9   | 3.2   | 3     | 2.9   | 3.1   | 1.9    | 4.9    |
| Nd | 8.2   | 10.2  | 14.6  | 10.2  | 15.7  | 10.9  | 17.2  | 6.4    | 13.8   |
| Ni | 5     | 5     | 21    | 16    | 11    | 11    | 9     | 10     | 76     |
| P  | 1491  | 1260  | 1552  | 845   | 575   | 655   | 1231  | 1329   | 76     |
| Pb | 11    | 20    | 234   | 322   | 115   | 269   | 201   | 225    | 422    |
| Pr | 1.27  | 1.78  | 2.56  | 2.07  | 2.97  | 1.99  | 3.06  | 1.14   | 3.66   |
| Rb | 8     | 41    | 20    | 24    | 18    | 20    | 17    | 9      | 19     |
| S  | 830   | 1813  | 86700 | 59900 | 89800 | 81800 | 59600 | 151400 | 105100 |
| Sb | 33.1  | 37.1  | 33.8  | 47.8  | 16.4  | 30.9  | 27.4  | 36.5   | 12.1   |
| Sc | 0.375 | 1.6   | 1.6   | 2.5   | 5.8   | 3.1   | 4.7   | 1.1    | 0.9    |
| Se | 2.87  | 2.69  | 3.49  | 4.57  | 3.97  | 4.25  | 3.48  | 4.85   | 2.04   |
| Si | 31.55 | 36.28 | 27.31 | 32.13 | 17.86 | 23.04 | 23.75 | 25.71  | 29.03  |
| Sm | 5.39  | 4.75  | 5.54  | 3.48  | 4.73  | 3.62  | 6.05  | 2.27   | 2.61   |
| Sn | 1.1   | 1.3   | 1.1   | 1.2   | 0.8   | 0.7   | 0.7   | 42.2   | 1.1    |
| Sr | 60.5  | 193   | 78.5  | 41.6  | 75.7  | 59.6  | 78    | 15.4   | 19.9   |
| Ta | 0.32  | 0.3   | 0.41  | 0.4   | 0.34  | 0.38  | 0.38  | 0.28   | 0.89   |
| Tb | 2.18  | 0.13  | 0.64  | 0.48  | 0.56  | 0.45  | 0.69  | 0.35   | 0.37   |
| Te | 0.075 | 0.2   | 0.075 | 0.27  | 0.35  | 0.12  | 0.075 | 0.075  | 0.075  |
| Th | 1.34  | 3.9   | 2.12  | 2.84  | 1.63  | 1.58  | 2.56  | 1.8    | 8.31   |
| Ti | 141   | 722   | 386   | 540   | 310   | 370   | 205   | 13.3   | 13.3   |
| Tl | 0.075 | 0.2   | 5.52  | 6.57  | 3.34  | 8.29  | 6.05  | 3.83   | 23.88  |
| Tm | 0.58  | 0.12  | 0.22  | 0.2   | 0.22  | 0.18  | 0.21  | 0.16   | 0.26   |
| U  | 1.3   | 0.8   | 2.2   | 2.9   | 2     | 2.8   | 1.8   | 3.24   | 2.3    |
| V  | 45    | 36    | 7     | 42    | 39    | 38    | 33    | 38     | 0.75   |
| W  | 10.2  | 2.3   | 2.6   | 2.7   | 2.7   | 2.8   | 3.3   | 2.9    | 0.75   |
| Y  | 54.7  | 2.9   | 13.2  | 11.2  | 13.4  | 10.2  | 14.7  | 8.7    | 11.3   |
| Yb | 2.3   | 0.5   | 1     | 1.1   | 1.2   | 1     | 1     | 0.7    | 1.5    |
| Zn | 27    | 24    | 47    | 71    | 45    | 80    | 42    | 46     | 21     |
| Zr | 12    | 15    | 19    | 22    | 20    | 20    | 17    | 11     | 35     |

جدول ۶-۳- مقادیر غلظت عناصر کمیاب و نادر خاکی (گرم در تن) سنگ‌های آتشفشانی کوه آبنیل به روش ICP-MS در آزمایشگاه AIS کانادا (دوست‌محمدی و همکاران، ۱۳۹۱).

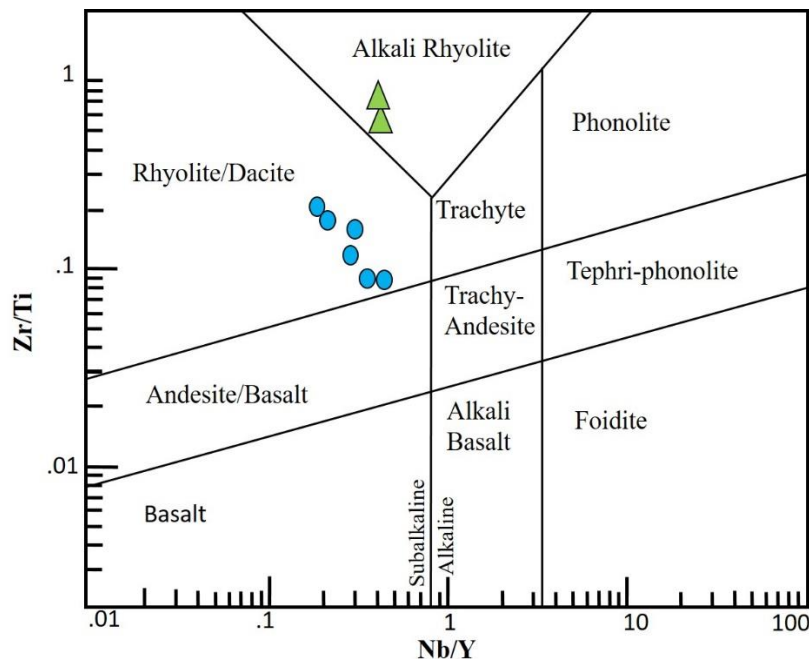
| داده‌های آنالیز ICP-MS<br>برای<br>Sample/Element | 5DM-5 | 7DM-3 | 10DM-4 | 12DM-2 | 13DM-1 | 13DM-2 | DM-14 |
|--------------------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Zr                                               | 154   | 164   | 324    | 65     | 309    | 333    | 206   |
| Ti                                               | 1070  | 892   | 3807   | 356    | 3569   | 3867   | 1784  |
| La                                               | 42.2  | 50.5  | 40.5   | 16.4   | 45.4   | 36.6   | 90.9  |
| Yb                                               | 3.08  | 3.25  | 5.25   | 2.14   | 5.25   | 7.59   | 3.64  |
| Nb                                               | 7.9   | 6.4   | 20.7   | 4.3    | 19.1   | 20.4   | 11.5  |
| Y                                                | 27.3  | 32.6  | 46.9   | 17.3   | 49.3   | 54.6   | 33.1  |
| Ce                                               | 85.5  | 94.8  | 74.7   | 27.8   | 110.5  | 72.1   | 123.5 |
| Pr                                               | 10.2  | 10.9  | 10.25  | 2.71   | 14     | 7.38   | 11.8  |
| Nd                                               | 37.8  | 39.1  | 38.3   | 9.1    | 54.5   | 23.6   | 36    |
| Sm                                               | 7     | 4.47  | 8.26   | 2.11   | 12.7   | 4.16   | 3.8   |
| Eu                                               | 1.5   | 1.7   | 1.06   | 0.55   | 1.58   | 0.78   | 0.84  |
| Gd                                               | 6.29  | 7.17  | 7.82   | 2.45   | 10.25  | 6.02   | 4.38  |
| Tb                                               | 0.87  | 1.07  | 1.33   | 0.43   | 1.5    | 1.21   | 0.77  |
| Dy                                               | 4.91  | 5.99  | 8.12   | 2.78   | 8.71   | 8.77   | 5.16  |
| Ho                                               | 1.05  | 1.23  | 1.78   | 0.62   | 1.85   | 2.11   | 1.21  |
| Tm                                               | 0.46  | 0.51  | 0.81   | 0.31   | 0.81   | 1.11   | 0.55  |
| Lu                                               | 0.45  | 0.5   | 0.78   | 0.34   | 0.78   | 1.15   | 0.55  |
| Ba                                               | 117   | 2240  | 1165   | 4210   | 1995   | 1020   | 1490  |
| Rb                                               | 6     | 12.1  | 164.5  | 121.5  | 174    | 167    | 189   |
| Ta                                               | 0.7   | 0.6   | 1.6    | 0.6    | 1.6    | 1.7    | 0.9   |
| Hf                                               | 4.8   | 5.1   | 8.8    | 2.5    | 8.6    | 9.2    | 7.2   |
| Ti                                               | 1070  | 892   | 3807   | 356    | 3569   | 3867   | 1784  |
| Cs                                               | 0.12  | 0.56  | 3.27   | 1.24   | 2.52   | 1.76   | 2.22  |
| U                                                | 3.3   | 3.28  | 3.41   | 2.29   | 4.35   | 7.52   | 1.93  |
| Sr                                               | 107.5 | 47.2  | 31     | 116    | 45.5   | 33.4   | 23.4  |
| Sample/Element                                   | Zr    | Ti    | La     | Yb     | Nb     | Y      |       |
| NKH-BH2                                          | 201   | 332   | 33     | 2.8    | 8.8    | 36     |       |
| NKH-BH3                                          | 225   | 332   | 37     | 2.8    | 8.2    | 35     |       |

## ۶-۵- ژئوشیمی سنگ‌های آذرین

سنگ‌های آذرین در منطقه نه‌کوهی به صورت گدازه‌های آتشفشانی به همراه سنگ‌های رسوبی رخنمون دارد. با توجه به اینکه میزبان کانه‌زایی در منطقه سنگ‌های آتشفشانی اسیدی و رسوبی می‌باشد، لذا مطالعات ژئوشیمیایی بر روی این سنگ‌ها اطلاعات مهمی را در رابطه با منشأ و ترکیب سنگ‌های منطقه در اختیار قرار خواهد داد.

## ۶-۵-۱- تعیین سری ماگمایی و طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی

به منظور تعیین ترکیب و ماهیت سنگ‌های مورد نظر، از نمودارهای مربوطه مبتنی بر عناصر کمیاب کم تحرک از جمله  $\text{Zr}$ ،  $\text{Ti}$ ،  $\text{Nb}$  و  $\text{Y}$  که جزء عناصر دارای قدرت میدانی بالا هستند، استفاده می‌شود. برای طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی براساس نمودار  $\text{Zr/Ti}$  در مقابل  $\text{Nb/Y}$  (Pearce, 1996)، بیشتر نمونه‌ها در محدوده داسیتی و تعداد کمتر در محدوده آکالی ریولیت قرار می‌گیرد (شکل ۶-۱).



شکل ۶-۱- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه در نمودار Pearce, 1996

● داسیت ▲ ریولیت

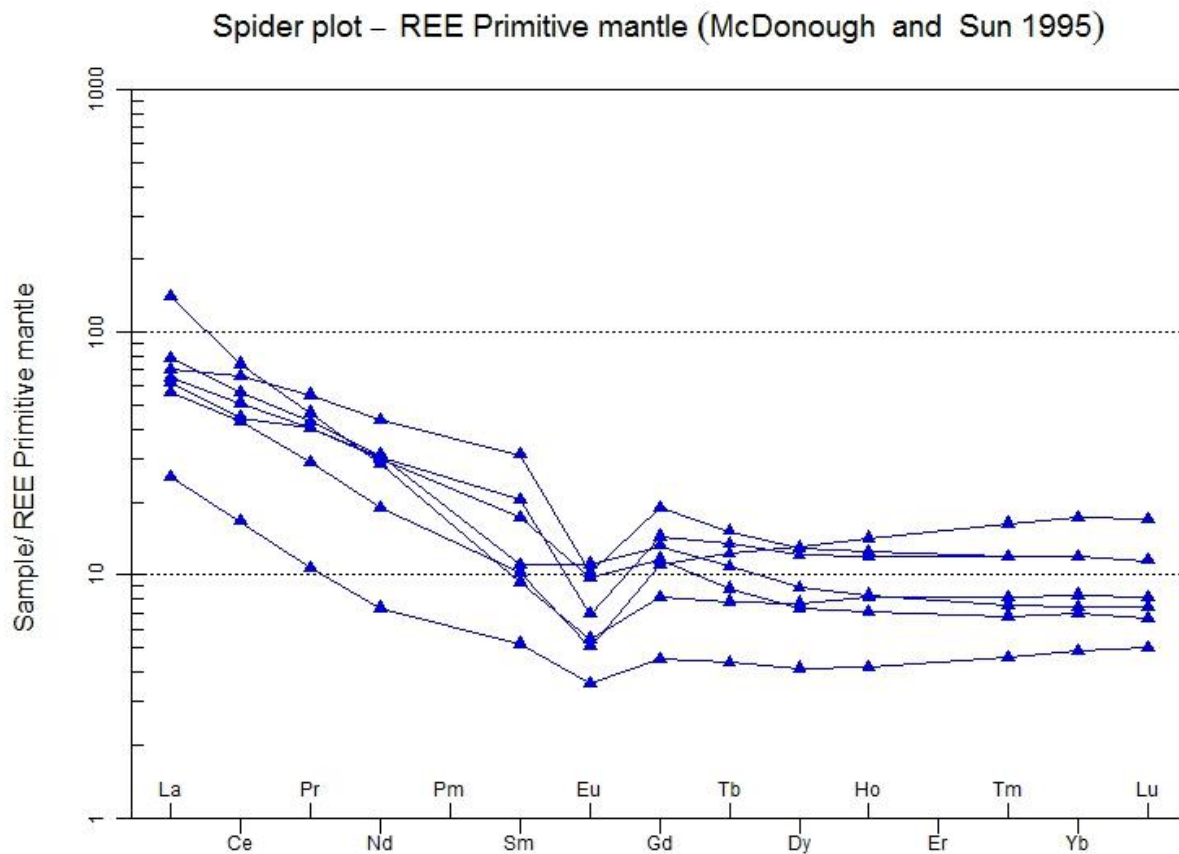
## ۶-۵-۲- الگوی پراگندگی عناصر نادر خاکی در سنگ‌های آتشفشانی کوه آبیل

عناصر نادر خاکی (REE) جزو عناصر با کمترین قابلیت انحلال بوده و در طول فرایندهای هوازدگی، دگرگونی درجه پایین و دگرسانی گرمابی خفیف نسبتاً غیر متحرک هستند. بدین جهت این عناصر، به علت تحرک بسیار کم در محیط‌های زمین‌شناسی، کاربرد فراوانی در تعیین منشأ کانسارهای آذرین، دگرگونی و رسوبی دارند (Rollinson, 1993). در نمودارهای عناصر نادر خاکی به هنجار شده به کندریت (McDonough and Sun 1995) نشانگر غنی‌شدگی LREE (بجز Eu) نسبت به HREE است (Taylor and McLennan, 1985). (شکل ۶-۲).

الگوی REE در سنگهای میزبان کانسار می تواند مربوط به ماهیت کانی شناسی سنگ بوده و آنومالی منفی Eu می تواند ناشی از تفریق در ماگمای اولیه و کمبود پلاژیوکلازهای غنی از کلسیم باشد. در حالت کلی، الگوی عناصر نادر خاکی در یک سنگ اسیدی به دلیل همراه بودن Eu با فلدسپات‌های غنی از Ca و کمبود



این پلاژیوکلازها در این سنگها، دارای آنومالی Eu منفی می‌باشد. بر اساس مطالعات تایلور (Taylor, 1986) و گراف (Graf, 1977)، آنومالی منفی Eu در سنگهای میزبان ماده معدنی در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد می‌تواند در اثر شسته شدن و متحرک شدن Eu از این سنگها و نهشته شدن آنها در ماده معدنی باشد.

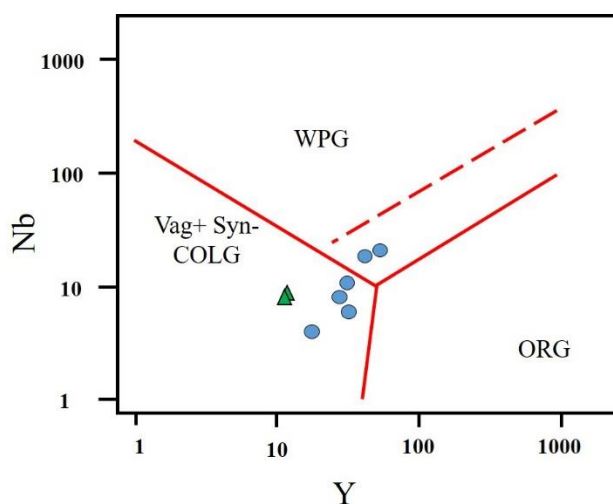


شکل ۶-۲- نمودار فراوانی عناصر نادر خاکی بهنجار شده به گوشته اولیه (Nakamura, 1974) (داده‌ها از دوست محمدی و همکاران، ۱۳۹۱)

### ۳-۵-۶- تعیین محیط تکتونیکی

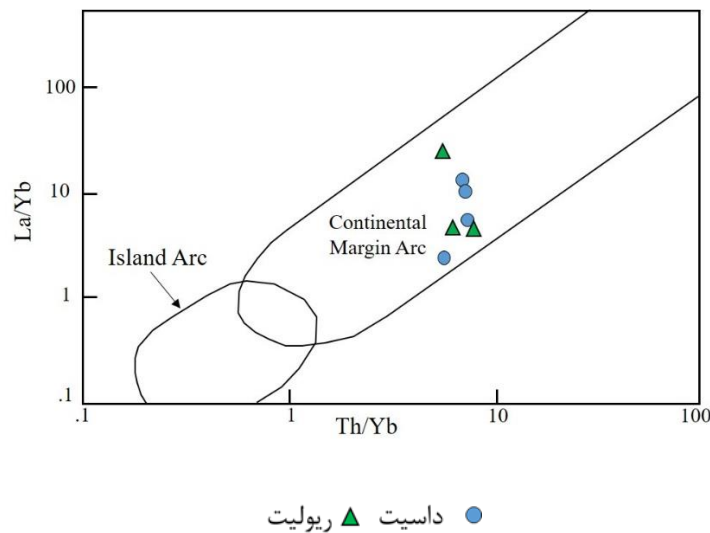
با توجه به اینکه ارتباط خاصی بین شیمی عناصر اصلی و نادر خاکی با محیط تکتونیکی ماگمایی سنگ‌ها وجود دارد، امروزه از نمودارهای ژئوشیمیایی برای تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌ها استفاده می‌شود. همانگونه که در پیشتر عنوان شد، جنس سنگ‌ها بیشتر در محدوده داسیتی و تعداد کمتر در محدوده آلکالی ریولیت قرار می‌گیرد.

بر اساس قرارگرفتن نمونه‌های آتشفشانی رشته‌کوه آبنیل در نمودار (Pearce et al. 1984)، در این نمودار نمونه‌ها از نوع پشته‌های میان اقیانوسی (ORG) و درون صفحه‌ای (WPG) نبوده و بیشتر ویژگی‌های کمان آتشفشانی (VAG) را از خود نشان می‌دهند (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۶- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی رشته‌کوه آبنیل در نمودار Y در برابر Nb (Pearce et al. 1984)

همچنین در نمودار La/Yb در برابر Th/Yb (condie, 1989) نمونه‌های بررسی‌شده در محدوده کمان قاره‌ای فعال واقع شده‌اند (شکل ۴-۶).



شکل ۶-۴- موقعیت نمونه‌های آتشفشانی رشته کوه آبنیل در نمودار  $La/Yb$  در برابر  $Th/Yb$  از (condie, 1989) داده از دوست محمدی و همکاران، ۱۳۹۱)

## ۶-۶- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی

عناصر نادر خاکی (REE) یا لانتانیدها، عناصری با عدد اتمی ۵۷ تا ۷۱ می‌باشند. این عناصر، مفیدترین عناصر جزئی‌اند و مطالعه آن‌ها، کاربردهای مهمی در سنگ‌شناسی آذرین، رسوبی و دگرگونی دارد. اعضای با عدد اتمی بالا، خاک‌های کمیاب سنگین (HREE) و اعضای با عدد اتمی پایین از این سری عناصر را خاک‌های کمیاب سبک (LREE) نامیده می‌شوند. گاهی اعضای میان این گروه، یعنی Sm تا Ho، خاک‌های کمیاب میانی (MREE) نامیده می‌شوند.

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ۵۷ | ۵۸ | ۵۹ | ۶۰ | ۶۱ | ۶۲ | ۶۳ | ۶۴ | ۶۵ | ۶۶ | ۶۷ | ۶۸ | ۶۹ | ۷۰ | ۷۱ |
| La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |

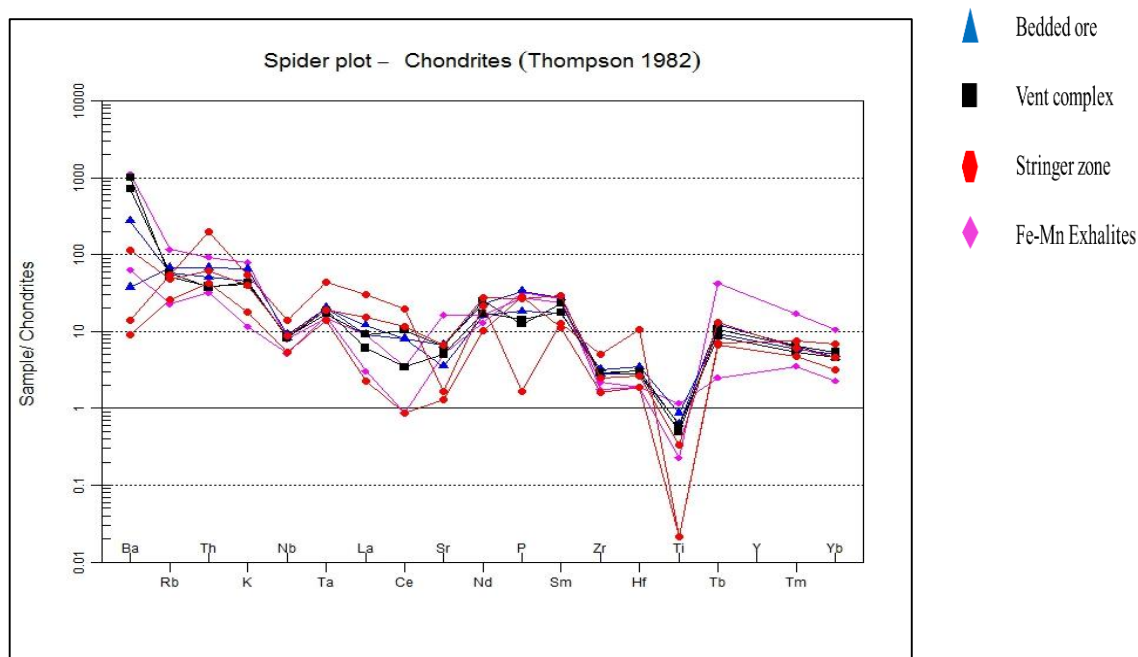
در بیشتر مواقع، عناصر جزئی، جایگزین عناصر اصلی کانی‌های سنگ‌ساز می‌شوند و تنها گاهی، عناصر جزئی، کانی‌های خود را می‌سازند. در هر مجموعه‌ای از سنگ که دچار دگرسانی گرمابی یا دگرگونی شده باشد احتمال تحرک عناصر وجود دارد. تحرک عناصر جزئی توسط تغییرات کانی‌شناختی زمان دگرسانی و ماهیت فاز سیال کنترل می‌شود. به عنوان یک اصل کلی، عناصر ناسازگار وابسته به گروه LTLE (Cs, Sr, )

Th, Zr, Hf, شامل HFSE نامتحرک‌اند. گروه HFSE شامل (K, Rb, Ba, Pb, Eu) متحرک‌اند درحالی که عناصر HFSE نامتحرک‌اند. افزون بر این، فلزهای واسطه Mn, Zn و Cu به‌ویژه در U, Ce, Pb, Ti, Nb, Ta می‌شود (پیرس، ۱۹۸۳). دماهای بالا متحرک‌اند (Sivald and Seifrid, 1990)، درحالی که Co, Ni, V و Cr نامتحرک‌اند. این اصل-های کلی به طور طبیعی معتبرند، گرچه استثنای زیادی برای آن‌ها گزارش شده است. غلظت عناصر جزئی در رسوبات، نتیجه تأثیرهای عوامل مختلف است از جمله: ناحیه منشأ، هوازدگی، دیاژنز، جورشدگی رسوب و زمین‌شیمی آبگین هریک از عناصر. جهت بررسی فرآیندهای پترولوژیکی، از نمودارهای عنکبوتی به‌هنجارشده استفاده می‌شود. در این نمودارها از بهنجارسازی فراوانی عناصر کمیاب نسبت به فراوانی این عناصر در یک سری نمونه استاندارد خاص استفاده می‌شود (Rollinson, 1993). در راستای مطالعه و بررسی رفتار عناصر نادر خاکی، تعداد نمونه سنگی از رخساره‌های مختلف شامل استرینگر، مجموعه دهانه‌ای، لایه‌ای و برون‌دمی-رسوبی از افق‌های مختلف انتخاب و به شرکت زرازا جهت آنالیز ICP-MS فرستاده شد.

