

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین
پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی

کانی شناسی، ژئوشیمی، دگرسانی و ژنز کانه زایی طلای باغ قاضی، شمال غرب کاشمر

نگارنده:

الهام امینی

استاد راهنما:

دکتر مسعود علی پور اصل

تیر ۹۶

شماره: ۱۲۷۴۶
تاریخ: ۹۲، ۵، ۵

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم **الهام امینی** با شماره دانشجویی ۹۳۰۳۱۹۴ رشته **زمین شناسی گرایش اقتصادی** تحت عنوان **کانی شناسی، ژئوشیمی، دگرسانی و ژنز کانه زایی طلای باغ قاضی، شمال غرب کاشمر که در تاریخ ۹۶/۴/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:**

قبول (با امتیاز ۱۹/۳۰۰ درجه علمی) مردود
نوع تحقیق: نظری عملی

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

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:



تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

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

تقدیم به خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را...

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید

بزرگترین امید و تکیه گاه زندگی ام مادرم که با عشق و تلاش فراوان در تمامی مراحل زندگی همراه من بود و دعای

خیرش همیشه بدرقه راهم

روح بزرگ پدرم که همواره یادش در دلم گرامی و گرمی بخش وجودم است

همسر عزیزم که همراه، همیشگی و حامی من بود

برادر و خواهران عزیزم که در سختی با همراه و به کام من بودند

شکر و قدردانی

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده‌ی کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه بار بنده نوازی هدیش پایان نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان نامه به انجام نمی‌رسید.

در ابتدا بسی شایسته است از زحمات و راهنمایی‌های استاد محترم و گرانقدرم جناب آقای دکتر مسعود علی پور اصل که تقبل زحمت فرموده و راهنمایی پایان نامه اینجانب را پذیرفته‌اند و با حسن خلق و فروتنی، از هیچ گلی در این عرصه بر من دریغ نمودند شکر و سپاسگزاری نمایم.

باتقدیر و درود فراوان از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر فرج‌اله فردوست و جناب آقای دکتر فردین موسوند که با لطف بی‌دریغشان زحمت داری این پایان نامه را منتقل شدند. همچنین از جناب آقای دکتر علی اکبر مؤمنی که زحمت هدایت این جلسه را بر عهده گرفتند، سپاسگزارم.

و در آخر شکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مراد به انجام رساندن این مهم یاری نموده‌اند؛ باشد که این خردترین، بخششی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تعهد نامه

اینجانب الهام امینی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی اقتصادی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه کانی‌شناسی، ژئوشیمی، دگرسانی و ژنز کانه‌زایی طلای باغ‌قازی، شمال غرب کاشمر به راهنمایی جناب آقای دکتر مسعود علی‌پور اصل متعهد می‌شوم.

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

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است. 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

اندیس مس - طلای باغقاضی در استان خراسان رضوی در شمال غرب کاشمر قرار دارد. منطقه مورد مطالعه، بخشی از کمربند آتشفشانی - نفوذی خواف - درونه، در زیرپهنه سبزوار را شامل می‌شود. واحدهای سنگی در منطقه، شامل سنگ‌های آتشفشانی ائوسن زیرین می‌باشند. توده‌های گرانیت-گرانودیوریت به سن احتمالی اولیگوسن به درون مجموعه‌های آتشفشانی تزریق شده است و سبب دگرسانی‌های گرمایی شدید اپیدوتی، کلریتی، آرژیلیکی و سیلیسی شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی باغقاضی به سری کالک‌آلکان پتاسیم متوسط تا بالا تعلق دارند و در طی رژیم زمین‌ساختی کششی مرتبط با فرورانش شکل گرفته‌اند. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن (بویژه آندزیت و داسیت) میزبان رگه و رگچه‌های سیلیسی و برش‌های گرمایی مس- طلا دار می‌باشند. عوامل مؤثر بر کانه‌زایی مس- طلا در این منطقه عبارتند از: ۱- سنگ‌های دربرگیرنده، ۲- کنترل‌های ساختاری، ۳- توده‌های نفوذی و ۴- محلول‌های گرمایی، که نقش بسزایی در نقل و انتقال، تجمع و ته‌نشست آن دارند. کانی‌های اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت، ایزریت و انواع ثانویه شامل کالکوسیت، کولیت، دیزنیت، مالاکیت، گوبیتیت، هماتیت و لیمونیت است. بافت‌های پرکننده فضای خالی، نواری، کلوفرم و برشی بافت‌های غالب در کانه‌زایی باغقاضی می‌باشند. در مطالعات ژئوشیمی کانسنگ، همبستگی مثبت و بالای Au با عناصر Cu، As، Bi، Ag، Fe، Pb و Zn قابل توجه است. بر مبنای میانبرهای سیال موجود در کوارتز، کانه‌زایی در دامنه دمایی ۳۵۰-۱۱۸ (میانگین ۲۳۰/۶۳) درجه سانتی‌گراد و شوری ۱۵/۴۵-۲/۵ (میانگین ۸/۷۹) درصد وزنی معادل NaCl تشکیل شده است. با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، ژئوشیمی و میانبرهای سیال، اثر معدنی مس- طلای باغقاضی از نوع کانی‌سازی اپی‌ترمال سولفید متوسط در منطقه کاشمر می‌باشد.

کلید واژه: کانی‌شناسی، ژئوشیمی، میانبرهای سیال، مس- طلا، اپی‌ترمال، کاشمر، خواف- درونه.

فهرست مقالات

- کانه‌زایی اپی‌ترمال طلا - مس در منطقه باغ‌قاضی، شمال غرب کاشمر، سی و چهارمین
گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی ایران، اسفند
۹۴.

- کانه‌زایی و ریزدماسنجی میانبارهای سیال مس - طلای باغ‌قاضی، شمال غرب کاشمر، بیست و
چهارمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، بهمن ۹۵.

فهرست مطالب

| صفحه | عنوان |
|---------|---|
| ۱..... | فصل اول: کلیات |
| ۲..... | ۱-۱ مقدمه |
| ۳..... | ۲-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی |
| ۴..... | ۳-۱ شرایط آب و هوایی منطقه |
| ۵..... | ۴-۱ وضعیت اجتماعی و اقتصادی منطقه |
| ۵..... | ۵-۱ وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی ناحیه مورد مطالعه |
| ۸..... | ۶-۱ تاریخچه معدن‌کاری، مطالعات و کارهای انجام شده قبلی |
| ۹..... | ۱-۶-۱ کارهای انجام شده قبلی در کمربند آتشفشانی - نفوذی شمال گسل درونه |
| ۱۳..... | ۲-۶-۱ کارهای انجام شده قبلی، مشابه با محدوده مورد مطالعه در ایران |
| ۱۴..... | ۷-۱ رده‌بندی انواع کانسارهای طلا |
| ۱۸..... | ۸-۱ طرح مسئله و هدف از مطالعه |
| ۱۸..... | ۹-۱ روش مطالعه |
| ۱۸..... | ۱-۹-۱ مطالعات دفتری |
| ۱۹..... | ۲-۹-۱ مطالعات صحرایی |

| | |
|----|--|
| ۱۹ | مطالعات آزمایشگاهی |
| ۲۰ | تحلیل و پردازش داده‌ها و نگارش پایان‌نامه |
| ۲۱ | فصل دوم: زمین‌شناسی |
| ۲۲ | ۱-۲ مقدمه |
| ۲۲ | ۲-۲ زمین‌شناسی ناحیه‌ای |
| ۲۳ | ۱-۲-۲ ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری ایران مرکزی |
| ۲۴ | ۲-۲-۲ ویژگی‌های ساختاری - زمین‌شناسی زیرپهنه سبزوار |
| ۲۵ | ۳-۲-۲ ویژگی‌های کمان ماگمایی ترشیر در شمال گسل درونه |
| ۲۶ | ۳-۲ چینه‌شناسی ناحیه‌ای |
| ۲۶ | ۱-۳-۲ پرکامبرین |
| ۲۶ | ۲-۳-۲ پالئوزوئیک |
| ۲۷ | ۳-۳-۲ مزوزوئیک |
| ۲۸ | ۴-۳-۲ سنوزوئیک |
| ۲۸ | ۴-۲ دگرگونی |
| ۲۹ | ۵-۲ تکتونیک و زمین‌ساخت ناحیه‌ای |
| ۳۲ | ۶-۲ ماگماتیسم |
| ۳۲ | ۷-۲ زمین‌شناسی اقتصادی |

| | |
|----------------|---|
| ۳۶..... | ۸-۲ سنگ‌شناسی محدوده مورد مطالعه..... |
| ۳۸..... | ۱-۸-۲ سنگ‌های آتشفشانی |
| ۳۸..... | ۱-۱-۸-۲ واحد گدازه‌ای |
| ۴۲..... | ۲-۱-۸-۲ سنگ‌های پیروکلاستیک |
| ۴۶..... | ۲-۸-۲ توده‌های نفوذی |
| ۴۹..... | فصل سوم: کانی‌زایی و دگرسانی |
| ۵۰..... | ۱-۳ مقدمه |
| ۵۰..... | ۲-۳ رخداد کانه‌زایی در اندیس معدنی باغ‌قازی..... |
| ۵۱..... | ۳-۳ ویژگی‌های کانه‌زایی مس - طلا در توالی آتشفشانی ائوسن زیرین در محدوده باغ‌قازی |
| ۵۲..... | ۱-۳-۳ کانی‌سازی رگه‌ای |
| ۵۳..... | ۲-۳-۳ کانی‌سازی پرکننده حفره‌ها و فضای خالی |
| ۵۳..... | ۳-۳-۳ کانی‌سازی برش‌های گرمابی |
| ۵۴..... | ۴-۳-۳ کانی‌سازی همراه با سیلیس‌های نواری |
| ۵۵..... | ۴-۳ دگرسانی |
| ۵۶..... | ۱-۴-۳ دگرسانی گرمابی بر مبنای مشاهدات صحرایی و پتروگرافی |
| ۵۶..... | ۱-۱-۴-۳ دگرسانی سیلیسی |
| ۵۷..... | ۲-۱-۴-۳ دگرسانی آرژیلیک |
| ۵۸..... | ۳-۱-۴-۳ دگرسانی سریسیتی |

| | |
|----|--|
| ۵۹ | ۴-۱-۴-۳ دگرسانی پروپیلیتیک |
| ۶۰ | ۵-۱-۴-۳ دگرسانی کربناتی |
| ۶۱ | ۶-۱-۴-۳ دگرسانی اکسیدهای آهن |
| ۶۲ | ۲-۴-۳ بررسی دگرسانی‌ها با استفاده از آنالیز پراش پرتو ایکس |
| ۶۷ | فصل چهارم : کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیک کانی‌ها |
| ۶۸ | ۱-۴ مقدمه |
| ۶۸ | ۲-۴ شناسایی کانه‌ها |
| ۶۹ | ۱-۲-۴ کانی‌های منطقه هیپوژن |
| ۶۹ | ۱-۱-۲-۴ پیریت (FeS_2) |
| ۷۰ | ۲-۱-۲-۴ کالکوپیریت ($CuFeS_2$) |
| ۷۱ | ۲-۲-۴ کانی‌های منطقه سوپرژن |
| ۷۱ | ۱-۲-۲-۴ کانی‌های مس‌دار |
| ۷۳ | ۲-۲-۲-۴ اکسید و هیدرواکسیدهای آهن |
| ۷۴ | ۳-۲-۴ کانی‌های باطله همراه با کانی‌سازی |
| ۷۴ | ۳-۴ ساخت و بافت کانه‌ها |
| ۷۵ | ۱-۳-۴ بافت پراکنده |
| ۷۶ | ۲-۳-۴ ساخت و بافت برشی |
| ۷۷ | ۳-۳-۴ ساخت و بافت رگه و رگچه‌ای |

- ۷۸..... ۴-۳-۴ ساخت و بافت نواری
- ۷۹..... ۵-۳-۴ بافت جانشینی
- ۸۰..... ۶-۳-۴ بافت باقی مانده
- ۸۱..... ۷-۳-۴ بافت جعبه‌ای
- ۸۳..... ۸-۳-۴ بافت کلوفرمی، سوزنی و تیغه‌ای
- ۸۴..... ۴-۴ توالی پارازنتیک کانی‌ها
- ۸۷..... فصل پنجم: ژئوشیمی**
- ۸۸..... ۱-۵ مقدمه
- ۸۸..... ۲-۵ روش و داده‌ها
- ۹۶..... ۱-۲-۵ پردازش داده‌ها
- ۹۶..... ۱-۱-۲-۵ جایگزینی داده‌های سنسورد
- ۹۸..... ۲-۲-۵ محاسبه میزان دقت با استفاده از نمونه تکراری
- ۱۰۱..... ۳-۵ کاربرد داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی
- ۱۰۲..... ۴-۵ ویژگی‌های پترولوژیکی و ژئوشیمیایی سنگ‌های در برگیرنده کانسار
- ۱۰۲..... ۱-۴-۵ نامگذاری سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی
- ۱۰۲..... ۱-۱-۴-۵ طبقه‌بندی واحدهای آتشفشانی منطقه
- ۱۰۴..... ۲-۱-۴-۵ طبقه‌بندی واحدهای نفوذی منطقه
- ۱۰۷..... ۲-۴-۵ تعیین سری ماگمایی

- ۳-۴-۵ شاخص اشباع از آلومین (ASI) ۱۰۸
- ۴-۴-۵ تعیین جایگاه تکتونیکی ۱۰۹
- ۵-۴-۵ الگوی نمودارهای چند عنصری و REE در سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه ۱۱۳
- ۵-۵ ژئوشیمی کانسنگ ۱۱۶
- ۱-۵-۵ ضریب همبستگی و ارتباط ژئوشیمیایی بین عناصر ۱۲۲
- ۲-۵-۵ رفتار ژئوشیمیایی عناصر اصلی در طی دگرسانی ۱۲۳
- ۳-۵-۵ رفتار ژئوشیمیایی عناصر کمیاب در طی دگرسانی ۱۲۵
- ۴-۵-۵ رفتار عناصر خاکی کمیاب رگه‌های مس - طلا دار ۱۲۷
- فصل ششم: مطالعات میانبارهای سیال ۱۲۹**
- ۱-۶ مقدمه ۱۳۰
- ۲-۶ روش مطالعه ۱۳۰
- ۳-۶ طبقه‌بندی میانبارهای سیال ۱۳۴
- ۴-۶ پتروگرافی میانبارهای سیال ۱۳۶
- ۵-۶ حرارت‌سنجی میانبارهای سیال ۱۴۰
- ۱-۵-۶ گرمایش ۱۴۰
- ۲-۵-۶ سرمایش ۱۴۱

| | |
|----------|---|
| ۱۴۳..... | ۶-۶ تعیین چگالی و فشار بخار میانبرهای سیال |
| ۱۴۴..... | ۷-۶ تعیین عمق تشکیل سیالات |
| ۱۴۴..... | ۸-۶ تعیین نوع کمپلکس‌های احتمالی |
| ۱۴۵..... | ۹-۶ تعیین نوع کانسار احتمالی |
| ۱۴۷..... | فصل هفتم: نتیجه‌گیری، تیپ و الگوی تشکیل کانسار و پیشنهادها |
| ۱۴۸..... | ۱-۷ مقدمه |
| ۱۴۸..... | ۲-۷ خلاصه‌ای از شواهد ژنتیکی موجود در ارتباط با کانه‌زایی |
| ۱۵۲..... | ۳-۷ مقایسه ویژگی‌های اندیس معدنی باغ قاضی با انواع کانسارهای اپی‌ترمال |
| ۱۵۴..... | ۴-۷ مقایسه ویژگی‌های اندیس معدنی باغ قاضی با سایر کانسارهای اپی‌ترمال در ایران و جهان |
| ۱۵۸..... | ۵-۷ الگوی تشکیل اندیس معدنی باغ قاضی |
| ۱۶۲..... | ۶-۷ پیشنهادها |
| ۱۶۵..... | منابع |

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه. ۴
- شکل ۱-۲: نمایی از زمین‌ریخت‌شناسی محدوده باغ‌قازی ۷
- شکل ۱-۳: نمایی دور از منطقه مورد مطالعه (دید به سمت جنوب). ۷
- شکل ۱-۴: تصاویر صحرایی از محدوده مورد مطالعه؛ الف) واریزه‌های معدن‌کاری قدیمی مس با دید به سمت جنوب غرب، ب) سرباره‌های قدیمی مس در محل واریزه‌های معدن‌کاری قدیمی. ۸
- شکل ۱-۵: آثار شدادی معدن‌کاری مس در محدوده مورد مطالعه (دید به سمت جنوب غرب). ۹
- شکل ۱-۶: نقشه ژئوشیمیایی چند عنصری ورقه ۱/۱۰۰،۰۰۰ کاشمر که مناطق امیدبخش در آن نشان داده شده است و ۱۰
- شکل ۱-۲: موقعیت محدوده مورد مطالعه (دایره قرمز رنگ) در نقشه ساختاری - رسوبی ایران (علوی، ۱۹۹۱) الف) و زیرپهنه سبزوار (ب). ۲۳
- شکل ۲-۲: نقشه پراکندگی گسل‌های کاشمر. ۳۰
- شکل ۲-۳: نقشه زمین‌شناسی محدوده باغ‌قازی که از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشمر (طاهری و همکاران، ۱۳۸۰) گرفته شده است. ۴۰
- شکل ۲-۴: تناوب توف و آندزیت در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شمال). ۳۹
- شکل ۲-۵: تصاویر میکروسکوپی از نمونه آندزیت در منطقه؛ الف) بافت پورفیری، گلومروپورفیری و بادامکی،

- ب) پلاژیوکلاز سریسیتی شده، پ) حفرات پر شده با کلسیت و ۴۱
- شکل ۲-۶: نمونه دستی از توف برش (الف) و مقطع میکروسکوپی توف برش، (ب) در نور PPL و (پ) در نور XPL، کانی‌های اپک عمدتاً "پیریت و ۴۳
- شکل ۲-۷: تصاویر میکروسکوپی؛ الف و ب) لیتیک توف، پلاژیوکلازها شدیداً " به کلسیت و سریسیت دگرسان شده‌اند، پ) لیتیک کریستال توف با بافت پورفیری میکرولیتی، و ۴۴
- شکل ۲-۸: تصاویر میکروسکوپی از کریستال توف: الف و پ) شکستگی‌ها و حفرات در سنگ توسط سیلیس پر شده‌اند (نور PPL) و ۴۵
- شکل ۲-۹: الف) تصویر نمونه دستی از گرانیت، ب) تصویر نمونه دستی از گرانودیوریت، پ) تصویر میکروسکوپی از گرانیت با بافت دانه‌ای درشت‌بلور، و ۴۷
- شکل ۳-۱ الف و ب) کانی‌سازی به صورت رگه‌های سیلیسی مس‌دار با سنگ میزبان آندزیتی در دو نقطه مختلف از محدوده باغ‌قازی. ۵۲
- شکل ۳-۲: کانی‌سازی به صورت پرکننده فضای خالی در سنگ‌های آذرآواری. ۵۳
- شکل ۳-۳: تصویر صحرایی از پهنه برشی، سولفیدهای اولیه شامل پیریت و کالکوپیریت بین قطعات برش به کانی‌های ثانویه شامل اکسیدهای آهن و مالاکیت دگرسان شده‌اند. ۵۴
- شکل ۳-۴: کانی‌سازی به صورت سیلیس‌های نواری؛ الف) تصویر صحرایی از سیلیس‌های نواری، ب) تصویر اسکن شده از سطح برش سیلیس‌های نواری (سیلیس و سولفیدها حالت نواری دارند). ۵۴
- شکل ۳-۵: الف) تصویر صحرایی از رگچه‌های سیلیسی در سنگ میزبان آتشفشانی، ب) تصویر میکروسکوپی

از رگه و رگچه‌های سیلیسی بصورت پرکننده فضای شکستگی‌ها، Qtz: کوارتز. ۵۷.....

شکل ۳-۶: تصویر صحرایی از دگرسانی آرژیلیکی در منطقه (دید به سمت شمال شرق). ۵۸.....

شکل ۳-۷: تصویر میکروسکوپی از دگرسان شدن پلاژیوکلاز به سریسیت و کربنات؛ Ser: سریسیت، Cal:

کلسیت، Pl: پلاژیوکلاز. ۵۹.....

شکل ۳-۸: الف) تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی - اپیدوتی، ب) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی

کلریتی - اپیدوتی در میزبان توف. ۶۰.....

شکل ۳-۹: الف) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی پلاژیوکلاز به کلسیت در آندزیت، ب) تصویر میکروسکوپی

از کلسیت بصورت پرکننده فضای خالی؛ Cal: کلسیت، Pl: پلاژیوکلاز. ۶۱.....

شکل ۳-۱۰: الف) تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی - اپیدوتی، اکسیدهای آهن و آرژیلیکی در مجاور

یکدیگر، ت) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی اکسیدهای آهن به صورت پرکننده فضای خالی، و ۶۱.....

شکل ۳-۱۱: نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های کلریتی - سریسیتی منطقه مورد مطالعه. ۶۳.....

شکل ۳-۱۲: نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های کلریتی - آرژیلیکی منطقه مورد مطالعه. ۶۳.....

شکل ۳-۱۳: نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های آرژیلیکی منطقه مورد مطالعه. ۶۴.....

شکل ۳-۱۴: نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های کلریتی - آرژیلیکی منطقه مورد مطالعه. ۶۴.....

شکل ۳-۱۵: نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های سریسیتی منطقه مورد مطالعه. ۶۵.....

شکل ۳-۱۶: نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های کلریتی - سریسیتی - کربناتی منطقه مورد مطالعه.

.....۶۵

شکل ۴-۱: الف) تصویر میکروسکوپی از پیریت‌های پراکنده بین کانی‌های سیلیکاته سنگ، پیریت‌ها هماتیته شده و پدیده پseudomorphs را به نمایش گذاشته‌اند و۶۹

شکل ۴-۲: الف) کالکوپیریت بصورت ادخال‌های ریز در کانی کوارتز و باقی‌مانده کالکوپیریت حاصل از جانشینی گویتیت و۷۰

شکل ۴-۳: الف) کالکوپیریت توسط کانی‌های مس‌دار کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت و اکسیدهای آهن (گویتیت) جانشین شده است، ب) مالاکیت بصورت رگه و رگچه‌ای و۷۲

شکل ۴-۴: محدوده پایداری کانی‌های مس‌دار به عنوان تابعی از Eh، pH و $f(CO_2)$ (اندرسون، ۱۹۸۲).....۷۲

شکل ۴-۵: الف) کالکوپیریت‌ها توسط کانی‌های اکسید آهن (گویتیت) جانشین شده‌اند به همراه الیژیست ثانویه، ب) پیریت‌ها کاملاً هماتیته شده و۷۳

شکل ۴-۶: الف) تصویر اسکن‌شده از نمونه سیلیس‌های نواری در منطقه، ب) کوارتز با بافت شانه‌ای و پ) کوارتز بصورت دانه‌های ریز و بصورت رگه و رگچه‌ای در متن سنگ؛ Qtz: کوارتز.۷۴

شکل ۴-۷: الف) دانه‌های پیریت با بافت پراکنده در سنگ میزبان آتشفشانی، ب) دانه‌های پراکنده پیریت در متن قطعات برش؛ Py: پیریت.۷۵

شکل ۴-۸: ساخت و بافت برشی؛ الف) تصویر صحرایی از پهنه برشی، ب) تصویر نمونه دستی از ساخت برشی پ) بافت برشی، پیریت بصورت پراکنده داخل قطعات برش وجود دارد و۷۶

شکل ۴-۹: ساخت رگه-رگچه‌ای؛ الف) تصویر صحرایی از رگچه‌های سیلیسی در سنگ میزبان آتشفشانی،

ب) تصویر صحرایی از رگه‌های سیلیسی مس‌دار در منطقه. ۷۷.....

شکل ۴-۱۰: بافت رگه-رگچه‌ای؛ الف) تصویر میکروسکوپی از رگچه‌های درهم از مالاکیت و اکسیدهای

آهن، ب) رگچه گویتیتی، پ) رگچه‌های سیلیسی - کربناتی، و ۷۸.....

شکل ۴-۱۱: ساخت و بافت نواری؛ الف) تصویر نمونه دستی از سیلیس‌های نواری، ب) کانی‌های اکسید

آهن در اطراف کانی کالکوپیریت؛ Ccp: کالکوپیریت، Gt: گویتیت. ۷۹.....

شکل ۴-۱۲: بافت جانشینی؛ الف) جانشین شدن گویتیت، کالکوسیت و کوولیت به جای کالکوپیریت، ب)

بافت مضرسی بین پیریت و ۸۰.....

شکل ۴-۱۳: بافت باقی‌مانده؛ الف) بازمانده کانی کالکوپیریت که توسط اکسیدهای آهن جانشین شده است،

ب) قالب پیریت که پس از جانشینی کامل توسط هماتیت باقی مانده و ۸۱.....

شکل ۴-۱۴: بافت جعبه‌ای کالکوپیریت، در این تصویر شکستگی کالکوپیریت و سپس تشکیل دیواره‌های

ضخیم از هیدرواکسیدهای آهن در بین قطعات کالکوپیریت دیده می‌شود؛ و ۸۳.....

شکل ۴-۱۵: بافت کلوفرمی اکسیدهای آهن، ب) مالاکیت‌های تیغه‌ای، پ) الیژیست‌های سوزنی در

نور PPL، ت) الیژیست‌های سوزنی در نور XPL؛ و ۸۴.....

شکل ۵-۱: طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی منطقه با استفاده از نمودار میدلموست (۱۹۹۴). ۱۰۳.....

شکل ۵-۲: الف و ب) طبقه‌بندی سنگ‌های خروجی منطقه با استفاده از نمودارهای وینچستر و فلویید

(۱۹۷۷). ۱۰۴.....

شکل ۵-۳: طبقه‌بندی سنگ‌های نفوذی منطقه با استفاده از نمودار میدلموست (۱۹۹۴). ۱۰۵.....

- شکل ۴-۵: طبقه‌بندی سنگ‌های نفوذی منطقه با استفاده از نمودار اکونر (۱۹۶۵). ۱۰۵
- شکل ۵-۵: طبقه‌بندی سنگ‌های نفوذی منطقه با استفاده از نمودار دلارش و همکاران (۱۹۸۰). ۱۰۶
- شکل ۶-۵: تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی با استفاده از نمودارهای ارائه شده:
الف) نمودار ایرون و باراگارا (۱۹۷۱) و ب) هاستی و همکاران (۲۰۰۷). ۱۰۸
- شکل ۷-۵: تعیین شاخص اشباع از آلومین توده‌های نفوذی و سنگ‌های آتشفشانی با استفاده از نمودار
شاندا (۱۹۴۳). ۱۰۹
- شکل ۸-۵: الف و ب) تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی منطقه با استفاده از نمودارهای وود
(۱۹۸۰). ۱۱۱
- شکل ۹-۵: تعیین جایگاه تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی منطقه با استفاده از نمودار پیرس و همکاران
(۱۹۷۷). ۱۱۲
- شکل ۱۰-۵: تعیین جایگاه تکتونیکی توده‌های نفوذی منطقه با استفاده از نمودارهای پیرس و همکاران
(۱۹۸۴). ۱۱۳
- شکل ۱۱-۵: نمودارهای عناصر خاکی و کمیاب بهنجار شده به گوشته اولیه (الف و ب) و ۱۱۶
- شکل ۱۲-۵: نمودار غنی‌شدگی و تهی‌شدگی نمونه‌های کانسنگ نسبت به سنگ میزبان سالم. ۱۱۷
- شکل ۱۳-۵: تصویر نمونه دستی از از نمونه BG-G-03 متعلق به پهنه برشی در محل معدن کاری قدیمی
مس. ۱۱۸
- شکل ۱۴-۵: کانی‌سازی مس به صورت مالاکیت در آندزیت‌ها متعلق به نمونه BG-G-04. ۱۱۹

شکل ۵-۱۵: تصویر صحرایی از مجموعه ولکانیکی همراه با کانی‌سازی بصورت مالاکیت و محل برداشت نمونه BG-G-09، (دید به سمت شمال شرق). ۱۲۰

شکل ۵-۱۶: تصاویر مربوط به نمونه BG-G-13؛ الف) تصویر صحرایی از مجموعه سیلیس‌های نواری (دید به سمت شمال)، ب) تصویر نمونه دستی از سیلیس‌های نواری. ۱۲۰

شکل ۵-۱۷: نقشه حوضه آبریز منطقه باغ‌قازی که موقعیت نمونه‌های کانسنگ و..... ۱۲۱

شکل ۵-۱۸: نمودارهای تهی‌شدگی - غنی‌شدگی اکسیدهای اصلی در نمونه‌های دگرسان‌شده BG-G-05، BG-G-06، BG-G-08 و BG-G-10 نسبت به نمونه غیردگرسان. ۱۲۴

شکل ۵-۱۹: نمودار تهی‌شدگی - غنی‌شدگی عناصر کمیاب در نمونه دگرسان‌شده BG-G-05 نسبت به نمونه غیردگرسان. ۱۲۶

شکل ۵-۲۰: نمودار تهی‌شدگی - غنی‌شدگی عناصر کمیاب در نمونه دگرسان‌شده BG-G-06 نسبت به نمونه غیردگرسان. ۱۲۶

شکل ۵-۲۱: مقایسه الگوی عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت (ناکامورا، ۱۹۷۴) رگه‌های سیلیسی مس - طلا دار در منطقه مورد مطالعه با سایر مناطق ایران و جهان. ۱۲۷

شکل ۶-۱: تصاویر مربوط به نمونه BG-P-07؛ الف) تصویر صحرایی از سیلیس‌های نواری، ب) تصویر اسکن شده از سطح برش سیلیس‌های نواری، و ۱۳۳

شکل ۶-۲: تصاویر مربوط به نمونه BG-G-09؛ الف) تصویر صحرایی از نمونه (دید به سمت شمال شرق)، ب) تصویر نمونه دستی همراه با کانی‌سازی به صورت مالاکیت، و ۱۳۴

- شکل ۳-۶: پتروگرافی میانبارهای سیال؛ الف) میانبارهای ثانویه در روند خطی در نمونه BG-P-07، ب) میانبارهای دو فازی اولیه غنی از مایع در نمونه BG-P-07، و ۱۳۴.....
- شکل ۴-۶: هیستوگرام فراوانی دمای همگن شدن میانبارهای سیال دوفازی. ۱۴۱.....
- شکل ۵-۶: الف) هیستوگرام فراوانی دمای آخرین نقطه ذوب یخ و ۱۴۲.....
- شکل ۶-۶: نمودار دما - شوری جهت تعیین چگالی محلولهای $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ اشباع از بخار (ویلکینسون، ۲۰۰۱). ۱۴۳.....
- شکل ۷-۶: نمودار تعیین فشار بخار محلول بر حسب دمای همگن شدن و..... ۱۴۳.....
- شکل ۸-۶: نمودار تعیین عمق به دام افتادن میانبارهای سیال (هاس، ۱۹۷۱). ۱۴۴.....
- شکل ۹-۶: نمودار محدوده شوری و دما در کانسارهای مختلف (لارج و همکاران، ۱۹۸۸). در محدوده A (بالای خط) کمپلکسهای کلریدی و ۱۴۵.....
- شکل ۱۰-۶: نمودار میزان شوری - دمای همگن سازی (ویلکینسون، ۲۰۰۱). در این نمودار نمونه‌های منطقه باغ‌قازی در محدوده اپی‌ترمال قرار گرفته است و ۱۴۶.....
- شکل ۱-۷: محیط تکتونیکی تشکیل سنگ‌های آتشفشانی و ۱۵۹.....
- شکل ۲-۷: الگوی تشکیل اندیس معدنی باغ‌قازی به صورت شماتیک. ۱۶۱.....
- شکل ۳-۷: مقطع عرضی محدوده باغ‌قازی در امتداد A-B، که بر روی نقشه زمین‌شناسی شکل (۳-۲) مشخص شده است. ۱۶۱.....

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱: انواع کانسارهای شناخته‌شده طلا و ویژگی‌های اصلی زمین‌شناسی آنها (روبرت و همکاران، ۱۹۹۷). ۱۵
- جدول ۱-۲: معادن فعال فلزی ورقه کاشمر. ۳۴
- جدول ۲-۲: معادن فعال غیر فلزی در ورقه کاشمر. ۳۴
- جدول ۳-۲: اندیس‌های فلزی ورقه کاشمر. ۳۵
- جدول ۴-۲: اندیس‌های غیر فلزی ورقه کاشمر. ۳۵
- جدول ۱-۳: نتایج آنالیز XRD از نمونه‌های دگرسان‌شده منطقه باغ‌قازی. ۶۲
- جدول ۱-۴: مراحل تشکیل بافت جعبه‌ای تیلور (۲۰۱۱). ۸۲
- جدول ۴-۲: توالی پاراژنتیکی اندیس معدنی مس - طلا باغ‌قازی (ضخامت خطوط نشان‌دهنده فراوانی نسبی می‌باشد). ۸۶
- جدول ۱-۵: موقعیت جغرافیایی محل برداشت نمونه‌های سنگی. ۸۹
- جدول ۲-۵: مقادیر غلظت اکسید عناصر اصلی به روش XRF بر حسب درصد وزنی در سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی منطقه باغ‌قازی. ۹۰
- جدول ۳-۵: مقادیر غلظت (ppm) عناصر فرعی و کمیاب و برخی عناصر اصلی (درصد وزنی) در نمونه‌های کانسنگ منطقه باغ‌قازی به روش ICP-OES (عنصر طلا به روش Fire Assay اندازه‌گیری شده

- است)..... ۹۰.....
- جدول ۴-۵: مقادیر غلظت (ppm) عناصر فرعی و کمیاب در نمونه‌های سنگ منطقه باغ‌قازی به روش ICP-OES ۹۲.....
- جدول ۵-۵: مقادیر غلظت (ppm) عناصر فرعی و کمیاب و برخی عناصر اصلی (درصد وزنی) در نمونه‌های سنگ و کانسنگ منطقه باغ‌قازی به روش ICP-MS ۹۳.....
- جدول ۶-۵: درصد فراوانی داده‌های سنسورد در تعداد کل ۱۹ نمونه حاصل از تجزیه شیمیایی ICP-OES ۹۷.....
- جدول ۷-۵: درصد فراوانی داده‌های سنسورد در تعداد کل ۱۲ نمونه حاصل از تجزیه شیمیایی ICP-MS ۹۷.....
- جدول ۸-۵: محاسبه میزان خطا با استفاده از نمونه تکراری برای داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی به روش XRF ۹۹.....
- جدول ۹-۵: محاسبه میزان خطا با استفاده از نمونه تکراری برای داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی به روش ICP-OES ۹۹.....
- جدول ۱۰-۵: محاسبه میزان خطا با استفاده از نمونه تکراری برای داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی به روش ICP-MS ۱۰۰.....
- جدول ۱۱-۵: مقادیر غلظت مس و طلا در نمونه‌های کانسنگ باغ‌قازی. ۱۱۸.....
- جدول ۱۲-۵: جدول ضریب همبستگی پیرسون برای عناصر کمیاب در اندیس معدنی باغ‌قازی. ۱۲۳.....

جدول ۱-۶: شرح مختصر نمونه‌هایی که جهت مطالعه میانبارهای سیال انتخاب شدند. ۱۳۲

جدول ۲-۶: رده‌بندی انواع میانبارهای سیال بر مبنای محتوا و انواع فازهای موجود در دمای اتاق (شگرد و

همکاران، ۱۹۸۵). ۱۳۶

جدول ۳-۶: نتایج مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال کوارتز در منطقه باغ‌قازی. ۱۳۹

جدول ۱-۷: مقایسه اندیس معدنی با قازی با انواع کانسارهای اپی ترمال. ۱۵۳

جدول ۲-۷: مقایسه اندیس معدنی باغ‌قازی با کانسارهای اپی ترمال خنثی تا قلیایی در ایران (LS, IS). ۱۵۵

جدول ۳-۷: مقایسه اندیس معدنی باغ‌قازی با کانسارهای اپی ترمال در اکوادور، بریتیش کلمبیا و ترکیه.

..... ۱۵۷

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

منابع معدنی نقش زیربنایی در فرآیند توسعه اقتصاد کشور دارند در این میان طلا به عنوان یک منبع ثروت با کاربرد ویژه در صنعت و پشتوانه سیستم پولی پاره‌ای از کشورهای جهان، از اهمیت خاصی برخوردار است. طلا به خاطر زیبایی، کمیابی و پایداری در تمام طول تاریخ مورد توجه بشر بوده است. با پیشرفت‌های جدیدی که در تکنولوژی حاصل شده است، طلا هر روزه مصارف صنعتی بیشتری نیز پیدا می‌کند. به خصوص در مصارف الکترونیک ولی مصارف صنعتی آن نسبت به مصارف تجاری آن فرعی است. تفاوت طلا با سایر عناصر در رابطه تاریخی آن با پول نهفته است. بر این اساس در چند سال اخیر منابع هنگفتی در زمینه اکتشاف طلا سرمایه‌گذاری شده است.

با توجه به شرایط زمین‌شناختی ایران در کمربند آتشفشانی- نفوذی خواف - کاشمر - بردسکن که با روندی شرقی - غربی در شمال گسل درونه قرار دارد. تعداد زیادی کانسار و آثار معدنی فلزات پایه و گرانبها گزارش شده است، که از این میان می‌توان به رخدادهای معدنی کانسار کوه زر تربت حیدریه (Au)، کانسار ارغش (Au-Sb)، کانسار ماسیوسولفید پلی‌متال تکنار (Cu-Zn-Au-Ag-Pb)، تنورچه کاشمر (Au-Cu)، قلعه جوق، سرسفیدال، اندیس معدنی طلای کلاته تیمور، چشمه نقره، باغ قاضی و ... اشاره کرد. مطالعات اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای که توسط سازمان زمین‌شناسی کشور با همکاری شرکت جیانگسی^۱ کشور چین در سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۵ در محور سمنان - تربت حیدریه انجام گرفت، تعداد زیادی آنومالی طلا، مس، سرب، روی، و عناصر دیگر شناسایی گردید، که آنومالی طلا (مس، مولیبدن و بیسموت) باغ قاضی در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشمر یکی از این آنومالی‌ها می‌باشد (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۴). در مرحله کنترل صحرائی آنومالی‌های ژئوشیمیایی، آثار معدن‌کاری‌های قدیمی به صورت گودال و ترانشه در مناطق

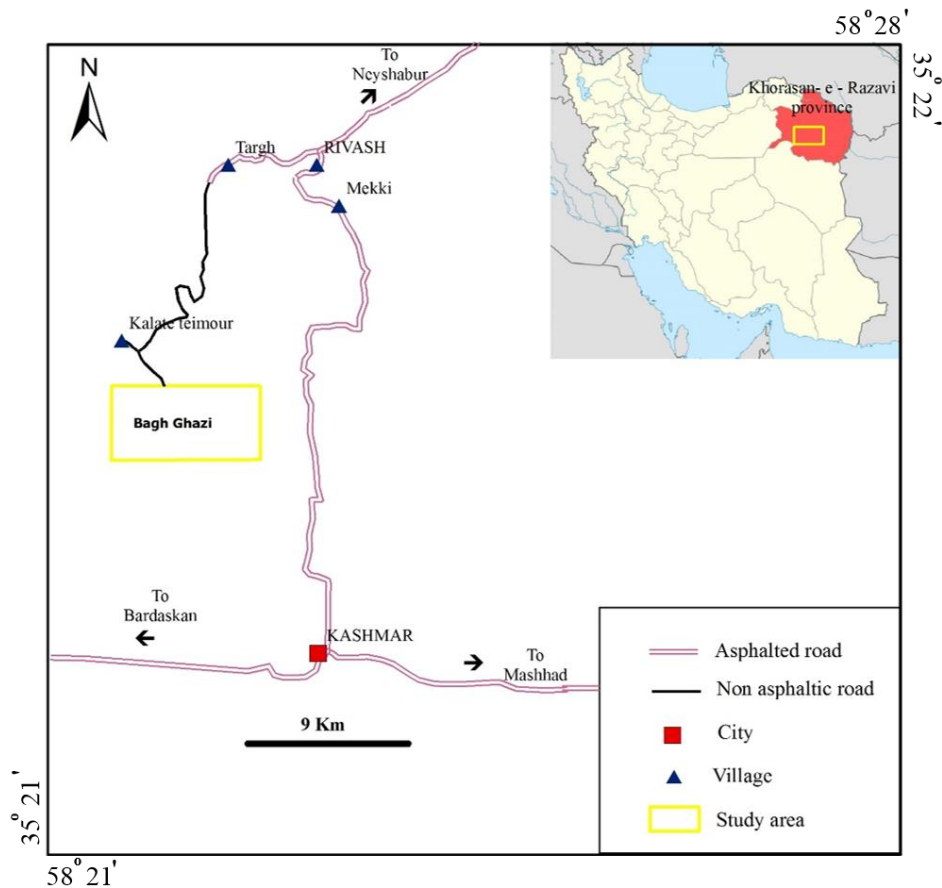
¹ Jiangxi

چشمه نقره، باغ قاضی و سرتخت معدن مشاهده شده است که به نظر می‌رسد جهت استحصال مس، طلا و نقره بوده است (اعلمی نیا و همکاران، ۱۳۸۸). با توجه به اینکه محور خواف - بردسکن مستعد کانی‌سازی مس، طلا و نقره است و باغ قاضی یکی از آنومالی‌های ژئوشیمی مهم در ورقه ۱/۱۰۰،۰۰۰ کاشمر می‌باشد و تنها کار تحقیقاتی انجام شده محدود به اکتشافات ژئوشیمیایی ۱/۱۰۰،۰۰۰ بوده است از این‌رو بررسی پیدایش مس-طلای باغ قاضی جهت هدف تحقیق انتخاب شده است.

۱-۲ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی

محدوده مورد مطالعه به وسعت تقریبی ۱۶/۴۴ کیلومتر مربع در فاصله ۳۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان کاشمر و در جنوب شرق روستای کلاته تیمور در استان خراسان رضوی قرار دارد. این محدوده با مختصات $58^{\circ} 28' 01.2''$ - $58^{\circ} 21' 25.1''$ طول شرقی و $35^{\circ} 22' 27.4''$ - $35^{\circ} 21' 14.3''$ عرض شمالی در شمال شرق برکه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰،۰۰۰ کاشمر قرار می‌گیرد.

راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه از طریق جاده آسفالتی کاشمر- نیشابور و سپس ریوش - طرق و سپس جاده‌های خاکی که از آن به سمت روستاهای کوچک منطقه منشعب می‌شود، می‌باشد (شکل ۱-۱). لازم به ذکر است با توجه به ارتفاعات موجود در منطقه مورد مطالعه بیشتر نقاط آن صعب‌العبور و فاقد راه‌های ماشین‌رو است.



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه.

۳-۱ شرایط آب و هوایی منطقه

نواحی شمالی شهرستان کاشمر مشهور به کوهسرخ که منطقه مورد بررسی را در بر می‌گیرد، به علت کوهستانی بودن و برخورداری از نزولات جوی بیشتر دارای آب و هوای معتدل است و منطقه کوهپایه‌ای می‌باشد. در صورتی که به طرف جنوب بیشتر حالت کویری پیدا می‌کند. دشت کاشمر به علت برداشت بیش از حد منابع آب، از جمله دشت‌های در حال موت استان محسوب می‌شود.

۴-۱ وضعیت اجتماعی و اقتصادی منطقه

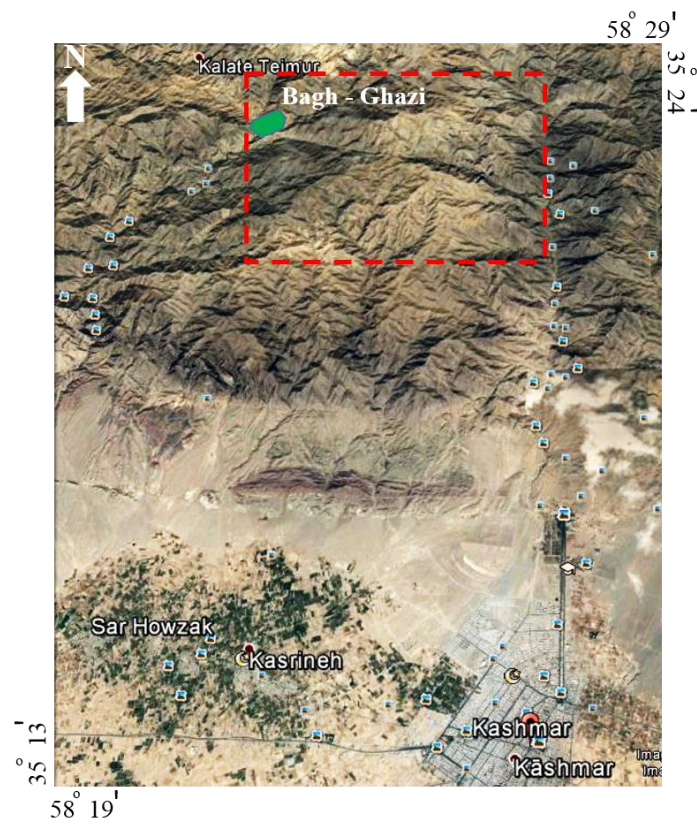
از نقطه نظر کشاورزی این منطقه تاکنون بافت کشاورزی داشته است، در گذشته مبنای تأمین آب کشاورزی تعداد کثیری از قنوات بوده است که با حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و برداشت بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی سطح آب به شدت در حال افت است. در حال حاضر بیش از ۵۰۰ حلقه چاه عمیق در دشت کاشمر وجود دارد. از جمله محصولات مهم منطقه بادام و گردو است که از نقطه نظر تولید بادام در سطح کشور، مقام دوم را به خود اختصاص داده است. از دیگر محصولات علاوه بر انگور و انار می‌توان به خشکبار منطقه (برگه زردآلو، انجیر، آلو و ...) اشاره کرد. تابستان‌ها نیز میوه‌های فراوانی از جمله طالبی، هندوانه و ... به شهرستان‌ها و مراکز استان صادر می‌شود. محور دیگری که بخشی از اقتصاد منطقه با آن رونق می‌یابد بافت فرش‌های مرغوب از کرک، پشم و ابریشم توسط هنرمندان محلی است. امکانات رفاهی این روستاها در حد خوب است. گویش محلی منطقه زبان فارسی با لهجه خراسانی می‌باشد. ولی با توجه به خشکسالی‌های اخیر و کمبود آب در منطقه، کشاورزی رونق خود را از دست داده است و باعث مهاجرت روستائینان به خصوص جوانان به شهر و سوق دادن جوانان به سمت اعتیاد و جرم و جنایت شده است، بنابراین اکتشاف معادن در منطقه و بهره‌برداری معادن اقتصادی می‌تواند زمینه اشتغال‌زایی جوانان را فراهم آورده و مانع از مهاجرت، اعتیاد و جرم و جنایت شود.