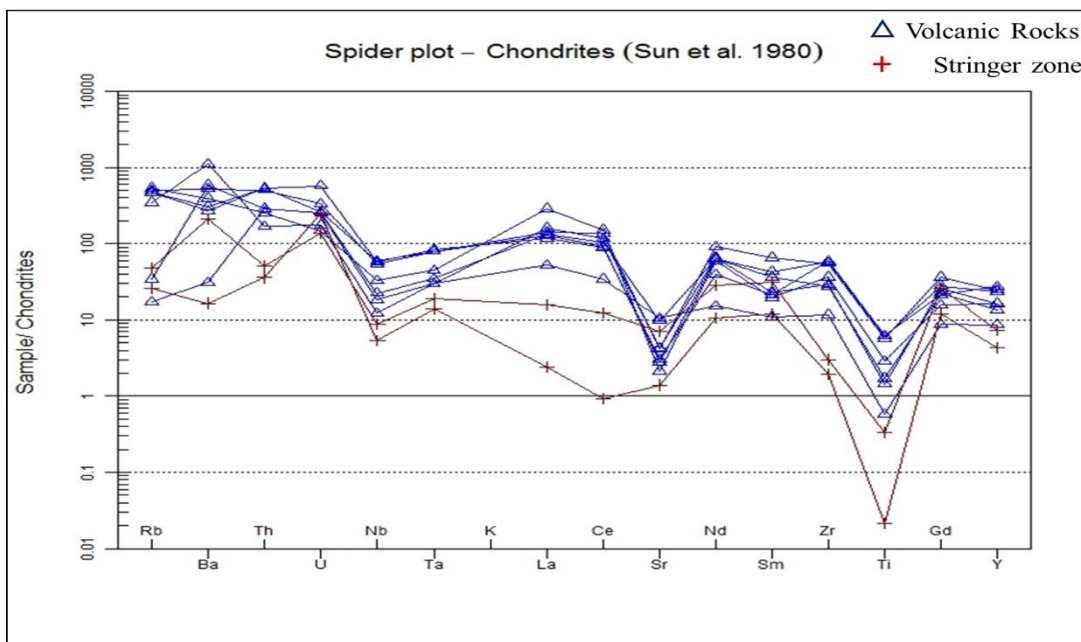
## ۶-۶-۱- الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در ماده معدنی

الگوی عناصر کمیاب و نادر خاکی برای تفسیر تاریخچه و ژنز کانسار کاربرد زیادی دارد (Lottermoser, 1992). جهت بررسی الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در ماده معدنی، نتایج حاصل از آنالیز ۹ نمونه از رخساره‌های کانه‌دار کانسار نه‌کوهی انجام گرفته‌است. الگوی عناصر کمیاب و خاکی رخساره‌های رگه‌رگچه-ای، مجموعه دهانه‌ای، لایه‌ای و برون‌دمی-رسوبی کاملاً شبیه هم می‌باشند. الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در کانسار نه‌کوهی، با الگوی سنگ‌های آتشفشانی شباهت زیادی نشان می‌دهد (شکل ۶-۵). این امر، می‌تواند نشان‌دهنده نشأت گرفتن فلزات و عناصر کانه‌ساز از شستشوی این سنگ‌های آتشفشانی کم‌پایین توسط سیال کانه‌ساز باشد (شکل ۶-۶). مقدار REE در رخساره‌های مختلف پایین می‌باشد به این دلیل است که بیشتر کانی‌های سولفیدی و اکسیدی میزبان خوبی برای REE نیستند (Cullers and Graf, 1984).

الگوی عناصر نادر خاکی مربوط به ماده معدنی دارای شیب یکنواخت با آنومالی منفی Nb, Sr, Ti می‌باشد. تهی‌شدگی Nb, Ti می‌تواند منعکس کننده حضور کانی‌های حاوی Ti و یا Nb-Ti در منشأ باشد، که این تهی‌شدگی نشان‌دهنده تشکیل سنگ‌های آتشفشانی مذکور در کمان حاشیه قاره می‌باشد (شکل ۶-۶). همچنین برای عنصر سریم (Ce)، براساس (Goseph and Graf, 1981) و (Spry et al., 2000) آنومالی منفی این عنصر از خواص ژئوشیمی REE در آب دریا می‌باشد. بنابراین آنومالی منفی Ce در رخساره‌های مختلف ماده معدنی در کانسار نه‌کوهی نشانه ته‌نشست آن در یک محیط دریائی یا در ارتباط با آب‌های فرورو در توالی میزبان زیر کف دریا می‌باشد و یا براساس (Song et al., 1999) می‌تواند نشانه دگرسانی سنگ‌ها در طی کانی‌سازی در محیط اولیه باشد (شکل ۶-۵).



شکل ۶-۵- نمودار عناصر کمیاب و نادر خاکی در مواد معدنی سولفیدی کانسار نه‌کوهی که به کندریت (Thompson, 1982) نرمالیزه شده‌اند.



شکل ۶-۶- مقایسه نمودار الگوی عناصر کمیاب و نادر خاکی در رخساره استرینگر کانسار یا سنگ‌های آتشفشانی کوه آبنیل که به کندریت (Sun et al., 1980) نرمالیز شده اند.

## ۶-۷- ژئوشیمی مس

مس از فلزات پایه و بیست و چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین است و فراوانی مس در پوسته زمین ۵۵ گرم در تن می‌باشد. نماد این عنصر Cu، عدد اتمی ۲۹، عدد جرمی ۶۴ است. از لحاظ ژئوشیمیایی مس خاصیت کالکوفیل و سیدروفیل دارد که در ردیف اول فلزات واسطه و در گروه یازدهم جدول تناوبی قرار می‌گیرد.

## ۶-۸- میزان پراکندگی و ضریب همبستگی عناصر

برای پاسخ دادن به این سوال که بین اکسیدها و عناصر چه نوع وابستگی‌هایی وجود دارد، از روش آماری همبستگی استفاده می‌شود. طبق تعریف، همبستگی عبارت است از سنجشی از شدت وابستگی بین دو متغیر اندازه‌گیری شده در یک مجموعه از داده‌های منفرد (Rollinson, 1993). این پارامتر با استفاده از ضریب همبستگی خطی حاصل ضرب مومنت پیرسون محاسبه شده و به عنوان ضریب همبستگی معروف

است. در جدول همبستگی، ارتباط میان هر عنصر با سایر عناصر، به صورت عددی بین ۱- تا ۱+ نشان داده می‌شود. علامت مثبت بیانگر ارتباط مستقیم بین دو عنصر و علامت منفی بیانگر ارتباط معکوس بین دو عنصر می‌باشد. هر چه قدر قدر مطلق ضریب به دست آمده بین دو عنصر به عدد یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر ارتباط قوی‌تر (مستقیم یا معکوس) بین آن دو عنصر می‌باشد (حبیب‌پور و صفری، ۱۳۸۸). جدول ۴-۶ ضریب همبستگی عناصر برای نمونه‌های کانسنگ منطقه کانسار نه‌کوهی را نشان می‌دهد که با استفاده از نرم‌افزار SPSS تهیه شده است.

جدول ۴-۶- ضرایب همبستگی عناصر در کانسار مس نه‌کوهی.

|    | Ag     | Al     | As     | Ca     | Co     | Cd     | Cu    | Fe    | Mg    | Mn   | Mo    | Pb    | Sr    | Zn |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|----|
| Ag | 1      |        |        |        |        |        |       |       |       |      |       |       |       |    |
| Al | -.087  | 1      |        |        |        |        |       |       |       |      |       |       |       |    |
| As | .756*  | .317   | 1      |        |        |        |       |       |       |      |       |       |       |    |
| Ca | .524   | .213   | .338   | 1      |        |        |       |       |       |      |       |       |       |    |
| Co | .600   | .046   | .791*  | .120   | 1      |        |       |       |       |      |       |       |       |    |
| Cd | .736*  | .446   | .951** | .528   | .782*  | 1      |       |       |       |      |       |       |       |    |
| Cu | .443   | -.553  | .268   | -.260  | .141   | .015   | 1     |       |       |      |       |       |       |    |
| Fe | -.230  | -.748* | -.218  | -.335  | .179   | -.321  | .284  | 1     |       |      |       |       |       |    |
| Mg | .601   | .336   | .542   | .963** | .344   | .726*  | -.262 | -.357 | 1     |      |       |       |       |    |
| Mn | .493   | -.202  | .260   | .779*  | .410   | .437   | -.223 | .157  | .775* | 1    |       |       |       |    |
| Mo | .394   | -.570  | -.219  | .106   | -.267  | -.293  | .468  | -.048 | -.065 | .064 | 1     |       |       |    |
| Pb | .763*  | .445   | .973** | .344   | .746*  | .954** | .192  | -.407 | .549  | .201 | -.185 | 1     |       |    |
| Sr | -.300  | .015   | -.583  | .465   | -.763* | -.434  | -.454 | -.228 | .240  | .201 | .283  | -.555 | 1     |    |
| Zn | .876** | -.242  | .477   | .525   | .366   | .458   | .408  | -.220 | .516  | .491 | .666  | .498  | -.066 | 1  |



براساس مطالعات و بررسی های ژئوشیمیائی انجام شده بر روی عناصر اصلی و فرعی کانسار ساز در رخساره های مختلف کانه زائی در محدوده معدنی نه کوهی، نشان داد مهمترین عناصر اصلی Cu- Zn- Pb- Ag و مهمترین عناصر فرعی شامل As -Cd-Mo-Co و Sr می باشند.

براساس محاسبه ضریب همبستگی بعضی از عناصر مهم در کانسار نه کوهی به روش پیرسون جدول (۴-۶):

مس (Cu): همبستگی مثبت با عناصر روی ( $r = .408$ )، سرب ( $r = .192$ )، مولیبدن ( $r = .468$ )، نقره ( $r = .443$ )، آرسنیک ( $r = .268$ ) و کبالت ( $r = .141$ ) نشان می دهد و همبستگی منفی با عناصر آلومینیوم ( $r = -.553$ )، کلسیم ( $r = -.260$ )، منیزیم ( $r = -.262$ )، منگنز ( $r = -.223$ ) و استرانسیم ( $r = -.454$ ) دارد.

روی (Zn): همبستگی مثبت بالایی با عنصر نقره ( $r = .876$ ) نشان می دهد و همبستگی منفی با عناصر آلومینیوم ( $r = -.242$ ) و آهن ( $r = -.220$ ) دارد.

سرب (Pb): همبستگی مثبت بسیار بالایی با عناصر نقره ( $r = .763$ )، آرسنیک ( $r = .973$ )، کبالت ( $r = .746$ ) و کادمیم ( $r = .954$ ) نشان می دهد. همچنین این عنصر با عناصر آهن ( $r = -.407$ ) و مولیبدن ( $r = -.185$ ) همبستگی منفی دارد.

نقره (Ag): همبستگی مثبت بسیار بالایی با عناصر آرسنیک ( $r = .756$ )، کادمیم ( $r = .736$ ) و سرب ( $r = .763$ ) دارد و با توجه به این جدول همبستگی منفی با عناصر آلومینیوم ( $r = -.087$ )، آهن ( $r = -.230$ ) و استرانسیم ( $r = -.300$ ) نشان می دهد.

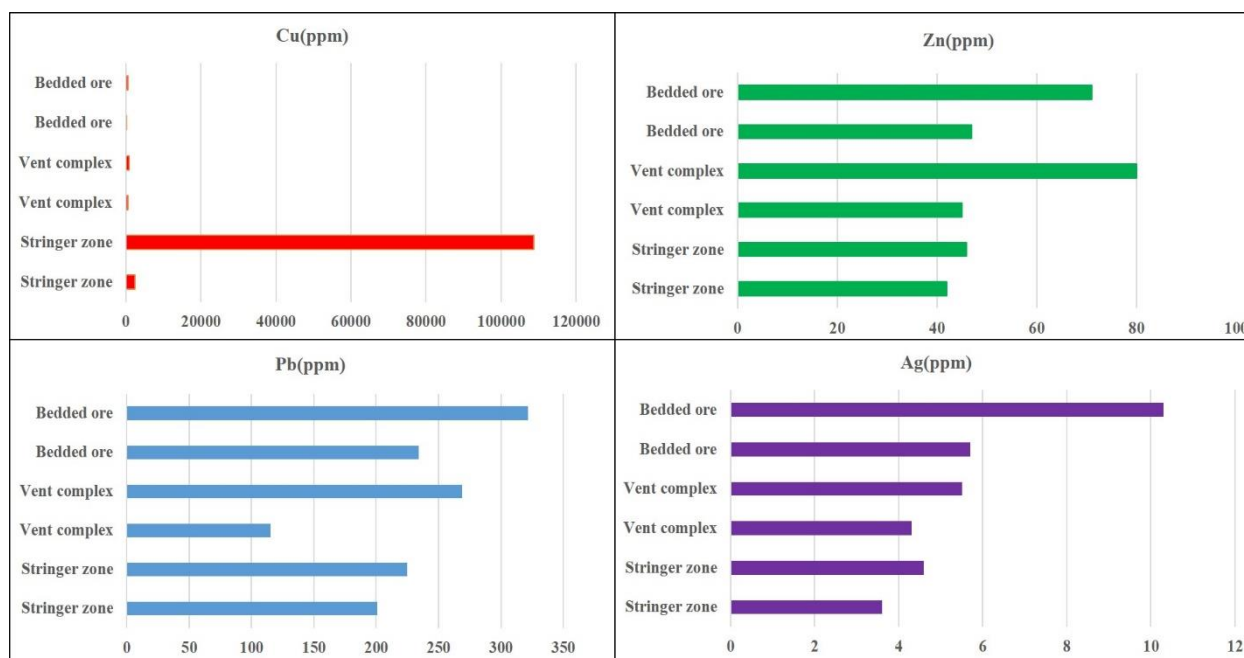
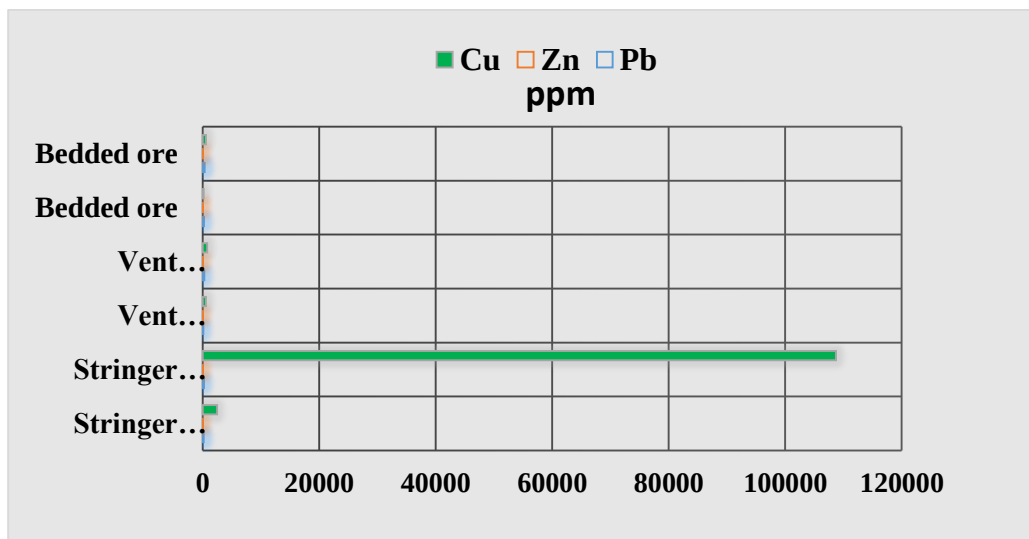
آرسنیک (As): بیشترین همبستگی را با عناصر کبالت ( $r = .791$ )، کادمیم ( $r = .951$ )، سرب ( $r = .973$ )، نقره ( $r = .756$ ) و کمترین همبستگی را عنصر استرانسیم ( $r = -.583$ ) دارد.

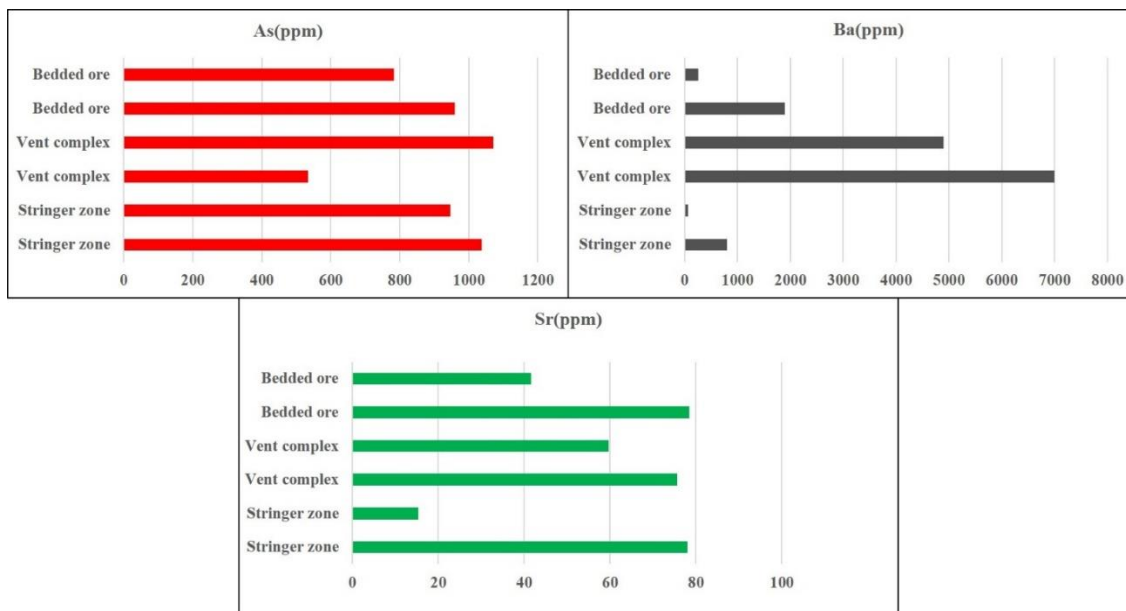
## ۹-۶- ویژگی‌های ژئوشیمیایی رخساره‌های استرینگر، دهانه‌ای و کانسنگ لایه‌ای

برای مقایسه ویژگی ژئوشیمیایی رخساره‌های مختلف تعداد ۷ عنصر انتخاب شد و در رخساره‌های مختلف میزان آنها با یکدیگر مقایسه شده است (جدول ۵-۶) (شکل ۶-۱۱).

جدول ۵-۶- ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی رخساره‌های سه گانه کانسار مس نه‌کوهی

| کانسار مس نه‌کوهی                              | رخساره رگه- رگچه‌ای                 | رخساره مجموعه دهانه‌ای            | رخساره کانسنگ لایه‌ای                |
|------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| سنگ میزبان                                     | گدازه داسیتی- شیل سیاه              | گدازه داسیتی- شیل سیاه            | شیل سیاه                             |
| شکل کانی سازی در مقیاس نمونه دستی و میکروسکوپی | رگه- رگچه ای، جانشینی، دانه پراکنده | رگه- رگچه‌ای، برشی و دانه پراکنده | لامینه، نواری، دانه پراکنده، کلوفرمی |
| کانی شناسی                                     | Py> Cpy> Sph                        | Py> Cpy> Sph                      | Py> Sph                              |
| عناصر فلزی همراه                               | Fe, Ti, Cu, Zn,Pb, As, Co, Ag       | Fe, Ti, Cu, Zn,Pb, As, Co, Ag     | Fe, Ti, Cu, Zn,Pb, As, Co, Ag        |
| Cu(ppm)                                        | 108700                              | 810                               | 181                                  |
| Zn(ppm)                                        | 46                                  | 80                                | 71                                   |
| As(ppm)                                        | 1037                                | 1071                              | 959                                  |
| Ag(ppm)                                        | 4.6                                 | 5.5                               | 10.3                                 |
| Co(ppm)                                        | 12.9                                | 10.1                              | 9.5                                  |

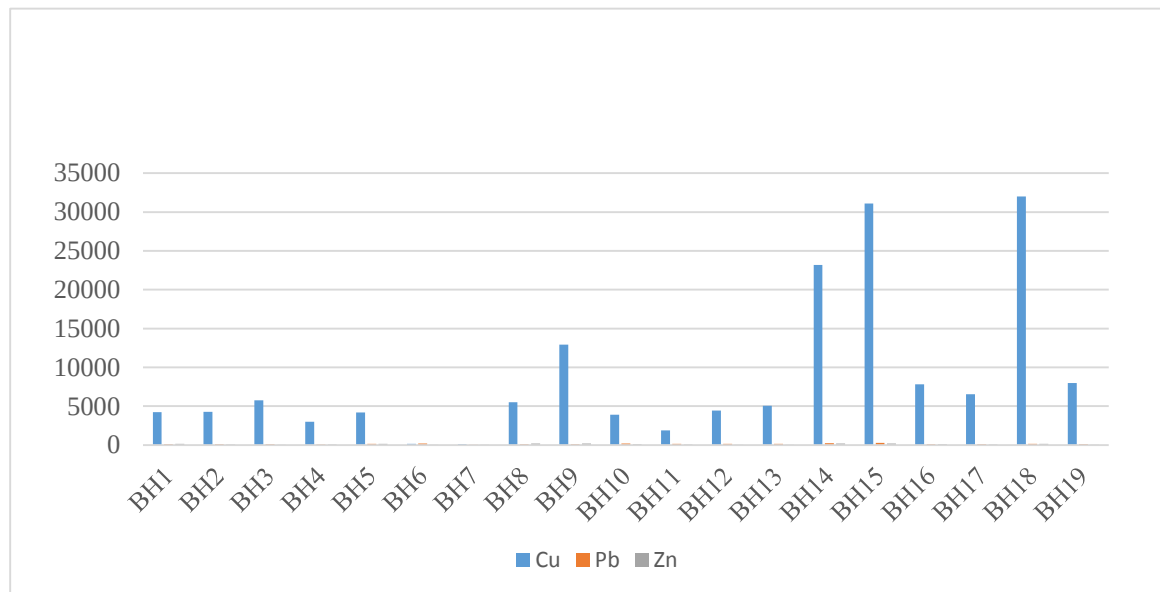




شکل ۶-۷- نمودارهای هیستوگرام عناصر برای عناصر مختلف برای رخساره‌های کانسار مس نه‌کوهی

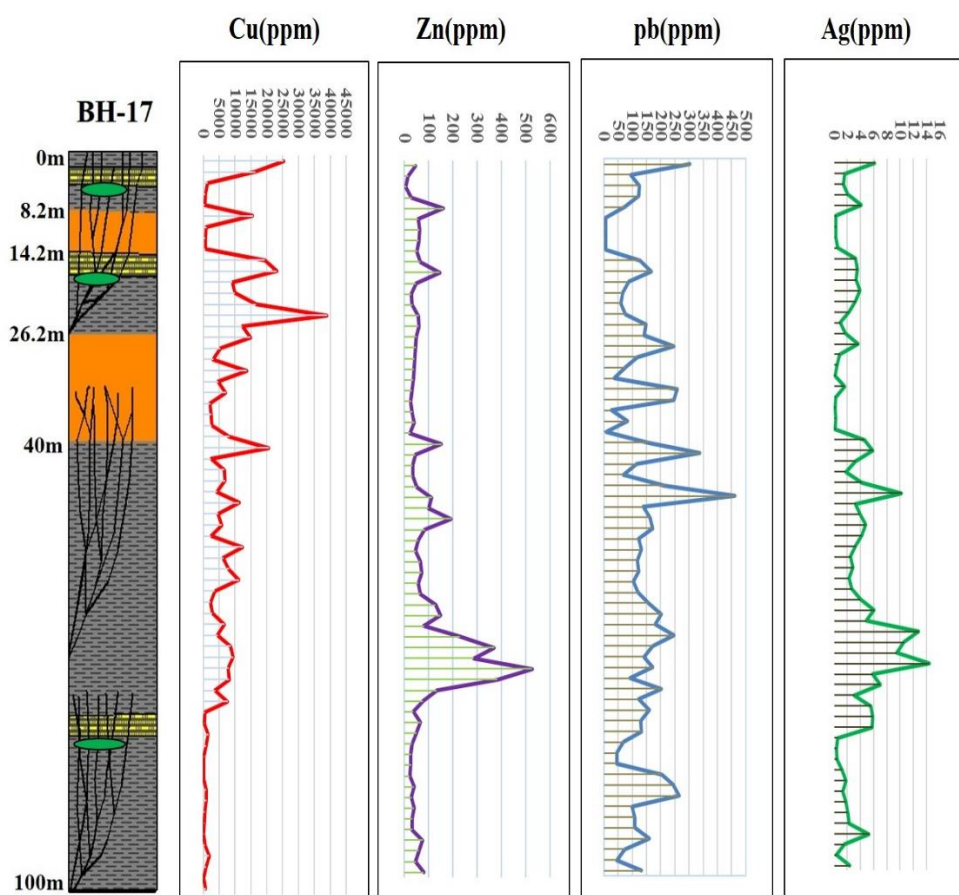
بر اساس مطالعات ژئوشیمی بر روی کانسنگ، این کانسار غنی از مس می‌باشد و میزان روی و سرب بسیار پایین است (شکل ۶-۱۱) و میزان مس در پهنه‌ی استرینگر (108700ppm) کانسار بیشتر از قسمت‌های لایه-ای (حدود 181ppm) زیرا کانه‌زایی مس بصورت کالکوپیریت در این پهنه دیده می‌شود. بیشترین مقدار روی در رخساره مجموعه دهانه‌ای (80ppm) و کمترین مقدار در رخساره کانسنگ رگه-رگچه‌ای (۴۶ گرم در تن) می‌باشد. بیشترین مقدار سرب در رخساره کانسنگ لایه‌ای در حدود (322ppm) است. میزان نقره از رخساره استرینگر به طرف رخساره لایه‌ای افزایش نشان می‌دهد. براساس مطالعات کانی‌شناسی، در رخساره رگه-رگچه‌ای کالکوپیریت بسیار بیشتر از میزان اسفالریت است، و در رخساره کانسنگ لایه‌ای تنها اسفالریت وجود داشته و کالکوپیریت دیده نمی‌شود. در کانسار نه‌کوهی کانی‌سازی اصلی رخساره رگه-رگچه‌ای می‌باشد و میزان مس بالایی دارد. در رخساره لایه‌ای میزان مس کاسته شده و میزان روی افزایش یافته است. در طی اکتشافات تفصیلی، در مجموع ۱۹ گمانه در محدوده نه‌کوهی حفاری شده‌است. با توجه به بخش‌های کانه‌دار تعداد ۵۶۵ نمونه از گمانه‌ها انتخاب و با روش ICP-OES آنالیز شده‌اند.