۵-۱ وضعیت زمین‌ریخت‌شناسی ناحیه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه در محدوده شمالی کاشمر قرار دارد که از سنگ‌های ولکانیکی تا ساب‌ولکانیکی اسیدی تا حدواسط پوشیده شده است. وجود این سنگ‌های مقاوم باعث ارتفاعات و برجستگی‌های منطقه شده است. از طرفی در نواحی که سنگ‌های ولکانیکی آلتزه شده‌اند به علت مقاومت کم در مقابل فرسایش توپوگرافی پستی را ایجاد کرده‌اند. کوه‌های سیاه، بالا باغ و کمرریخته در محدوده شمالی ارتفاعات اصلی را

در محدوده مورد نظر می‌سازند. که مرتفع‌ترین قله آن کوه سیاه با ارتفاع ۲۴۳۵ متر می‌باشد. به علت وجود ناهمواری‌های زیاد، منطقه فاقد دشت‌های بزرگ است لیکن به عنوان نمونه می‌توان از دشت‌های کوچک « پی کمر» واقع در شمال کوه آریا و در امتداد جاده ریوش - خضربیگ و دشت قراچه واقع در غرب روستای قراچه نام برد. رودخانه‌های شش‌طراز و خارزن از جمله رودخانه‌های دائمی منطقه و بقیه آبراهه‌ها بطور عمده فصلی هستند. ریخت‌شناسی فرونشست کاشمر توسط گیسنر^۱ و همکاران (۱۹۸۳) مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی پادگانه‌های آبرفتی کال شش‌طراز و نقش گسل درونه در ریخت‌شناسی منطقه، مورد مطالعه واقع شده است. بر این اساس فرونشست کاشمر تا اندازه زیادی اقلیمی بوده است و با چند چرخه فرسایشی - رسوبگذاری در امتداد چند کانال اصلی دنبال شده است و پادگانه‌های آبرفتی متعددی را به وجود آورده است. تغییرات اقلیمی آغازگر چرخه‌ها بوده‌اند ولی جنبش‌های تکتونیکی آنها را تغییر داده‌اند. جابه‌جایی پادگانه‌های آبرفتی و نیز کانال‌ها و رودخانه‌ها نشانه‌هایی از جنبش گسل درونه پس از نهشته شدن آبرفت‌ها می‌باشد. بنابراین گسل درونه به عنوان یک عامل تأثیرگذار بر ریخت‌شناسی منطقه از ابتدای شکل‌گیری فرونشست کاشمر تاکنون جنبان بوده است.

¹ Giessner



شکل ۱-۲: نمایی از زمین‌ریخت‌شناسی محدوده باغ‌قاضی (محدوده مورد مطالعه با کادر قرمز رنگ مشخص شده است).



شکل ۱-۳: نمایی دور از منطقه مورد مطالعه (دید به سمت جنوب).

۶-۱ تاریخچه معدن کاری، مطالعات و کارهای انجام شده قبلی

کارهای معدن کاری اولیه در محدوده باغ قاضی بیشتر برای استخراج مس بوده است که به صورت گودال و ترانشه در منطقه مشاهده می شود، همچنین آثار سرباره های مس در منطقه به فراوانی مشاهده می شود (شکل ۴-۱ و ۵-۱).



شکل ۴-۱: تصاویر صحرایی از محدوده مورد مطالعه؛ الف: واریزه های معدن کاری قدیمی مس (دید به سمت جنوب غرب)، ب: سرباره های قدیمی مس در محل واریزه های معدن کاری قدیمی.



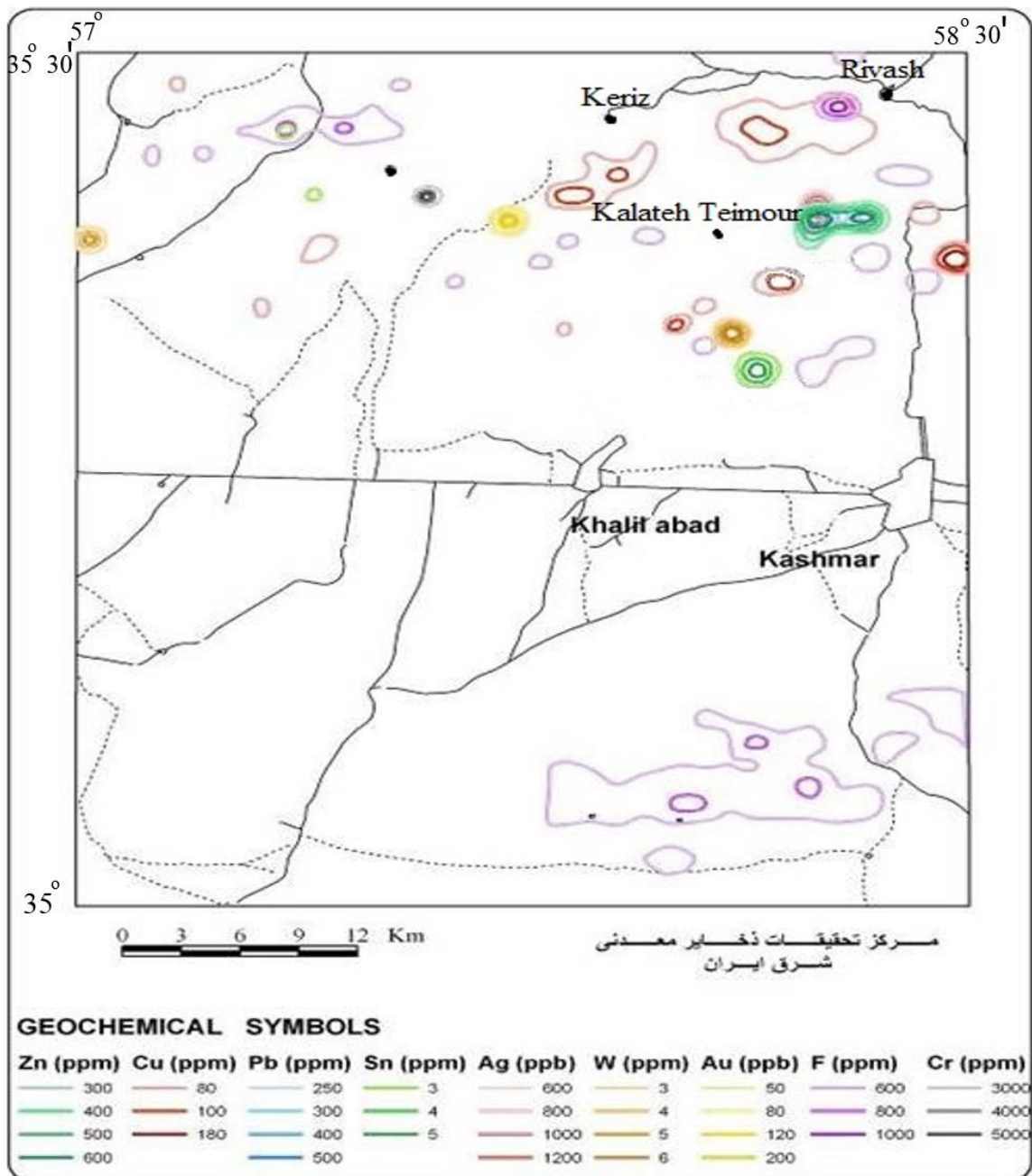
شکل ۱-۵: آثار شدادی معدن کاری مس در محدوده مورد مطالعه (دید به سمت جنوب غرب).

۱-۶-۱ کارهای انجام شده قبلی در کمر بند آتشفشانی - نفوذی شمال گسل درونه

مطالعات انجام شده در این کمر بند از قدیم به جدید به شرح زیر می باشد:

- افتخارنژاد و همکاران (۱۳۵۵)، نقشه و گزارش زمین شناسی کاشمر را در مقیاس ۱/۲۵۰,۰۰۰ تهیه و ارائه کرده اند، که محدوده مورد مطالعه بخشی از این نقشه می باشد، و بر اساس اطلاعات نقشه حاضر، در این محدوده سنگ های آتشفشانی - نفوذی به سن احتمالی ائوسن - الیگوسن گزارش شده است.

- سازمان زمین شناسی کشور و شرکت جیانگسی چین (۱۳۷۴)، در راستای اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه ای محور سمنان - تربت حیدریه تعداد زیادی آنومالی طلا و عناصر همراه را در ورقه ۱/۱۰۰,۰۰۰ کاشمر گزارش کردند که یکی از این آنومالی ها، آنومالی طلا و عناصر همراه در منطقه باغ قاضی در شمال کاشمر می باشد.



شکل ۱-۶: نقشه ژئوشیمیایی چند عنصری ورقه ۱/۱۰۰,۰۰۰ کاشمر که مناطق امیدبخش در آن نشان داده شده است و

محدوده باغقاضی جزء مناطق امیدبخش می باشد (شرکت جیانگسی چین، ۱۹۹۵).

- طاهری و همکاران (۱۳۸۰)، نقشه و گزارش زمین‌شناسی کاشمر را در مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ در سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه و ارائه کرده‌اند، که محدوده مورد مطالعه قسمتی از بخش شرقی این نقشه می‌باشد.

- حنا^۱ و همکاران (۲۰۰۲)، ژئومتری، ساخت و بافت، دگرسانی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و پاراژنرها را در کانسار آنتیموان-آرسنیک چلیو-کلاته چوبک در شمال شرق ایران بررسی کردند و بر پایه این شواهد، این کانسار را یک کانسار اپی‌ترمال معرفی کردند و کانه‌زایی را به فعالیت‌های گرمابی مشتق‌شده از میکروگرانیته‌های ساب‌ولکانیک نسبت دادند.

- ملک‌زاده شفارودی و همکاران (۱۳۸۳)، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی تک‌I، کانسار ماسیوسولفید پلی‌متال (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) تک‌I را بررسی کردند و تک‌I را بخشی از یک کانسار ماسیوسولفید منحصر به فرد معرفی کردند.

- زمردیان (۱۳۸۴)، بر پایه مطالعات ژئوشیمیایی و لیتوژئوشیمیایی کلاته‌تیمور (شمال کاشمر) به اولویت‌بندی محدوده‌های آنومال از نظر زایش طلا که توسط کارشناسان چینی در محدوده کلاته‌تیمور ارائه شده بود پرداخت و شش محدوده آنومال را در محدوده کلاته‌تیمور اولویت‌بندی و معرفی کرد که محدوده معدن متروکه چشمه‌نقره در اولویت اول قرار گرفته و از نظر عناصر Au, Ag, Sb, As, Cu, Zn, Pb و Ba آنومال می‌باشد.

- قوی و همکاران (۱۳۸۵)، ماگماتیسم ترشیری در بخش شرقی کمر بند ولکانوپلوتونیک درونه - تربت حیدریه- خواف (شمال شرق ایران) را بررسی کرده و بیان کردند که سنگ‌های آذرین در این ناحیه،

¹Hanna

ماگماتیسم کالک آلکالن و تمایل آشکار به سمت آلکالن دارند.

- حیدری (۱۳۸۷)، طی مطالعات خود در منطقه تنورچه (شمال شرق کاشمر) سیستم کانی‌سازی رگه‌ای طلا و پورفیری طلا-مس را معرفی کرده و ۴ منطقه امیدبخش جهت تداوم عملیات اکتشافی معرفی کرده است.

- عجایی و همکاران (۱۳۸۷)، ماهیت سیال‌های درگیر در سنگ‌های کالک آلکالن کانی‌سازی مس و طلای منطقه تنورچه (شمال کاشمر) را بررسی کردند و این سیستم کانی‌سازی را جزء سیستم‌های پورفیری مس-اپی‌ترمال طلا معرفی کردند.

- مظلومی و همکاران (۱۳۸۷)، با مطالعات خود، روی کانسار طلای کوه زر تربت‌حیدریه، این کانسار را یک ذخیره طلای غنی از اکسیدهای آهن (IOG) یا غنی از اسپکیولاریت معرفی و نام‌گذاری کردند.

- اعلمی نیا و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی روی معدن متروکه چشمه نقره (شمال غرب کاشمر) آن را یک معدن Au-Cu اپی‌ترمال سولفید پایین معرفی کردند.

- کریم‌پور و همکاران (۱۳۸۹)، سنگ‌شناسی توده‌های نفوذی منطقه معدنی تکنار را مورد بررسی قرار دادند و توده‌های نفوذی این منطقه را به دو نوع تقسیم‌بندی کردند: الف- توده‌های نفوذی اواسط تا اواخر پالئوزوئیک (گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت)، ب- توده‌های نفوذی پس از پالئوزوئیک (گرانیت، ترونجمیت و کوارتز مونزونیت).

- منظمی باقرزاده و همکاران (۱۳۹۰)، ژئوشیمی و پترولوژی سنگ‌های حدواسط تا بازیک شرق معدن تکنار (شمال غرب بردسکن) را مورد بررسی قرار دادند و اشاره کردند که این سنگ‌ها در سری ماگمایی کالک آلکالن پتاسیم متوسط قرار می‌گیرند و از نظر شاخص آلومین، متآلومین بوده و توده‌های نفوذی متعلق

به سری مگنتیت (اکسیدان) می‌باشند و محیط تشکیل این سنگ‌ها را حاشیه فعال قاره‌ای و یک محیط کمان آتشفشانی معرفی کردند که با فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس موجود بین خرد قاره ایران مرکزی و زون سبزوار مرتبط می‌باشد.

- رحمتی‌پور و همکاران (۱۳۹۰)، کانی‌سازی طلا-آنتیموان معدن ارغش (شمال شرق ایران) را از نوع اپی‌ترمال معرفی کردند که این کانی‌سازی بصورت رگه‌ای و به موازات یک دسته گسل صورت گرفته است.
- زیرجانیزاده و همکاران (۱۳۹۰)، توزیع فضایی و کانی‌سازی مس و آهن در شرق کمربند خواف - درونه با استفاده از روش فرای را بررسی کردند و طی مطالعات خود ارتباط بین ساختارها و کانی‌سازی را نشان دادند.

- شفایی‌مقدم و همکاران، (۲۰۱۴)، پتروژنز، زمین‌زمان‌سنجی و ژئوشیمی ایزوتوپی را در گرانیتوئیدهای کاشمر بررسی کردند، این سنگ‌ها دارای ماهیت کالک‌آلکالن و از نوع گرانیتوئیدهای تیپ I می‌باشند که به درون سنگ‌های آتشفشانی ائوسن با ماهیت کالک‌آلکالن نفوذ کردند و نشان دادند که گرانیتوئیدهای کاشمر و سنگ‌های آتشفشانی مربوطه در یک محیط کششی مرتبط با فرورانش شکل گرفته‌اند و عموماً همزمان با سنگ‌های ماگمایی ائوسن - الیگوسن سراسر ایران می‌باشند.

۱-۶-۲ کارهای انجام شده قبلی، مشابه با محدوده مورد مطالعه در ایران

- ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۸)، مطالعات کانی‌شناسی و میانبارهای سیال ذخیره طلای اپی‌ترمال شرف‌آباد (شمال باختر ایران) در زون ماگمایی البرز- آذربایجان را انجام دادند و آن را یک سامانه اپی‌ترمال طلا - نقره و غنی از فلزات پایه از نوع سولفیدی شدن حدواسط معرفی کردند.

- مقصودی و همکاران (۱۳۹۱)، به بررسی‌های ژئوشیمی و مطالعه میانبارهای سیال در محدوده

میرکوه‌علی میرزا، سراب، شمال باختر ایران، پرداختند و آن را یک کانی‌سازی طلای رگه‌ای اپی‌ترمال از نوع سولفید شدن پایین معرفی کردند.

- مهربانی و همکاران (۱۳۹۳)، به بررسی خصوصیات کانه‌نگاری، دگرسانی و ژئوشیمی سیال کانه‌ساز آنومالی ۴ کانسار گلوچه (شمال زنجان) پرداختند و بر این اساس آن را یک کانی‌سازی نقره و فلزات پایه از نوع رگه‌ای اپی‌ترمال سولفید متوسط که با ذخایر پورفیری مس-طلا در عمق مرتبط است، معرفی کردند.

- کوهستانی و همکاران (۲۰۱۵)، بر مبنای مطالعات سیالات درگیر و ایزوتوپ‌های پایدار کانسار چاه‌زرد در جنوب غرب یزد این چنین عنوان کردند که کانی‌سازی فلزات گرانبها در چاه‌زرد توسط سنگ‌های آتشفشانی میزبانی می‌شود و دو فرآیند جوشش و اختلاط آبهای جوی با آبهای ماگمایی عامل ته‌نشست فلزات گرانبها می‌باشند و آن را یک کانی‌سازی اپی‌ترمال از نوع سولفید شدن پایین تا متوسط معرفی کردند.

- هزاره و همکاران (۱۳۹۳) و شعله و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی کانی‌سازی طلای چاه‌نعلی در غرب کمان آتشفشانی مکران، جنوب شرق ایران، پرداختند و چاه‌نعلی را یک کانسار طلای اپی‌ترمال از نوع سولفید شدن پایین معرفی کردند.

۱-۷ رده‌بندی انواع کانسارهای طلا

طلا در طبیعت به صورت کانسارهای ماگمایی، رسوبی، گرمابی و دگرگونی یافت می‌شود. اگرچه تاکنون تقسیمات مختلفی برای کانسارهای طلا ارائه شده است، روبرت^۱ و همکاران (۱۹۹۷) کانسارهای طلا را بر پایه محیط زمین‌شناسی، سنگ میزبان، نوع کانی‌سازی و نشانه‌های ژئوشیمیایی به ۱۶ گروه تقسیم کرده‌اند که خصوصیات آنها به طور مختصر در جدول (۱-۱) آورده شده است.

^۱ Robert

جدول ۱-۱: انواع کانسارهای شناخته شده طلا و ویژگی‌های اصلی زمین‌شناسی آنها (روبرت و همکاران، ۱۹۹۷).

| عیار و تناژ | فلز همراه | دگرسانی همراه | فرم کانی‌سازی | محیط زمین‌شناسی | مثال | نوع کانسار |
|---|--|--|--|---|---------------------------|-------------------------------------|
| 1-100 Mt of ore @ 1-10 g/t Au; some up to 1000 t Au | Au>Ag; U common; Au:Ag 10:1 | قرارگیری سریستی و سیلیسی شدن در بالا | کنگومرای کوارتز- پبل و کوارتزآرنایت‌های پیریت- دار | سنگ‌های رخساره‌های رودخانه- ای جور شده تا دلتایی در حوضه- های رسوبی کراتونی گسترش- یافته | Witwatersrand (S. Africa) | پالتوپلاسر |
| 1-10 Mt of ore @ 3-10 g/t Au and 1-5 % base metals | Ag, Au, Cu, base metals; typically Ag>Au | سریستی و سیلیسی؛ دگرسانی اسید آلومینیوم رایج | عدسی‌های ماسیوسولفید نواری و استراتی‌فرم و زون‌های استوک‌ورک همجوار | ترکیبی از توالی آتشفشانی، آذرآواری و رسوبی در کمربندهای گرین‌استون | Boliden (Sweden) | ماسیوسولفیدهای زیردریایی غنی از طلا |
| Typically <30 t Au; up to 20 Mt of ore @ 5 g/t Au | Au, Ag, Hg, As, Sb, Tl, Ba, locally W; typically Ag>Au; strong vertical zoning | سیلیسی، آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته؛ آدولاریا | سولفیدهای پراکنده در سنگ‌های سیلیسی و برشی شده | سنگ‌های آتشفشانی قلیایی و اسیدی و سنگ‌های اپی- کلاستیک همراه، در کمربندهای آتشفشانی-نفوذی | McLaughlin (California) | چشمه‌های آب گرم |
| <100 t Au but some >500 t Au; grade of 2-70 g/t Au | Au, Ag, As, Sb, Hg±Pb, Zn, Te; Au:Ag= 1:10 to 1:25; vertical zoning | سریست- ایلیت/سریست- آدولاریا؛ سیلیسی؛ به سمت خارج دگرسانی پروپیلیتیک | رگه‌های کوارتز- کربنات- آدولاریا کراستی‌فرم- کلوفرم تا برشی | سنگ‌های آتشفشانی متوسط تا اسیدی و نفوذی‌های ساب- ولکانیک در کمربندهای آتشفشانی-نفوذی | Creede (Colorado) | اپی‌ترمال آدولاریا- سریست |
| 10-150 t Au but up to 600 t Au; grade of 1-8 g/t Au, averaging 4-5 g/ t | Au, Ag, As, Cu, Sb, Bi, Hg, Te, Sn, Pb; Au:Ag= 1:2 to 1:10; metal zoning | سیلیسی و آرژیلیک پیشرفته آلونیت‌دار، به طرف خارج آرژیلیک یا پروپیلیتیک | سولفیدهای پراکنده در زون‌های سیلیسی حفره- ای، رگه‌ای، برشی و استوک‌ورک | سنگ‌های آتشفشانی متوسط تا اسیدی و نفوذی‌های ساب- ولکانیک در کمربندهای آتشفشانی-نفوذی | Goldfield (Nevada) | اپی‌ترمال آلونیت- کائولینیت |

ادامه جدول ۱-۱: انواع کانسارهای شناخته شده طلا و ویژگی‌های اصلی زمین‌شناسی آنها (روبرت و همکاران، ۱۹۹۷).

| | | | | | | | |
|----|----------------------------------|---|---|--|---|--|---|
| ۶ | طلای پورفیری | Lepanto Far South East (Philippines) Labo (Chile) | سنگ‌های آتشفشانی متوسط و کالک‌آلکالن-آلکالن و نفوذی‌های ساب‌ولکانیک همراه در کمرندهای آتشفشانی - نفوذی | زون‌های استوک‌ورک کوارتز- پیریت که در بخش‌هایی توسط نفوذی-ها میزبانی می‌شوند | دگرسانی سیلیکات پتاسیم (± سدیم)؛ آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته عموماً" در بالا؛ مگنتیت‌های هیدروترمال | Au, Cu, Ag±Bi-Te; Au:Ag>1:1 | 50-100 t Au, up to 400 t; grades of 0.5-2 g/t Au and <0.8 % Cu |
| ۷ | دودکش‌های برشی | Kidston (Australia) | سنگ‌های آتشفشانی قلیایی تا اسیدی و نفوذی‌های ساب-ولکانیک همراه در کمرندهای آتشفشانی - نفوذی | توده‌های برشی مینرالیزه ناهماهنگ | سریسیت- کربنات؛ سیلیسی شدن متغیر | Au, Ag, Pb, Cu, Zn; Au:Ag<1:1 | 6-60 Mt of ore @ 1-2 g/t Au; some up to 100 t Au |
| ۸ | اسکارن | Fortitude (Nevada) | توالی پلاتفرمی کربناته که تحت تأثیر فعالیت‌های کمان‌های آتشفشانی - نفوذی قرار گرفته‌اند. | پراکنده تا عدسی‌های ماسیوسولفید و رگه‌ای قطع‌کننده اسکارن | مجموعه اسکارن‌های پیشرونده غنی از آلومینیوم، دگرسانی پسرونده رایج | Au, Ag, As, Bi, Te; Pb, Au:Ag variable | 1-10 Mt of ore @ 3-10 g/t Au, <1 % base metals; <100 t Au |
| ۹ | جانشینی کربنات (مانتو) | Ruby Hill (Nevada) | توالی پلاتفرمی کربناته که تحت تأثیر فعالیت‌های کمان‌های آتشفشانی - نفوذی قرار گرفته‌اند | توده‌های ماسیوسولفید موازی تا غیر موازی در سنگ‌های کربناته | سیلیسی شدن سنگ- آهک و سریسیتی شدن سنگ‌های آواری | Au, Ag, As, Bi, Hg ± Pb, Cu, Zn; typically Au<Ag | Typically <3 Mt of ore @ 5-20 g/t Au & 1-5 % base metals; up to 65 t Au |
| ۱۰ | طلا با میزبان رسوبی (تیپ کارلین) | Carlin (Nevada) | کربنات و رخساره‌های آرژیلی - کربناته ناخالص طبقات قاره‌ای که تحت تأثیر فعالیت‌های کمان-های آتشفشانی - نفوذی قرار گرفته‌اند. | سولفیدهای پراکنده در توده‌های برشی ناهماهنگ و زون‌های استراتی‌باند | از دست دادن کلسیم و سیلیسی شدن سنگ-های کربناته | Au, Ag, As, Sb, Hg; typically Au<Ag | 1-10 Mt or ore @ 1-10 g/t Au; some up to 500 t Au |

ادامه جدول ۱-۱: انواع کانسارهای شناخته شده طلا و ویژگی‌های اصلی زمین‌شناسی آنها (روبرت و همکاران، ۱۹۹۷).

| | | | | | | | |
|----|---|--|--|--|--|--|--|
| ۱۱ | استوک‌ورک - پراکنده غیرکربناته | Porgera (Papua New Guinea) | رخساره‌های سیلیسی کلاستیک، توربیدایت و آذرآواری عموماً" همراه با استوک‌ها و دایک‌های اسیدی تا متوسط | استوک‌ورک، رگه صفحه - ای و زون‌های پراکنده استراتاباند تا غیرموازی | متاسوماتیزم پتاسیم یا آلبیت عموماً" توسط کربنات همراهی می - شود | Cu, As, Bi, Te ± W, F, B | 1-20 Mt of ore @ 2-5 g/t Au; some greater than 500 t Au |
| ۱۲ | رگه‌های سولفیدی غنی از طلا- مس | Rosland (British Columbia) | توده‌های نفوذی نیمه عمیق و دایک‌های همراه در کمان‌های آتشفشانی- نفوذی و کمربندهای گرین‌استون | رگه‌های کوارتز- سولفید (میزان سولفید بیش از ۲۰ درصد) | سرسیستی و کلریتی | Au, Ag, Cu ± Pb, Zn; ; typically Au<Ag | Mostly<5 Mt of ore at 3-15 g/t Au; some > 100 t Au |
| ۱۳ | رگه‌های کوارتز همراه با باتولیت (تیپ Korean) | Chenoan (Korea) | بالاآمدگی‌های تکتونیکی شامل سنگ بسترهای دگرگون شده و باتولیت‌های گرانیتوئیدی فراوان | رگه‌های کوارتز در گسل - های شکننده تا شکننده - شکل پذیر | سرسیستی و کلریتی | Au, Ag ± Cu, Pb, Zn; Au:Ag variable | 1-10 Mt of ore@ 1-10 g/t Au |
| ۱۴ | رگه‌های کوارتز - کربنات با میزبان گرین‌استون | Mother Lode- Grass Valley (California) | کمربندهای گرین‌استون همراه با زون‌های گسله بزرگ | رگه‌های کوارتز- کربنات در زون‌های برشی شکننده- شکل پذیر | کربناتی و سرسیستی | Au, Ag, W, B, ± As, Mo; Au:Ag= 5:1 to 10:1; no vertical zoning | 1-10 Mt of ore @ 5-10 g/t Au; mostly 25-100 t Au, but many >250 t Au |
| ۱۵ | رگه‌های کوارتز - کربنات با میزبان توربیدایت (تیپ Bendigo) | Victoria Goldfields (Australia) | توالی توربیدایتی تغییرشکل یافته | رگه‌های کوارتز- کربنات در چین‌ها و زون‌های برشی شکننده- شکل پذیر | کمتر سرسیستی و سیلیسی | Au, Ag, As ± W; Au:Ag+ 5:1 to 10:1 | Mostly<5 Mt of ore @ 6-15 g/t Au; some >500 t Au |
| ۱۶ | رگه‌ای و پراکنده با میزبان تشکیلات آهن Homestake (تیپ) | Homestake (S. Dakota) | ترکیبی از توالی آتشفشانی، آذرآواری و رسوبی در کمربندهای گرین‌استون | نواری استراتاباند پراکنده تا عدسی‌های ماسیوسولفید و رگه‌های کوارتز ناهماهنگ | سولفیدی شدن در رخساره‌های سازندهای آهن نواری از قبل موجود | Au, Ag, As; Au:Ag= 5:1 to 10:1 | 1-10 Mt of ore @ 3-20 g/t Au some>500 t Au |

۸-۱ طرح مسئله و هدف از مطالعه

با توجه به افزایش قیمت جهانی فلزات به ویژه فلزات گرانبها از جمله طلا، به منظور اکتشاف این فلزات، مطالعات گسترده‌ای در برنامه توسعه کشور در نظر گرفته شده است. کانی‌سازی مس - طلای باغ قاضی یکی از پتانسیل‌های معدنی شناخته شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور با همکاری شرکت جیانگسی کشور چین در کمان ماگمایی شمال گسل درونه می‌باشد هم چنین اثرات شدادی معدنی بیان از کانی‌سازی در این محدوده دارد که مطالعات اقتصادی آن می‌تواند داده‌های سودمندی را از چگونگی فرآیندهای موثر در تشکیل و تمرکز کانه را در اختیار ما قرار دهد.

بنابراین مطالعه جامع محدوده باغ قاضی از دیدگاه زمین‌شناسی اقتصادی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، دگرسانی و ژنز کانه‌زایی از اهداف این تحقیق می‌باشد چرا که تاکنون هیچ مطالعات جامع و دقیقی در این زمینه‌ها در این محدوده صورت نگرفته است.

۹-۱ روش مطالعه

انجام این تحقیق طی چند مرحله شامل مطالعات دفتری، بررسی‌های صحرایی، نمونه‌برداری، تجزیه شیمیایی و مطالعه نمونه‌ها، پردازش و تفسیر داده‌ها و نتایج است. در این بخش به اختصار هر مورد معرفی و شرح کامل آنها در بخش مربوط به خود ارائه می‌شود.

۱-۹-۱ مطالعات دفتری

گام اول در انجام این پروژه جمع‌آوری و مطالعه منابع و اطلاعات موجود است. در این مرحله گزارشات تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه معدنی و کارهای انجام شده قبلی در کمربند آتشفشانی- ماگمایی شمال گسل درونه مورد مطالعه قرار گرفت.

۱-۹-۲ مطالعات صحرایی

- پس از مطالعات دفتری و آشنایی کلی با منطقه مورد مطالعه بازدیدهای صحرایی در چند مرحله انجام گرفت که در این بازدیدهای صحرایی، نمونه‌برداری از واحدهای مختلف برای مطالعات زیر صورت گرفت.
- نمونه‌برداری از رخنمون‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه به منظور تفکیک واحدهای سنگی.
 - نمونه‌برداری از سنگ میزبان و سنگ دربرگیرنده به منظور تفکیک آنها.
 - نمونه‌برداری از مناطق دگرسانی در منطقه معدنی به منظور شناسایی دگرسانی‌های مرتبط با کانی-سازی.
 - نمونه‌برداری از رگه‌های سیلیسی کانه‌دار به منظور مطالعات ژئوشیمیایی و میکروترمومتری.

۱-۹-۳ مطالعات آزمایشگاهی

- در این مرحله پس از انجام نمونه‌برداری، نمونه‌ها با توجه به هدف مطالعه تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت.
- تعداد ۱۵ مقطع نازک به منظور مطالعات پتروگرافی در بخش زمین‌شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود.
 - تعداد ۴ مقطع نازک - صیقلی به منظور مطالعات بافت و پاراژنز کانه‌ها در آزمایشگاه گرونا (تهران).
 - تعداد ۱۰ مقطع صیقلی به منظور مطالعات کانه‌ها، ساخت و بافت و پاراژنز کانه‌ها در بخش زمین‌شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود.
 - تجزیه تعداد ۶ نمونه از رخنمون‌های سنگی منطقه به روش فلورئورسانس اشعه ایکس^۱ (XRF) به منظور سنجش عناصر اصلی و فرعی در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران.

^۱ X-Ray Fluorescence

- تجزیه تعداد ۶ نمونه از رگه‌ها و رخنمون‌های دگرسان شده به روش پراش اشعه ایکس^۱ (XRD)، به منظور شناسایی فازهای کانه‌زایی و مطالعه دگرسانی در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران.
- تجزیه تعداد ۱۴ نمونه از رگه‌های معدنی و سنگ در بر گیرنده رگه‌ها به روش طیف‌سنجی جرمی^۲ و نوری^۳ جفت پلاسمای القا شده (ICP-MS/OES) و آذرمحک (Fire Assay) در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران.
- تجزیه تعداد ۵ نمونه از رگه‌های سیلیسی کانه‌دار به منظور مطالعات میکروترنومتری در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران.

۱-۹-۴ تحلیل و پردازش داده‌ها و نگارش پایان‌نامه

نتایج حاصل از مراحل قبل با مطالعه کتب مرجع و مقالات و استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری از جمله Arc GIS، Excel، Google Earth، Global Mapper، IBM SPSS Statistics 23 و GCDKIT 2.3 دسته‌بندی، پردازش و تلفیق گردیده و در نگارش پایان‌نامه از آن استفاده شده است.

¹ X-Ray Diffraction

² Inductively coupled plasma mass spectrometry

³ Inductively coupled plasma optic emission spectrometry

فصل دوم

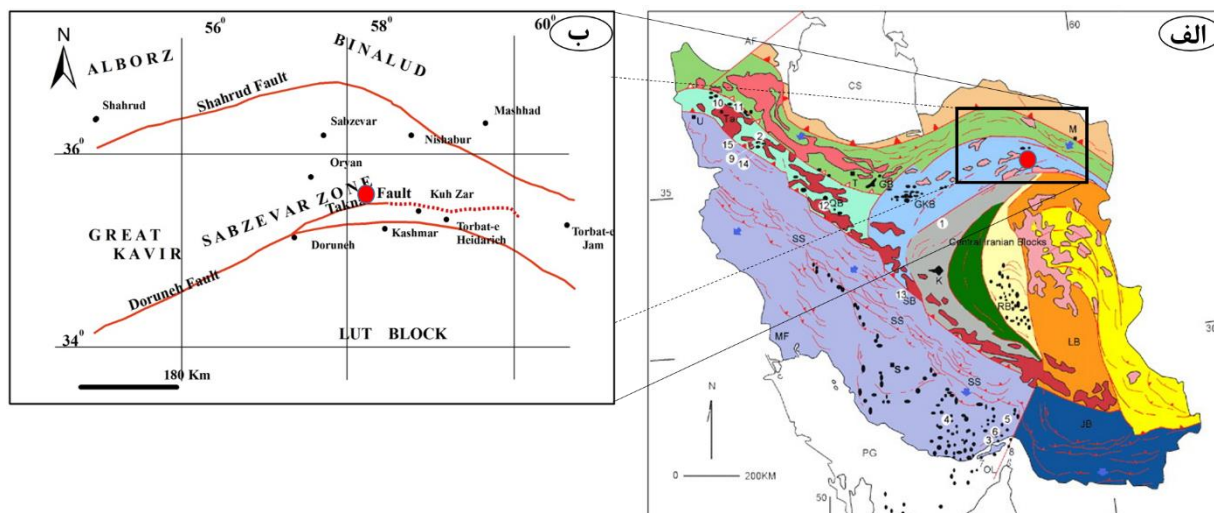
زمین شناسی

۱-۲ مقدمه

با توجه به تقسیم‌بندی ساختاری - رسوبی ایران، محدوده مورد مطالعه در حاشیه شمالی ایران مرکزی جای می‌گیرد (شکل ۱-۲ الف). در این خصوص دو ویژگی عمده در این پهنه حاکم است، یکی چین‌خوردگی، دگرگونی و پلوتونیزم شدید مزوزوئیک و دوم تکاپوی شدید آتشفشانی سنوزوئیک. با این وجود ایران مرکزی سرزمینی یکپارچه و همگن نیست بلکه در نتیجه عملکرد گسل‌ها به صورت قطعاتی جدا با ویژگی‌های زمین‌ساختی متفاوت است. خرد قاره ایران مرکزی از پهنه‌های ساختاری بلوک لوت، طبس، پشت‌بادام، یزد و سبزواری تشکیل شده است (علوی، ۱۹۹۱). از نگاه زمین‌ساخت و زیرپهنه‌های ایران مرکزی محدوده مورد مطالعه در بخش جنوبی زیرپهنه سبزواری در کمربند آتشفشانی - نفوذی شمال گسل درونه، در شمال گسل تکنار (ریوش) قرار دارد (شکل ۱-۲ ب). این ناحیه در محدوده چهارگوش نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ کاشمر (افتخارنژاد و همکاران، ۱۳۵۵) و نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشمر (طاهری و همکاران، ۱۳۸۰) در استان خراسان رضوی واقع شده است. وجود نهشته‌های پرکامبرین تا عهد حاضر، گسل فعال درونه، فعالیت‌های ماگماتیزم شدید در ترشیر و شواهد فراوان بر کانی‌سازی فلزی، بویژه فلزات گرانبها از ویژگی‌های عمده زمین‌شناسی این منطقه است.

۲-۲ زمین‌شناسی ناحیه‌ای

در مقیاس ناحیه‌ای و از نظر زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه بخشی از پهنه ساختاری ایران مرکزی است (شکل ۱-۲ الف) و در بخش جنوبی زیرپهنه سبزواری، در شمال گسل تکنار قرار می‌گیرد (شکل ۱-۲ ب).



شکل ۲-۱: الف) موقعیت محدوده مورد مطالعه (دایره قرمز رنگ) در نقشه ساختاری - رسوبی ایران (علوی، ۱۹۹۱) و ب) زیرپهنه سبزوار.

۲-۲-۱ ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری ایران مرکزی

پهنه ایران مرکزی بزرگترین و قدیمی‌ترین پهنه زمین‌ساخت ایران می‌باشد که به شکل مثلث از شمال به رشته کوه‌های البرز و از جنوب و غرب به پهنه سنندج - سیرجان و از شرق به بلوک لوت محدود می‌شود (درویش‌زاده، ۱۳۸۵). در این پهنه علاوه بر وجود سنگ‌هایی با سن پرکامبرین پسین تا کواترنر، فازهای گوناگون کوهزایی، ماگماتیسم و دگرگونی نیز رخ داده است (قربانی، ۱۳۸۶). خردقاره ایران مرکزی با زمین‌درزهای افیولیتی سیستان، نائین، بافت، گسل درونه و افیولیت‌های کاشمر - سبزوار احاطه شده و توسط گسل‌های طویلی که به سمت غرب خمیدگی دارند و از نوع امتداد لغز راستگردند، به بلوک لوت، فرازمین شتری، فرونشست طبس، فرازمین کلمرد، بلوک پشت‌بادام، فروافتادگی بیاضه - بردسیر و بلوک یزد قابل تقسیم می‌باشد. به باور اشتوکلین^۱ (۱۹۶۸)، پس از سخت شدن پی سنگ پرکامبرین، این بخش در زمان پالئوزویک ویژگی‌های سکویی داشته و

¹ Stockline

در زمان مزوزوئیک و سنوزوئیک به منطقه‌ای پرتحرک و پویا تبدیل شده است. با وجود این، باید گفت که الگوی ساختاری حاکم بر این خرد قاره از نوع بلوک‌های جدا شده با گسل‌های عمده است که هریک ویژگی‌های جداگانه دارند و پویایی آن در همه جا یکسان نیست (آقابات، ۱۳۸۳).

۲-۲-۲ ویژگی‌های ساختاری - زمین‌شناسی زیرپهنه سبزوار

زیرپهنه سبزوار - تربت جام شامل گستره‌های محدود بین گسل میامی - سنگ بست و گسل درونه است که در یک روند تقریبی خاوری - باختری از سبزوار تا مرز افغانستان ادامه دارد. در این زیرپهنه سنگ‌های پالئوزوئیک و مزوزوئیک برونزد محدود دارند. برونزدهای سنگی عمده در این زیرپهنه را می‌توان در سه گروه بزرگ دسته‌بندی کرد.

الف - گروه اول: مجموعه‌های افیولیتی

این گروه شامل مجموعه‌های افیولیتی سبزوار و تربت‌حیدریه هستند که خاستگاه اقیانوسی داشته، اطراف ایران مرکزی را احاطه می‌کنند و نشان‌دهنده وجود اقیانوس‌های کوچکی در اطراف خرد قاره ایران مرکزی در زمان کرتاسه هستند (آگارد^۱ و همکاران، ۲۰۰۷؛ باروز^۲، ۱۹۸۴). این گروه بیشتر از نوع سنگ‌های اولترامافیک می‌باشند (دونیت، پریدوتیت، گابرو و...) که سنگ‌های رسوبی همراه آنها معرف زمان کرتاسه پسین و محیط‌های نسبتاً ژرف اقیانوسی است که در یک محیط کششی از نوع حوضه‌های پشت کمانی در طی عبور از زمان کرتاسه میانی به کرتاسه بالایی تشکیل شده‌اند. این کشش، در اثر فرورانش رو به شمال لیتوسفر اقیانوسی نئوتیتیس به زیر ایران مرکزی اتفاق افتاده است. این سنگ‌ها میزبان ذخایر گوناگونی از نوع کرومیت، منیزیت، هونتیت و ... می‌باشند (آگارد و همکاران،

¹ Agard

² Baroz

۲۰۰۷؛ روزتی^۱ و همکاران، ۲۰۱۰؛ داوودزاده^۲ و همکاران، ۱۹۷۲؛ باروز و همکاران، ۱۹۸۴).

– گروه دوم: مجموعه‌های آتشفشانی

این گروه مجموعه‌های آتشفشانی اوایل ترشیری (ائوسن) است که از شمال بردسکن تا شمال تربت حیدریه و تا نزدیک مرز افغانستان (در شمال گسل درونه) رخنمون دارند. به طور عموم تزریق توده‌های نفوذی در این مجموعه‌های ولکانیکی، همراه با پدیده‌های دگرسانی و کانی‌سازی است. به همین دلیل در این گروه از سنگ‌ها ذخایری از مس (دهن قلعه، تکنار و ...)، سرب و روی (تکنار)، آنتیموان (گلیو) و طلا (ارغش، کوه‌زر و ...) وجود دارد.

ج- گروه سوم: توالی فلیشی

این گروه شامل توالی‌های رسوبی فلیش‌گونه‌ای هستند که تغییرات سنی آنها از ائوسن تا زمان نئوژن می‌باشد.

۲-۲-۳- ویژگی‌های کمان ماگمایی ترشیر در شمال گسل درونه

منطقه وسیع از گستره شمالی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشمر، در حقیقت بخشی از یک کمربند ماگمایی با گسترش خاوری- باختری و خمیدگی به سوی شمال است که با بیش از ۳۵۰ کیلومتر درازا، از مرز افغانستان تا ناحیه بیارجمند با پهنایی متغیر از ۱۵ تا ۸۰ کیلومتر گسترش دارد. این منطقه از محدود مناطق گسترش سنگ‌های آتشفشانی- نفوذی خاور- مرکز ایران است که روند مشخص و پیوسته را نشان می‌دهد. که آن را کمان ماگمایی شمال گسل درونه نام نهاده‌اند. این مجموعه تنوعی از سنگ‌های آذرین؛ شامل داسیت، ریوداسیت، آندزیت، پیروکسن آندزیت، آندزیت بازالت، بازالت دگرسان شده، توف ریولیتی، توف‌های آندزیتی، لاتیت، تراکی آندزیت، لاپیلی توف و آگلومرا است فزون بر این جایگیری

¹ Rossetti

² Davoudzadeh

توده‌های نفوذی سبب دگرسانی‌های گوناگون از پروپیلیتیک تا آرژیلیکی شده است و آثار دگرسانی سریسیتی در جای جای آن دیده می‌شود.

۲-۳ چینه‌شناسی ناحیه‌ای

واحد‌های سنگی متنوعی از پرکامبرین تا عهد حاضر در محدوده ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشمر رخنمون دارند.