با توجه به نتایج آنالیزهای انجام شده پراکندگی سه عنصر مس، روی و سرب در نمودار به این صورت است که کانسار نه کوهی میزان مس بالایی دارد (شکل ۶-۱۲).



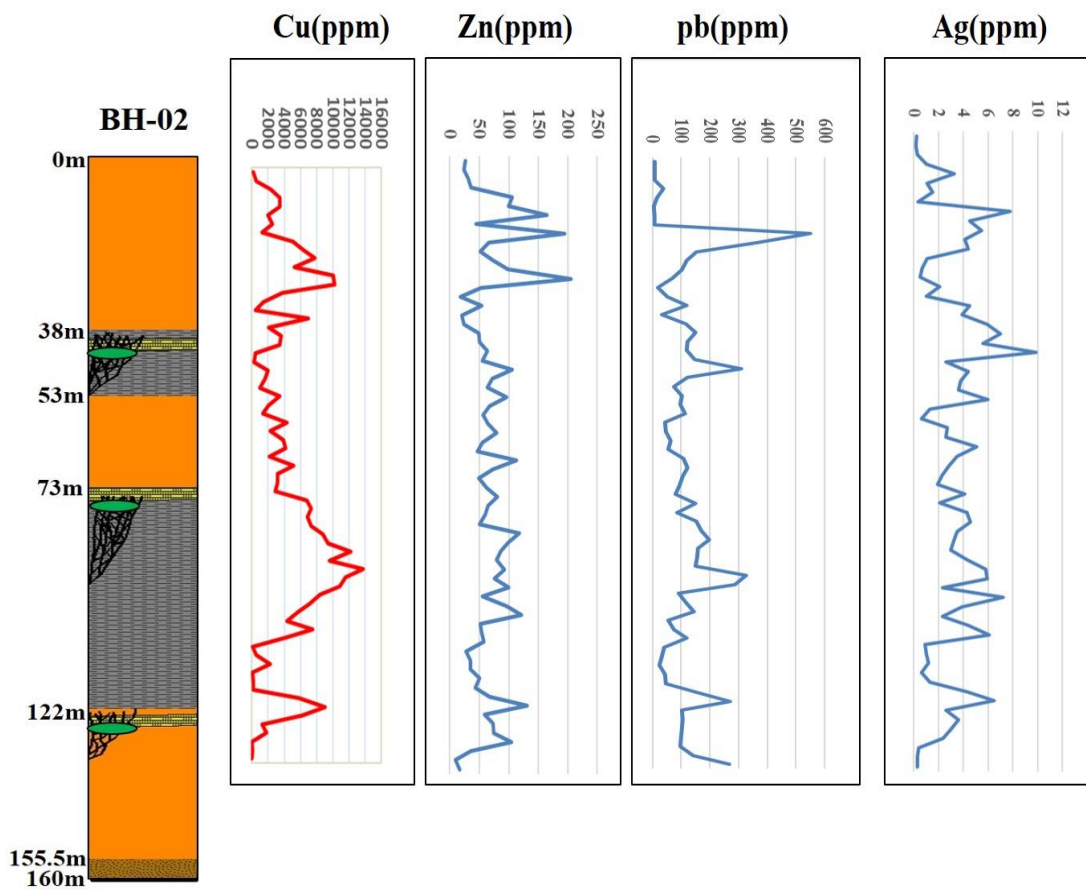
شکل ۶-۸- نمودار میزان عنصر مس، روی و سرب در مغزه‌های حفاری کانسار مس نه کوهی

**گمانه BH17:** گمانه BH17 تا عمق ۱۰۰ متری حفاری شده است واحدهای سنگی رخنمون یافته در این گمانه شامل شیل سیاه و داسیت می باشد و کانه‌زایی به صورت چینه کران و چینه‌سان، با بافت و ساخت‌های رگه- رگچه‌ای، برشی و لایه‌ای رخ داده است. نمودار تغییرات میزان عناصر مس، روی، سرب و نقره را در واحدهای مذکور نشان می‌دهد. در این نمودار میانگین عیار مس در این گمانه ۰.۷ درصد می باشد در کانسار نه کوهی کانی سازی اصلی رخساره رگه رگچه ای و دارای عناصر مس می باشد. بالاترین میزان مس در عمق ۲۱/۵ تا ۲۳ متر و حدود ۳۹۰۵۸ گرم در تن می باشد و به سمت عمق سیر نزولی داشته است (شکل ۶-۱۳).



شکل ۶-۹- میزان تغییرات عناصر نسبت به عمق در گمانه Bh-17

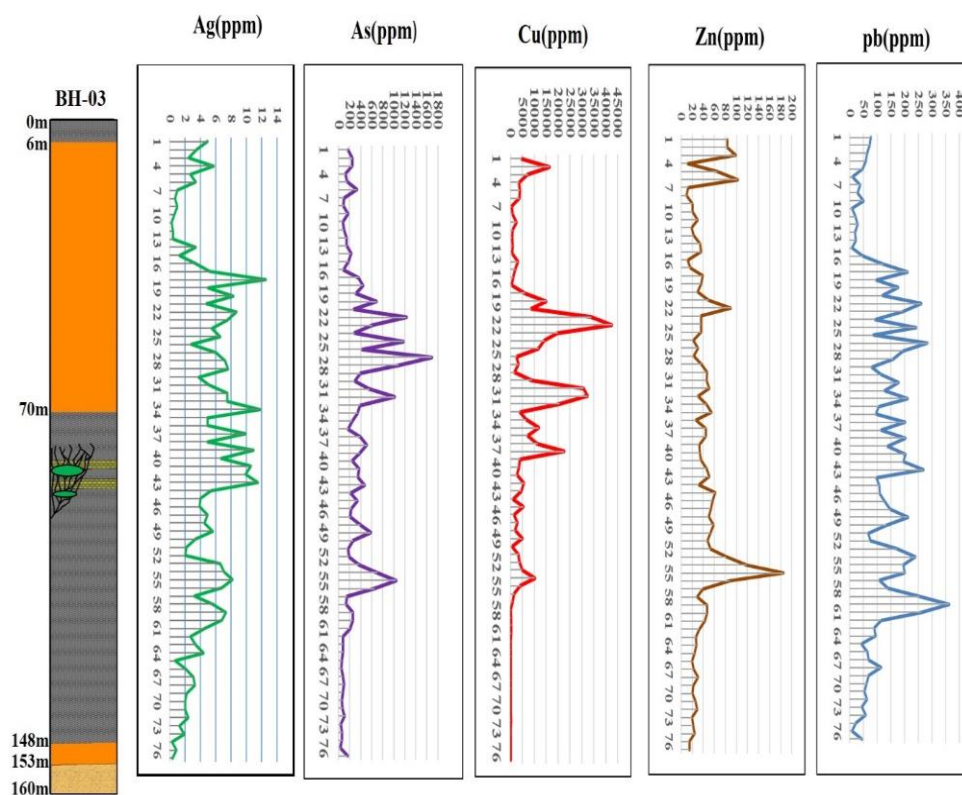
**گمانه BH02:** این گمانه ۱۶۰ متر حفاری شده است که از نظر لیتولوژی شامل شیل سیاه، داسیت، ماسه-سنگ می باشد. عیار میانگین مس در این گمانه ۰/۶۳ درصد می باشد. در این گمانه در عمق هایی که رخساره رگه- رگچه ای و مجموعه دهانه ای دیده می شود میزان مس بالایی نمونه ها داشته است (شکل ۶-۱۴).



شکل ۶-۱۰- میزان تغییرات عناصر نسبت به عمق در گمانه BH-02

گمانه **BH03**: این گمانه این گمانه ۱۸۰ متر حفاری شده است که از نظر لیتولوژی شامل شیل سیاه، داسیت، ماسه سنگ می باشد و کانه زایی به صورت چینه کران و چینه سان، با بافت و ساختهای رگه- رگچه ای، برشی و لایه ای رخ داده است. عیار میانگین مس در این گمانه تقریباً ۰/۶ درصد می باشد (شکل ۶-۱۵).





شکل ۱۱-۶- میزان تغییرات عناصر نسبت به عمق در گمانه BH-03

## فصل هفتم:

مطالعات سیالات درگیر و

ایزوتوپی پایدار

## ۷-۱- مقدمه

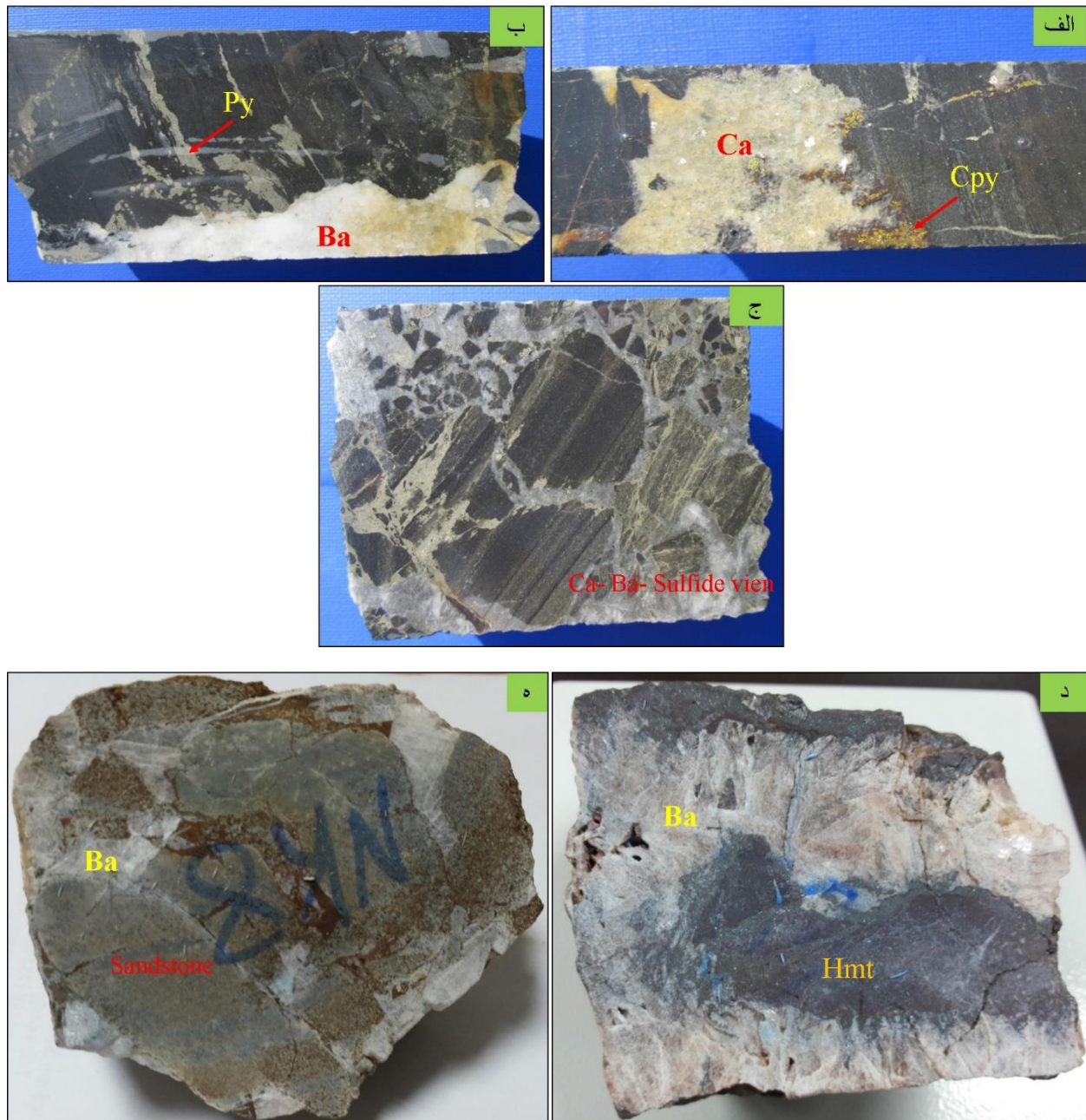
ضمن تبلور کانی‌ها، مقداری از سیالی که بلور از آن تبلور یافته‌است در داخل بلور به دام می‌افتد، سیال درگیر یا میانبار سیال اطلاق می‌شود. مطالعات سیالات درگیر به‌ویژه در زمینه ژنز کانسنگ از اهمیت خاصی برخوردار است و نقش با ارزشی برای شناخت شرایط حاکم بر چگونگی حمل و ته‌نشست کانه‌ها داشته است. ده کانی اصلی که در آنها سیالات به طور رایج گزارش شده‌اند، عبارتند از ۱- کوارتز ۲- فلوریت ۳- هالیت ۴- کلسیت ۵- آپاتیت ۶- دولومیت ۷- اسفالریت ۸- باریت ۹- توپاز ۱۰- کاسیتريت می‌باشد. این کانی‌ها شفاف بوده و به صورت کانی‌های باطله همراه با کانسارهای گرمابی دیده می‌شوند. از لحاظ ژنتیکی، سیالات درگیر به سه دسته تقسیم می‌شوند: ۱- سیال درگیر اولیه که در زمان رشد و تشکیل بلور میزبان تشکیل شده‌اند. ۲- سیال درگیر ثانویه که بعد از تشکیل و رشد بلور میزبان تشکیل می‌شود. ۳- سیالات درگیر ثانویه کاذب که ضمن مرحله‌ای از رشد بلور در شکستگی‌های موجود در بلور تشکیل و مراحل بعدی رشد پوشیده می‌شوند

در این تحقیق، مطالعات سیالات درگیر به به عنوان یک روش جهت شناسایی ترکیب سیالات گرمابی مرتبط با کانه‌زایی مس و نیز شرایط دما و فشار این سیالات و فرایندهای نهشت کانسنگ به منظور پاسخ‌گویی به سؤالات اساسی در رابطه با ژنز کانسار مس نه‌کوهی انجام گرفته است. در این مطالعه از کانی‌های شفاف موجود در رگه‌های کلسیتی- باریتی رخساره‌های استرینگر و مجموعه دهانه‌ای جهت مطالعه سیال درگیر استفاده شده است.

## ۷-۲- نمونه برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

برای مطالعه سیالات درگیر تعداد ۵ نمونه از رگه- رگچه‌های کلسیتی- باریتی و سولفیدی از رخساره‌های استرینگر و مجموعه دهانه‌ای انتخاب و مقطع دوبر صیقل تهیه شد (شکل ۷-۱) و مطالعات پتروگرافی و

دماسنجی سیالات بر روی کانی‌های کلسیت و باریت درگیر در آزمایشگاه تحقیقاتی زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه صنعتی شاهرود با استفاده از دستگاه Linkan مدل MDSG600 صورت گرفته‌است.



شکل ۷-۱- الف) تصویر از بخش‌های کلسیتی- سولفیدی، ب) نمایی از رگه‌های باریتی- سولفیدی، ج) تصویری از رگه- رگچه‌های کلسیتی- باریتی- سولفیدی، د و ه) نمایی از رگه‌های باریتی (نمونه‌های انتخاب شده جهت انجام مطالعات سیالات درگیر)

### ۷-۳- پتروگرافی سیالات درگیر

در مطالعه پتروگرافی، مشخصاتی از قبیل شکل و اندازه سیالات درگیر، رده‌بندی ژنتیکی (اولیه، ثانویه، ثانویه کاذب)، محتویات سیالات درگیر (L+V+S)، نسبت V/L، نوع کانی دختر، پدیده‌هایی مانند تراوش و دم‌بریدگی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در جدول ۷-۱- مشخصات مربوط به انواع سیال درگیر مشاهده شده در مقاطع دو بر صیقل تهیه شده از نمونه‌های کانسار نه‌کوهی نشان داده شده‌است.

### ۷-۳-۱- شکل ظاهری سیالات درگیر

به طور کلی از لحاظ شکل ظاهری سیالات درگیر در نمونه‌ها را می‌توان بر اساس فراوانی به سیالات درگیر با اشکال کشیده، چندوجهی نامنظم و شکل منفی (Negative crystal) تقسیم‌بندی نمود شکل منفی بلور یا پدیده باریک شدگی (Necking down)، در نمونه‌های مطالعه شده قابل مشاهده است که اطلاعات چنین سیالات درگیری زیاد قابل اعتماد نیستند.

### ۷-۳-۲- اندازه و نوع سیالات درگیر

سیالات درگیر معمولاً کوچک‌تر از ۱۰۰ میکرون هستند، اندازه سیالات درگیر برای مطالعه میکروسکوپی، بین ۲-۲۰ میکرون می‌باشد، عموماً سیالات درگیر در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد، دارای اندازه کوچک (کمتر از ۲۰ میکرون) می‌باشند. از نظر اندازه، سیالات درگیر کانسار نه‌کوهی، غالباً بسیار ریز بوده و در محدوده ۲ تا ۷ میکرون دیده می‌شود.

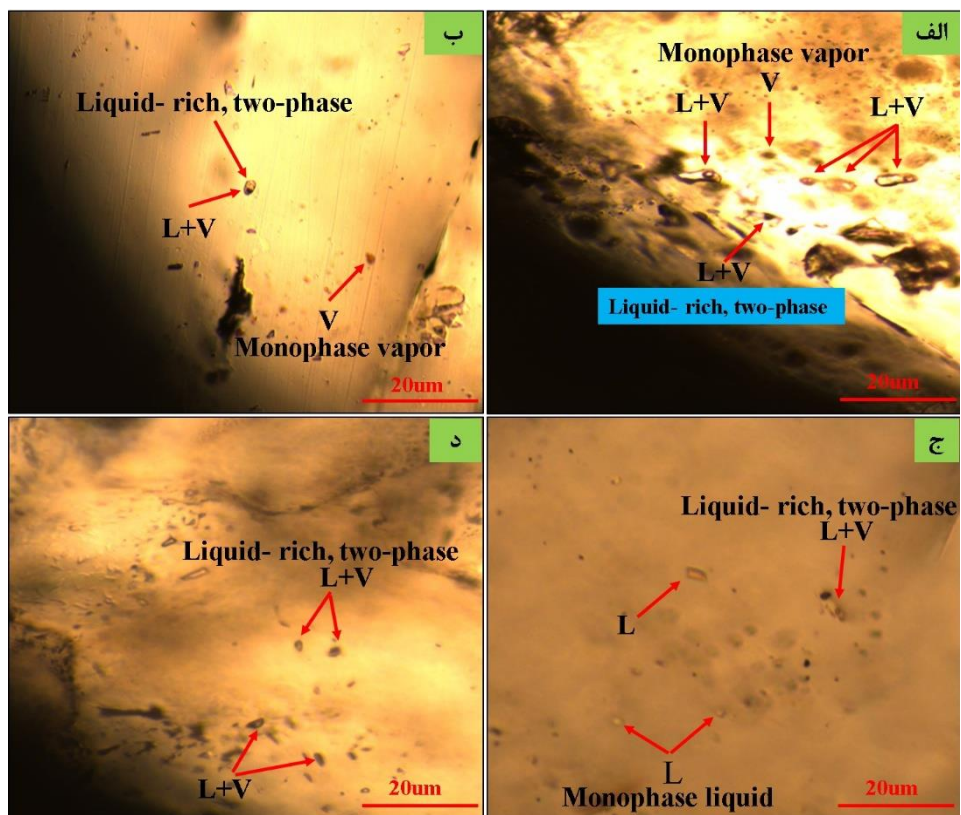
#### ۷-۴- طبقه‌بندی و پارائنز سیالات درگیر

سیالات درگیر معمولاً بر اساس ترکیب سیال و تعداد فازهای موجود در دمای اتاق تقسیم‌بندی می‌شوند. سیالات درگیر بصورت فاز مایع (L)، گاز (V)، جامد (S) که همراه با یکدیگر ممکن است به طور اتفاقی بعنوان یک یا چند فاز دختر موقع سردشدن به دام افتاده باشند (Van den Kerkhof and Hem, 2001).

سیالات درگیر بر اساس فازهای داخلی به چند دسته شامل سیالات درگیر تک فاز بخار (V)، تک فاز مایع (L)، دوفازی غنی از مایع (L+V)، دوفازی غنی از بخار (V+L)، چندفازی جامد و چندجامدی (S+L+V)، مایع نامیژاک (L1+L2+V) و سیالات درگیر حاوی شیشه تقسیم‌بندی می‌شوند (Shephed et al, 1985). بر اساس مطالعات انجام گرفته بر روی مقاطع، سیالات درگیر در کانسار نه‌کوهی غالباً به حالت تک فاز غنی از مایع (L)، تک فاز غنی از بخار (V)، دوفازی غنی از مایع (L+V) و دوفازی غنی از بخار (V+L) دیده می‌شود (۷-۱-)(اشکال ۷-۳).

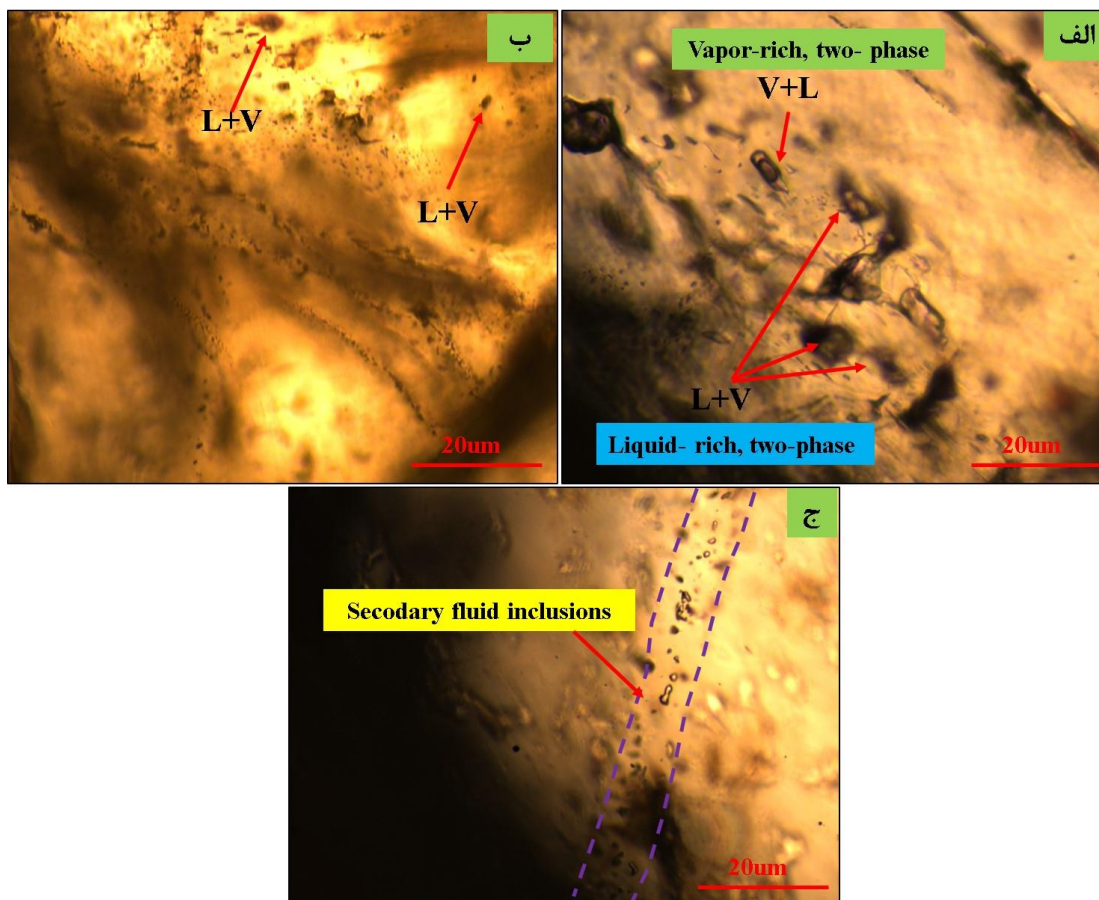
| Inclusion type            | Essential phase                 | Typical example                                                                    | Abbreviation                        |
|---------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Monophase liquid          | L=100%                          |  | L                                   |
| Liquid-rich<br>Two phases | L>50%                           |  | L + V                               |
| Vapour-rich<br>Two phases | V=50 to 80%                     |  | V + L                               |
| Monophase vapour          | V=100%                          |  | V                                   |
| Multiphase solid          | L variable<br>S<50%             |  | S + L ± V                           |
| Multisolid                | S>50%<br>L,V variable           |  | S + L ± V                           |
| Immiscible liquid         | L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub> |  | L <sub>1</sub> + L <sub>2</sub> ± V |
| Galss                     | GL>50%                          | -----                                                                              | GL ± V ± S                          |

جدول ۷-۱- رده‌بندی انواع سیالات درگیر بر مبنای انواع فازهای موجود در دمای اتاق و محتوای آنها (Shaphered et al., 1985)



شکل ۷-۲- الف و ب) تصویری از سیالات درگیر دو فازی (L+V) متشکل از فاز گاز (V) و مایع آبگین (L) و سیالات درگیر تک فاز بخار (V)، ج) تصویری از سیالات درگیر دو فازی (L+V) و سیالات درگیر تک فاز مایع (L)، د) نمایی از سیالات درگیر دو فازی (L+V) از رخساره رگه- رگچه‌ای.