۲-۳-۱ پرکامبرین

قدیمی‌ترین سنگ‌های ناحیه در ورقه کاشمر مربوط به سازند تکنار می‌باشد. سازند تکنار، بطور کلی شامل توالی ضخیمی از توف، ریولیت با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و دولومیت در بخش بالایی است که در حد رخساره شیت سبز دگرگون شده‌اند. مودر و والتر (۱۹۸۳) با باور به اینکه سن سازند تکنار بطور قطع پرکامبرین است آن را به عضوهای زیرین، میانی و بالائی تقسیم و بخش زیرین و میانی را به پنج گروه سنگی شامل ریولیت‌های به رنگ روشن، خاکستری تیره تا سیاه، خاکستری گراییده به سبز، توف‌های یکنواخت، به رنگ خاکستری تا سبز تیره، توف‌های لایه‌ای به رنگ سبز روشن تا سبز، تقسیم می‌کنند اما آنچه از سازند تکنار در بخش باختری پنجره فرسایشی، و در محدوده ورقه کاشمر رخنمون دارد بطور عمده سنگ‌های آتشفشانی سبزرنگ، ماسه‌سنگ توفی، میان‌لایه‌های دولومیتی و بخش‌های محدود ریولیت رنگ روشن است که بیشتر حالت برشی دارد.

۲-۳-۲ پالئوزوئیک

کامبرین: در مسیر جاده بردسکن - کبودان و در ورودی آبراهه منتهی به روستای کبودان سازند دولومیت سلطانیه رخنمون دارد و عمدتاً شامل شیل و دولومیت با نوارهای چرتی است. این واحد در جنوب غربی نقشه و نیز در شمال شرق مزرعه تجری، رخنمونی محدود دارد. در حد فاصل غرب مزرعه چاه سبز تا شرق مزرعه تجدی، مجموعه سنگ‌های متعلق به کامبرین شامل شیل و آهک‌های

قرمز می‌باشد که مرز بالایی و پائینی آنها گسله و چین‌خورده است. این مجموعه به گروه میلا، سازند درنجال نسبت داده شده است.

اردوئیسین: بهترین برونزد این واحد در شمال شرقی مزرعه تجدی است که شامل توالی شیل با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی، دیاباز، تناوب شیل و ماسه‌سنگ (معادل سازند شیرگشت) است.

سیلورین: نهشته‌های سیلورین در حد فاصل شمال مزرعه تجدی تا جنوب علی‌آباد برکال قابل مشاهده است و از شیل، ماسه‌سنگ و واحدهای کربناتی (سازند نیور) تشکیل شده است.

دونین - کربونيفر: ماسه‌سنگ‌های روشن، مارن و سیلتستون با میان‌لایه‌های دولومیتی در جنوب عارف‌آباد رخنمون داشته و هم‌ارز سازند پادها است. پس از رخنمون سازند تکنار و دولومیت‌های هم‌ارز دولومیت سلطانیه، در محدوده شمال غرب نقشه، قدیمی‌ترین رخنمون، یک توالی از آهک‌های نازک‌لایه (نهشته‌های معادل شیشتو) است و سن دونین بالائی، کربونيفر زیرین برای آن در نظر گرفته شده است. در شمال شرقی و شرق آهوبم در هسته ساختمان آنتی‌کلینوریوم گسلیده، رخنمون‌هایی از واحد شیل و ماسه‌سنگی هم‌ارز سردر وجود دارد.

پرمین: آهک‌های صخره‌ساز، در ساختمان آنتی‌کلینوریوم گسلیده پالتوزوئیک پنجره فرسایشی تکنار، معرف سازند جمال در این ناحیه هستند. از دیگر ویژگی‌های این واحد، ساختمان کارستی در آن می‌باشد که غارهای سیر و آهوبم از جمله آنها است.

۲-۳-۳ مزوزوئیک

ژوراسیک: در حد فاصل روستای آهوبم تا شمال شرقی کلاته لژک توالی ضخیمی از شیل با میان‌لایه‌های آهکی، ماسه‌سنگ و میکروکنگلوئومرا رخنمون دارند. این مجموعه هم‌ارز سازند شمشک در نظر گرفته شده است

کرتاسه: نهشته‌های کرتاسه زیرین منطقه، تناوبی از ماسه‌سنگ آواری، میکروکنگلوмера، مارن و میان‌لایه‌هایی از آهک نازک‌لایه است.

۲-۳-۴ سنوزوئیک

میوسن: مجموعه‌ای از نهشته‌های مارن گچ‌دار، ماسه‌سنگ و میکروکنگلوмера در طول گسل درونه حد فاصل روستای علی‌آباد تا غرب امامزاده سید مرتضی رخنمون دارد اما کامل‌ترین رخنمون در ناحیه علی‌آباد گسترش دارد.

ترشیری: محدوده کمان ماگمایی ترشیری در شمال گسل درونه، تنوعی از سنگ‌های آذرین، شامل داسیت، ریوداسیت، آندزیت، پیروکسن آندزیت، آندزیت‌بازالت، بازالت دگرسان‌شده، توف ریولیتی، توف‌های آندزیتی، لاتیت، تراکی‌آندزیت، لاپیلی توف و آگلوмера است.

۲-۴ دگرگونی

با توجه به جایگیری توده گرانیتوئیدی کاشمر در زمان پس از ائوسن (الیگوسن؟) آثار دگرگونی مجاورتی آن در سنگ‌های دربرگیرنده، در نقاط گوناگون در منطقه دیده می‌شود. همچنین دگرگونی متاسوماتیک و دگرسانی حاصل از محلول‌های هیدروترمال را در گستره سنگ‌های آذرین منطقه می‌توان مشاهده کرد. از جمله آثار این دگرگونی می‌توان به گسترش دگرسانی پروپیلیتیک در بیشتر مناطق اشاره کرد. در این ارتباط، فرآیند کلریتی، سریسیتی و کربناتی‌شدن متداول است. در بیشتر نمونه‌های سنگ آتشفشانی و نفوذی ترشیر کانی‌های ثانویه سریسیت، کلریت، کربنات اپیدوت، کانی‌های رسی دیده می‌شود. پدیده زئولیتی‌شدن^۱ نیز در برخی نواحی دیده می‌شود (باختر کلاته تیمور). پیشرفت دگرسانی در پاره‌ای مناطق، دگرسانی را تا حد آرژیلیک پیش برده که اندیس‌های کائولن را تولید کرده است.

^۱ Zeolitization

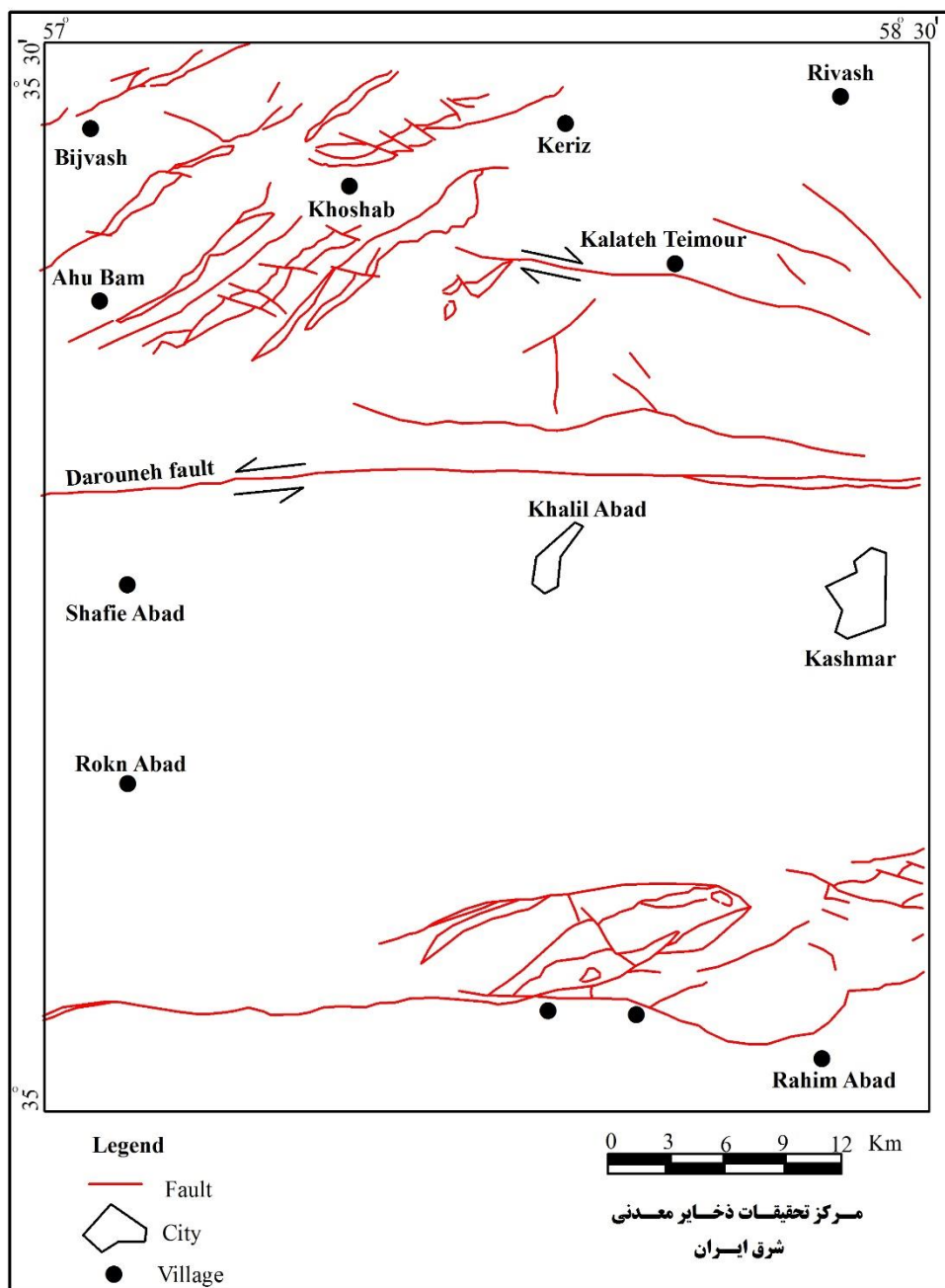
۲-۵ تکتونیک و زمین‌ساخت ناحیه‌ای

جایگیری بلوک‌های متفاوت در کنار یکدیگر، اختلافات پالئوژئوگرافی و ناهمسانی‌های آشکار در سن و نوع واحدهای سنگی، عملکرد گسل‌های امتداد لغز مخصوصاً "گسل بزرگ کویر (درونه) و تکنار (ریوش)، زمین‌شناسی ناحیه کاشمر را به پدیده‌ای نسبتاً پیچیده و جالب برای زمین‌شناسان تبدیل نموده است (نادری، ۱۳۷۷). واحدهای تکتونیکی کاشمر تحت عنوان بلوک لوت، زون تکنار و زیرپهنه سبزواری معرفی می‌شوند که مهمترین عامل در ساختار تکتونیکی این ناحیه وجود گسل درونه (گسل بزرگ کویر) و گسل تکنار (ریوش) می‌باشد (شکل ۲-۲). گسل درونه که نخستین بار توسط ولمن^۱ (۱۹۶۶) شناسایی و نام‌گذاری شد، یکی از طویل‌ترین گسل‌های امتداد لغز فلات ایران به شمار می‌رود که با طول تقریبی ۹۰۰ کیلومتر از پایانه غربی خود در انارک تا پایانه شرقی خود در رودخانه هیرمند (افغانستان) کشیده شده است. اشتوکلین (۱۹۷۳) این گسل را به نام گسل "کویر بزرگ" معرفی کرد. مهاجر اشجعی^۲ (۱۹۷۵) و چالنگو^۳ و همکاران (۱۹۷۳) بر مبنای روستای درونه این گسل را به دو بخش شرقی و غربی تقسیم کرده‌اند. تحقیقات بیشتر زمین‌ریخت‌شناسی بر روی گسل، تغییر رفتارهای ساختاری گسل درونه را مبنای تقسیم‌بندی قرار داده و بر آن اساس گسل به سه بخش تقسیم گردید. بخش شرقی گسل با روند NW-SE از هیرمند تا تربت حیدریه، بخش مرکزی با روند E-W از تربت حیدریه تا روستای درونه و بخش غربی با روند NE-SW از روستای درونه تا انارک. گسل تکنار که نام خود را از کانسار مس تکنار یا روستای ریوش گرفته است نیز امتداد لغز راستگرد بوده که در سمت غرب به سیستم گسل درونه می‌رسد و حالت گوه‌ای شکل پنجره فرسایشی تکنار شکل می‌گیرد و در حال حاضر غیرفعال است. برداشت‌های صحرائی در رابطه با نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ کاشمر دست کم مؤید راندگی نهشته‌های کرتاسه روی کنگلومرای PLQ^C در ناحیه بیجورد است.

¹ Wellman

² Mohajer-Ashjae

³ Tchalenko



شکل ۲-۲: نقشه پراکندگی گسل‌های کاشمر.

تقسیم‌بندی گستره نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشمر به چهار محدوده متفاوت، بطور کلی ناشی از تغییرات ساختاری-چینه‌ای بوده است. هرچند در روند پالئوژئیک، ایران مرکزی یک ویژگی پلاتفرمی به نسبت آرام را داشته است اما ناهمسانی در بلوک‌های مجاور، شرایط ناهمسان تکتونیکی را

نشان می‌دهد. محدود بودن نهشته‌های اردویسین سیلورین و گسترش نهشته‌های کربونیفر و پرمین در پنجره فرسایشی تکنار از یک سو و جای گرفتن نهشته‌های هم‌ارز شمشک روی نهشته‌های دونین (بهرام)، در محدوده جنوب نقشه، ناهمسانی‌های آشکار این دو محدوده را (در طی پالئوزوئیک و پس از آن) نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد.

به گفته دیگر سازوکار گسل‌های امتدادلغز و راندگی‌های پیامد آن، واحدهای با تاریخچه زمین-شناسی گوناگون را در کنار یکدیگر قرار داده است. عناصر ساختاری هریک از محدوده‌ها بطور کلی از تکتونیک حاکم بر کل آن محدوده پیروی می‌کند و به بضاعت خود عناصر ساختاری متفاوت را که مؤید درستی این بخش‌بندی‌های فرعی است، نشان می‌دهد. محدوده شمال باختری در اصل یک آنتی-کلینوریوم گسلیده با روند شمال خاوری- جنوب باختری و چین‌های با روند خاوری- باختری در سازند تکنار است که محور چین‌ها بیشترشان به سوی خاور کج شده است (مودر و والتر، ۱۹۸۳). در محدوده پالئوزوئیک- مزوزوئیک جنوب ورقه، راستای محور چین‌های اندازه‌گیری شده شمال خاوری- جنوب باختری است ولی با کج‌شدگی به سوی باختر. در این میان نقش گسل فعال درونه (چپ لغز) و گسل هم راستای آن در نواحی جنوبی در سیمای زمین‌ریخت‌شناسی جوان منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. برش مخروط افکنه‌ها با جابجایی نزدیک به چند کیلومتر، جابجایی آبراهه‌ها و خردشدگی شدید واحدهای نزدیک گسل درونه از جمله این شواهد است.

با توجه به شواهد صحرائی، از جمله دگرگونی همبری نهشته‌های کرتاسه زیرین در ناحیه کلاته- فولاد، از یک طرف و راندگی پهنه‌هایی از واحدهای کرتاسه زیرین روی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن از طرف دیگر، بالازدگی^۱ واحدهای کهن‌تر، پنجره فرسایشی تکنار می‌بایست در ترشیر میانی و پس از آن روی داده باشد.

^۱ Uplift

۲-۶ ماگماتیسزم

سیستم ریفتی حاکم در ژوراسیک - کرتاسه، خرد قاره ایران مرکزی را از البرز جدا نموده است. در ماستریشتین پایانی سیستم فشارشی قوی بر منطقه حاکم بوده است و منجر به چین‌خوردگی‌ها و بالآمدگی‌های زیادی شده است. پهنه تکنار که منطقه مورد مطالعه در آن واقع شده است، در ادامه این حرکات تکتونیکی به صورت یک بالآمدگی در منطقه ایجاد شده است که در قسمت جنوبی زیرپهنه سبزوار واقع شده است.

برپایه تحقیقات لیندبرگ و دیگران، (۱۹۸۳) در تریاس بالا - ژوراسیک بر اثر رخداد کیمبرین پیشین عمل ریفتینگ موجب جدایش خرد قاره خاور مرکز ایران از پهنه البرز و پیدایش اقیانوسی باریک شده که بر اثر رخداد لارامید در اواخر کرتاسه روند این حرکت وارونه شده است. در حالی که تشکیل ریفت ادامه می‌یافته، پوسته اقیانوسی نئوتیتیس با شیب به سوی شمال خاوری به زیر کوههای چین-خورده بینالود فرو رفته و اقیانوس مزبور بسته شده است. ولی شواهد فسیلی منطقه حاکی از جایگزینی افیولیت‌ها در زمان کرتاسه بالایی است. پس از عمل فرورانش پوسته اقیانوسی و تشکیل نهشته‌ها، این نهشته‌ها در زمان‌های بعدی فرسایش می‌یابند. آنچنان که در محل حوضه رسوبی مجاور، به شکل نهشته‌های فیلیش و مولاس راسب شده‌اند. در اثر حرکات رخدادهای تکتونیکی کرتاسه - پالئوسن و پس از آن تا زمان نئوژن گسل‌های رورانده در بخش رسوبی شکل می‌گیرند. در نتیجه بسته شدن اقیانوس نئوتیتیس و فرو رفتن پوسته اقیانوسی و ذوب آن ماگمایی به وجود آمده که با صعود به سوی بالا پیدایش سنگ‌های آندزیتی و توف‌های وابسته به آن را در بخش میانی منطقه موجب شده است.

۲-۷ زمین‌شناسی اقتصادی

منطقه مورد مطالعه از نظر تکتونیکی، منطقه‌ای فعال بوده است و دارای ویژگی‌های آتشفشانی جوان می‌باشد. آنومالی‌های ژئوفیزیکی این ناحیه اکثراً با کانی‌سازی سولفیدی در ارتباط بوده که نیاز به مطالعه فراوان دارند. آنومالی‌های فوق از روند کلی گسل درونه پیروی کرده و به موازات آن قرار دارند

و چنین استنباط شده که این سیستم گسله نقش مهمی در کانی‌سازی ناحیه کاشمر دارد. عقیده بر این است که اکثر کانی‌سازی‌های فلزی در ناحیه کاشمر روند شرقی - غربی داشته و هیدروترمال است و به طور کلی ناحیه کاشمر به عنوان یک ناحیه پلی‌متال خصوصا" با تکیه بر ارزش اقتصادی آنتیموان، جیوه، آرسنیک و طلا در نظر گرفته شده است. تکاپوهای شدید ماگمایی که بصورت سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی- داسیتی و سنگ‌های پیروکلاستیک (بطور عمده توف) و سنگ‌های گرانیتوئیدی رخنمون یافته از یک طرف و وجود درزه‌ها و گسل پرشمار از سوی دیگر، شرایطی مناسب برای عملکرد محلول‌های گرمایی و کانی‌سازی پدید آورده است. در همین مجموعه سنگ‌های آذرین ترشیر، ذخیره‌ای از آهن با کانی‌سازی بطور عمده منیتیت در جنوب روستای کریز وجود دارد. این محدوده از جمله پتانسیل‌های معدنی در حال اکتشاف منطقه است. پهنه‌های دگرسانی هیپوژن در مجموعه سنگی یاد شده، در پاره‌ای موارد شرایطی مناسب برای زایش انباشته‌های کانی‌های غیرفلزی فراهم کرده است که معدن کائولن مکی از آن جمله است. آهک کرتاسه و پرمین پتانسیل مناسبی در زمینه سنگ ساختمانی است که در نزدیکی پهنه‌های گسله از اهمیت آنها کاسته می‌شود. با وجود این شماری معدن به منظور استخراج سنگ ساختمانی و پودر سنگ در منطقه فعال است. واحد افیولیتی پریدوتیت‌ها و هارزبوژیت سرپانتینی شده بستری مناسب برای زایش کرومیت است. در حاشیه گسل ریوش در شمال روستای خرو یک اندیس کرومیت وجود دارد. اندیس جیوه شوراب در پایانی‌ترین نقطه جنوب باختری ورقه از دیگر پتانسیل‌های معدنی ورقه کاشمر است.

موقعیت تقریبی پتانسیل‌های معدنی ورقه کاشمر به طور خلاصه در جداول زیر آورده شده است.

جدول ۱-۲: معادن فعال فلزی ورقه کاشمر.

| نوع اندیس | موقعیت تقریبی |
|------------------|--|
| سنگ آهن سیاه کوه | ۳۰ کیلومتری شمال غرب کاشمر |
| آهن ده زمان | در مرز جنوبی ورقه کاشمر، جنوب غرب شهرستان بردسکن |

جدول ۲-۲: معادن فعال غیر فلزی در ورقه کاشمر.

| نوع اندیس | موقعیت تقریبی | مختصات | |
|---------------------|-----------------------------------|-----------|----------|
| | | عرض شمالی | طول شرقی |
| خاک صنعتی خوشاب | شمال غرب کاشمر (غرب روستای خوشاب) | - | - |
| سنگ تزئینی سیاه کوه | ۴۳ کیلومتری شمال غرب کاشمر | - | - |
| گچ | جنوب شرق نقشه | ۳۵° ۹' | ۵۸° ۲۷' |
| گچ | مرکز به سمت جنوب شرق | ۳۵° ۹' | ۵۸° ۲۲' |
| گچ | شمال نقشه | ۳۵° ۲۳' | ۵۸° ۱۵' |
| مرمر | غرب به سمت شمال نقشه | ۳۵° ۲۲' | ۵۸° ۳' |
| سنگ لاشه | شمال غرب نقشه | ۳۵° ۲۷' | ۵۸° ۵' |
| خاک صنعتی | غرب نقشه | ۳۵° ۱۶' | ۵۸° ۲۹' |
| خاک صنعتی | غرب نقشه | ۳۵° ۲۸' | ۵۸° ۲۹' |

جدول ۲-۳: اندیس‌های فلزی ورقه کاشمر.

| مختصات | | موقعیت تقریبی | نوع اندیس |
|-----------|----------|---|-----------------------|
| عرض شمالی | طول شرقی | | |
| | | جنوب غرب کاشمر (یک کیلومتری شمال شوراب) | جیوه شوراب |
| | | شمال غرب کاشمر | Ag-Cu- Au کلاته تیمور |
| | | شمال غرب کاشمر (منطقه خور و زیر وقت) | منگنز خور |
| ۳۵° ۲۹' | ۵۸° ۲۳' | شمال شرق نقشه | آنتیموان |
| ۳۵° ۲۸' | ۵۸° ۲۵' | شمال شرق نقشه | آنتیموان |
| ۳۵° ۲۴' | ۵۸° ۲۶' | شمال شرق نقشه | طلا و ایلمنیت |
| ۳۵° ۲۷' | ۵۸° ۱۵' | شمال نقشه | مس |
| ۳۵° ۲۷' | ۵۸° ۲۹' | شمال شرق نقشه | مس |
| ۳۵° ۲۴' | ۵۸° ۲۱' | شمال به سمت شمال شرق نقشه | نقره |

جدول ۲-۴: اندیس‌های غیر فلزی ورقه کاشمر.

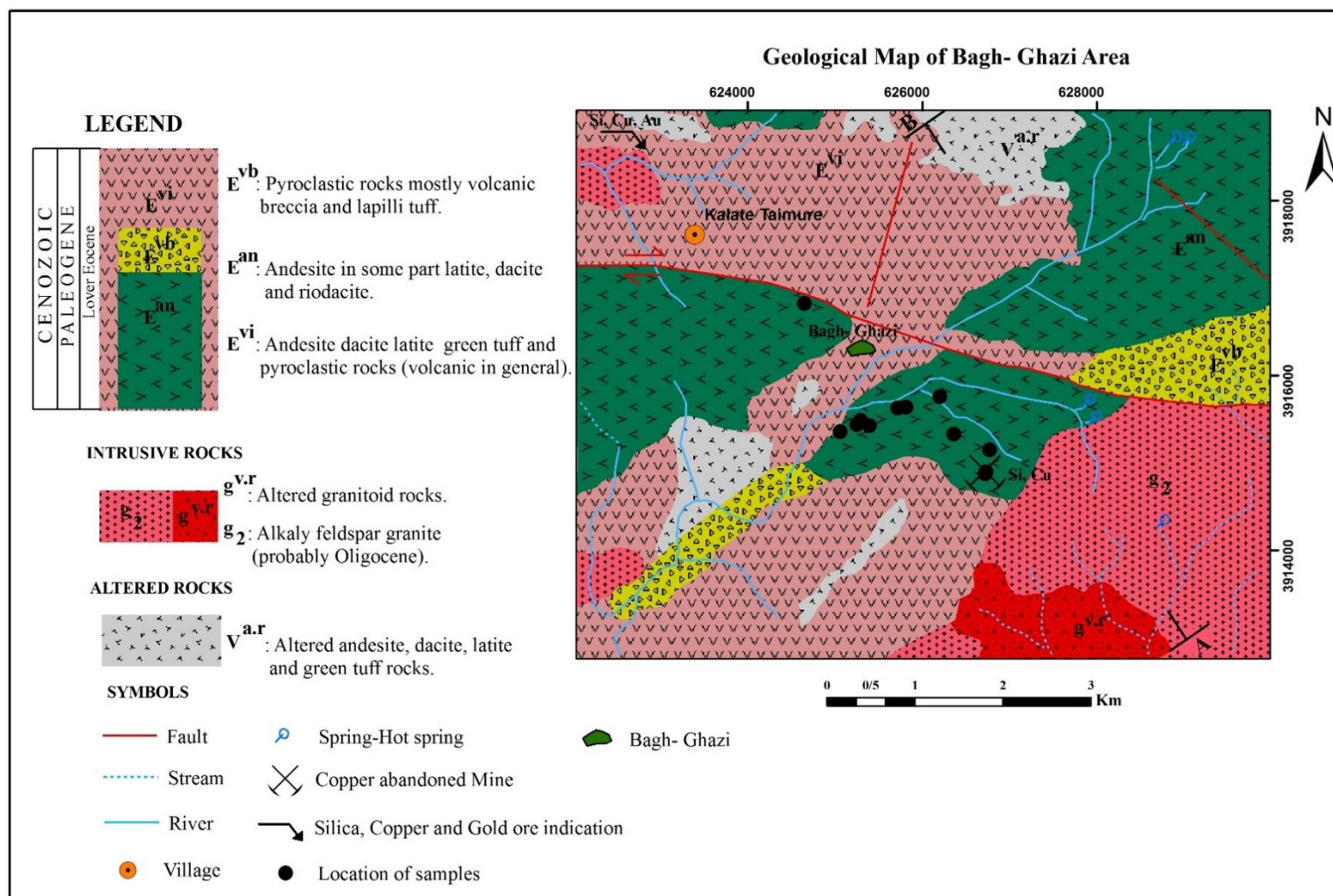
| مختصات | | موقعیت تقریبی | نوع اندیس |
|-----------|----------|---|-----------|
| عرض شمالی | طول شرقی | | |
| - | - | ناحیه وسیع در شرق پنجره فرسایشی تکنار و اطراف کلاته تیمور | کائولن |
| - | - | جنوب شرق نقشه (۱۲ کیلومتری روستای اسحاق-آباد) | فسفات |

ادامه جدول ۲-۴: اندیس‌های غیر فلزی ورقه کاشمر

| مختصات | | موقعیت تقریبی | نوع اندیس |
|-----------|----------|-------------------------|-----------------|
| عرض شمالی | طول شرقی | | |
| - | - | | زغال سنگ |
| ۳۵° ۲۲' | ۵۸° ۹' | شمال غرب نقشه | بنتونیت |
| ۳۵° ۵' | ۵۸° ۲۸' | جنوب شرق نقشه | بنتونیت |
| ۳۵° ۲۵' | ۵۸° ۸' | شمال غرب نقشه | بنتونیت |
| ۳۵° ۳' | ۵۸° ۲۷' | جنوب شرق نقشه | بنتونیت |
| ۳۵° ۸' | ۵۸° ۳' | جنوب شرق نقشه | پرلیت |
| ۳۵° ۲۴' | ۵۸° ۵' | شمال غرب نقشه | خاک رس آتشیخوار |
| ۳۵° ۲۲' | ۵۸° ۴' | غرب متمایل به شمال نقشه | خاک رس آتش خوار |
| ۳۵°- | ۵۸° ۳۰' | جنوب غرب نقشه | فلوریت |

۲-۸ سنگ‌شناسی محدوده مورد مطالعه

در محدوده مورد مطالعه ترشیر با فعالیت‌های آتشفشانی و با تناوب گدازه‌های آندزیتی و توفی آغاز شده است. این فعالیت‌ها احتمالاً "مربوط به جنبش لارامید می‌باشند ولی زمان دقیق آن مشخص نیست و تاکنون مطالعات سن‌سنجی دقیقی روی واحدهای آذرین منطقه صورت نگرفته است (همام، ۱۳۷۱). با توجه به نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه که برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشمر (شکل ۲-۳) است واحدهای رخنمون‌یافته در منطقه که در ارتباط نزدیک با کانه‌زایی مس - طلا هستند، در دو گروه سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی قرار می‌گیرند و به طور جداگانه جهت مطالعات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت مورد بررسی قرار می‌گیرند.



شکل ۲-۳: نقشه زمین‌شناسی محدوده باغ قاضی که از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشمر (طاهری و همکاران، ۱۳۸۰) گرفته شده است.

۲-۸-۱ سنگ‌های آتشفشانی

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن زیرین گسترده‌ترین واحدهای سنگ‌شناختی در منطقه هستند، که در دو گروه واحدهای گدازه‌ای و آذرآواری ائوسن زیرین مورد بررسی قرار گرفتند که شامل گدازه‌های آندزیتی، داسیتی، لاتیتی و ریوداسیتی، توف‌های سبز با ترکیب آندزیت، داسیت، لاتیت و ریولیت، لاپیلی توف و توف برشی می‌باشد. سنگ‌های آذرین نفوذی به داخل این مجموعه آتشفشانی نفوذ کرده‌اند از این رو سیستم حرارتی و سیالات گرمایی ناشی از آن، سبب دگرسانی‌های شدید سیلیسی، کلریتی، اپیدوتی، آرژیلیکی و سرسیتی در این مجموعه آتشفشانی شده است. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن زیرین (بوپژه آندزیت و داسیت) میزبان رگه و رگچه‌های سیلیسی و برش‌های گرمایی مس - طلا دار می‌باشند. در زیر به توصیف هر یک از واحدهای آتشفشانی رخنمون یافته در منطقه پرداخته می‌شود.

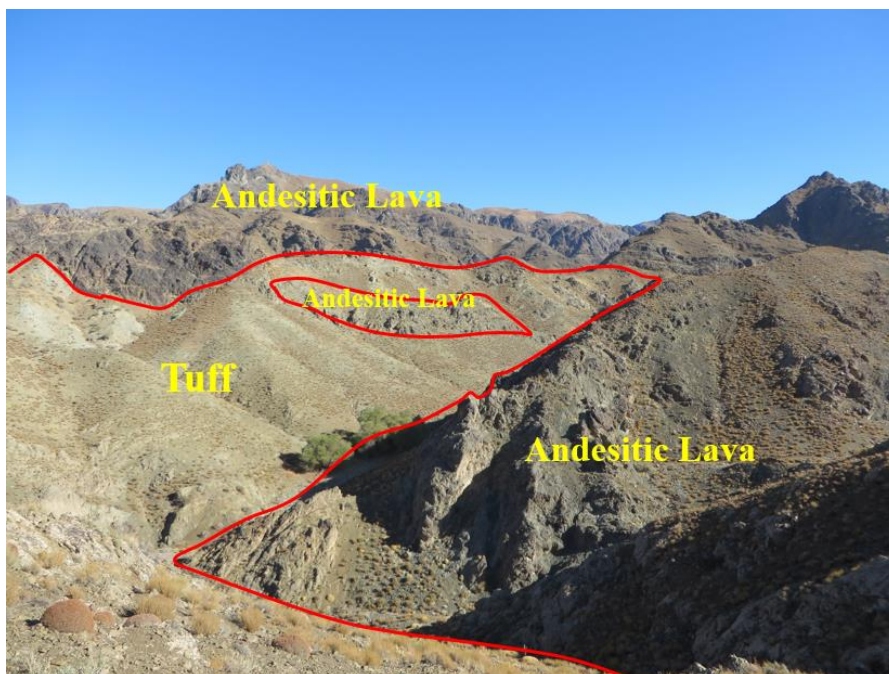
۲-۸-۱-۱ واحد گدازه‌ای

گدازه‌های منطقه مورد مطالعه از نظر ترکیب شیمیایی در طیف حدواسط تا اسیدی (شامل آندزیت، داسیت، لاتیت و ریوداسیت) قرار می‌گیرند. در این قسمت به شرح هر یک از واحدهای گدازه‌ای رخنمون یافته در منطقه پرداخته می‌شود.

واحد آندزیت: آندزیت‌ها، گروه مهمی از سنگ‌های آذرین هستند که معادل بیرونی دیوریت‌ها می‌باشند و از نظر ترکیب شیمیایی جزء سنگ‌های حدواسط می‌باشند. این واحدها، فراوانترین و متنوع‌ترین سنگ‌های ولکانیکی را در جزایر قوسی و حاشیه‌های فعال قاره‌ای تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها عموماً از پلاژیوکلازها تشکیل شده‌اند و مانند بسیاری از سنگ‌های آتشفشانی به صورت گدازه‌های آتشفشانی و نیز به شکل سیل و دایک دیده می‌شوند. بافت غالب آندزیت‌ها پورفیری با خمیره ریز بلور است. که فنوکریست‌های آن عمدتاً "پلاژیوکلاز، اورتوپیروکسن، کلینوپیروکسن، آمفیبول و در برخی موارد بیوتیت است که در زمینه میکرولیتی قرار گرفته‌اند. معمولاً در آندزیت‌ها حفره‌هایی دیده می‌شود که به وسیله کانی‌های مختلف، بخصوص کلسیت، کلریت، کوارتز، اوپال، کریستوبالیت و فلدسپات‌های

سدیک پر شده‌اند.

بر پایه مشاهدات صحرایی آندزیت‌ها در محدوده مورد مطالعه بصورت متناوب با توف‌ها مشاهده شدند که از گسترش زیادی بر خوردار می‌باشند (شکل ۲-۴). این سنگ‌ها در نمونه دستی دارای رنگ سبز می‌باشند. بر پایه مطالعات میکروسکوپی کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز، و به ندرت آمفیبول و پیروکسن است. بلورهای پلاژیوکلاز بیش از ۹۰ درصد حجم سنگ را به خود اختصاص داده است. کوارتز، اورتوکلاز، سربیسیت و کلسیت به عنوان کانی فرعی در مقاطع مشاهده شد. پلاژیوکلازها از داخل و بعضاً از اطراف تبدیل به سربیسیت شده‌اند. درصد کانی‌های فرومنیزین در مقاطع خیلی کم است (کمتر از ۱۰ درصد). یک سری حفرات و شکستگی‌هایی در مقاطع مشاهده شد که توسط کلسیت و کربنات پر شده‌اند (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۴: تناوب توف و آندزیت در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شمال).

بافت‌های موجود در نمونه شامل:

پورفیریک: در سنگ‌های با بافت پورفیری بلورهای درشت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار یک یا چند کانی که آن‌ها را بلورهای درشت اولیه یا فنوکریست می‌نامیم در یک زمینه دانه ریز یا شیشه‌ای به نام خمیره قرار گرفته‌اند. اختلاف ناگهانی بین اندازه دانه‌های بلورهای درشت اولیه و خمیره سنگ، نتیجه تبلور آن‌ها در دو مرحله می‌باشد که شرایط تبلور ماگما از یک مرحله به مرحله دیگر در نتیجه نفوذ یا خروج ماگما یا شرایط دیگر تغییر یافته است. عموماً "بلورهای درشت اولیه در عمق تشکیل می‌شوند و معرف مراحل ابتدایی تبلور می‌باشند در صورتی که بلورهای ریز خمیره یا حتی قسمت‌های شیشه‌ای آن ممکن است در نتیجه انتقال ناگهانی این مخلوط بلور و سیال به قسمت‌های بالایی پوسته یا حتی جریان یافتن آن در سطح زمین باشد. این بافت اکثراً" در سنگ‌های آتشفشانی، دایک‌ها و سیل‌ها یا توده‌های نفوذی کوچک دیده می‌شود. در نمونه مورد مطالعه دانه‌های درشتی از پلاژیوکلاز، و کانی‌های فرومنیزین (فنوکریست) را در زمینه‌ای از بلورهای ریز پلاژیوکلاز داریم (شکل ۲-۵-الف).

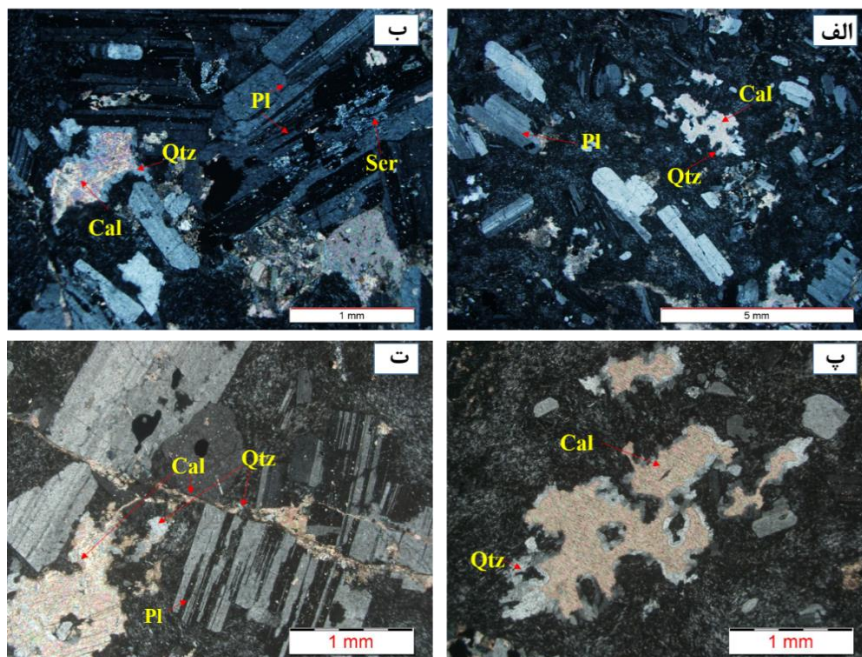
گلوپورفیریتیک: در سنگی با بافت پورفیری اگر بلورهای درشت، به صورت یک مجموعه خوشه‌ای دور هم جمع شوند، بافت را گلوپورفیریتیک می‌نامند. در نمونه مورد مطالعه این بافت با تجمعی از کانی‌های پلاژیوکلاز قابل مشاهده است (شکل ۲-۵ الف).

اینترگرانولار: در این بافت بلورهای پلاژیوکلاز به صورت مستطیل‌هایی در جهات مختلف قرار می‌گیرند و فضای ایجاد شده در بین آن‌ها توسط کانی‌های دیگر پر می‌شود. در نمونه مورد مطالعه بلورهای پلاژیوکلاز به صورت هفت و هشت قرار گرفته‌اند و فضای مثلثی بین بلورهای پلاژیوکلازها با کانی‌های دیگر پر شده است که نمایانگر این بافت می‌باشد.

بافت بادامکی: در صورتی که حفرات از پیش موجود در سنگ به صورت بخشی یا کامل به وسیله کانی‌های مراحل تأخیری فاز ماگمایی یا کانی‌های بعد از فاز ماگمایی نظیر کلسیت، کوارتز،

کلسدون، زئولیت و غیره پر شده باشند بافت حاصله بادامکی و به هر کدام از حفرات پر شده بادامک می‌گویند. این بافت در نمونه‌های مورد مطالعه به صورت حفرات پر شده توسط بلورهای کلسیت و کوارتز قابل مشاهده است (شکل ۲-۵ الف، ب و پ).

بافت ساب‌افیتیک: چنانچه بخشی از یک کانی به صورت موضعی بخشی از یک کانی دیگر را در بر بگیرد بافتی ایجاد می‌کند که آن را ساب‌افیتیک می‌نامیم. در نمونه مورد نظر این بافت قابل مشاهده است بدین صورت که بخشی از کانی پلاژیوکلاز به صورت موضعی بلور پلاژیوکلاز دیگر را در بر گرفته است (۲-۵ الف).

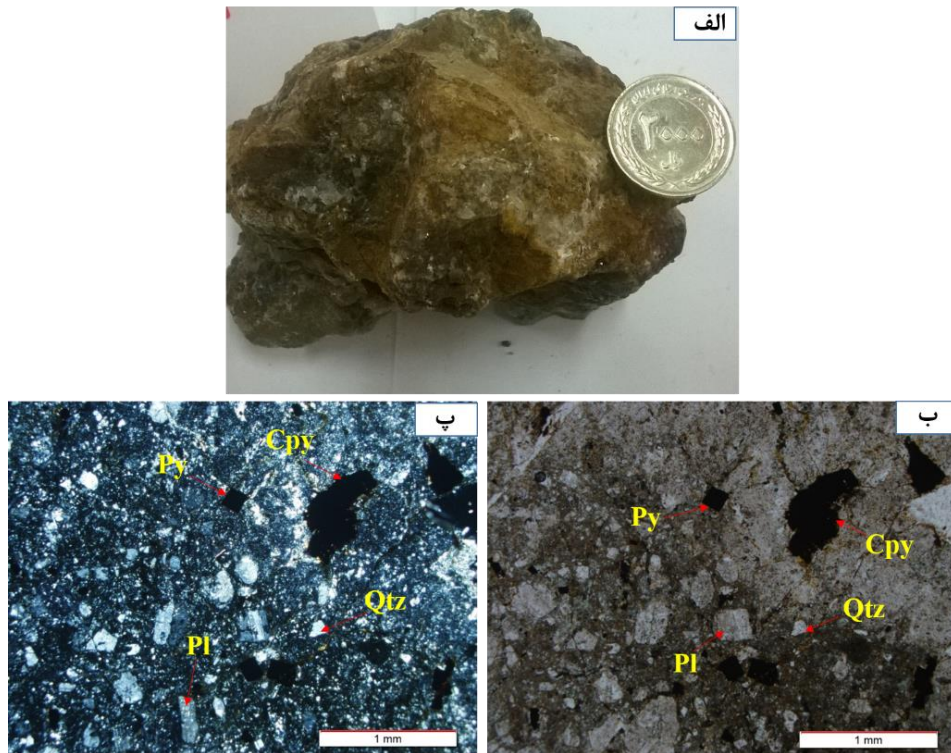


شکل ۲-۵: تصاویر میکروسکوپی از نمونه آندزیت در منطقه؛ الف) بافت پورفیری، گلوپورفیری و بادامکی، ب) پلاژیوکلاز سریسیتی شده، پ) حفرات پر شده با کلسیت و کوارتز (بافت بادامکی)، ت) شکستگی‌ها و حفرات پر شده با کلسیت و کوارتز؛ Qtz: کوارتز، Cal: کلسیت، Pl: پلاژیوکلاز، Ser: سریسیت.

۲-۸-۱-۲ سنگ‌های پیروکلاستیک

مواد آذرآواری، در نتیجه فعالیت‌های آتشفشانی همراه با انفجار ماگمای گازدار، به وجود می‌آیند و در خشکی‌ها، دریا و یا دریاچه رسوب می‌کنند. در منطقه مورد مطالعه حجم قابل توجهی از واحدها به این گروه از سنگ‌ها اختصاص یافته است که عمدتاً "شامل توف با ترکیب داسیتی، ریولیتی، آندزیتی، توف شیلی و توف برشی می‌باشند. توف‌ها در منطقه بیشتر به صورت توده‌ای و به رنگ سبز و گاه در سطح قهوه‌ای‌رنگ قابل مشاهده هستند که شدیداً "دگرسان شده‌اند. به دلیل دگرسانی شدید کانی‌ها بافت اولیه زیاد قابل رؤیت نیست. با مطالعه نمونه دستی و مقاطع نازک تهیه شده به شرح خصوصیات هریک در زیر می‌پردازیم.