شکل ۷-۳- الف) تصویری از سیالات درگیر دو فاز از غنی از فاز بخار (V+L) و سیالات درگیر غنی از فاز مایع (L+V)، ب) نمایی از سیالات درگیر دو فاز (L+V)، ج) تصویری از سیالات درگیر ثانویه (نمونه‌های گرفته شده از رخساره- رگه- رگچه- ای)

## ۷-۵- مطالعات دماسنجی سیالات درگیر

بررسی میکرومتری عبارت از مطالعه غیرمخرب مقطع مورد نظر برای تعیین دمای ذوب اولیه (Tm2-Ice)، دمای نهایی ذوب قطعه یخ (Tm2-Ice)، دمای همگن شدن، میزان شوری و ترکیب سیالاتی که کانی میزبان از آنها ساخته شده است. مطالعات حرارت‌سنجی، ابتدا عملیات سرمایش (Freezing) و سپس گرمایش (Heating) بر روی سیالات دوفازی است.

جدول ۷-۲- نتایج آنالیزهای دماسنجی، تعیین شوری در سیالات درگیر نمونه‌های کانسار نه‌کوهی

| N  | Type mineral | Origin | Type | Th(C°) | Tm  | Salinity |
|----|--------------|--------|------|--------|-----|----------|
| 1  | Barite       | p      | LV   | 187    | -9  | 11.82    |
| 2  | Barite       | P      | LV   | 188    | -2  | 3.08     |
| 3  | Barite       | P      | LV   | 195    | -5  | 7.44     |
| 4  | Barite       | P      | LV   | 204    | -13 | 11.82    |
| 5  | Barite       | P      | LV   | 207    | -5  | 7.44     |
| 6  | Barite       | P      | LV   | 210    | -5  | 7.44     |
| 7  | Barite       | P      | LV   | 211    | -7  | 9.84     |
| 8  | Barite       | P      | LV   | 213    | -7  | 9.84     |
| 9  | Barite       | P      | LV   | 216    | -6  | 8.69     |
| 10 | Barite       | P      | VL   | 218    | -13 | 11.82    |
| 11 | Barite       | P      | LV   | 225    | -11 | 13.35    |
| 12 | Barite       | P      | LV   | 228    | -7  | 9.84     |
| 13 | Barite       | P      | LV   | 230    | -10 | 10.89    |
| 14 | Barite       | P      | LV   | 235    | -11 | 13.35    |
| 15 | Barite       | P      | LV   | 245    | -14 | 14.39    |

#### ۷-۵-۱- سرمایش

با استفاده از روش سرمایش درجه شوری سیال استفاده می‌شود. جهت انجام این عملیات، ابتدا سیال درگیر را تا دمای ۲۰۰- سانتی گراد سرد می‌کنیم تا سیال کاملاً منجمد شود. سپس با یک روند آهسته، حرارت دمای اتاق حاوی نمونه را افزایش می‌دهیم، پس از مدتی سیال از حالت جامد خارج شده و یخ شروع به

ذوب شدن می‌نماید. اولین قطره مایعی که ظاهر می‌شود یا به عبارتی دیگر اولین دمای ذوب شدن می‌نمایند، دمای یوتکتیک (TE) نامیده می‌شود و مقدار آن با نوع کاتیون‌های حل شده در مایع ارتباط دارد. با ادامه گرم کردن، بلورهای یخ ذوب می‌شوند تا جایی که آخرین بلورهای یخ از بین برود. دمائی که در آخرین بلور یخ ذوب می‌شود، دمای ذوب نهایی یخ ( $T_{mice}$ ) اطلاق می‌شود. بر حسب این دما میزان شوری سیال بدست می‌آید. در این تحقیق میزان شوری به صورت درصد وزنی نمک طعام (wt% NaCl) و از طریق دمای ذوب آخرین قطعه یخ ( $T_m$ ) با استفاده از این معادله محاسبه شده‌است.

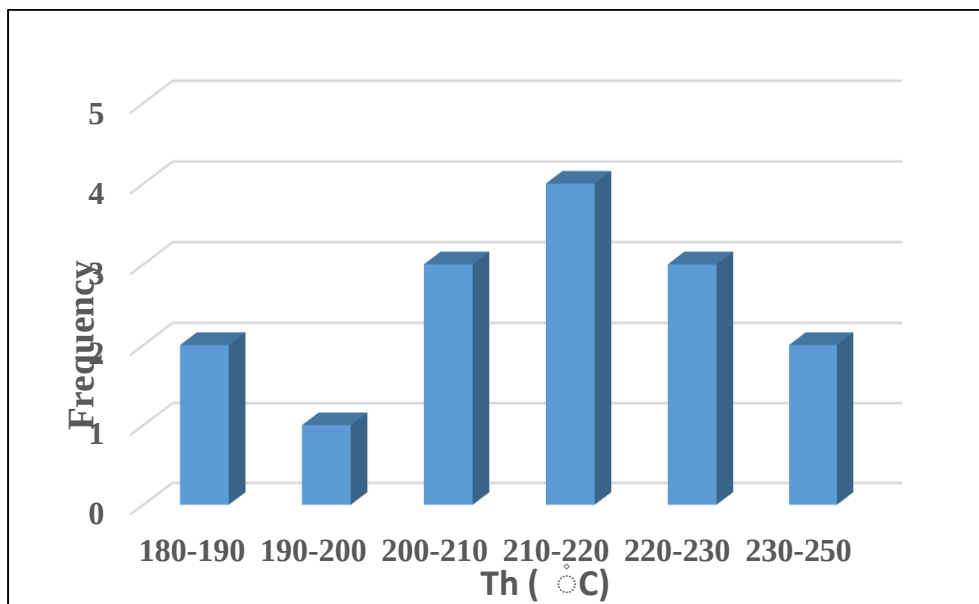
$$\text{Salinity (wt\%NaCl)} = 1.76958 T_m - 4.2384 \times 10^{-2} T_m^2 + 5.3 \times 10^{-4} T_m^3 + 0.28$$

### ۷-۵-۲- گرمایش

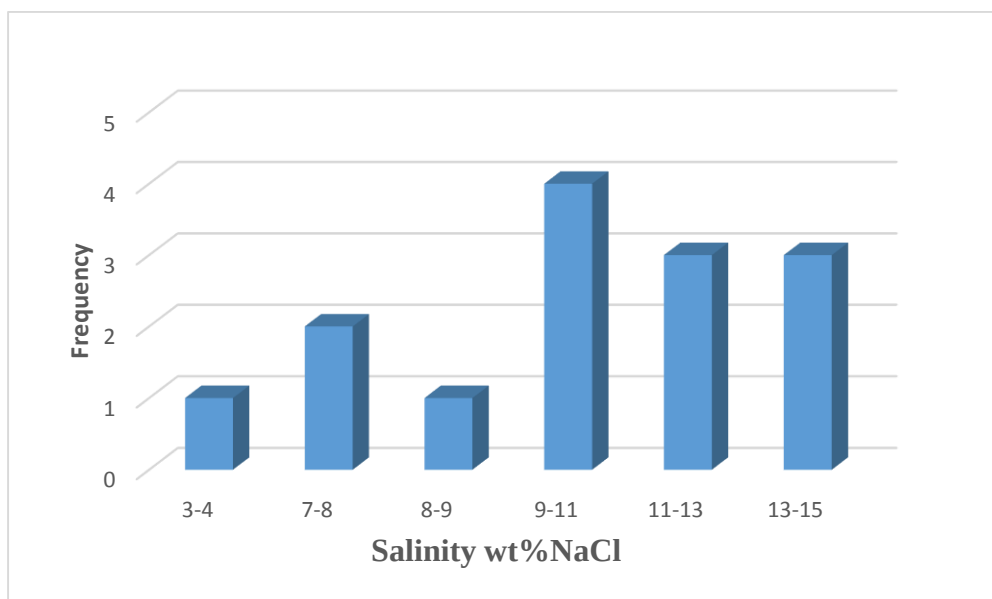
هدف اصلی مطالعه گرمایش، اندازه‌گیری دمای نهایی همگن شدن است، یعنی دمایی که در آن سیال درگیر به یک سیستم تک فاز تبدیل می‌شود. این دما در حالت عادی، دمای همگن شدن کلی مایع - بخار است. اما برای سیالات درگیر حاوی کانی‌های نوزاد، می‌تواند دمای انحلال نمک ( $T_s$ ) نیز باشد. در مورد سیالات درگیر  $\text{Co}_2$ -  $\text{H}_2\text{O}$ ، دمای همگن شدن ( $T_H$ ) دمایی است که  $\text{Co}_2$  مایع و فاز مایع آبگین کاملاً مخلوط می‌شوند. دمای همگن شدن نهایی ( $T_s$  یا  $T_H$ ) همراه با یافته‌های ترکیبی حاصل از مطالعات انجماد می‌توانند برای محاسبات چگالی کل سیال بکار روند. با بهره‌گیری از اصول رسم ایزکور، از این اطلاعات می‌توان برای تخمین شرایط درجه حرارت و فشار در زمان به دام افتادن میانبارها استفاده کرد.

### ۷-۶- تعیین دما و شوری سیال درگیر در کانسار نه‌کوهی

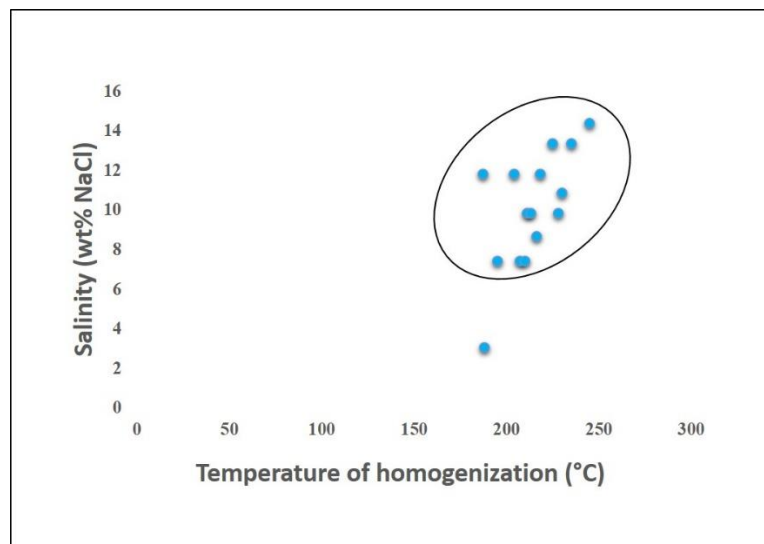
براساس نمودارهای توزیع فراوانی مربوط به دمای همگن شدگی در کانسار مس نه‌کوهی در محدوده دمایی بین ۱۸۰ تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد قرار می‌گیرند. نمودارهای شوری سیال در کانسار مورد مطالعه بین ۱۱- ۹ نشان می‌دهد (اشکال ۷-۴، ۷-۵ و ۷-۶).



شکل ۴-۷- نمودار توزیع فراوانی دمای همگن شدن در کانسار مس نه کوهی



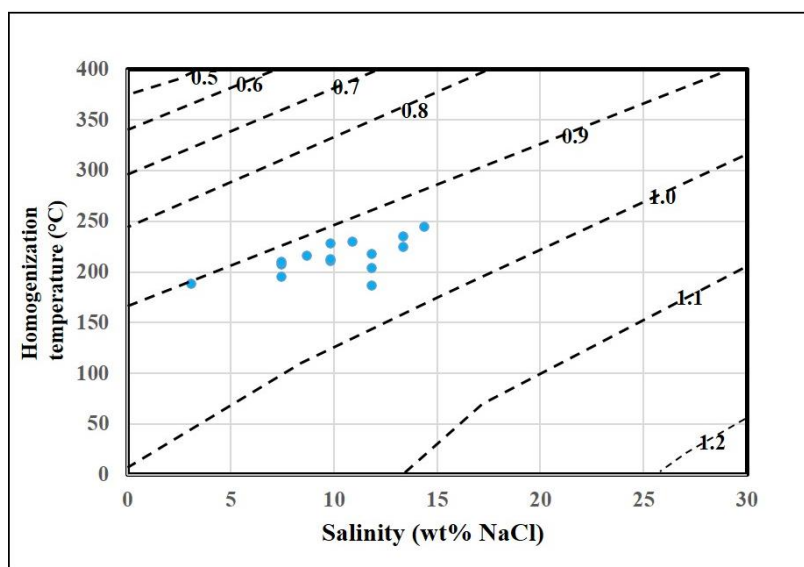
شکل ۵-۷- نمودار میزان شوری در میان بارهای سیال در کانسار مس نه کوهی



شکل ۷-۶- نمودار درجه شوری در برابر دمای همگن شدن سیالات درگیر دوفازی کانسار مس نه‌کوهی

## ۷-۷- چگالی سیال

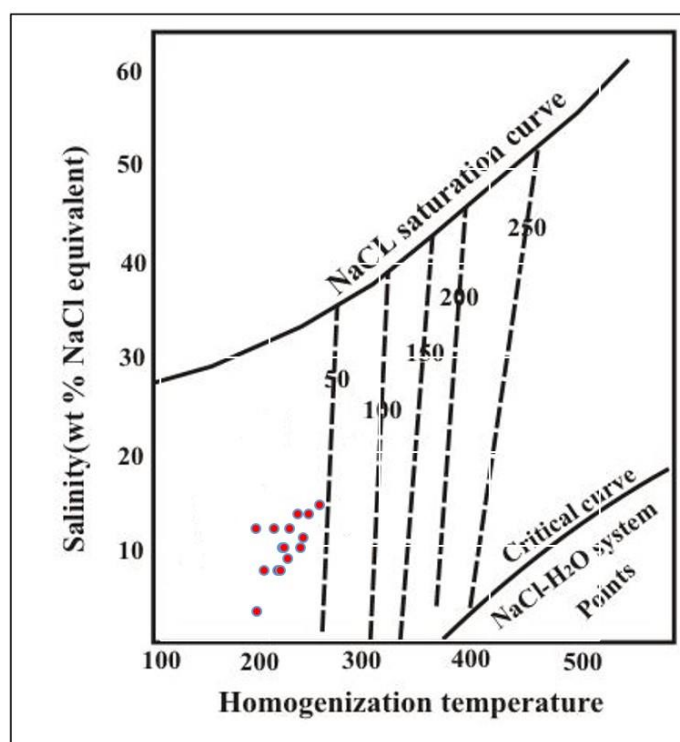
با استفاده از نمودار (Wilkinson, 2001) که براساس دمای همگن شدن در برابر شوری سیال طراحی شده است، می‌توان چگالی را محاسبه کرد. چگالی سیال در نمونه‌های کانسار مس نه‌کوهی بین ۰/۹ تا ۱ گرم بر متر مکعب ( $\text{g/m}^3$ ) قرار می‌گیرند (شکل ۷-۷). در این نمودار با افزایش شوری میانبرهای سیال ، چگالی افزایش می‌یابد.



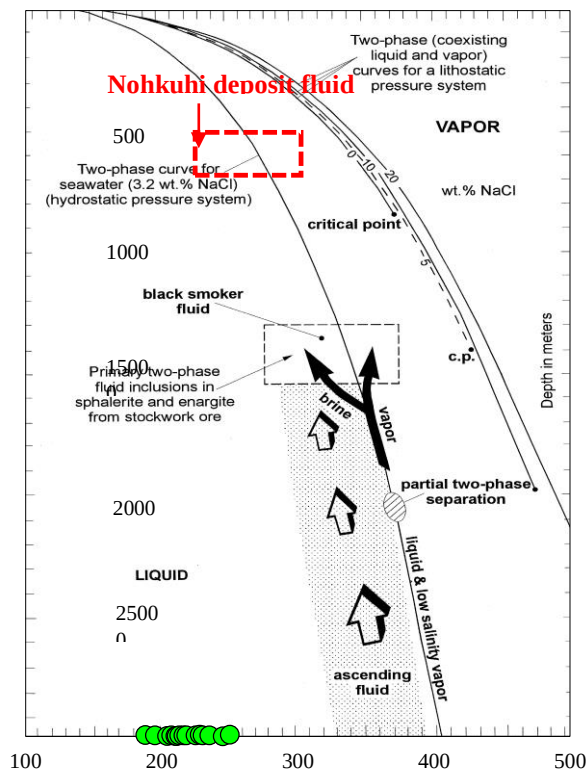
شکل ۷-۷- نمودار دمای همگن شده در برابر شوری و تعیین چگالی سیال در نمونه‌های مورد مطالعه (Wilkinson, 2001)

## ۷-۸- تعیین فشار حاکم در زمان تشکیل کانسنگ

در هنگام عمل گرمایش سیالات درگیر، فشار حاکم برای محیط آزمایشگاه برابر یک اتمسفر است در حالیکه هنگام به دام افتادن این سیالات درگیر، با توجه به وزن طبقات بالایی، فشار حاکم بر محیط تشکیل سیالات درگیر می‌تواند از ده‌ها تا هزاران اتمسفر در نوسان باشد. مقدار فشار محیط ارتباط مستقیم با ضخامت طبقات بالایی دارد که به این فشار، فشار لیتواستاتیک می‌گویند. به منظور تعیین فشار می‌توان نمودار (Ramdohr, 1980)، استفاده نمود. بر اساس این نمودار، فشار حاکم در طی تشکیل کانسنگ در کانسار مس نه‌کوهی کمتر از ۵۰ اتمسفر را نشان می‌دهد (شکل ۷-۸). با استفاده از نمودار درجه حرارت جوشش و منحنی‌های فشار می‌توان عمق آب را محاسبه نمود. بنابراین، با توجه به وجود عدم پدیده جوشش عمق به دست آمده را می‌توان بیشتر ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ متر برآورد نمود (Cunnigham, 1978; Bischoff and Pitzer, 1985 and Luders et al., 2001) (شکل ۷-۹).



شکل ۷-۸- تعیین فشار بخار محلول براساس دمای همگن شدن و میزان شوری (Ramdohr, 1980)



شکل ۷-۹- نمودار تعیین عمق بر حسب دمای همگن شدن در کانسار نه کوهی، براساس نمودار ارائه شده برای سیالات درگیر (Cunnigham, 1978; Bischoff and Pitzer, 1985 and Luders et al., 2001).

## ۷-۹- مطالعات ایزوتوپی پایدار

### ۷-۹-۱- مقدمه

یکی از موضوعات اساسی مطالعه ایزوتوپ گوگرد در زمین‌شناسی، مشارکت در درک بهتر منشاء و شرایط تشکیل کانسارهای سولفیدی است. به دلایل نظری و عملی این مساله برای تشخیص بین کانسارهای ناشی از فعالیت آذرین و کانسارهای با منشاء رسوبی، مهم است. بطور کلی، ایزوتوپ‌های پایدار کانی‌های سولفیدی نقش مهمی در تعیین منابع فلزات و سیالات و نیز بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیائی سیالات کانه‌ساز دارند،



بطور کلی، ایزوتوپ‌های پایدار C,H,S,O به عنوان ردیاب‌هایی برای تعیین منشأ سیالات، منبع فلزات و نیز تعیین دمای کانه‌زائی با استفاده از تفریق ایزوتوپی به کار می‌روند.

#### ۷-۹-۲- آماده‌سازی نمونه و روش مطالعه

در این تحقیق به منظور بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیائی سیالات کانه‌ساز و تعیین منشأ و ماهیت این سیالات، نمونه‌برداری از بخش‌های سولفیدی و سولفاتی رخساره‌های مختلف کانسار نه‌کوهی جهت انجام تجزیه ایزوتوپ پایدار گوگرد انجام گرفت. طی این مطالعات تعداد ۲۱ نمونه از رخساره‌های مختلف کانسار نه‌کوهی انتخاب شد و به آزمایشگاه تحقیقات ایزوتوپی چین، ارسال گردید، اما مطالعه انجام گرفته در این تحقیق براساس ۱۲ نمونه می‌باشد که تعداد ۶ نمونه از بخش باریتی پهنه استرینگر، تعداد ۲ نمونه بخش پیریت توده‌ای، ۳ نمونه از کانی‌های سولفیدی پهنه استرینگر و ۱ نمونه از کانسنگ لایه‌ای است. برای انجام مطالعات ایزوتوپی پایدار، نمونه‌های سولفیدی باید کاملاً خالص و بدون هرگونه آلودگی باشد. در جدول (۷-۳) انواع سولفیدها و مقادیر ایزوتوپی آنها، نسبت به استاندارد استفاده شده برای ایزوتوپ‌های گوگرد، که شامل متئوریت ترویلیت کانیون دیابلو (Ohmoto and Goldhaber, 1997) می‌باشد، نشان داده شده است.

#### ۷-۹-۳- فراوانی و نسبت ایزوتوپی گوگرد در رخساره‌های کانه‌دار کانسار مس نه‌کوهی

برای شناخت منشأ گوگرد در سیستم‌های هیدروترمال، بایستی اطلاعات کاملی در رابطه با مقادیر ترکیب ایزوتوپی گوگرد در محیط‌های مختلف زمین‌شناسی، رفتار آن با گوشته، پوسته، آلودگی ماگمایی، تفریق، فرایندهای اکسیداسیون- احیا و سیالات مختلف داشته باشیم. برای سنگ‌های گرانیته، نسبت ایزوتوپی گوگرد را در محدوده بین صفر تا ۱۰‰ بیان می‌کند و برای سولفیدهای دارای منشأ آذرین بازیک، نسبت‌های ایزوتوپی گوگرد نزدیک به صفر را پیشنهاد می‌دهد که تا حد زیادی نیز مشابه شهابسنگ‌ها است. همچنین گوگرد با منشأ هیدروترمال، نسبت ایزوتوپی بین ۲۵- تا ۲۵‰+ را ارائه نموده است. سولفات آب

دریا و آب جوی نیز دارای نسبت ایزوتوپی  $\delta^{34}\text{S}$  بین ۴+ تا ۲۶+ هستند. مقادیر ایزوتوپی گوگرد در رخساره‌های مختلف کانسار نه‌کوهی متفاوت می‌باشد به این صورت که پهنه استرینگر با کانی‌های سولفیدی کالکوپیریت و پیریت  $\delta^{34}\text{S}$  دارای مقادیر در هر نمونه به ترتیب ۹/۱، ۱۳/۶ و ۱۷/۶ permil، رخساره کانسنگ لایه‌ای با کانی پیریت و اسفالریت دارای  $\delta^{34}\text{S}$  ۱۳/۷ permil، برای بخش پیریت توده‌ای با کانی‌های سولفیدی پیریت دارای  $\delta^{34}\text{S}$  در هر نمونه به ترتیب ۸/۵ و ۱۸/۱ می‌باشد. که به طور کلی دارای بازه بین ۸/۵ تا ۱۸/۱ ‰ نشان می‌دهد (اشکال ۷-۱۰ و ۷-۱۱).

برای منشأ سولفور در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد چهار فرایند پیشنهاد شده‌است (Cazanas et al, 2008):

❖ احیای غیرآلی (inorganic reduction) سولفات آب دریا (دارای ایزوتوپ سولفور مثبت یا سنگین)

❖ احیای باکتریایی سولفات آب دریا (دارای نسبت ایزوتوپی سبک یا منفی)

❖ دارای منشأ ماگمایی، که می‌تواند از سیالات ماگمایی غنی از بخار (Vapor rich) تامین شود

(Solomon, 2004; Gally et al, 2007)

❖ شستشو از سنگ‌های ولکانیکی میزبان

باتوجه به مقدار مثبت  $\delta^{34}\text{S}$  سولفیدهای کانسار نه‌کوهی (۸,۵ تا ۱۸,۱)، منشأ احیای غیرآلی سولفات

آب دریا می‌باشد. منشأ سولفید گوگرد در کانسارهای سولفید توده‌ای به طور عمده از شستشوی توالی

کمر پایین و احیای سولفات آب دریا می‌باشد. احیای سولفات آب دریا نیز می‌تواند بصورت بیوژنیک و

توسط فعالیت‌های آلی و یا به صورت غیر بیوژنیک صورت گیرد (Franklin et al., 2005).