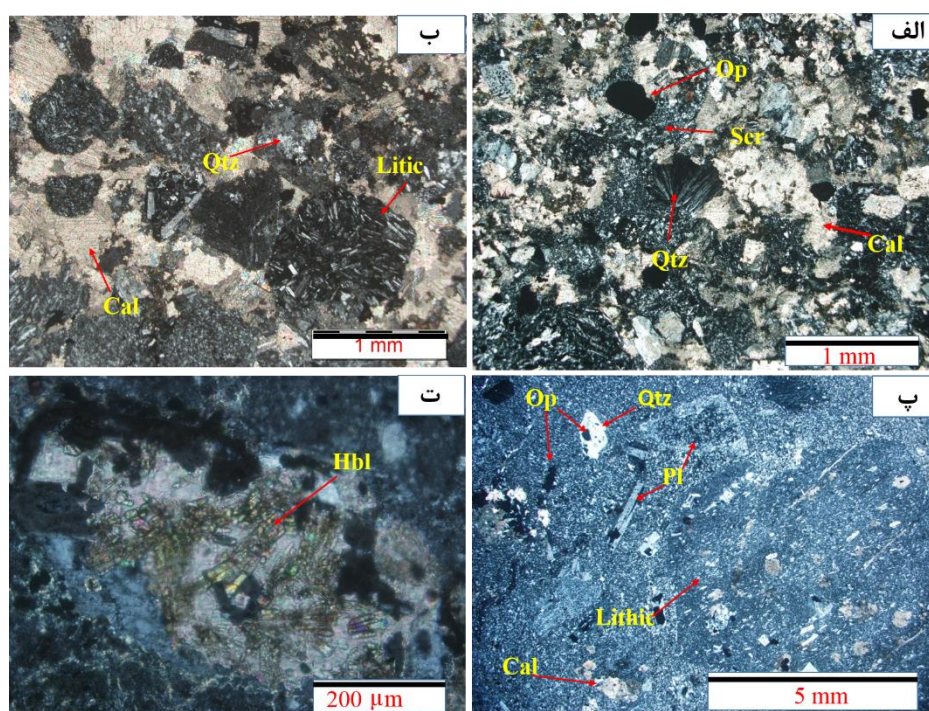
توف برش: این سنگ‌ها در نمونه دستی حاوی کریستال‌های کوارتز، گویتیت و لیمونیت می‌باشند، این کریستال‌ها فضای بین قطعات ولکانیکی را پر کرده‌اند. در مقاطع میکروسکوپی به میزان فراوان حاوی پلاژیوکلاز می‌باشند. کانی‌های اپک شامل پیریت و اکسیدهای آهن بین قطعات برش پراکنده شده‌اند. کلسیت به صورت ثانویه در نمونه حضور دارد. برش توف‌ها عمدتاً "دارای ترکیب داسیتی می‌باشند (شکل ۲-۶).



شکل ۲-۶: نمونه دستی از توف برش (الف) و مقطع میکروسکوپی توف برش، (ب) در نور PPL و (پ) در نور XPL، کانی‌های اپک عمدتاً "پیریت و کالکوپیریت بین قطعات برش پراکنده شده‌اند؛ Py: پیریت، Cpx: کالکوپیریت، Qtz: کوارتز، Pl: پلاژیوکلاز.

لیتیک توف و لیتیک کریستال توف: لیتیک توف‌ها در نمونه دستی به رنگ سیاه متمایل به ارغوانی با دانه‌بندی متوسط تا ریزدانه دیده می‌شوند. در مقاطع میکروسکوپی به میزان فراوان حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز و کلسیت می‌باشند که کلسیت‌ها اکثراً "ثانویه و حاصل دگرسانی پلاژیوکلاز می‌باشند. قطعه سنگ به میزان فراوان در سنگ وجود دارد. پلاژیوکلازها از بخش درونی تبدیل به سریسیت شده‌اند. اپیدوتی نیز در مرکز پلاژیوکلاز مشاهده می‌شود. سیال دمای پایینی داشته است چون روی فاز اپک تأثیر زیادی نگذاشته است. این سنگ‌ها از نظر ترکیب شیمیایی دارای ترکیب ریوداسیت تا داسیت می‌باشند (شکل ۲-۷ الف و ب).

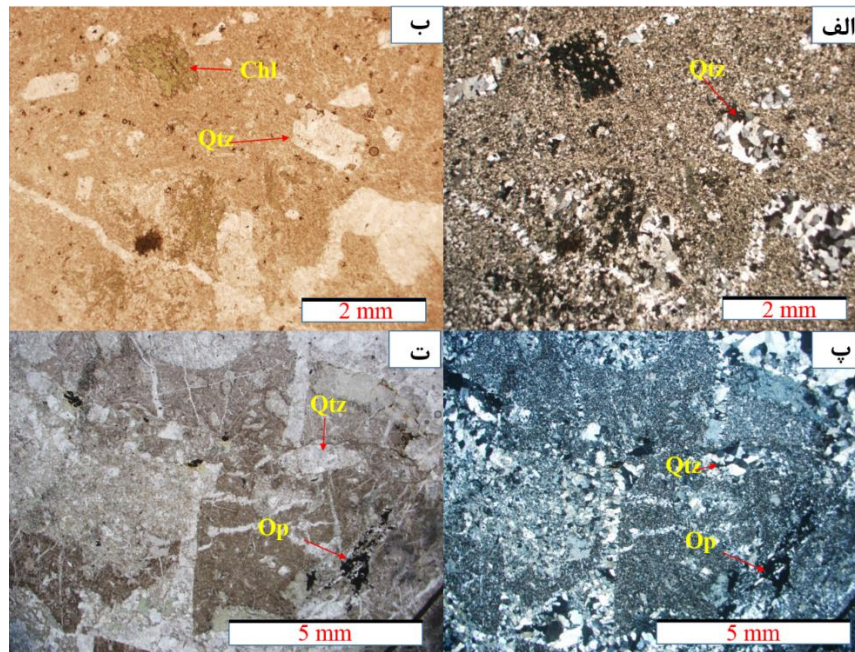
لیتیک کریستال توف‌ها در نمونه دستی دارای رنگ سیاه می‌باشند. در مقاطع میکروسکوپی قطعه-سنگ‌ها در یک زمینه میکرولیتی قرار گرفته‌اند. فنوکریست‌ها و میکرولیت‌ها در سنگ دارای جهت‌گیری می‌باشند که بافت میکرولیتی را ایجاد کرده‌اند (شکل ۲-۷ پ). این سنگ‌ها از نظر ترکیب شیمیایی دارای ترکیب حدواسط می‌باشند.



شکل ۲-۷: تصاویر میکروسکوپی؛ الف و ب) لیتیک توف، پلاژیوکلازها شدیداً به کلسیت و سریسیت دگرسان شده‌اند، پ) لیتیک کریستال توف با بافت میکرولیتی، ت) حضور هورنبلند در لیتیک کریستال توف؛ Qtz: کوارتز، Cal: کلسیت، Ser: سریسیت، Pl: پلاژیوکلاز، Lithic: قطعه سنگ، Hbl: هورنبلند، Op: کانی‌های اپک.

کریستال توف: کلریتی شدن شدید در این سنگ‌ها باعث ایجاد رنگ سبز در سنگ شده است. سنگ ریزدانه بوده و دارای بافت میکرولیتی می‌باشد. یک سری شکستگی‌ها و حفراتی در سنگ دیده می‌شود که توسط سیلیس پر شده‌اند (شکل ۲-۸ الف و پ) این نشان می‌دهد که سیلیس ناشی از هجوم

سیال است و بعداً به سنگ اضافه شده است و کانی‌سازی را همراهی می‌کنند. سنگ دچار دگرسانی شدید کلریتی و سیلیسی شده است، میزان کلریت در متن سنگ زیاد است که ناشی از تبدیل کانی‌های اولیه سنگ می‌باشند. به میزان کم، پدیده دویترفیکاسیون در سنگ مشاهده می‌شود. این سنگ‌ها از نظر ترکیب شیمیایی دارای ترکیب داسیت می‌باشند (شکل ۲-۸).



شکل ۲-۸: تصاویر میکروسکوپی از کریستال توف: الف و پ) شکستگی‌ها و حفرات در سنگ توسط سیلیس پر شده‌اند (نور PPL) و ب و ت) شکستگی‌ها بیشتر توسط سیلیس پر شده و کلریت حاصل دگرسانی کانی‌های فرومنیزین می‌باشد (نور XPL)؛ Qtz: کوارتز، Chl: کلریت، Op: کانی‌های اپک.

توف شیلی: این سنگ‌ها در سطح قهوه‌ای‌رنگ می‌باشند ولی سطح تازه سنگ سبزرنگ است که ناشی از دگرسانی شدید کلریتی می‌باشد. متن سنگ بسیار ریزدانه است به گونه‌ای که کانی‌های اولیه آن قابل تشخیص نیست. این سنگ‌ها دچار دگرسانی شدید کلریتی، سرسیتی و سیلیسی شدن خفیف شده‌اند.

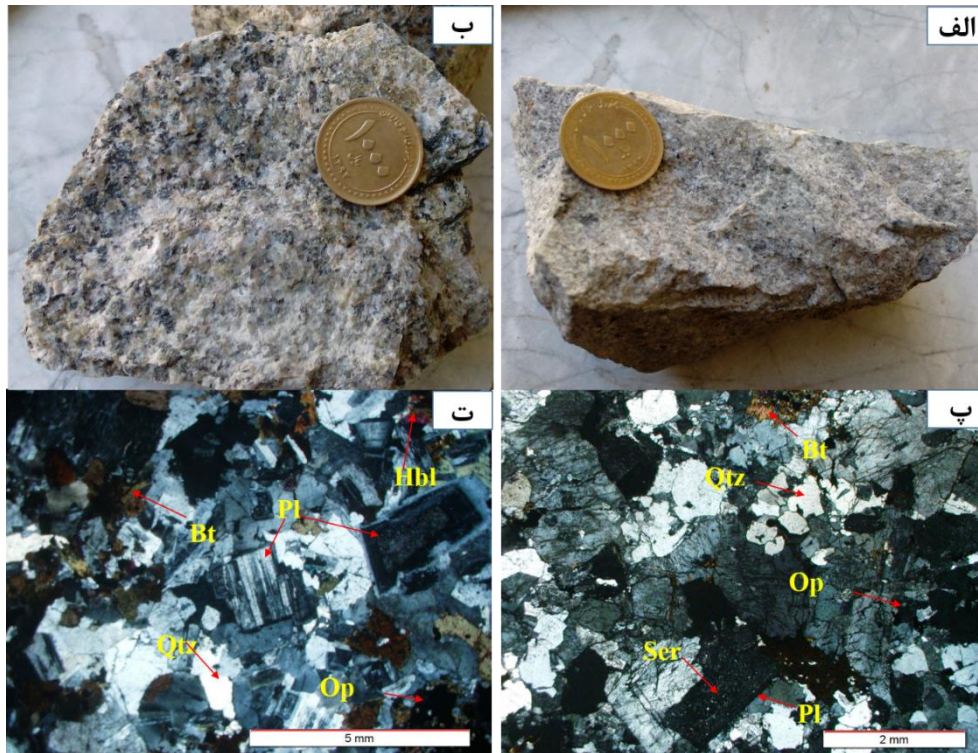
۲-۸-۲ توده‌های نفوذی

توده‌های نفوذی منطقه شامل گرانیت - گرانودیوریت به احتمال در زمان الیگوسن به درون مجموعه‌های آتشفشانی ائوسن زیرین تزریق شده است (شکل ۲-۳) و به نظر می‌رسد سیالات گرمابی ناشی از نفوذ این توده‌ها سبب دگرسانی‌های گرمابی گسترده شده‌اند. این توده‌ها در بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه رخنمون داشتند که در زیر به توصیف هر یک می‌پردازیم.

گرانیت: گرانیت‌ها جزء سنگ‌های آذرین درونی هستند و از نظر ترکیب جزء سنگ‌های اسیدی می‌باشند. این سنگ‌ها در بخش جنوبی منطقه رخنمون دارند. این سنگ‌ها از لحاظ بافت دارای بافت دانه‌ای درشت بلور و پوئی‌کلیتیک می‌باشند. کانی‌های اصلی سنگ شامل کوارتز، آلکالی‌فلدسپار و پلاژیوکلاز می‌باشد. هورنبلند، بیوتیت و مسکوویت به عنوان کانی فرعی در سنگ حضور دارند. دگرسانی خفیفی در امتداد رخ کانی‌ها در این سنگ‌ها حاکم بوده که کانی‌های دگرسانی شامل سریسیت و اپیدوت می‌باشند که در مقاطع نازک مشاهده شدند (شکل ۲-۹-پ).

یک سری دایک‌های کوچک کوارتز - فلدسپاتی به عنوان فاز تأخیری گرانیت‌ها را قطع کرده‌اند که بسیار دانه‌ریز بوده و بیش از ۷۰ درصد کوارتز دارند. این دایک‌ها دارای بافت دانه‌ای ریزبلور می‌باشند.

گرانودیوریت: گرانودیوریت‌ها سنگ‌های آذرین درونی اسیدی تمام بلورین دانه درشت تا دانه متوسط هستند. این سنگ‌ها همراه با گرانودیوریت‌ها در جنوب منطقه مورد مطالعه رخنمون داشتند. کانی‌های اصلی سنگ شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، اورتوکلاز، بیوتیت و هورنبلند می‌باشند. پلاژیوکلازها دارای ماکل پلی‌سنتتیک و کارلسباد می‌باشند و در برخی موارد حالت منطقه‌بندی نشان می‌دهند. سنگ دگرسانی خفیفی را متحمل شده است که کلریت، سریسیت کانی‌های حاصل از دگرسانی می‌باشند. کانی‌های اپک نیز در مقاطع نازک مشاهده شد که به نظر می‌رسد حاصل دگرسانی هورنبلند باشند. این سنگ‌ها دارای بافت دانه‌ای درشت بلور تا متوسط دانه می‌باشند (شکل ۲-۹-ت).



شکل ۲-۹: الف) تصویر نمونه دستی از گرانیت، ب) تصویر نمونه دستی از گرانودیوریت، پ) تصویر میکروسکوپی از گرانیت با بافت دانه‌ای درشت‌بلور، پلاژیوکلازها عموماً "به سریسیت دگرسان شده‌اند و ت) تصویر میکروسکوپی از گرانودیوریت با بافت دانه‌ای، ماکل کارلسباد و پلی‌سنتتیک در پلاژیوکلازها قابل مشاهده است؛ Qtz: کوارتز، Hbl: هورنبلند، Bt: بیوتیت، Pl: پلاژیوکلاز، Ser: سریسیت، Op: کانی‌های اپک.

فصل سوم

کافی زایی و

دگرسازی

۳-۱ مقدمه

میزان فراوانی عناصر در قسمت‌های مختلف زمین متفاوت است و تابع شعاع یونی، بار یونی، وزن مخصوص و دیگر خواص فیزیکی و شیمیایی عناصر می‌باشد. میزان فراوانی پوسته‌ای برای عنصر مس ۷۰ گرم در تن و برای عنصر طلا ۵ میلی‌گرم در تن می‌باشد. در شرایط عادی، عناصر فاقد ارزش اقتصادی‌اند و باید با ضریبی افزایش یابند تا ارزش اقتصادی پیدا کنند. حداقل عیار قابل بهره‌برداری برای عنصر مس ۱ درصد و برای عنصر طلا ۵-۱۰ گرم در تن می‌باشد. عوامل موثر بر افزایش میزان متوسط عناصر شامل ماگماتیزم، دگرگونی و محلول‌های گرمابی (عوامل درونی) و کلیه تغییراتی که بوسیله آب کره، هوا کره و زیست کره انجام می‌گیرد (عوامل بیرونی) می‌باشد. در تشکیل کانسارهای گرمابی منبع حرارتی، ساختمان‌های اولیه و ثانویه، مناسب بودن ترکیب شیمیایی محلول، کافی بودن آبهای سطحی و زیرزمینی و مناسب بودن سنگ‌های منطقه نقش اساسی دارند. در محدوده باغ‌قازی برای شکل‌گیری کانی‌سازی مس-طلا عوامل مختلفی از قبیل جنس سنگ‌های میزبان، ترکیب شیمیایی و عمق جایگیری توده‌های نفوذی، سیالات ماگمایی و گرمابی، ساختارهای تکتونیکی و غیره نقش داشته‌اند که بررسی نقش هر یک از عوامل در رخداد کانی‌سازی مس-طلا و دگرسانی‌های مرتبط در این بخش از تحقیق بررسی خواهد شد.

۳-۲ رخداد کانه‌زایی در اندیس معدنی باغ‌قازی

به طور کلی ناحیه کاشمر به عنوان یک ناحیه پلی‌متال مخصوصاً با تکیه بر ارزش اقتصادی آنتیموان، جیوه، آرسنیک و طلا در نظر گرفته شده است. آنومالی‌های طلا مس، نقره، مولیبدن، بیسموت در محدوده باغ‌قازی در نتیجه اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در چهارگوش ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشمر معرفی گردید (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۴). در مرحله کنترل صحرایی آنومالی‌های ژئوشیمیایی ناحیه‌ای آثار معدن‌کاری‌های قدیمی به صورت گودال و ترانشه در مناطق چشمه‌نقره،

باغ‌قازی و سرتخت معدن مشاهده شده است، که به نظر می‌رسد جهت استحصال مس، طلا و نقره بوده است (اعلمی نیا و همکاران، ۱۳۸۸). در منطقه مورد مطالعه تکاپوهای شدید ماگمادی بصورت سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی- داسیتی، سنگ‌های پیروکلاستیک (بطور عمدۀ توف) و سنگ‌های گرانیتوئیدی رخنمون‌یافته از یک طرف و وجود درزه‌ها و گسل‌های پرشمار از سوی دیگر، شرایطی مناسب برای عملکرد محلول‌های گرمابی و کانی‌سازی پدید آورده است.

۳-۳ ویژگی‌های کانه‌زایی مس - طلا در توالی آتشفشانی - رسوبی ائوسن

زیرین در محدوده باغ‌قازی

سنگ‌های فراگیر ماده معدنی در اندیس معدنی باغ‌قازی سنگ‌های آتشفشانی شامل مجموعه‌ای از گدازه‌های اغلب آندزیتی می‌باشند که بصورت متناوب همراه با سنگ‌های آذرآواری (توف‌های ریولیتی تا داسیتی) که بخش عمدۀ آن از محدوده مورد مطالعه را پوشش می‌دهند، قرار گرفته‌اند. رگه‌های سیلیسی مس- طلا دار با برونزد منقطع با ضخامت ماکزیمم ۳۰ سانتی‌متر و طول رخنمون حدود ۲۰ متر در سنگ میزبان آتشفشانی (اغلب گدازه‌های آندزیتی و توف‌های ریولیتی تا داسیتی) ائوسن زیرین تشکیل شده است و کانی‌زایی توسط پهنه گسلی کنترل شده و دارای راستای N70E با شیب 55° SE می‌باشد. سیلیس‌های نواری (کوارتز و کلسدونی) از ویژگی‌های شاخص کانی‌سازی طلا- نقره اپی ترمال سولفید پایین می باشد (کارت^{۱۹}، ۲۰۰۲)، این نوع سیلیس‌ها در کانی‌سازی باغ‌قازی به صورت نوارهای ظریف پوسته‌ای^{۲۰} و کلسدونی نیز نمایان است (شکل ۳). کانی‌سازی‌ها در امتداد ساختارهای تکتونیک و در محل‌هایی که سنگ‌های میزبان دگرسانی شدیدی را متحمل شده‌اند، رخ داده است. با توجه به مطالعات صحرائی و آزمایشگاهی ساختار کانی‌سازی از نوع پرکننده فضای شکستگی‌ها و قطعات برش است و به شکل‌های رگه، رگچه، مناطق سیلیسی شده و برش‌های گرمابی

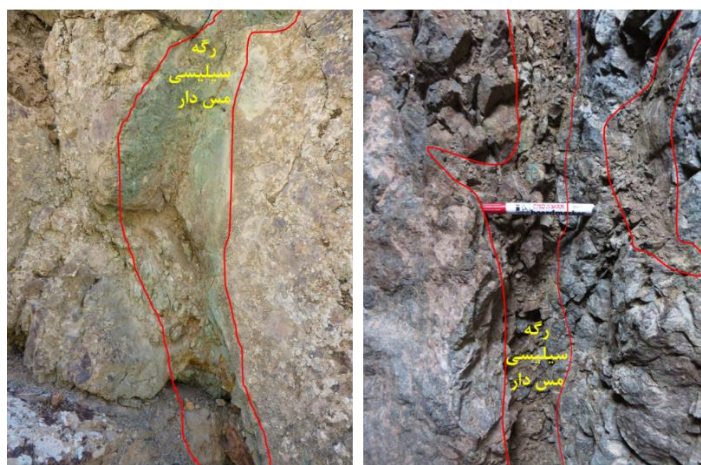
¹⁹Corbett

²⁰Crustification

نمایان است.

۳-۳-۱ کانی‌سازی رگه‌ای

کانی‌سازی رگه‌ای در ارتباط با گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌ها بصورت رگه و رگچه‌های سیلیسی مس - طلا دار با برونزد منقطع و با ضخامت ماکزیمم ۳۰ سانتی‌متر و طول حدود ۲۰-۱ متر در منطقه دیده شدند (شکل ۳-۱ الف و ب). روند اصلی گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشد که کانی‌سازی نیز دارای راستای N70E با شیب SE 55° می‌باشد که حاکی از آن است که کانی‌سازی در منطقه توسط پهنه گسلی کنترل شده است. سنگ میزبان رگه و رگچه‌ها، سنگ‌های آتشفشانی شامل آندزیت و آذرآواری‌ها بودند. طبق شواهد صحرایی و میکروسکوپی رگه و رگچه‌ها، دارای کانی‌سازی متنوعی از سیلیس، کربنات کلسیم و اکسیدهای آهن بودند که به کربنات مس (مالاکیت) آغشتگی نشان می‌دهند. در واقع این رگه و رگچه‌ها راهی برای نفوذ سیال کانه‌دار به سطح بوده که سیال بار اصلی خود را در سنگ‌های آتشفشانی منطقه به جای گذاشته و کانی‌سازی ضعیفی به همراه سیلیس و کربنات در شکستگی‌ها داشته است.



شکل ۳-۱ الف و ب) کانی‌سازی به صورت رگه‌های سیلیسی مس‌دار با سنگ میزبان آندزیتی در دو نقطه مختلف از

محدوده باغ‌قازی.

۳-۳-۲ کانی‌سازی پرکننده حفره‌ها و فضای خالی

طبق شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی این نوع کانی‌سازی در سنگ‌های آذرآواری منطقه بیشتر به چشم می‌خورد. در واقع سنگ‌های آذرآواری بدلیل تخلخل و نفوذپذیری بالا، شرایط مناسب جهت چرخش سیالات را دارا بوده و در نتیجه کانی‌سازی در این واحدها به صورت پرکننده فضای خالی تشدید یافته است (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳: کانی‌سازی بصورت پرکننده فضای خالی در سنگ‌های آذرآواری.