## ۷-۹-۴- ترکیب ایزوتوپی سیال کانه‌ساز

محاسبه ترکیب ایزوتوپی گوگرد در سیال کانه‌دار با این فرض که شرایط تعادلی برقرار انجام گرفته است. به این منظور نتایج ایزوتوپی از بخش‌های سولفیدی (پیریت و کالکوپیریت) کانساراستفاده شده و دمای اعمال شده با در نظر گرفتن نتایج مطالعه سیالات درگیر بر روی رگه‌های کانه‌دار، دمایی برابر با ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد بوده است. برای محاسبه  $\delta^{34}\text{S}$  نیز از فرمول زیر از (Ohmoto and Rye, 1979) مورد استفاده قرار گرفته است.

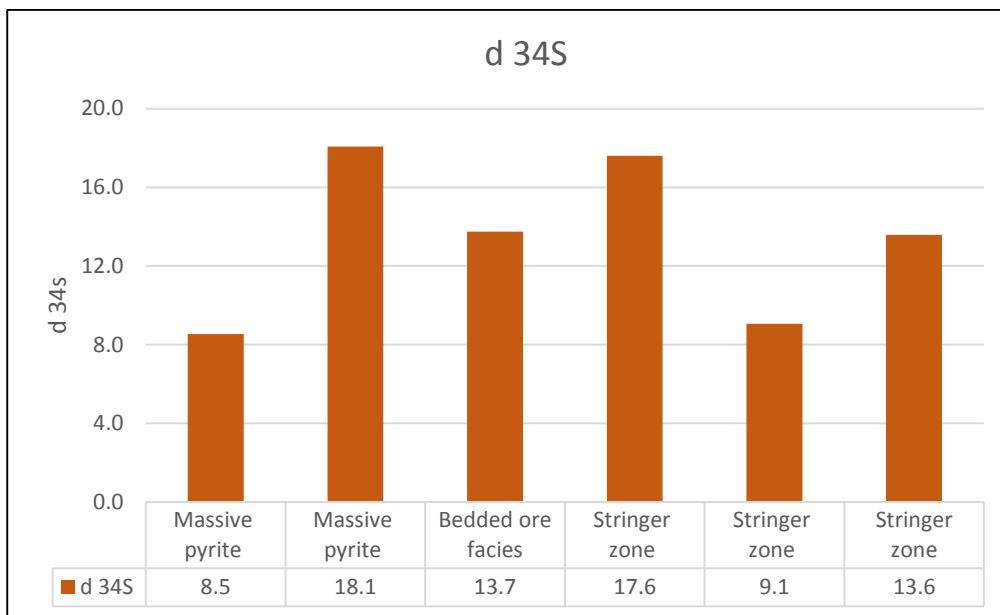
$$1000 \ln \alpha = D \frac{(10^6)}{T^2} + E \frac{(10^3)}{T} + F$$

$$\delta^{34}\text{S}_{\text{fluid}} = \delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}} - \Delta$$

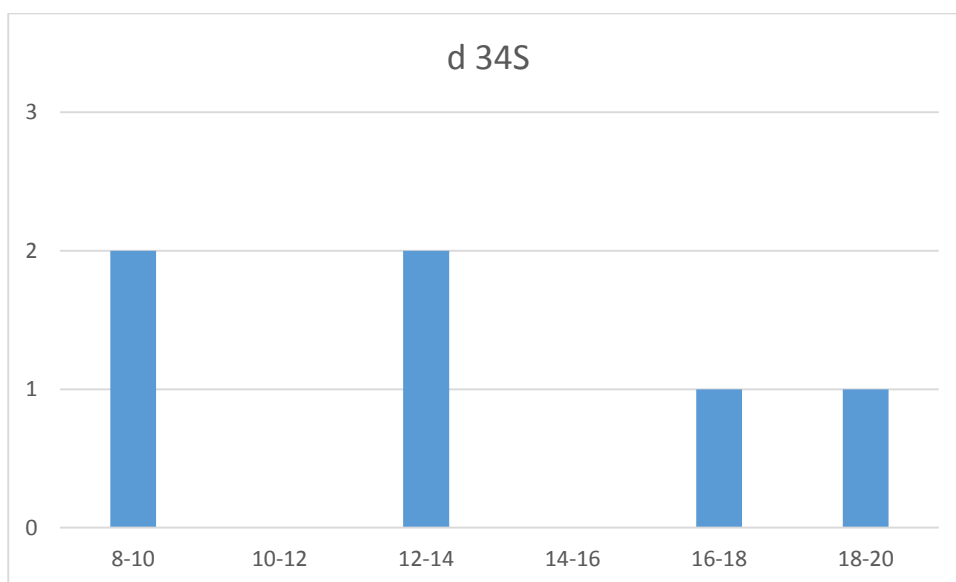
در فرمول‌های فوق الذکر درجه حرارت (T) برابر ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. در فرمول اخیر D برابر با ۰/۴ و E و F برابر صفر می‌باشند. نتایج این محاسبات در (جدول ۷-۳) ارائه گردیده است.

جدول ۷-۳- نسبت‌های ایزوتوپی گوگرد کانی‌های سولفیدی رخساره‌های مختلف کانسار نه کوهی

| Sample no, | Location          | d 34S | Mineralogy            | $\delta^{34}\text{S}_{\text{fluid}}$ |
|------------|-------------------|-------|-----------------------|--------------------------------------|
| NK-1       | Stringer zone     | 29.2  | Barite                | 27.6                                 |
| NK-2       | Stringer zone     | 28.3  | Barite                | 26.7                                 |
| NK-3       | Stringer zone     | 29.3  | Barite                | 27.7                                 |
| NK-4       | Stringer zone     | 29.8  | Barite                | 28.2                                 |
| NK-5       | Stringer zone     | 29.9  | Barite                | 28.3                                 |
| NK-6       | Stringer zone     | 29.4  | Barite                | 27.8                                 |
| BH1-1      | Stringer zone     | 13.6  | Pyrite-(chalcopyrite) | 12                                   |
| BH1-2      | Massive pyrite    | 8.5   | Pyrite                | 6.9                                  |
| BH1-3      | Massive pyrite    | 18.1  | Pyrite                | 16.5                                 |
| BH2-1      | Bedded ore facies | 13.7  | Pyrite-(sphalerite)   | 12.1                                 |
| BH2-2      | Stringer zone     | 17.6  | Pyrite                | 16                                   |
| BH2-3      | Stringer zone     | 9.1   | Pyrite-(chalcopyrite) | 7.5                                  |



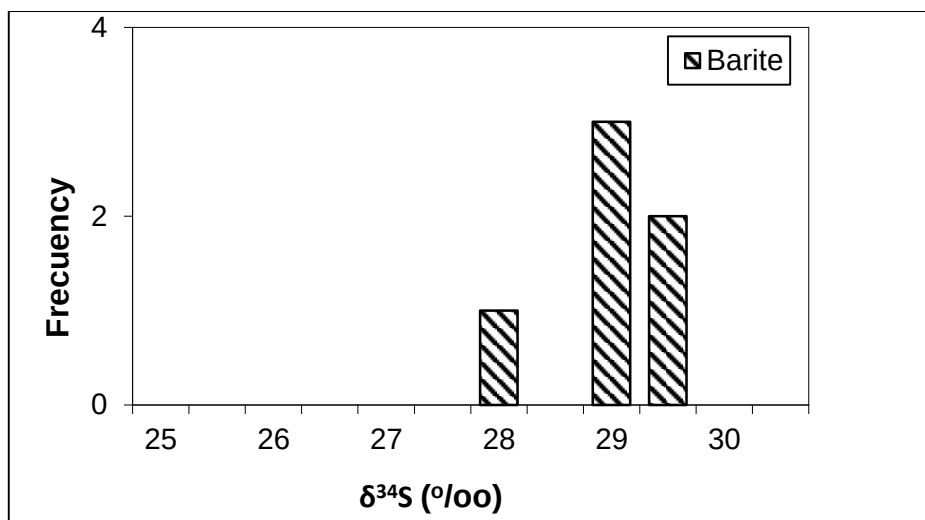
شکل ۷-۱۰- نمودار تغییرات ایزوتوپی گوگرد برای نمونه‌های سولفیدی برحسب رخساره‌های مختلف کانه‌دار.



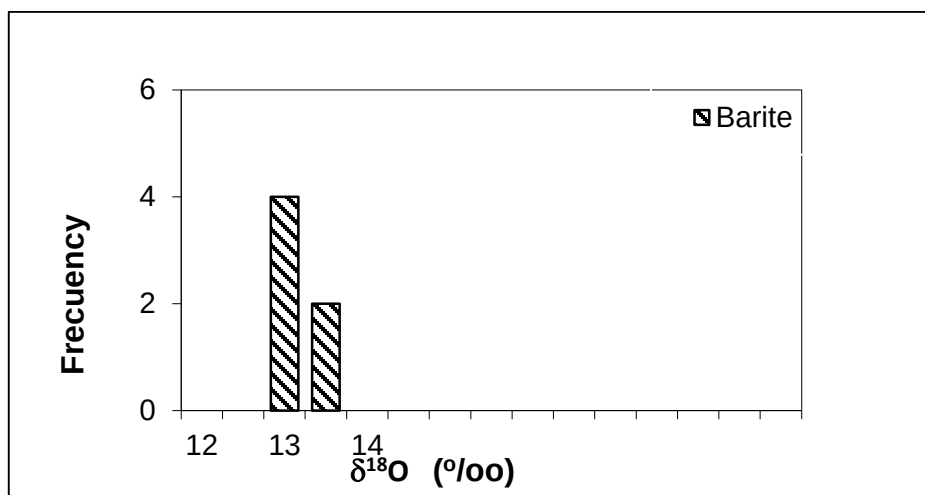
شکل ۷-۱۱- نمودار فراوانی  $\delta 34S$  در نمونه‌های سولفیدی کانسار نه‌کوهی.

مقادی ایزوتوپی گوگرد در باریت‌های پهنه استرینگر کانسار نه‌کوهی دارای بازه بین ۲۸/۳ تا ۲۹/۹ را نشان می‌دهد که نشان دهنده آن است که منشأ سولفور احیای غیرآلی سولفات آب دریا می‌باشد (شکل ۷-۱۴). نمودار تغییرات ایزوتوپی گوگرد در زمان‌های مختلف زمین‌شناسی نشان می‌دهد که میزان تغییرات  $34S$

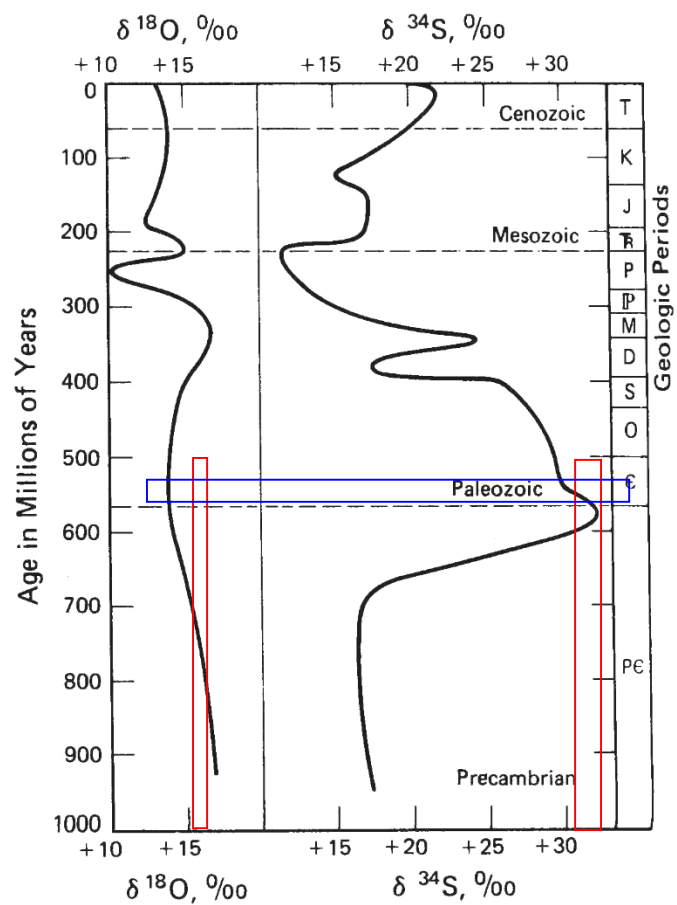
$\delta$  در آب‌های دریایی پرکامبرین - کامبرین پی برد، که بین  $28/3$  تا  $29/9$  تغییر می‌کند (اشکال ۷-۱۲ و ۷-۱۳).



شکل ۷-۱۲- نمودار تغییرات ایزوتوپی گوگرد برای نمونه‌های سولفات‌ه (باریت) در رخساره استرینگر کانسار نه‌کوهی



شکل ۷-۱۳- نمودار تغییرات  $\delta^{18}\text{O}$  کانیهای سولفات‌ه در رخساره استرینگر



شکل ۷-۱۴ - تغییرات  $\delta^{18}\text{O}$  و  $\delta^{34}\text{S}$  کانیهای سولفاته دریایی از پرکامبرین پایانی تا عهدحاضر  $\delta^{34}\text{S}$  نسبت به تروپلیت موجود در متئوریت کانیون دیابلو است، حال آنکه مقادیر  $\delta^{18}\text{O}$  نسبت به  $\text{SMOW}$  است.



## فصل هشتم:

نتیجه‌گیری، الگوی

تشکیل، تیپ کانه‌زایی و

پیشنهادهای اکتشافی



## ۸-۱- مقدمه

در این فصل بر مبنای نتایج حاصل از مطالعات صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی (پتروگرافی و کانی-شناسی) و داده‌های حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی و سیالات درگیر، ایزوتوپی پایدار ابتدا به بررسی شواهد جهت معرفی این نوع کانه‌زایی‌ها به عنوان کانسارهای سولفید توده‌ای پرداخته، سپس در ادامه به ارائه الگو و مدل تشکیل برای این نوع کانه‌زایی‌ها و نهایتاً جهت مشخص کردن تیپ کانه‌زایی اقدام به مقایسه آنها با تیپ‌های کانه‌زایی مشابه جهان پرداخته و در آخر هم پیشنهاداتی جهت کارهای اکتشافی و تحقیقات تکمیلی بعدی ارائه گردیده است.

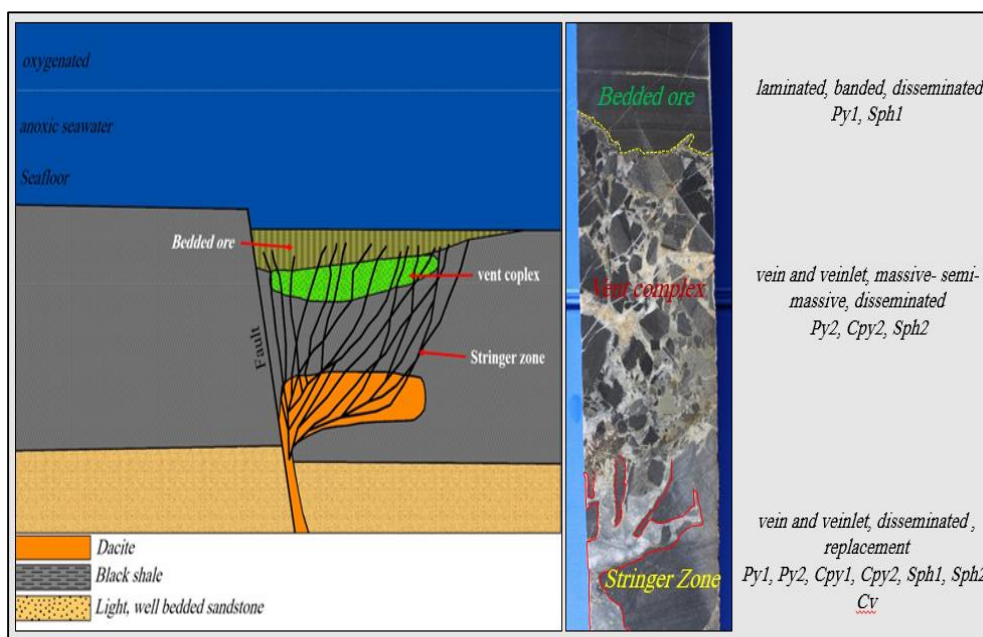
## ۸-۲- مختصری از شواهد مشاهده شده در کانسار مس نه‌کوهی

### ۸-۲-۱- سنگ میزبان و همراه

کانه‌زایی مس نه‌کوهی در منطقه چشمه‌گز در مجموعه آتشفشانی-رسوبی پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین رخ داده است. سنگ درونگیر ماده معدنی در کانسار نه‌کوهی به طور عمده شیل سیاه، گدازه‌های داسیتی و ماسه‌سنگ هستند. بخش عمده ماده معدنی در درون شیل‌های سیاه و گدازه‌های داسیتی رخ داده است. توالی میزبان چینه‌شناسی از پایین به بالا از چهار واحد اصلی سنگی تشکیل شده است: واحد ۱: واحد تخریبی شامل ماسه‌سنگ، سنگ آهک حاوی فسیل دوکفه‌ای و گاستروپود، توف-کریستال توف، سنگهای برون‌دمی آهن و منگنزدار، واحد ۲: واحد ماسه‌سنگی کرم رنگ با لایه‌بندی منظم، واحد ۳: واحد آتشفشانی-رسوبی شامل شیل سیاه و داسیت (میزبان کانه‌زایی مس نه‌کوهی)، واحد ۴: شامل ماسه سنگ، دولومیت و سنگ آهک است.

## ۸-۲-۲- شکل هندسی ماده معدنی

براساس مشاهدات صحرایی و بافتی، شکل هندسی ماده معدنی در کانسار مورد مطالعه بصورت چینه‌سان (لایه ای) و همخوان و همروند با لایه‌بندی سنگ‌های درونگیر تشکیل شده‌است که در زیر آنها پهنه کانه‌دار برشی و رگه - رگچه‌ای که در مجموع به صورت قطع کننده و چینه‌کران هستند، نیز دیده می‌شود (شکل ۸-۱).



شکل ۸-۱- مدل نمادین از رخساره‌های کانه‌دار کانسار نه‌کوهی

## ۸-۲-۳- رخساره‌های کانه‌دار

(۱) رخساره‌های رگه - رگچه‌ای یا استرینگر

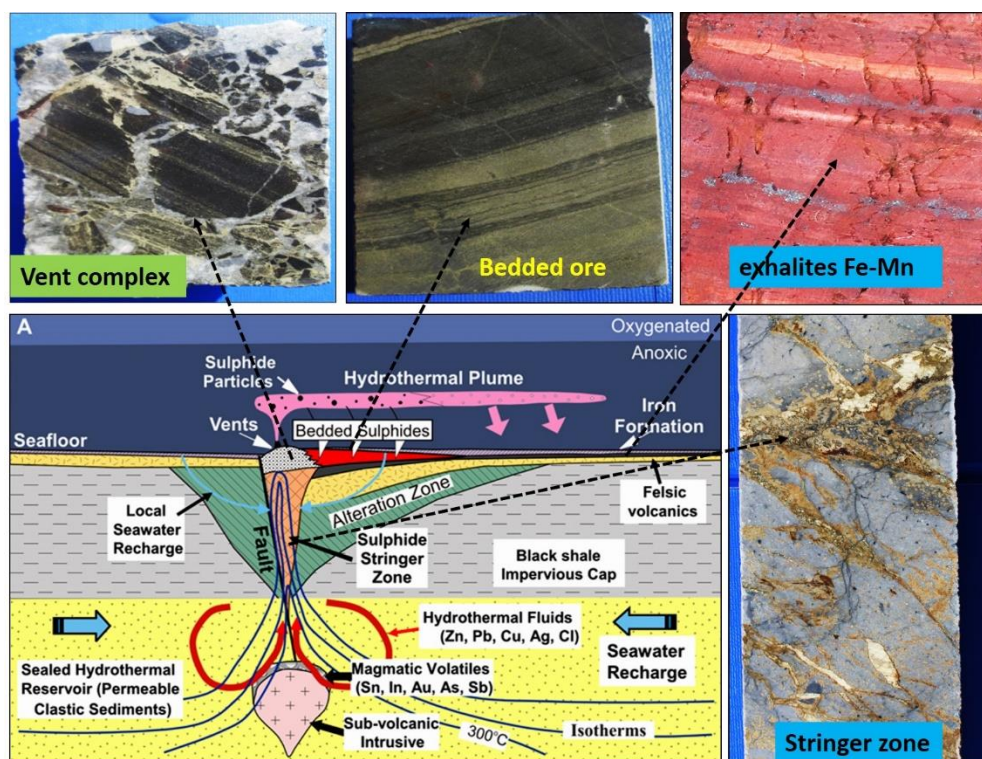
(۲) مجموعه دهانه‌ای

(۳) رخساره کانسنگ لایه‌ای

#### ۴) واحد رسوبی- برون‌می‌نواری غنی از آهن و منگنز

این رخساره‌ها در کنسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد نظیر مس- نقره یوانات فارس (موسیوند و همکاران، ۱۳۹۵)، چاه گز شهربابک (موسیوند و همکاران، ۱۳۹۰)، مس نوده سبزوار (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۰) و گرماب پایین (طاشی و همکاران، ۱۳۹۶) نیز دیده می‌شود.

در شکل زیر به طور کلی به رخساره‌های موجود در کنسار مس نه‌کوهی اشاره شده است (شکل ۸-۲).



شکل ۸-۲- انواع رخساره‌های موجود در کنسار مس نه‌کوهی براساس مدل (Peter and Goodfellow, 1996)

#### ۸-۲-۴- کانی‌شناسی

از لحاظ کانی‌شناسی کنسار مس نه‌کوهی شامل کانی‌های اولیه پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، هماتیت و پیرولولزیت و کانی‌های ثانویه مالاکیت، کوولیت، دیژنیت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن و کانی‌های باطله

کلسیت، باریت و کوارتز است. در کانسار نه‌کوهی پیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی بوده و پس از آن کالکوپیریت، اسفالریت بیشترین فراوانی را دارند. در کانسار نه‌کوهی، کانه‌زایی مس بصورت کالکوپیریت تنها در پهنه استرینگر مشاهده می‌شود و پهنه چین‌سان نیز حاوی اسفالریت و فاقد کالکوپیریت می‌باشد که این پهنه‌بندی فلزی و غنی‌شدگی مس در پهنه استرینگر و افزایش نسبت مس به روی از پهنه چین‌سان به سمت پهنه استرینگر از ویژگی‌های تیپیک کانسارهای VMS می‌باشد (Franklin et al., 2005; Galley et al., 2007).

### ۸-۲-۵- ساخت و بافت و منطقه‌بندی آنها

در کانسار مس نه‌کوهی به‌طور کلی ساخت رگه-رگچه یا استرینگر در افق‌های سوم، چهارم و پنجم کانه‌زایی بصورت رگه-رگچه‌های کلسیتی-باریتی و سولفیدی، رگه-رگچه‌های پیریتی، رگه-رگچه‌های باریتی مشاهده می‌شود. همچنین دارای ساخت‌های دیگر از جمله ساخت نواری، ساخت برشی و دانه‌پراکنده که به خوبی قابل مطالعه است. قابل ذکر است که در کانسار مورد مطالعه بافت رگه-رگچه‌ای به صورت قطع‌کننده و چین‌کران در قسمت زیرین کانسار به‌طور عمده از پیریت و کالکوپیریت و مقدار کمتری اسفالریت تشکیل شده است. بافت نواری به صورت چین‌سان در بالای کانسار شامل تناوبی از نوارهای غنی از پیریت و مقدار کمتر اسفالریت همراه با سنگ میزبان شیلی است. بافت نواری در واحد رسوبی-بروندمی غنی از آهن و منگنز موجود در افق‌های کانه‌دار ۱ و ۲، به وفور دیده می‌شود.

بطور کلی عمومی‌ترین ساخت و بافت‌ها در کانسارهای VMS، توده‌ای، نواری، لامینه‌ای، دانه‌پراکنده و پرکننده فضاهای خالی می‌باشد (e.g., Large, 1992; Gibson and Kerr, 1998; Franklin et al., 1999; Taylor et al., 1998) که در کانسار نه‌کوهی نیز این ساخت و بافت‌ها مشاهده شده است.

## ۸-۲-۶- دگرسانی و منطقه بندی آنها

گسترش دگرسانی در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد به خصوصیات سیال مهاجم، ترکیب، نفوذپذیری و تخلخل رسوبات کمرباین بستگی دارد. دگرسانی‌های معمول در تیپ‌های بتورست شامل سربستی، سیلیسی،

کلریتی، کلسیتی می‌باشد. براساس مطالعات صحرایی، کانی‌شناسی و نتایج XRD از پهنه‌های دگرسانی در کانسار مس نه‌کوهی می‌توان گفت غالب دگرسانی در توالی آتشفشانی- رسوبی کانسار نه‌کوهی به طور عمده بیشتر دگرسانی کلریتی و کربناته- سربستی- سیلیسی است. دگرسانی از مرکز به حاشیه به ترتیب شامل دگرسانی کلریتی، و کربناته- سربستی- سیلیسی و کلریتی می‌باشد.

باتوجه به حجم بالای آب‌های آهن دار بیشترین حجم دگرسانی مربوط به دگرسانی کلریتی است که در کمرباین کانسار (زیر افق های معدنی) در رخساره رگه- رگچه‌ای وجود دارد. کلریت کانی غالب در پهنه دگرسانی کلریتی در کانسار نه‌کوهی بوده و البته این پهنه حاوی پیریت دانه پراکنده و رگه-رگچه های باریتی نیز می باشد. دگرسانی سربستی در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) تیپهای بایمودال فلسیک و سیلیسیکلاستیک فلسیک معمول می‌باشد و در سنگ‌های میزبان فلسیک گسترش دارد (Franklin et al., 2005). دگرسانی سربستی- کربناته- سیلیسی حاوی کانیهای سربست، کلسیت و کوارتز و باریت می باشد. این دگرسانیها در کانسارهای نوع سیلیسیکلاستیک فلسیک در منطقه معدنی بتورست کانادا و چاه گز ایران گسترش زیادی دارند (موسیوند و همکاران، ۱۳۹۰).

## ۸-۲-۷- جایگاه تکتونیکی

پوسته قاره‌ای ایران مرکزی، طی کامبرین زیرین، تحت تأثیر فرایندهای زمین‌ساخت کششی متحمل کافت ناقص (Aborted rift) در طول حاشیه غربی گندوانا شده‌است که رخداد ماگماتیسم کامبرین زیرین و بالازدگی سست کره را دلیل این کافت‌زایی می‌دانند (Talbot and Alavi (1996). رخداد ماگماتیسم در

پهنه پشت‌بادام و طی نئوپروتروزوئیک پسین- کامبرین پیشین، همراه با کشش پشت کمانی بوده- است (Ramezani and Tucker, 2003).

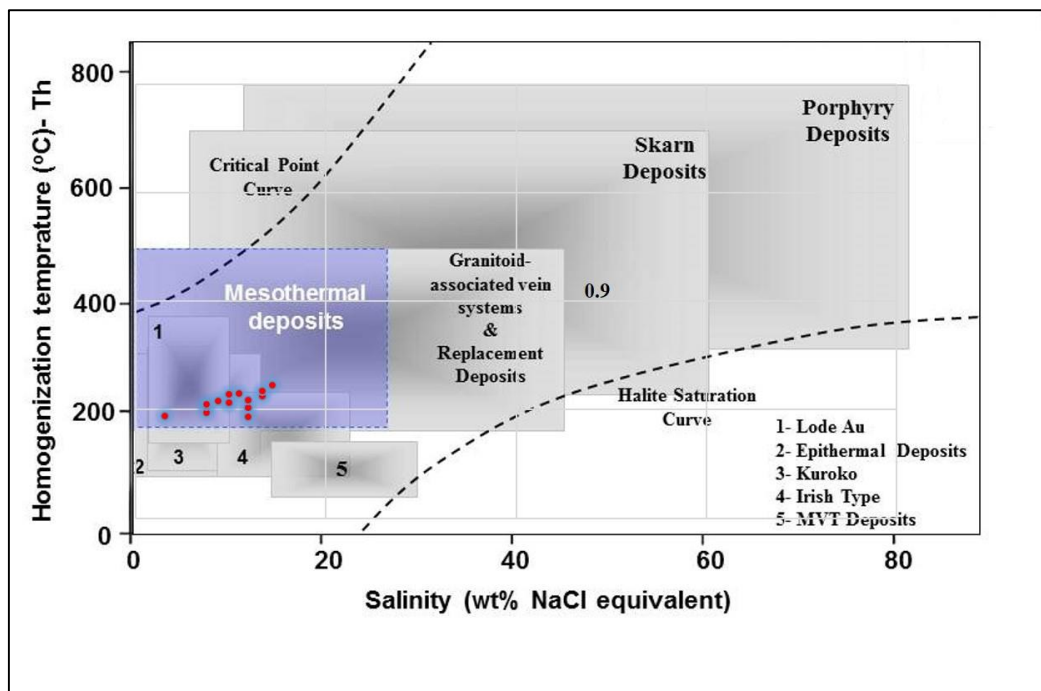
مطالعات ژئوشیمیایی بر روی سنگ میزبان کانه‌زایی نشان می‌دهد کانسار مس نه‌کوهی از لحاظ جایگاه تکتونیکی در حوضه کمان آتشفشانی مرتبط با حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده است (دوست‌محمدی و همکاران، ۱۳۹۱).

### ۸-۲-۸- نتایج ژئوشیمی و سیال درگیر

مطالعات ژئوشیمیایی در فصل ششم نشان می‌دهد که سنگ‌های آتشفشانی منطقه دارای ترکیب داسیتی و تعداد کمتر در محدوده آلکالی ریولیت بوده و در محیط کمانی نهشته شده‌اند. همچنین شباهت الگوی عناصر نادر خاکی (REE) و کمیاب در بین مواد معدنی و سنگ‌های آتشفشانی توالی میزبان کانسار نشان می‌دهد که فلزات و عناصر کانه‌ساز از شستشوی سنگ‌های آتشفشانی کمربیین توسط سیال داغ کانه‌ساز نشأت گرفته‌اند.

بر اساس مطالعات ژئوشیمی کانسنگ، این کانسار غنی از مس می‌باشد و میزان روی و سرب بسیار پایین است. میزان مس در پهنه‌ی رگه- رگچه‌ای (108700ppm) در کانسار بیشتر از قسمت‌های لایه‌ای (حدود 181ppm) بوده زیرا کانه‌زایی مس بصورت کالکوپیریت در این پهنه دیده می‌شود. بیشترین مقدار روی در رخساره مجموعه دهانه‌ای (80ppm) و کمترین مقدار در رخساره کانسنگ لایه‌ای (حدود 42ppm) می‌باشد. بیشترین مقدار سرب در رخساره کانسنگ لایه‌ای در حدود (322ppm) است. میزان نقره از رخساره استرینگر به طرف رخساره لایه‌ای افزایش نشان می‌دهد که این ویژگی با کانسارهای آتشفشانی- رسوبی کف دریاها مشابهت زیادی دارد.

مطالعات سیالات درگیر نیز نشان می‌دهد میزان شوری سیال در کانسار نه‌کوهی بین ۹ تا ۱۱ درصد وزنی NaCl و دمای همگن‌شدن در محدوده دمایی بین ۱۸۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد بوده، با توجه به دما-شوری بیان‌شده، نمودار درجه همگن‌شدن (Th) در مقابل شوری برای کانسارهای مختلف در شکل آورده شده‌است. با توجه به نمودار ویلکینسون (Wilkinson, 2001) محل قرارگیری سیالات اندازه‌گیری‌شده بر روی نمودار موقعیت دما و شوری در محدوده سیستم‌هایی سولفید توده‌ای آتشفشانزاد می‌باشد (شکل ۸-۳).



شکل ۸-۳- محل قرارگیری سیالات درگیر کانسار نه‌کوهی در نمودار درجه همگن‌سازی در مقابل شوری کانسارهای مختلف (Wilkinson, 2001) در محدوده کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد

### ۸-۳- شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد نه‌کوهی

#### ۸-۳-۱- منشأ فلزات

در این تهنشینی‌ها دو منبع برای فلزات در نظر می‌گیرند. منبع اول مربوط به واکنش بین سنگ و دیواره و سیالات در عمق‌های بیشتر از یک کیلومتر و در درجه حرارت بالا می‌باشد که باعث دگرسانی اپیدتی،

کلریتی و کوارتزی به صورت گسترده شده است. میزان فلزات در این سیالات وابسته به درجه حرارت و PH سیال می باشد به صورتی که با افزایش میزان دما و کاهش درجه PH میزان فلزات در سیال زیاد می شود (Franklin et al., 2005). نوع فلزات هم وابسته به ترکیب شیمیایی سنگ دیواره (سنگ های فلسیک و سنگ های مافیک) می باشد. همچنین از عوامل دیگری که بر میزان فلزات در سیال می تواند تأثیر گذارد، نسبت سیال به سنگ است، هرچه نسبت سیال به سنگ بالا باشد میزان فلزات در سیال هم بالاست.

منبع دوم مستقیماً از ماگما منشأ می گیرد، سیالات حاوی فلزات ممکن است به طور مستقیم از ماگما منشأ بگیرد که سهم این سیالات ماگمایی غنی از فلز بسیار پایین می باشد (scott, 1997)، مانند مس پورفیری و ته نشینی طلای سولفیداسیون بالا.

منشأ فلزات در کانه زایی سولفید توده ای نه کوهی با توجه به نفوذ سیلهای داسیتی به داخل شیلهای سیاه در زیر کف دریا موجب فعال شدن جریانهای همرفتی آب دریا در طول گسلهای همزمان با آتشفشان و رسوبگذاری شده که نتیجه آن ایجاد سیالات داغ و شور بوده که فلزات و عناصر کانسنگ ساز را از سنگهای آتشفشانی - رسوبی کمرباطین شسته را وارد دریا نموده است و پتانسیل لازم برای کانه زایی مس می باشد.

### ۸-۳-۲- منشأ گوگرد

منشأ گوگرد در نهشته های سولفید توده ای به طور عمده از شستشوی توالی کمرباطین و احیای سولفات آب دریا است. در کانسار مس نه کوهی با توجه به مقدار مثبت  $\delta^{34}\text{S}$  سولفیدهای کانسار نه کوهی (۵، ۸ تا ۱۸، ۱)، منشأ گوگرد احیای غیرآلی سولفات آب دریا می باشد.



### ۸-۳-۳- منشأ سیالات

براساس شواهد ایزوتوپی، ژئوشیمیایی، سیال درگیر در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد نشان می‌دهد که منشأ سیالات توسط آب دریا تأمین می‌شود. میزان کمی هم از اختلاط آب ماگمایی با آب‌های دریایی می‌باشد

(Franklin et al., 2005). در کانسار مس نه‌کوهی مطالعات انجام‌شده بر روی مقاطع سیالات درگیر، مطالعات ایزوتوپی گوگرد نشان می‌دهد، منشأ سیالات توسط آب دریا تأمین شده‌است، به این صورت که تغییرات  $\delta 34S$  در آب‌های دریایی پرکامبرین - کامبرین بین ۲۸/۳ تا ۲۹/۹ می‌باشد.

با توجه به ویژگی‌های بیان شده در بالا میتوان عنوان نمود، کانسار نه‌کوهی از جهات مختلف از جمله جایگاه تکتونیکی تشکیل، سنگ میزبان و همراه، شکل هندسی ماده معدنی، رخساره‌های کانه‌دار، کانی‌شناسی، دگرسانی و منطقه بندی آنها، با کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد دارای شباهت بسیار زیادی است.

(Franklin et al., 2005; Piercey., 2011; Gibson et al., 2007; Devine et al., 2002)

### ۸-۴- کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد

کانسارهای VMS یکی از شناخته شده ترین نوع کانسارها هستند که تاکنون مورد مطالعه قرار گرفته اند. این کانسارها در توالی آتشفشانی- رسوبی دریایی در تمام سنین (از ۳/۵ میلیارد سال تا عهد حاضر) رخ داده و از لحاظ اقتصادی منبع مهم فلزات پایه (مس، سرب، روی)، قیمتی (نقره، طلا) و همچنین دیگر فلزات از قبیل (کبالت، قلع، ایندیم، کادمیم، تیتانیم، گالیم، سلنیم، آنتیموان، بیسموت) می باشند (Tornos et al., 2016).

کانسارهای سولفید توده‌ای، به عنوان کانسارهای سولفید توده‌ای مرتبط بامیزبان آتشفشانی شناخته می‌شود به صورت عدسی‌هایی از سولفیدهای توده‌ای چند فلزی در نزدیکی کف دریا در محیط‌های آتشفشانی زیر دریایی تشکیل می‌شوند، این کانسارها از سیالات گرمابی غنی از فلزات و برون‌دهی تشکیل می‌شوند.

بیشتر کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد دارای دوبخش مهم هستند

بخش سولفید توده‌ای تپه‌مانند و یا صفحه‌ای

بخش رگه و رگچه‌دار

کانسارهای VMS در محیط زیر دریایی بیشتر همراه یا سنگ‌های آتشفشانی و در سنگ‌های رسوبی از قبیل شیل یافت می‌شوند. این کانسارها در امتداد پشته‌های میان اقیانوسی یا در حوضه‌های پشت قوسی در حال گسترش (مانند کانسارهای قبرس)، بعضی دیگر در جزایر قوسی و یا حاشیه‌های قاره‌ای (نظیر کانسازهای کروکو)، تعدادی در آتشفشانهای جزیره‌ای درون صفحه‌ای و تعدادی در محیط‌های تکتونیکی ناشناخته مربوط به کمربندهای سنگ‌های سبز آرکئن کشف می‌شوند.

#### ۸-۵- تقسیم‌بندی کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد

این نوع کانسارها، خود به روش‌های مختلفی، به دسته‌های متعدد تقسیم می‌شوند. یکی از پرکاربردترین این روش‌ها، دسته‌بندی آنها براساس سنگ دربرگیرنده کانه‌زایی است که به چند دسته متفاوت تقسیم می‌شوند و هریک، شرایط تشکیل و تکتونیکی متفاوتی دارند. این دسته شامل بشی، نوراندا، کروکو، بثورست و قبرس هستند

(Franklin., 1996; Gally et al., 2007; Mosier et al., 2009).

(Franklin et al., 2005)، کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد را بر اساس ترکیب توالی چینه‌شناسی و محیط تکتونیکی تهنشست به پنج گروه تقسیم بندی نموده‌است که با بازنگری (Piercey, 2011) در آن، این رده‌بندی کامل و به شکل (۴-۸) ارائه گردیده‌است:

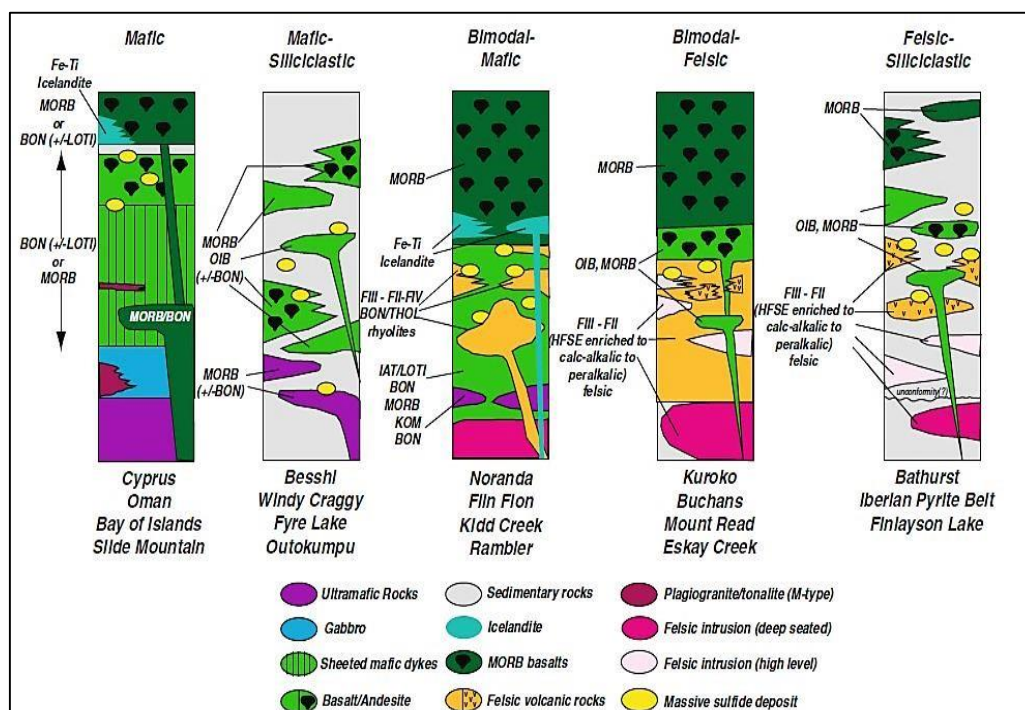
۱- تیپ مافیک-اولترامافیک (قبرس): این کانسارها در کمپلکس‌های افیولیتی در محیط‌های تکتونیکی گسترشی کف اقیانوس (Morb) و محیط پشت کمانی بالغ درون اقیانوسی همراه با برخی از گسل-های ترانسفورم تشکیل می‌شوند. توالی این کانسارها به طور عمده از بازالت‌های بالشی و توده‌ای و مقادیر ناچیزی از سنگ‌های فلسیک و رسوبی است (شکل ۴-۸). از این نهشته‌ها می‌توان نهشته‌های Troodos در قبرس، Smail در عمان نام برد (Franklin et al. 2005).

۲- تیپ مافیک سیلیسی کلاستیک (یا پلیتیک مافیک یا تیپ بشی): توالی‌های بازالتی-پلیتی مربوط به محیط‌های پشت کمانی بالغ حاوی بازالت و پلیت با مقادیر مساوی بوده و یا پیلت‌ها غالب می‌باشند. سیل‌های مافیک تا ۲۵ درصد توالی میزبان حضوردارند. سنگ‌های فلسیک کم بوده و مقدار آنها به کمتر از ۲۰ درصد می‌رسد. از این تیپ نهشته‌ها می‌توان کانسار Outokumpu در فنلاند، کانسار Windy cray در کانادا و نهشته‌های تیپ بشی در ژاپن نام برد (Franklin et al. 2005; Piercy, 2011).

۳- تیپ بایمدال مافیک (تیپ نوراندا): توالی میزبان این کانسارها در ریفت‌های نوظهور کمان‌های آتشفشانی بایمدال در بالای زون‌های فرورانشی درون اقیانوسی تشکیل می‌شوند و به طور عمده متشکل از سنگ‌های بازالتی بالشی و توده‌ای بوده با این حال میزان سنگ‌های فلسیک تا ۲۵ درصد می‌رسد (شکل ۴-۸). از این تیپ کانسارها می‌توان کانسارهای کمر بند نوراندا در کانادا، کانسارهای منطقه Flin Flon در کانادا و نهشته‌های کمر بند اورال در روسیه و قزاقستان را نام برد (Franklin et al. 2005).

۴- تیپ بایمدال فلسیک (تیپ کوروکو): این کنسارها در کمان‌های حاشیه قاره‌ای نهشته شده و در توالی میزبان دارای ۳۵ تا ۷۰ درصد سنگ‌های آتشفشانی فلسیک، ۲۰ تا ۵۰ درصد سنگ‌های بازالتی و در حدود ۱۰ درصد سنگ‌های تخریبی می‌باشد. سنگ‌های آذر آواری فلسیک زیردریایی، گدازه‌ها و دایک‌ها و سیل‌های بازالتی - آندزیتی معمول در این توالی معمول می‌باشد (شکل ۸-۴). از این نهشته‌ها می‌توان کنسارهای منطقه Hokuroku در ژاپن، Bergslagen سوئد و نهشته‌های Dunnage Zone در کانادا را نام برد (Franklin et al. 2005).

۵- تیپ فلسیک سیلیسی کلاستیک یا تیپ بشورست: توالی میزبان در محیط‌های پشت کمانی قاره‌ای نهشته شده و حاوی عمدتاً سنگ‌های تخریبی (حدود ۸۰ درصد)، سنگ‌های فلسیک آذر آواری و کمی گدازه، سیل و گنبد فلسیک می‌باشد و معادل‌های درونی آنها بقیه توالی را حدود (۲۵ درصد) تشکیل می‌دهد (شکل ۸-۴). از جمله این نهشته‌ها می‌توان کنسارهای مناطق Bathurst در کانادا نام برد (Franklin et al. 2005).



شکل ۸-۴- ستون چینه‌شناسی تیپ‌های مختلف کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد بر مبنای Franklin et al.,

(2005) و با بازنگری (1102), Piercy

## ۸-۶- الگوی تشکیل کانسار مس نه‌کوهی

با توجه به ویژگی‌های کانه‌زایی مس در منطقه نه‌کوهی شامل رخداد کانه‌زایی بصورت چینه‌سان (همخوان با لایه‌بندی سنگ میزبان شیلی) و چینه‌کران (بصورت رگه-رگچه‌ای و قطع‌کننده سنگ میزبان داسیتی، شیلی و ماسه‌سنگی) و وجود بافت‌های رگه-رگچه‌ای، توده‌ای-نیمه‌توده‌ای، لامینه، نواری، دانه‌پراکنده و جانشینی در ماده معدنی و سایر ویژگی‌ها از جمله پهنه‌بندی دگرسانی و رخساره‌های مختلف کانه‌دار، کانه‌زایی نه‌کوهی با کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) شباهت زیادی را نشان می‌دهد.

وجود رخساره‌های کانه‌دار و نسل‌های مختلف کانی‌ها در کانسار نه‌کوهی، نشان از رخداد کانسنگ در چند مرحله می‌باشد. بر اساس پاراژنز کانیایی و مطالعات میکروسکوپی، دو مرحله کانه‌زایی را میتوان در کانسار

نه‌کوهی تشخیص داد که شامل مراحل زیر می‌باشند:

## ۸-۶-۱- مرحله ۱: فعالیت‌های آتشفشانی - برون‌دمی و دیاژنز

اولین مرحله کانه‌زایی در کانسار نه‌کوهی بصورت همزمان با وقوع فعالیت‌های آتشفشانی - برون‌دمی در زمان پرکامبرین پسین - کامبرین پیشین بوده است. نفوذ سیلهای داسیتی به داخل شیل‌های سیاه در زیر کف دریا موجب فعال شدن جریانهای همرفتی آب دریا در طول گسل‌های همزمان با آتشفشان و رسوبگذاری شده که نتیجه آن ایجاد سیالات داغ و شور بوده که فلزات و عناصر کانسنگ ساز را از سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی کمرباطین شسته را وارد دریا نموده است. نتیجه فعالیت این سامانه گرمایی تشکیل کانسار سولفید توده ای آتشفشان‌زاد نه‌کوهی و ایجاد رخساره های استرینگر و مجموعه دهانه ای در زیر کف دریا و رخساره های لایه ای و برون‌دمی در کف دریا می باشد. در این رخساره ها کانی‌های پیریت نسل اول و دوم ( $Py_1$ )، ( $Py_2$ )، کالکوپیریت نسل اول و دوم ( $Cpy_1$ ) و ( $Cpy_2$ )، اسفالریت نسل اول و دوم ( $Sph_1$ ) و ( $Sph_2$ )، باریت و کلسیت دیده می شود. در کانسار نه‌کوهی، کانه‌زایی مس بصورت کالکوپیریت تنها در پهنه استرینگر مشاهده می شود و پهنه چینه سان نیز حاوی اسفالریت و فاقد کالکوپیریت می باشد که این پهنه بندی فلزی و غنی‌شدگی مس در پهنه استرینگر و افزایش نسبت مس به روی از پهنه چینه سان به سمت پهنه استرینگر از ویژگیهای تیپیک کانسارهای VMS می باشد (Franklin et al., 2005; Galley et al., 2007). بر اساس مطالعات صورت گرفته ساخت و بافت این کانه‌زایی‌ها بیشتر به صورت رگه - رگچه‌ای، برشی، شکاف پرکن، لامینه، نواری، کلوفر می و دانه‌پراکنده می باشد. دگرسانی های عمده شامل دگرسانیهای کلریتی و سریسیتی - کربناته - سیلیسی بوده که همراه با کانه‌زایی و توسط سیالات کانسنگ ساز رخ داده اند. بعد از ته نشست سولفیدها و تدفین آنها، فرایند دیاژنز موجب تبلور کانیها شده است. در بخش لایه ای پیریت نسل دوم محصول فرایند دیاژنز بوده و از تبلور مجدد پیریت نسل اول حاصل شده است.

#### ۸-۶-۲- مرحله ۲: پس از کانه‌زایی (هوازدگی و سوپرژن)

در این مرحله، عملکرد فرایندهای هوازدگی و سوپرژن باعث تحرک مجدد عناصر و ته‌نشست برخی کانی‌های سولفیدی (مثل کوولین و دیژنیت) و اکسیدی-هیدروکسیدی-کربناتی ثانویه (مالاکیت و اکسید-هیدروکسیدهای آهن و منگنز در کانسار شده است).

#### ۸-۷- تیپ کانه زایی کانسار مس نه‌کوهی

کانسارهای VMS یکی از شناخته شده ترین نوع تیپ کانسارها هستند که تاکنون مورد مطالعه قرار گرفته اند. رخداد این کانسارها در توالی آتشفشانی- رسوبی دریایی در تمام سنین (از ۳/۵ میلیارد سال تا عهد حاضر) در همه قاره ها، و از لحاظ اقتصادی منبع مهم فلزات پایه (مس، سرب، روی)، قیمتی (نقره، طلا) و همچنین دیگر فلزات از قبیل (کبالت، قلع، ایندیم، کادمیم، تیتانیم، گالیم، سلنیم، آنتیموان، بیسموت،) می باشند (Tornos et al., 2016). کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد به طور معمول در حوضه‌های گسترش کف اقیانوس‌ها و یا محیط‌های کمانی و پشت کمانی تشکیل می‌شوند (Galley et al., 2007; Gibson and Galley, 2007). همچنین ریفت‌ها، گسل‌های کششی و نفوذپذیر و تخلخل مورد نیاز برای تغذیه و یا تخلیه سیالات گرمایی مرتبط با ذخایر VMS را فراهم می‌کنند. شیب زمین گرمایی فزاینده در محیط‌های ریفتی منجر چرخش سیالات در پوسته زمین شده که همراه با دگرسانی و کانه‌زایی می‌باشد (Spooner and Fyfe 1973). این کانسارها از نظر جایگاه تکتونیکی، سنگ شناسی میزبان و محتوای فلزی به انواع مختلفی طبقه‌بندی شده اند، اما قوی‌ترین و جامع ترین طبقه‌بندی پذیرفته‌شده بر اساس مطالعات ترکیب توالی چینه‌شناسی، سنگ‌نگاری سنگ درونگیر و جایگاه ژئودینامیکی می‌باشد. طبقه‌بندی کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد براساس ترکیب توالی چینه‌شناسی، شامل پنج گروه می باشد (Franklin et al. 2005):

- ۱- تیپ مافیک- اولترامافیک (قبرس)، ۲- تیپ مافیک سیلیسی کلاستیک (یا پلیتیک مافیک یا تیپ بشی)، ۳- تیپ بایمدال مافیک (تیپ نوراندا) ۴- تیپ بایمدال فلسیک (تیپ کروکو) ۵- تیپ بایمدال

فلسیک- سیلیسی کلاستیک یا تیپ بثورست)(جدول ۸-۲). سه گروه اول یاد شده توالی میزبان کمرپایین به طور عمده از سنگ‌های مافیک تشکیل شده است که مقادیر متنوعی از سنگ‌های سیلیسی آواری، رسوبی- شیمیایی و فلسیک نیز آنها را همراهی می‌کنند. در مقابل، سنگ‌های رسوبی و آذرین فلسیک عمده ترکیبات تشکیل دهنده توالی میزبان دو گروه آخر کانسارهای VMS می‌باشد (Barrie and Hannington 1999; Franklin et al 2005; Galley et al., 2007).

کانه زایی در منطقه نه‌کوهی به علت داشتن محیط آتشفشانی- رسوبی بایمودال فلسیک، بالا بودن حجم سنگ‌های رسوبی در توالی میزبان، رخداد گسترده رسوبات برون‌می-گرمایی، سنگ‌های میزبان آتشفشانی فلسیک و شیل‌های سیاه، وجود رخساره مجموعه دهانه‌ای و نیز بافت‌های لامینه و نواری در رخساره لایه‌ای و نوع پهنه‌بندی دگرسانی، بیشترین شباهت را با نهشته‌های تیپ بایمودال فلسیک سیلیسی کلاستیک یا بثورست نشان می‌دهد. در این کانسار سنگ‌های آواری و سنگ‌های فلسیک فراوان بوده و بطور معمول دارای سنگ‌های مافیک بسیار کم می‌باشد. توالی میزبان کانسارهای تیپ بثورست، در محیط‌های کمان بالغ حاشیه قاره‌ای و پشت کمانی نهشته می‌شوند که از جمله این کانسارها میتوان به کانسارهای منطقه معدنی بثورست در کانادا (Goodfellow (2007، کانسارهای کمر بند پیریتی ایبرین اسپانیا-پرتقال (Shanks and Koski, 2012) و همچنین در ایران می‌توان به کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد روی-سرب-مس چاه‌گز(موسیوند و همکاران، ۱۳۹۰) اشاره کرد (جدول ۸-۳). بر اساس Goodfellow (2007) کانسارهای منطقه معدنی بثورست کانادا بطور عمده غنی از روی هستند، هرچند که تعدادی از آنها مثل کانسار Chester غنی از مس هستند. کانسار مس نه‌کوهی نیز غنی از مس می‌باشد و احتمال این‌که سیال سرب و روی را شسته و در به‌بخش‌های دورتر کانسار انتقال و ته‌نشست یافته است و می‌توان با حفاری‌های بعدی بررسی نمود، اما کانسار چاه‌گز بعنوان نوع تیپیک بثورست در ایران غنی از روی است.

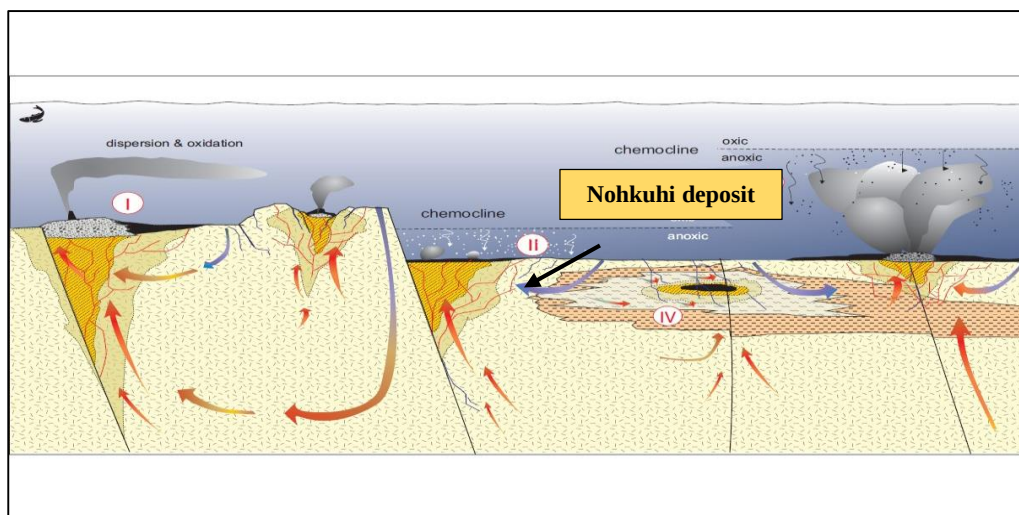


جدول ۸-۱- عیار و تناژ کانسارهای منطقه معدنی بتورست کانادا

| Deposit                                | Million tonnes (Mt) | Type    | Pb (%) | Zn (%) | Cu (%) | Ag (g/t) | Au (g/t) |
|----------------------------------------|---------------------|---------|--------|--------|--------|----------|----------|
| <i>Primary Sulfides</i>                |                     |         |        |        |        |          |          |
| Brunswick No. 12                       | 88.807              | present | 3.49   | 8.81   | 0.34   | 99.9     |          |
| Brunswick No. 6                        | 12.197              | past    | 2.15   | 5.43   | 0.40   | 67.0     |          |
| Captain North Ext (CNE)                | 0.039               | past    | 4.42   | 9.97   |        | 134.7    |          |
| Heath Steele ACD Zones                 | 2.472               | past    | 1.73   | 7.38   | 0.73   | 76.7     |          |
| Heath Steele B Zone                    | 20.723              | past    | 1.75   | 4.79   | 0.98   | 65.5     |          |
| Heath Steele N-5 and Stratmat Boundary | 1.137               | past    | 2.98   | 8.11   | 0.35   | 44.0     |          |
| Caribou                                | 1.343               | past    | 3.24   | 6.78   | 0.32   | 97.0     |          |
| Restigouche                            | 0.231               | past    | 5.49   | 6.34   |        | 132.9    |          |
| Wedge                                  | 1.504               | past    | 0.65   | 1.61   | 2.88   | 20.6     |          |
| Chester                                | 0.003               | past    |        |        | 1.46   |          |          |
| Total                                  | 128.455             | (avg)   | 2.87   | 6.58   | 0.93   | 82       |          |
| <i>Supergene Zones</i>                 |                     |         |        |        |        |          |          |
| Caribou                                | 0.337               | past    |        |        | 3.66   |          |          |
| <i>Gossans</i>                         |                     |         |        |        |        |          |          |
| Caribou                                | 0.062               | past    |        |        |        | 171.4    | 5.35     |
| Heath Steele ACD, B                    | 0.178               | past    |        |        |        | 176      | 4.77     |
| Murray Brook                           | 1.014               | past    |        |        |        | 61.4     | 1.79     |
| Total                                  | 1.254               |         |        |        | (avg)  | 136.1    | 3.97     |
| Notes: from McCutcheon et al. (2003)   |                     |         |        |        |        |          |          |

به اعتقاد (Tornos et al. 2016)، کانه زایی VMS بصورت چهار سبک رخ می دهد: (۱) تپه ها و دودکشهای سیاه در محیطهای اکسیدان، (۲) استخرهای شورابه ای، (۳) تپه ها و سولفیدهای چینه سان در محیطهای احيایی ناحیه ای، (۴) جانشینی زیرکف دریا. هرکدام از این سبک کانه زایی ها تحت شرایط خاص تشکیل شده اند و این شرایط درواقع فرایندهای کانه ساز و شکل هندسی و سبک کانسارها را کنترل می کنند (شکل ۸-۵). این سبکها همان رخساره های کانسنگ هستند. این عوامل کنترل کننده شامل ماهیت فیزیکی- شیمیایی سنگ میزبان، دما و ترکیب سیالات کانه ساز و حالت اکسیداسیون- احياء محیط ته نشست می باشند (Tornos et al., 2016).

بنابراین براساس مطالعه داده های اکتشافی فعلی از جمله مغزه های حفاری و مطالعات سطحی و ترانشه ها، درواقع بخش رگه- رگچه ای (پهنه استرینگر) در کانسار نه کوهی ارزش اقتصادی داشته و برای استخراج مس ارزشمند می باشد. بنابراین بخش اقتصادی کانسار نه کوهی بصورت جانشینی در زیر کف دریا رخ داده است. عامل اصلی در نهشته شدن کالکوپیریت، کاهش ناگهانی و سریع دما می باشد. این تفاوت در شرایط ته نشست بین کالکوپیریت در مقایسه با اسفالریت و گالن، عامل ایجاد تغییرات کانی شناسی و تمرکز کالکوپیریت در پهنه استرینگر و تمرکز گالن و اسفالریت در پهنه سولفید توده ای چینه سان می باشد (Franklin et al., 2005). با توجه به توالی میزبان کانه زایی که وجود شیل های سیاه باعث ایجاد یک محیط احيایی محلی گردید است، وجود رخساره کانسنگ لایه ای در بخش بالایی کانسار، حجم بالای اغزلات های آهن و شوری بالا، کانسار مس نه کوهی مشابه با مدل استخر شورابه ای می باشد.



شکل ۸-۵- مدل شماتیک از ویژگی های اصلی مدل های متفاوت کانه زائی VMS همراه با تغییرات برگرفته از (Tornos et al., 2016): مدل تپه ای و دودکش های سیاه ۲ در محیط اکسیدان (I)، مدل استخر شورابه ای ۳ (II)، مدل تپه ای و چینه سان سولفیدی در محیط منطقه غیراکسیدان (III)، مدل جانشینی در زیر کف دریا (IV) و جایگاه تشکیل کانسار نه کوهی

۲. black smoker chimneys.  
۳. Brine pools

جدول ۸-۲- مقایسه کانسار نه کوهی با ویژگی‌های انواع کانسارهای سولفیده توده‌ای آتشفشانزاد (VMS)

| ویژگی‌های شاخص                 | کانسار نه کوهی                      | تیپ سیلیسیکلاستیک (Bathurst) فلسیک                               | تیپ بایمدال فلسیک (Kuroko)                                                        | تیپ بایمدال مافیک (Noranda)            | تیپ پلیتیک مافیک (Besshi)                                                   | تیپ مافیک الترامافیک (Cyprus)                                                  |
|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| محیط تکتونیکی                  | کمان و پشت کمانی                    | کمان و پشت کمانی                                                 | کمان و پشت کمانی                                                                  | کمان‌های نوظهور اقیانوسی               | پشت کمانی، ریف‌های قاره‌ای                                                  | پشته‌های میان اقیانوسی، پشت کمانی                                              |
| سنگ‌های میزبان و همراه         | شیل سیاه و داسیت، ماسه-سنگ          | داسیت، ریولیت و شیل سیاه                                         | ریولیت و داسیت و سنگ‌های آذرآواری فلسیک                                           | بازالت، آندزیت و آذرآواری              | گدازه‌های بازالتی آندزیت-بازالتی، شیل، سیلتستون سیاه، ماسه سنگ              | بازالت‌های بالشی و سنگ‌های الترامافیک                                          |
| کانی‌های معدنی                 | پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت         | اسفالریت، گالن، پیریت، آرسنوپیریت، پیروتیت، تتراهدریت            | اسفالریت، گالن، پیریت، کالکوپیریت، تتراهدریت                                      | پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، تتراهدریت | پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، مگنتیت، پیروتیت                                | پیریت، کالکوپیریت                                                              |
| کانی‌های باطله                 | کلسیت، باریت، کوارتز، سریسیت، کلریت | کربنات، کوارتز، سریسیت، باریت                                    | باریت فراوان، کوارتز                                                              | کلریت، کوارتز، کربنات                  | کلریت، کوارتز، سریسیت، اپیدوت                                               | کوارتز، کلریت                                                                  |
| عناصر فلزی                     | Cu-(Zn)                             | Zn-Pb-Cu                                                         | Pb- Zn                                                                            | Cu-(Zn)                                | Cu- Zn                                                                      | Cu                                                                             |
| دگرسانی                        | کلریتی و کربناته-سرسیتی-سیلیسی      | سرسیتی، سیلیسی، کلریتی، کلسیتی                                   | سرسیتی، سیلیسی، کلریتی                                                            | کلریتی و سریسیتی                       | کلریتی، سیلیسی، سریسیتی، اپیدوتی                                            | کلریتی، سیلیسی، سریسیتی                                                        |
| مثال از تیپ‌های مشابه در ایران | تحقیق حاضر                          | کانسار چاه‌گز (Mousivand et al., 2011)، موسیوند و همکاران (۱۳۹۰) | کانسار باریکا (تاج‌الدین و همکاران، ۱۳۸۹)، کانسار ورنندان (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۶) | کانسار سرگز (Badrzadeh et al., 2011)   | کانسار بوانات موسیوند و همکاران (۱۳۹۵) و کانسار نوده مغفوری و همکاران، ۱۳۹۳ | کانسارهای شیخ‌عالی (Rastad et al., 2002) فزل‌داش (امام‌علی‌پور و مسعودی، ۱۳۷۶) |

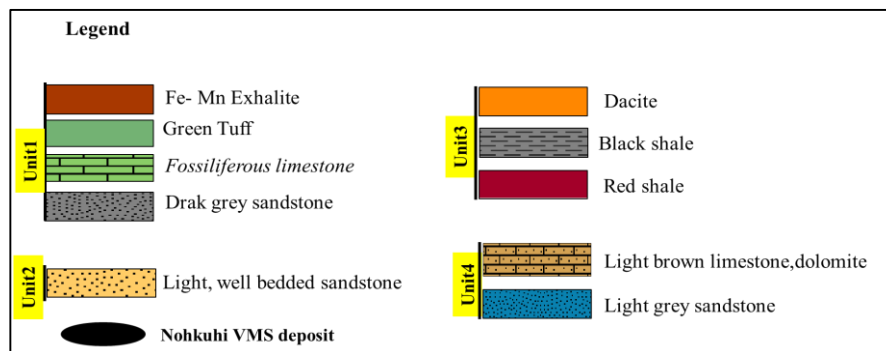
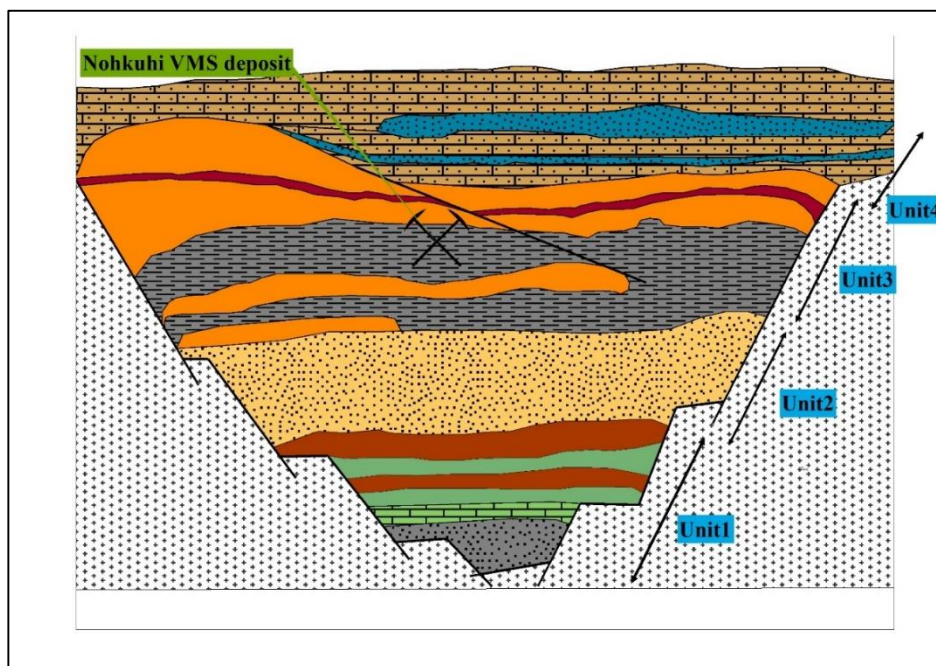
جدول ۸-۳- مقایسه ویژگی‌های کانسار نه‌کوهی با کانسارهای سولفیده توده‌ای آتشفشانزاد نوع بشورست در ایران و جهان

| مهم ترین خصوصیات کانه‌زائی | کانسار نه‌کوهی                                                           | کانسار چاه‌گز                                                             | کانسارهای منطقه بشورست کانادا                                                        | کانسارهای کمربند پیریتی ایبرین اسپانیا- پرتغال                             |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| محیط تکنوتیکی              | پشت کمانی                                                                | کمانی                                                                     | پشت کمانی                                                                            | پیش کمانی یا پشت کمانی                                                     |
| سنگ‌های میزبان و همراه     | داسیت، شیل سیاه، ماسه‌سنگ                                                | داسیت، ریولیت، شیل سیاه                                                   | داسیت، ریولیت، شیل سیاه                                                              | ریولیت، داسیت، شیل سیاه                                                    |
| سن کانه‌زائی               | پر کامبرین پسین- کامبرین پیشین                                           | ژوراسیک میانی                                                             | اردوویسین                                                                            | دونین بالا - کرینفر زیرین                                                  |
| شکل هندسی پیکره‌های معدنی  | قیفی شکل                                                                 | صفحه ای شکل                                                               | صفحه ای شکل                                                                          | صفحه ای شکل                                                                |
| ساخت و بافت                | رگه- رگچه‌ای، نواری، لامینه، نیمه توده‌ای، دانه- پراکنده، برشی و جانشینی | توده‌ای، نواری، زیاد، دانه پراکنده، رگه‌ای                                | توده‌ای، نواری، زیاد، دانه پراکنده، رگه ای                                           | توده‌ای، نواری، زیاد، دانه پراکنده، رگه‌ای                                 |
| کانی‌های معدنی             | پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت                                              | پیریت، اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، تتراهدریت، بورنیت، پیروتیت | پیریت، اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، پیروتیت، تتراهدریت، کاسیت، استانییت   | پیریت، اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، تتراهدریت، کاسیت، استانییت  |
| کانی‌های باطله             | کلسیت، باریت و کوارتز، کلریت                                             | کوارتز، سربیسیت، کلریت، کرنات، باریت ناچیز                                | کرنات، کوارتز، سربیسیت، کلریت، باریت ناچیز                                           | کوارتز، کرنات، سربیسیت، کلریت، باریت ناچیز                                 |
| پهنه‌بندی فلزی             | Cu(Zn)                                                                   | ناواضح                                                                    | خفیف                                                                                 | خفیف                                                                       |
| پالایش پهنه‌ای             | ناواضح                                                                   | ناواضح                                                                    | خفیف                                                                                 | خفیف                                                                       |
| دگرسانی                    | کلریتی و کرناته- سربیسیتی- سیلیسی                                        | سربیسیتی، پیریتی، سیلیسی، کلریتی، کلسیتی                                  | سربیسیتی، پیریتی، سیلیسی، کلریتی، کلسیتی                                             | سربیسیتی، پیریتی، سیلیسی، کلریتی، کلسیتی                                   |
| مراجع                      | تحقیق حاضر                                                               | موسیوند (۱۳۸۹)، Mousivand et al. 2011b) موسیوند و همکاران، (۱۳۹۰)         | Goodfellow and McCutcheon, 2003; Goodfellow et al., 2003; Lentz and McCutcheon, 2006 | Sáez et al., 1999; Solomon et al., 2002; Dawson et al., 2001; Tornos, 2006 |

## ۸-۸- بازسازی حوضه آتشفشانی - رسوبی منطقه نه کوهی و جایگاه کانسارمس نه کوهی در آن

بر اساس مطالعات زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، شکل هندسی، بافت و ساخت ماده معدنی، مطالعات ژئوشیمیایی و دگرسانی، مراحل زیر را میتوان برای کانه‌زایی مس در توالی آتشفشانی- رسوبی منطقه چشمه‌گز در نظر گرفت. براساس مطالعات (Rajabi et al., 2014) رخداد ماگماتیسم در پهنه پشت‌بادام و طی نئوپروتروزوئیک پسین- کامبرین پیشین، همراه با کشش پشت کمانی بوده‌است و به این صورت که این رخداد در پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین در منطقه چشمه‌گز همراه با کشش رخ داده است و یک یک محیط پشت کمانی را تشکیل شده‌است.

در منطقه نه کوهی این حوضه کششی به دلیل تغییرات شرایط محیطی و عمق حوضه، به صورتی که در طی آن واحد تخریبی (Unit1) ته‌نشست پیدا کرده است و سرانجام با تغییر عمق و شرایط حوضه‌ای واحد ماسه سنگی (Unit2) رسوب یافته است. دوباره با عمیق شدن حوضه سیل‌های داسیتی به داخل شیل‌های سیاه در زیر کف دریا نفوذ کرده و موجب فعال شدن جریان‌های همرفتی آب دریا در طول گسل‌های همزمان با آتشفشان و رسوبگذاری شده که نتیجه آن ایجاد سیالات داغ و شور بوده که فلزات و عناصر کانسنگ ساز را از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی کمربین شسته را وارد دریا نموده است و در ادامه گدازه‌های داسیتی ته‌نشست یافته‌اند (Unit<sup>3</sup>). سرانجام حوضه مجدد عمیق شده و واحد رسوبی آهکی ته‌نشست پیدا کرده است (Unit4).



شکل ۸-۶- بازسازی حوضه آتشفشانی- رسوبی در زمان پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین در منطقه نه کوهی و جایگاه کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد مس نه کوهی در آن، (بدون مقیاس).

## ۸-۹- توزیع زمانی و مکانی کانسارهای تیپ سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد در ایران

با توجه به گسترش سنگ‌های آتشفشانی و توالی آتشفشانی- رسوبی در ایران، اکتشاف و مطالعه کانسارهای سولفید توده‌ای می‌تواند بسیار مفید باشد و مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهد که کشور ایران از پتانسیل بالایی از این تیپ نهشته‌ها برخوردار است (شکل ۸-۶).

۱- مافیک یا قبرس: شامل نهشته‌های موجود در آمیزه‌های رنگین شامل کانسارهای شیخ عالی و

احمدآباد و زورآباد خوی، زاغ دره بافت، رمشک، گزیک، درگز، خلیلان و مسگران، گل چشمه سبزوار

۲- بایمدال مافیک یا تیپ نوراندا: شامل نهشته‌های منطقه سرگز و اسفندقه مانند نهشته‌های سرگز،

قلعه‌ریگی و سیه معدن در پهنه سنندج- سیرجان

۳- پلیتیک مافیک یا تیپ بشی: شامل نهشته‌های بوانات در پهنه سنندج- سیرجان، مس نوده و مس

گرماب پایین در زیر پهنه سبزوار

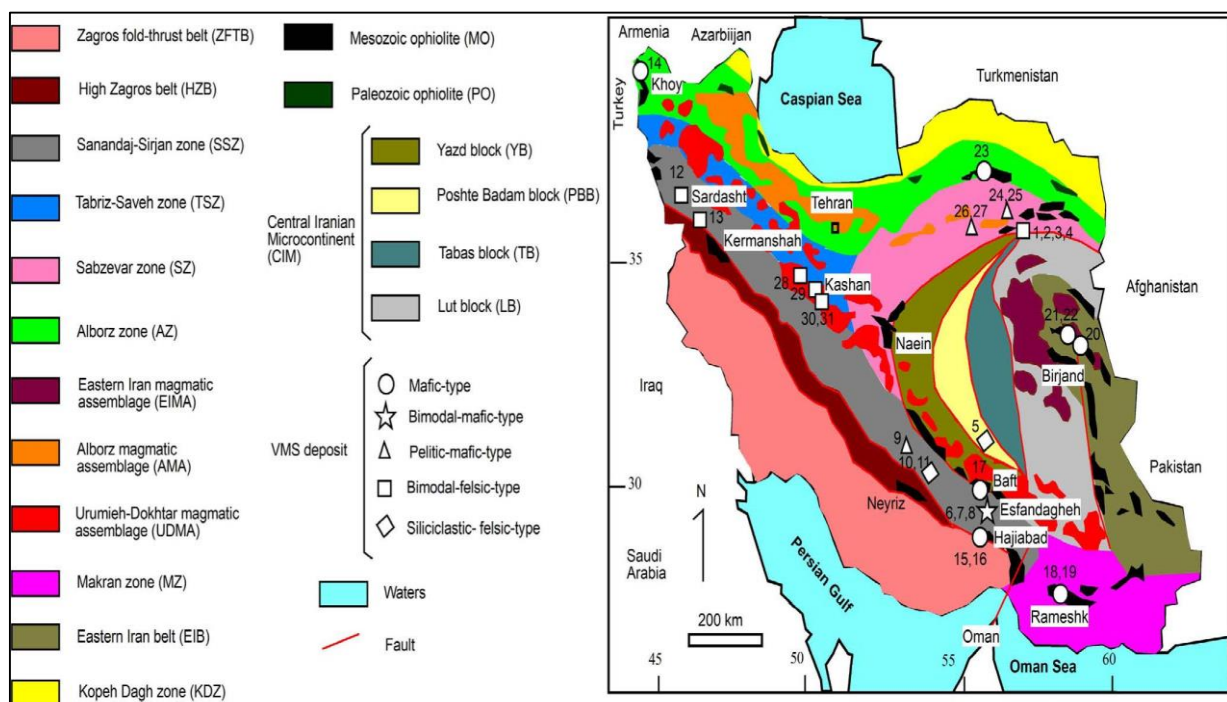
۴- بایمدال فلسیک یا تیپ کروکو: شامل نهشته‌های منطقه تکنار در پهنه ایران مرکزی، نهشته باریکا

در پهنه سنندج- سیرجان و نهشته‌های دره کاشان در کمربند ارومیه- دختر، نهشته باریت- فلزات

پایه پشته در کمان ماگمایی البرز

۵- سیلیسیکلاستیک فلسیک یا تیپ بتورست: شامل نهشته‌های منطقه چاه‌گز در پهنه سنندج-

سیرجان جنوبی، نهشته مس نه‌کوهی در بلوک پشت بادام



شکل ۸-۷- موقعیت نهشته‌های شناخته‌شده VMS ایران در نقشه پهنه‌های ساختاری مختلف (Alavi, 1991 and Aghanabati, 2003).

## پیشنهادهای اکتشافی

- با توجه به اینکه کانسار مس نه کوهی اولین کانسار VMS در بلوک پشت‌بادام است که در توالی آتشفشانی- رسوبی پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین گزارش شده است، پی جویی کانسارهای مشابه نه کوهی در این بلوک پیشنهاد می‌شود.
- پیشنهاد می‌شود با توجه به ضخامت زیاد توالی آتشفشانی- رسوبی در دیگر نقاط ایران که مشابه توالی آتشفشانی- رسوبی در این بلوک از ایران مرکزی می‌باشد، جهت اکتشاف کانسارهای VMS مورد مطالعه دقیق‌تر قرار گیرد.
- تشخیص محل عبور گسل‌های هم‌زمان با رسوبگذاری، دگرسانی‌های کلریتی و سرسیتی برای اکتشاف نهشته‌های سولفید توده‌ای آتشفشانزاد بسیار مهم است.
- نفوذ سیلهای داسیتی به داخل شیل‌های سیاه به علت نقش موتور حرارتی در تشکیل کانسار جهت اکتشاف مفید هستند.
- با توجه به گسترش دگرسانی‌های سریسیتی و کلریتی، استفاده از دور سنجی جهت اکتشاف ذخایر جدید در منطقه می‌تواند مفید باشد.



## منابع

آقانباتی، س. ع. (۱۳۸۳) "زمین شناسی ایران" سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰۸ صفحه.

آل طه کوهبنانی ب، (۱۳۷۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "پترولوژی و ژئوشیمی سنگهای آذرین در شرق زرنند کرمان"، دانشگاه تهران، ۲۳۰ صفحه.

امامعلی پور، ع.، مسعودی، ج.، (۱۳۷۶)، "اولین مورد از کانه زائی سولفید توده ای تیپ قبرس در منطقه قزل داش خوی"، اولین همایش زمین شناسی ایران، تهران، ایران.

بازار نوعی، م. (۱۳۹۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "زمین شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس کهنک غربی، جنوب اردستان"، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین، ۱۸۹ صفحه.

تاج الدین ح.، راستاد ا.، یعقوب پور ع. و محجل م. (۱۳۸۹) "سنگ زایی، ژئوشیمی و نقش دگرشکلی در کنترل الگوی پراکندگی عناصر کانه ساز در کانسار سولفید توده ای غنی از طلای باریکا، خاور سردشت، سنندج- سیرجان شمالی"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۳، صفحات ۱۴۱-۱۵۶.

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

حاج صادقی، س. (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مطالعات زمین شناسی اقتصادی و تعیین فاکتورهای کنترل کننده کانی سازی در کانسار مس نه کوهی در مرکز استان کرمان"، دانشگاه تهران، دانشکده معدن، ۱۱۳ صفحه.

دوست محمدی، ا.، آل طه، ب.، نجف‌زاده، ع. ر.، ناظم‌زاده، م. (۱۳۹۱)، "ژئوشیمی و ماگماتیسم سنگ‌های آذرین کوه آب‌نیل چشمه‌گز (شمال غرب کرمان)". ژئوشیمی، جلد ۱، صفحات ۲۶-۳۸.

دوست محمدی، ا. ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آذرین فلسیک کوه آب‌نیل (شمال غرب کرمان)، پنجمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، دانشگاه پیام نور استان زنجان، ۱۳۹۰

زهره بخش، ع.، وحدتی دانشمند، ف. (۱۳۶۶)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ رفسنجان، شماره I10 سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

سپهری راد، ر. (۱۳۸۸)، "گزارش پی‌جویی مس رسوبی در محور کدکن- ششتمد (شمال غرب تربت حدریه)" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

صدرزاده، س.، (۱۳۹۰)، پایان کارشناسی ارشد: "بررسی پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین در محدوده کانسار سنگ آهن جلال آباد زرنده"، دانشگاه آزاد اسلامی زرنده، ۱۲۰ صفحه.

طاشی، م.، موسیوند، ف.، قاسمی، ح.، (۱۳۹۶)، "کانه‌زایی مس- نقره سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد نوع بشی در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین: مثال موردی کانسار گرماب پایین، جنوب شرق شاهرود". مجله زمین‌شناسی اقتصادی، ج. ۹، ص. ۲۱۳-۲۳۳.

طهمورثی، ب.، (۱۳۷۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "پترولوژی مجموعه‌های آذرین آلکالن سری دزو در منطقه حرجند (شمال- شمال شرق کرمان)"، دانشگاه اصفهان، ۲۵۰ صفحه.

فرهادی، م.، موسیوند، ف.، قاسمی، ح.، (۱۳۹۶)، "کانسار مس گل چشمه: کان‌زایی سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد نوع قبرس در توالی افیولیتی شمال شرق سبزوار و افق‌های کان‌دار آن"، نهمین همایش زمین‌شناسی اقتصادی، بیرجند، دانشگاه بیرجند

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

قربانی م، (۱۳۸۶) "زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران".

کنعانیان، ع.، درویش زاده، ع.، اسماعیلی، د.، (۱۳۷۶)، "ماگماتیسم مرتبط با ریف‌ت شمال شرق اردکان"، اولین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۷ صفحه.

مغفوری م، (۱۳۹۰)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی مس در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین در جنوب غرب سبزوار با تأکید بر کانسار نوده"، دانشگاه تربیت مدرس.

موسیوند ف، راستاد ا و امامی م.ه، (۱۳۸۲)، "مس بوانات: کانی‌زایی سولفید توده‌ای آتشفشانزاد تیپ بشی در ایران"، بیست و دومین گردهمایی علوم زمین. ۱۴ تا ۱۶ بهمن‌ماه. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

موسیوند ف (۱۳۸۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی مس در مجموعه آتشفشانی-رسوبی سوریان در منطقه بوانات، استان فارس"، دانشگاه تربیت مدرس.

موسیوند ف، (۱۳۸۹)، رساله دکترای زمین‌شناسی اقتصادی: "زمین‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسارهای روی-سرب-مس چاه گز در جنوب شهر بابک و مقایسه آن با کانسارهای سولفید توده‌ای مس-روی-نقره بوانات در پهنه سنندج-سیرجان جنوبی"، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۵۰۵.

موسیوند.ف.، راستاد، ا.، امامی.م.، پیتر.ج. و سولومون، م. (۱۳۹۵)، "رخساره‌های کانسنگ، پهنه‌بندی دگرسانی و شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسار سولفید توده‌ای مس - روی - نقره نوع بشی بوانات (جیان)، استان فارس"، فصلنامه علوم زمین، تهران، شماره ۹۹، صفحه ۶۱-۷۴.

منظمی میر علیپور، ع. (۱۳۷۷)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژنز کانسار سولفید توده‌ای مس شیخ عالی (جنوب شرق دولت آباد)"، دانشگاه تربیت مدرس.

مهدوی، ا. (۱۳۸۷)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس مارکشه، شمال غرب راور، استان کرمان"، دانشگاه تربیت مدرس.

مهدوی، ا. راستاد، ا. حسینی برزی، م. (۱۳۸۶)، "کانی‌شناسی و ساخت و بافت افق‌های کانه‌دار در شمال غرب راور کانسار مس رسوبی مارکشه"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

میسون ب. کارلتون ب.م. (۱۹۱۷) "اصول ژئوشیمی" ترجمه توسط مر ف. شرفی ع.ا. (۱۳۷۱) انتشارات دانشگاه شیراز.

هاشمی، ف.، موسیوند.ف.، رضایی کهخانی.م. (۱۳۹۶)، "افق‌های کانه‌دار، رخساره‌های کانسنگ، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) باریت-سرب-مس ورندان، جنوب غرب قمصر"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جلد ۹، ص. ۵۸۷-۶۱۶.

Badrzadeh, Z., Barrett, T.J., Peter.J.M., Gimeno, D., Sabzehei.M., Aghazadeh, M., (2011), "Geology, mineralogy and sulfur isotope geochemistry of the Sargaz Cu-Zn volcanogenic massive sulfide deposit, Sanandaj-Sirjan zone", Iran. Journal of Mineralium Deposita, 46: 905-923.

- Barrie, C. T., Hannington, M.D., (1999), “ Introduction : Classification Of VMS Deposits Based On Hist Rock Composiation, In Barrie, C.T., And Hannington, M.D., Eds., Volcanic Associated Massive Sulfide Deposits: Processes And Examples In Modern And And Ancient Setting”, Reviews in Economic Geology, v. 8, p. 2- 10.
- Cazanas, X., Alfonso, P., Melgarejo, J.C., Proenza, J. A., (2008), “ Geology, fluid inclusion and sulphur isotope characteristics of the El Cobre VHMS deposit, Southern Cuba”, Miner Deposita, 43:805–824.
- Chen Y. and Zhang Y. (2008), “Olivine dissolution in basaltic melt”. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(19), pp.4756-4777
- Condie. K.C. (1989), “Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean-Proterozoic boun- dary:identification and significance”, *Lithos* 23: P.1-18.
- Dimitrijevic .M. D. (1973), “Geology of Kerman region ”, *Geol. Surv.Iran*, Yu/52: p.334.
- Djocovic.I. and Dimitrigevic,M. (1979), **Baghin Geological map**, scale 1:100000, Geological survey of Iran, map no. 7350.
- Darvishzadeh. A., Al-E Taha Kohbanani, B., (1996), “ Late Precambrian magmatism and tectono magmatism in Central Iran”, *Journal of science of Tehran University* 22: 57–78.
- Devine C.A, Gibson.H.L, Bailes.A.H,MacIachlan.K (2002),“ Stratigraphy of volcanogenic massive sulphide- hosting volcanic and volcanoclastic rocks of the Flin Flon formation,Flin Flon.
- Franklin. J.M. Gibson, H.L. Galley, A.G. and Jonasson, I.R., (2005). Volcanogenic massive sulfide deposits. In: J.W. Hedenquist, J.F.H. Thompson, R.J. Goldfarb and J.P. Richards (Editors), *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. Society of Economic Geologists, Littleton, Colorado, p.523-560.
- Franklin.J.M. Haninngton, M. D. Jonarson, I. R., Barvie. C. T. (1998), Arc related volcanogenic massive sulfide deposits. In: *Metallogeny of Volcanogenic Arcs*, British Columbia Geol. Survey, Open file, 1998-8.
- Gibson H. L. Gally G. (2007) “Volcanogenic massive sulfide deposit of the Noranda district, Quebec” ,*Geological Association of Canada*, p. 533-552.
- Gibson. H. Kerr, D. J. (1998), “ Giant VMS deposits: with emphasis on Archean deposit. In: 5th annual short course of magmatism, volcanism and metalogeny” Univ de Bretagne occidental-Brest, France, 3-5 June 1998.

- Galley. A.G. Hannington, M.D. and Jonasson. I.R. (2007), "Volcanogenic massive sulphide deposits, in Goodfellow, 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.
- Goodfellow.W.D. (2007), "Metallogeny of the Bathurst mining camp, northern New Brunswick. Mineral deposits of Canada. A synthesis of major deposit-type, district metallogeny, the evolution of geological provinces and exploration methods. Edited by WD Goodfellow", Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, p.450-470
- Goodfellow.W.D. McCutcheon.S. R. (2003), "Geologic and genetic attributes of volcanic sediment-hosted massive sulfide deposits of the Bathurst Mining Camp, northern New Brunswick-a synthesis", Economic Geology Vol:11, No:Monograph, p: 245-301.
- Khadem N. (1964) "Type of copper deposit in Iran," in symposium on mining geology and the base metals central treaty organization, Ankara.
- Kesler.S. E. (1994), "Mineral Resources Economics and the Environment".
- Lottermoser B.G. (1992), "Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes" Ore Geol. Rev. 7: 25-41.
- Lentz. D. (1998) "Petrogenetic evolution of felsic volcanic sequences associated with Phanerozoic volcanic- hosted massive sulphide systems: the role of extensional geodynamics" OreGeology Reviews 12, pp 289-327.
- Malekzadeh A. Karimpour M.h and Mazaheri S. (2005) "Geology, mineralogy and geochemistry of Taknar polymetal (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) deposit (Tak-I) in the Khorasan-Bardaskan" Iran society crystallography and mineralogy, number 2, p.253-272.
- Mousivand F. Rastad E. Hoshino K. and Watanabe M. (2007) "The Bavanat Cu- Zn- Ag orebody, First recognition of a Besshi- type VMS deposit in Iran", N. Jb. Miner. Abh. V. 183/3. Pp 297-315.
- McMillan W. J. and Panteleyev A. (1990). "Porphyry copper deposits, in: report, R. G. and sheahan, P. A., ed: ore deposit model: Geological Association of Canada. P.45-59.
- Maghfouri .S. Rastad. E. Mousivand. F . Lin Y. and Zaw .K. (2016), "Geology, ore facies and sulfur isotopes geochemistry of the Nudeh Besshi-type volcanogenic massive sulfide deposit", southwest Sabzevar basin, Iran. Journal of Asian Earth Sciences, 125, pp.1-21.
- Mosier D.L. Berger V.L. and Singer. D.A. (2009), "Volcanogenic massive sulfide deposit of world database and grade and tonnage model":U.S Geological survey open file report, 1034. Pp50.
- Nadimi, A.,(2006), "Evolution of the Central Iranian basement, Gondwana Research 12: 324-333.

- Nakamura. N. (1974) “ Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites *Geochim*”, *Cosmochim. Acta*, P.38 -757-775.
- Ohmoto. H. and Goldhaber. M.B. (1997), “ Sulfur and carbon isotopes. In Barnes,H.L. (Ed.), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 2nd ed. Wiley, New York, PP. 517-611.
- Ohmoto.H. and Rey, R. O., 1979, isotopes of Sulfur and carbon, In Barnes, H,L, *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2<sup>nd</sup> ed. Wiley- Interscience, New York, pp.517-611.
- Piercey. (2015), “ A semipermeable interface model for the genesis of seafloor replacement-type volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits”, Department of Earth Sciences, Memorial University of Newfoundland, St. John’s, Newfoundland, Canada A1B 3X5.
- Peter J.M. and Scott S.D. (1999) “Windy Craggy, Northwestern British Columbia: the world largest Besshi- type deposit in Barrie” *Society of Economic Geologists*,V.8.
- Piercey S. (2011) “The setting, style, and role of magmatism in the formation of volcanogenic massive sulfide deposits” *Miner Deposita*, 46:449–471.
- Piercey S. (2010) “An overview of petrochemistry in the regional exploration for volcanogenic massive sulfide deposits” *Geochemistry exploration*, Vol, 10,p. 119- 136.
- Pearce J.A. and Parkinson I.J. (1996) “Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis”. In: Prichard, H.M., Alabaster, T., Harris, N.B.W., Neary, C.R. (eds.), *Magmatic Processes in Plate Tectonics*, 76, Geological Society of London Special Publication, 373-403.
- Peter J.M. and Scott S.D. (1999) “Windy Craggy, Northwestern British Columbia: the world largest Besshi- type deposit in Barrie” ,*Society of Economic Geologists*,V.8.
- Rastad. E. Monazami Miralipour. A. Momenzadeh.M. (2012),” Sheikh-Ali copper deposit, A Cyprus-type VMS deposit in southeast Iran, *Journal of Sciences*”, Islamic Republic of Iran,13: 51-63.
- Ramezani. J. and Tucker. R. (2003),” The Saghand region, Central Iran: U–Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics. *American Journal of Science*”, 303: 622–665.
- Rajabi. A. Rastad, E., Alfonso, P., Canet, C.(2012).” Geology, ore facies, and sulphur isotopes of the Koushk vent-proximal sedimentary-exhalative deposit, Posht-e-Badam Block, Central Iran”, *International Geology Review* 54:1635–1648.
- Rajabi. A. Rastad. E. Canet. and C. Alfonso. P.(2015),” The early Cambrian Chahmir shale-hosted Zn–Pb deposit, Central Iran: an example of vent-proximal SEDEX mineralization”, *Mineralium Deposita*, 50(5):571-590.

- Ramdohr P. (1980) "The ore minerals and their intergrowths, 2nd edn" International Series in Earth Sciences 35.
- Reich M., Deditius A., Chrysosoulis S., Li J.W., Ma C.Q., Parada M.A., Barra F., Mittermayr F. (2013). "Pyrite as a record of hydrothermal fluid evolution in a porphyry copper system: A SIMS/EMPA trace element study" *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 104, pp.42-62.
- Shafiei B. Haschke M. and Shahabpour J. (2009) "Recycling of organic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran," *Miner Deposit* 44: pp 256-283.
- Sun S.S. and McDonough W.F. (1989) "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes", in Saunders, A.D., and Norry, M.J., eds., *Magmatism in the oceanic basins: Geological Society of London Spec. Pub.* 42, p. 313-345.
- Sun S.S. and McDonough W.F. (1989) "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes", in Saunders, A.D., and Norry, M.J., eds., *Magmatism in the oceanic basins: Geological Society of London Spec. Pub.* 42, p. 313-345.
- Solomon M. Tornos. Large. R. Badham, J.N.P. Both. R.A. Khin Zaw,(2004)," Zn–Pb–Cu volcanic-hosted massive sulphide deposits: criteria for distinguishing brine pool-type from black smoker-type sulphide deposition", *Ore Geology Reviews* 25, 259–283.
- Shepherd. T.J. Rankin. A.H. and Alderton, D.H.(1985) "A practical guide to fluid inclusion studies" Glasgow, Blackie and Son. 239p.
- Spooner ETC. Fyfe W.S.(1973)" Sub-sea-floor metamorphism, heat and mass transfer", *Contrib. Mineralog. Petrol* 42:287–304.
- Shanks III. W. C. P., Koski, R. A. (2012)" Introduction. In: *Volcanogenic Massive Sulfide Occurrence Model*" (eds.) Shanks III, W. C. P. and Thurston, R, pp. 4-8, USGS Scientific Investigations Report 2010-5070-C.
- Solomon. M. Tornos. F. Gaspar.O.C.(2002)" Explanation for many of the unusual features of the massive sulfide deposits of the Iberian pyrite belt" *Geology*, Vol:30, No:1,p: 87-90.
- Talbot. C. J. and Alavi. M.(1996)" The past of a future syntaxis across the Zagros, in Alsop, G. I.,Blundell, D. J., and Davison, I., editors, *Salt Tectonics*" Geological Society Special Publications, 100: 89–109.
- Taylor. S.R. McLennan, S.M.(1985)," The continental crust, its composition and evolution" Blackwell Scientific Publication, Oxford, P.312.



- Tornos. F. Peter.J.M., Allen.R., Conde.C.(**2016**)“ Carmen Conde Controls on the siting and style of volcanogenic massive sulphide deposits” Ore Geology Reviews, Accepted Manuscript. S0169-1368(15)00005-0.
- Sáez. R. Pascual. E. Toscano. M. Almodóvar.G.R. (**1999**)“ The Iberian type of volcano-sedimentary massive sulphide deposits” Mineralium Deposita, Vol:34, No:5-6,p: 549-570.
- Van den Kerkhof. A.M. Hein. U.F. (**2001**) “Fluid inclusion petrography”. Lithos, 55(1), pp.27-47.
- Wilkinson J.J. (**2001**) “Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits”. Lithos, 55(1), pp.229-272.

## **Abstract**

The Nohkuhi copper deposit located at 40 Km Northwest of Kerman, occurred in the Central Iran structural zone (Posht-e- Badam block), within Late Precambrian-Early Cambrian volcano-sedimentary sequence. The host rocks consist of dominantly black shale and dacitic lava of Rizu Series. Host sequence in the Nohkuhi deposit involves three units, from bottom to top: Unit1: sandstone, Fossiliferous limestone, Green Tuff and Fe- Mn Exhalite, Unit2: Light, well bedded sandstone, Unit3: volcano-sedimentary involves Black shale, Dacite, Red shale and Prismatic dacite, Unit4: consist of limestone, dolomite, sandstone. Based on textural, structural and mineralogical aspects and relationship between the ores and host rocks, the Nohkuhi copper deposit involves four different ore facies as follows: 1) vein-veinlets or stringer facies, includes veins mineralization scissors of host rocks shaly and dacitic lava (Occasionally bedded ore facies), 2) vent complex facies, This facies involves pieces bedded ore facies In the context of sulfide and carbonatic minerals, 3) Bedded ore facies, This facies Includes layered and banded sulfide is that Caused precipitation concurrent sulfide minerals with Particles shaly host rock in subseafloor, 4) banded iron and manganese-rich exhalative sedimentary unit. Minerlogically, the Nohkuhi deposit contains primary pyrite, chalcopyrite, sphalerite, hematite and pyrolusite and secondary malachite, covellite, digenite and Fe-oxide and hydroxide and Gangue minerals consist of barite, calcite and quartz. Wallrock alterations are dominated by chloritic and carbonatic-sericitic-silicic. Generally, the study area consist of three copper- and two iron-manganese-rich horizons which include: OH1: within unit1 of the host volcano-sedimentary sequence as banded iron and manganese-rich exhalative sedimentary rocks, OH2: similar to the first one horizon, OH3: within unit3 of the host sequence, from bottom to top contains stringer, vent complex, and bedded ore facies, OH4: similar to the third horizon and contains stringer, vent complex, and bedded ore facies, OH5: this horizon only occurred as stringer ore facies. In according to geochemical study, tectonic setting of the Nohkuhi deposits was an continental margin arc. In according to geochemistry study, this deposit is Cu-rich and Zn- Pb is very low. The amount of copper in stringer zone (10.87%) plus bedded ore facies (181ppm) deposit, but occurred in copper mineralization as Cpy in stringer zone. Based on microthermometry of fluid inclusions, dominant fluid inclusion types are of primary two-phase liquid/vapour inclusions

with relatively moderate to low salinity (9 to 11 wt% NaCl eq.), and homogenisation temperatures about 180 to 250°C. In according to proving amount  $\delta^{34}\text{S}$  sulfides range from 8.5 to 18.1 ‰, suggestion inorganic sulfate significant source sulfur in Nohkuhi deposit. The most important characteristics of mineralization at the Nohkuhi deposit such as tectonic setting, host rocks, textural and structural and mineralogy of ores, metal content and metal zonation, as well as wall rock alteration, show the most similarities with the volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits. Accordingly, Nohkuhi copper deposits could be classified as Siliciclastic felsic (Bathurst).

Keywords: volcano-sedimentary sequence, copper, volcanogenic massive sulfide (VMS), Late Precambrian-Early Cambrian, Nohkuhi, Posht-e- Badam



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Economic Geology

**Mineralogy, geochemistry and genesis of the Nohkuhi copper  
deposit, Northwest of Kerman**

By: Amir Pakizeh Sanajerdi

**Supervisors**

Dr. Fardin Mousivand

Dr. Abdorrahman Rajabi

**Advisor**

Dr. Sajjad Maghfouri

May , 2018