۳-۳-۳ کانی‌سازی برش‌های گرمابی

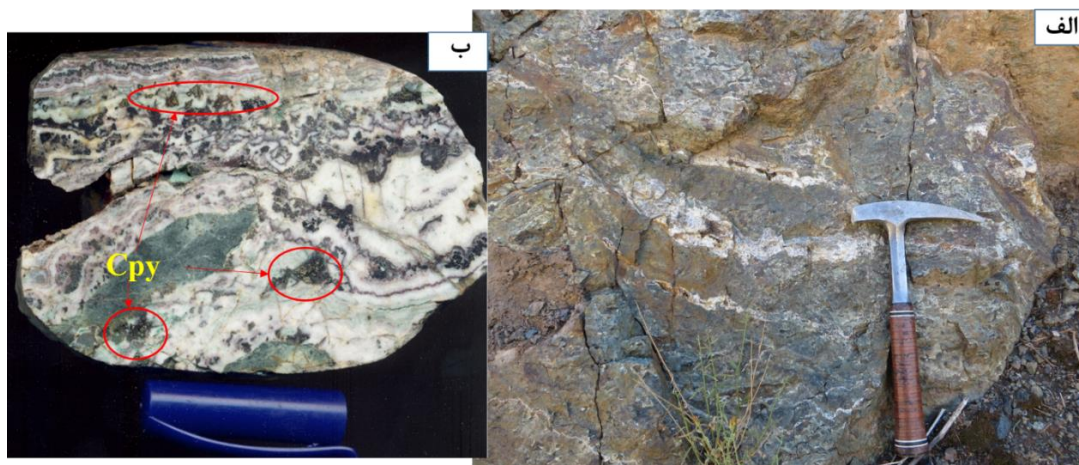
فشار ناشی از سیالات هیدروترمال سبب برشی شدن سنگ‌های منطقه شده و سپس سیال فضای بین قطعات برش را پر کرده و بار خود را در این فضاها به جای گذاشته است که طبق مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی شاهد کانی‌سازی بصورت پیریت و بعضاً "کالکوپیریت به عنوان فاز اولیه کانی‌سازی بین قطعات برش می‌باشیم (شکل ۳-۳)



شکل ۳-۳: تصویر صحرایی از زون برشی، سولفیدهای اولیه شامل پیریت و کالکوپیریت بین قطعات برش به کانی‌های ثانویه شامل اکسیدهای آهن و مالاکیت دگرسان شده‌اند.

۳-۴-۳ کانی‌سازی همراه با سیلیس‌های نواری

سیلیس‌های نواری از ویژگی‌های شاخص کانی‌سازی در محدوده باغ قاضی می‌باشد که به شکل نواری ظریف پوسته‌ای و کلسدونی نمایان است. طبق شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی کانی‌سازی به صورت کالکوپیریت، کالکوسیت و مالاکیت بصورت نواری با سیلیس می‌باشد (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴: کانی‌سازی به صورت سیلیس‌های نواری؛ الف) تصویر صحرایی از سیلیس‌های نواری، ب) تصویر اسکن‌شده از سطح برش سیلیس‌های نواری (سیلیس و سولفیدها حالت نواری دارند).

۳-۴ دگرسانی

دگرسانی گرمایی شامل مجموعه تغییرات بافتی، شیمیایی و کانی‌شناختی است که در اثر برهم‌کنش سیالات آبی داغ با سنگ‌ها در طی چرخش سیالات و تحت تحول شرایط فیزیکی - شیمیایی ایجاد می‌شود (پیرژانو^{۲۱}، ۲۰۰۹). عوامل کنترل‌کننده نوع تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که در سنگ ایجاد می‌شود توسط ترکیب شیمیایی محلول گرمایی و ماگمایی، دما، عمق، شرایط $\text{Log } f$, $\text{Log } f \text{ O}_2$, pH و Eh محلول و ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ دگرسان کنترل می‌شود. سنگ‌های دربرگیرنده کانسارهای گرمایی، تقریباً همیشه آثار واکنشی نشان می‌دهند که نتیجه تمایل سیال‌های داغ به برقراری تعادل با سنگ‌های اطراف گذرگاه آنها است. در جریان این فرآیند، سیال‌ها و سنگ‌ها خود را با شرایط جدید وفق می‌دهند. تغییرات دما، فشار و ترکیب شیمیایی حاصل از این واکنش‌ها می‌توانند با تغییراتی در میزان عناصر اصلی و کمیاب و به جانشینی کانی‌های اولیه توسط کانی‌های ثانویه گرمایی منجر شوند. دگرسانی گرمایی یکی از پدیده‌های است که در کانسارهای گرمایی دارای اهمیت ویژه است. شناسایی مناطق دگرسانی که احتمالاً از نظر ژنتیکی به ذخایر معدنی وابسته باشند گام مهمی در پی‌جویی ذخایر است (گیف کینز^{۲۲} و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین بررسی مجموعه‌های دگرسانی گرمایی اطلاعات ارزشمندی درباره سرگذشت کانی‌سازی ارائه می‌نماید که می‌توان از آن در بازسازی شرایط دمایی، زمین‌شیمیایی و ساختاری استفاده کرد (وایت^{۲۳} و همکاران ۱۹۹۵).

نواحی دگرسانی گرمایی گسترش وسیعی در محدوده مطالعاتی دارند. دگرسانی‌های گرمایی منطقه مورد مطالعه در دو بخش مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش اول، دگرسانی‌ها با استفاده از شواهد صحرائی و پتروگرافی مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌های پتروگرافی از مناطق دگرسانی نزدیک به رخنمون‌های کانی‌سازی انتخاب شده‌اند. در بخش دوم دگرسانی‌ها با استفاده از مطالعات کانی‌شناسی

²¹ Pirajno

²² Gifkins

²³ White

به روش پراش اشعه ایکس (XRD) بررسی شده است.

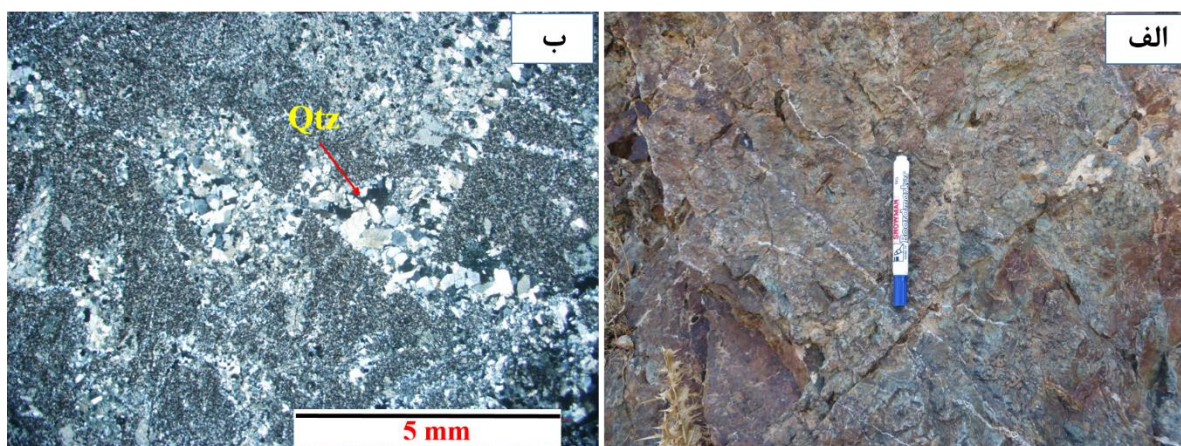
۳-۴-۱ دگرسانی گرمابی بر مبنای مشاهدات صحرایی و پتروگرافی

به استناد بررسی‌های صحرایی- آزمایشگاهی دگرسانی‌ها در منطقه باغ‌قازی از شدت، گسترش و تنوع خوبی برخوردار می‌باشند. مشاهدات صحرایی و مطالعات پتروگرافی و کانی‌شناسی در سامانه اپی- ترمال باغ‌قازی نشان‌دهنده دگرسانی گرمابی به دو صورت جانشینی کانی‌های قبلی و نهشت مستقیم در فضاهای خالی و شکستگی‌ها است. همانطور که قبلاً ذکر شد، نوع و ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ‌های مسیر سیال بر روی انواع دگرسانی موثر است. بنابراین با توجه به اینکه سنگ‌های منطقه مورد مطالعه اغلب سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب حدواسط می‌باشند، انواع دگرسانی‌های موجود در منطقه متناسب با نوع و ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌ها می‌باشند. مهمترین دگرسانی‌های شناسایی شده در بررسی‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی، سریستیک، آرژیلیک، سیلیسی شدن، کلریتی و اکسیدهای آهن است که در زیر به شرح هریک پرداخته می‌شود.

۳-۴-۱-۱ دگرسانی سیلیسی

سیلیسی شدن یکی از متداول‌ترین انواع دگرسانی‌های گرمابی است که در اثر افزایش کوارتز و سایر اشکال سیلیس (چرت، اوپال و کلسدونی) در سنگ همراه می‌باشد (پیرژانو، ۲۰۰۹). سیلیسی شدن از دو راه صورت می‌گیرد: (۱) اضافه شدن SiO_2 به سنگ توسط محلول‌های ماگمایی یا گرمابی، (۲) بالا رفتن سیلیس به دلیل انحلال مواد دیگر سنگ (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۸). مهمترین کانی این پهنه کوارتز می‌باشد که به دو شکل پرکننده فضای خالی و پراکنده دیده می‌شود. در کانی‌سازی پرکننده فضای خالی محلول سیلیسی به شکل بلورهای کوارتز دانه درشت تا متوسط در میان شکستگی‌ها و حفرات رشد کرده است. در پهنه‌های برشی نیز کوارتز به همراه کانی‌های اکسید / هیدرواکسیدهای آهن فضای خالی بین قطعات برش را پر کرده است. تعداد رگه‌های سیلیسی در سنگ زیاد است. کوارتز در

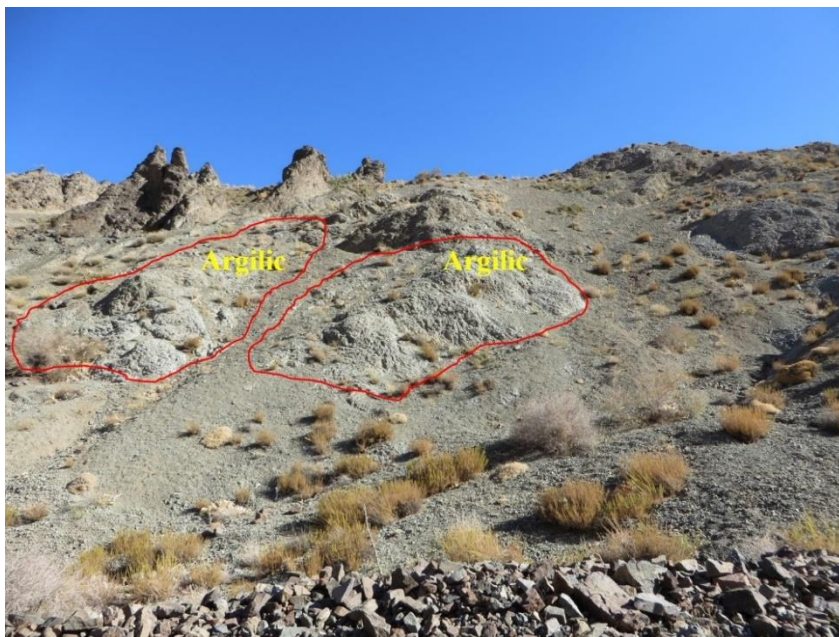
زمینه نیز به شکل بلورهای ریزدانه دیده می‌شود، در اغلب سنگ‌هایی که مالاکیت و کانی‌های اکسید/هیدروکسید آهن وجود دارد، سیلیسی شدن نیز دیده می‌شود (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵: الف) تصویر صحرایی از رگچه‌های سیلیسی در سنگ میزبان آتشفشانی، ب) تصویر میکروسکوپی از رگه و رگچه‌های سیلیسی بصورت پرکننده فضای شکستگی‌ها، Qtz: کوارتز.

۳-۴-۱-۲ دگرسانی آرژیلیک

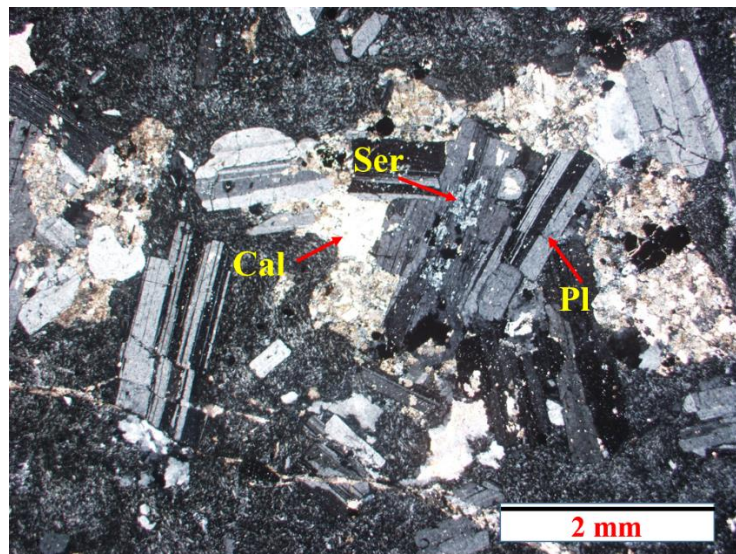
این پهنه در سنگ‌های غنی از کانی‌های آلومینیوم‌دار که در شرایط اسیدی قرار می‌گیرند تشکیل می‌شود. کانی‌های مهم این پهنه شامل دیکیت، کائولینیت، هالوزیت، آلفان، مونت‌موریونیت و مقدار جزئی سریسیت می‌باشد (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۸). آرژیلیکی شدن یکی از فرآیندهای عمده دگرسانی در محدوده مورد مطالعه است که بصورت محلی و ناحیه‌ای رخمون داشته و با رنگ سفید تا خاکستری به چشم می‌خورد و واحدهای توفی منطقه را تحت تأثیر خود قرار داده است. کانی‌های این پهنه شامل ایلیت، مسکوویت و کوارتز می‌باشند. در مشاهدات صحرایی این دگرسانی بصورت گسترده در منطقه مشاهده شد (شکل ۳-۶) که نتایج حاصل از XRD حضور کانی‌های ایلیت، مسکوویت و کوارتز را در پهنه‌های آرژیلیکی تأیید کردند.



شکل ۳-۶: تصویر صحرایی از دگرسانی آرژیلیکی در منطقه (دید به سمت شمال شرق).

۳-۴-۱-۳ دگرسانی سریسیتی

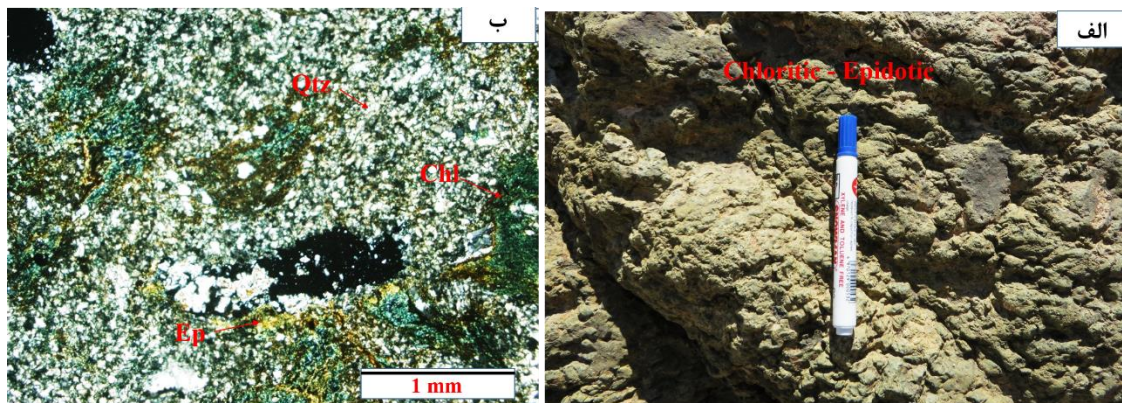
سریسیت نام عمومی اعضای دانه‌ریز گروه میکا به خصوص مسکوویت است که در کانسارهای اپی‌ترمال در شرایط نسبتاً اسیدی و در محدوده دمایی ۲۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود (زراسوندی، ۱۳۸۶). واکنش‌هایی که در دگرسانی سریسیتی رخ می‌دهد باعث مصرف H^+ و وارد شدن فلزات قلیایی و قلیایی خاکی به درون محلول‌های گرمایی می‌شوند. سریسیتی شدن یکی از انواع دگرسانی‌هایی است که در سنگ‌های منطقه دیده می‌شود. در طی دگرسانی سریسیتی فلدسپات‌های اولیه موجود در سنگ به سریسیت تبدیل شده که باعث تشکیل بلورهای ریزدانه و پراکنده سریسیت بر روی بلورهای درشت پلاژیوکلاز می‌شود. کانی‌های مهم این پهنه شامل سریسیت، کوارتز، پیریت و کانی‌های رسی می‌باشند. این دگرسانی عموماً همراه با دگرسانی کربناتی در سنگ مشاهده می‌شوند (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷: تصویر میکروسکوپی از دگرسان شدن پلاژیوکلاز به سریسیت و کربنات؛ Ser: سریسیت، Cal: کلسیت، Pl: پلاژیوکلاز.

۳-۴-۱-۴ دگرسانی پروپیلیتیک

دگرسانی پروپیلیتیک به مجموعه‌ای از دگرسانی کلریتی، اپیدوتی، زونیزیتی و آلبیتی اطلاق می‌شود (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۸). چرخش سیالات با حرارت کم و غنی از Ca با منشاء جوی باعث ایجاد دگرسانی پروپیلیتیک می‌گردد (پیروان و امینی ۱۳۸۴). کانی‌های مهم این پهنه اپیدوت، کلریت، کربنات، آلبیت و کانی‌های رسی می‌باشد. اما به دلیل افزایش شدت کلریت و اپیدوت در سنگ‌های منطقه شاید بهتر باشد از واژه کلریتی - اپیدوتی به جای واژه پروپیلیتیک استفاده کنیم. دگرسانی کلریتی و اپیدوتی مربوط به حضور کانی‌های مافیک از جمله آمفیبول، بیوتیت و پیروکسن می‌باشد و این کانی‌ها از سطوح رخ و شکستگی‌های موجود، به کلریت و اپیدوت تبدیل شده‌اند که در مقاطع میکروسکوپی بصورت رگچه‌ای و در زمینه سنگ مشاهده می‌شود. (شکل ۳-۸).

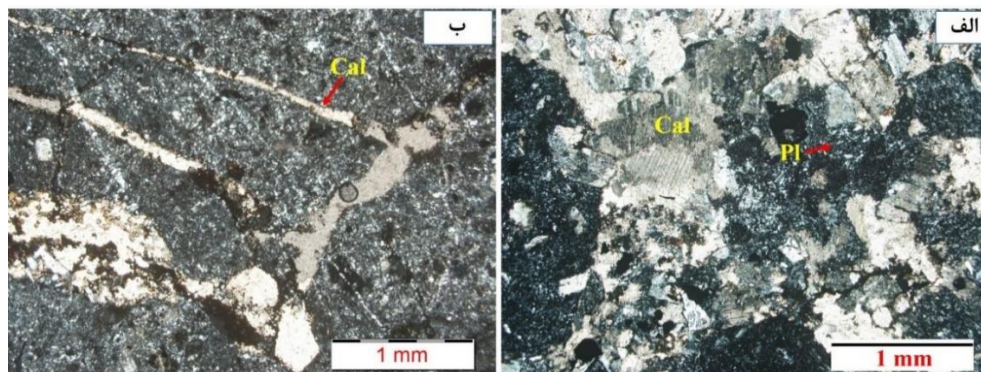


شکل ۳-۸: الف) تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی - اپیدوتی، ب) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی کلریتی - اپیدوتی در میزبان توف؛ Qtz: کوارتز، Chl: کلریت، Ep: اپیدوت.

۳-۴-۱-۵ دگرسانی کربناتی

کلسیت یکی از محصولات رایج دگرسانی گرمایی در نمونه‌های مورد مطالعه است که به دو صورت پرکننده فضای خالی و جانشینی در بطن کانی‌های قبلی قابل مشاهده است (شکل ۳-۹). این کانی در انواع پرکننده فضای خالی بصورت توده‌ای (پرکننده حفره‌ها) و رگه و رگچه‌ای (پرکننده شکستگی‌ها) نمایان است در این حالت بلورهای کلسیت نسبتاً "درشت بوده و دارای رخ می‌باشند. و در انواع جانشینی، کلسیت جانشین کانی‌های پلاژیوکلاز شده است که نسبت به نوع پرکننده فضای خالی ریزدانه می‌باشند. حضور کلسیت در سامانه‌های گرمایی به غلظت بالای CO_2 نسبت داده می‌شود که باعث افزایش قلمرو پایداری کلسیت و کاهش نسبت $a_{Ca^{+2}}/a_{H^+}$ می‌شود (موک^{۲۴} و سیمپسون^{۲۵}، ۲۰۰۷). سیالات با بیش از ۳ درصد CO_2 حاوی ده‌ها تا صدها ppm H_2S هستند. H_2S مهمترین لیگاند برای انتقال عناصر Au و Ag به صورت کمپلکس‌های بی‌سولفیدی است (سوراد^{۲۶} و بارنز^{۲۷}، ۱۹۷۷).

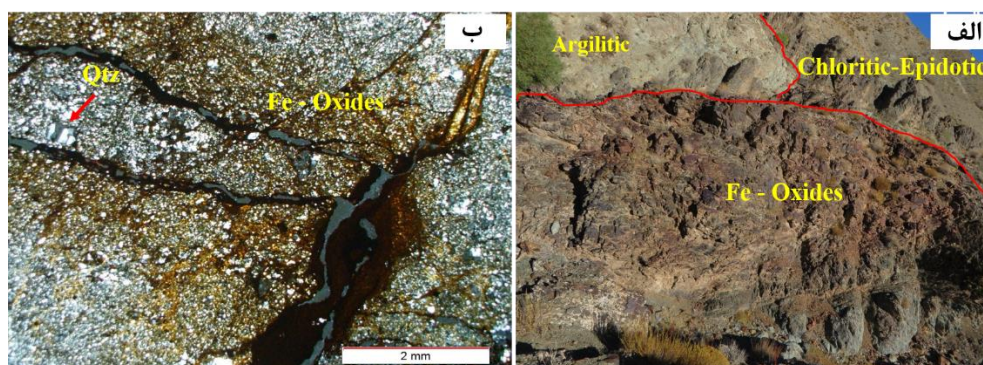
²⁴ Mauk
²⁵ Simpson
²⁶ Seward
²⁷ Barnes



شکل ۳-۹: الف) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی پلاژیوکلاز به کلسیت در آندزیت، ب) تصویر میکروسکوپی از کلسیت بصورت پرکننده فضای خالی؛ Cal: کلسیت، Pl: پلاژیوکلاز.

۳-۴-۱-۶ دگرسانی اکسیدهای آهن

با توجه به مطالعات صحرایی و مطالعه مقاطع نازک آغشتگی اکسید و هیدرواکسیدهای آهن از جمله دگرسانی‌های غالب منطقه است و بیشتر به صورت پرکننده درزه‌ها و شکستگی می‌باشد (شکل ۳-۱۰). این دگرسانی در مجاورت رگه‌های کانه‌دار به وضوح قابل مشاهده است و هم‌چنین به صورت گسترده واحدهای سنگی منطقه به خصوص توفها را تحت تأثیر قرار داده و به رنگ قرمز تا قهوه‌ای نمایان است.



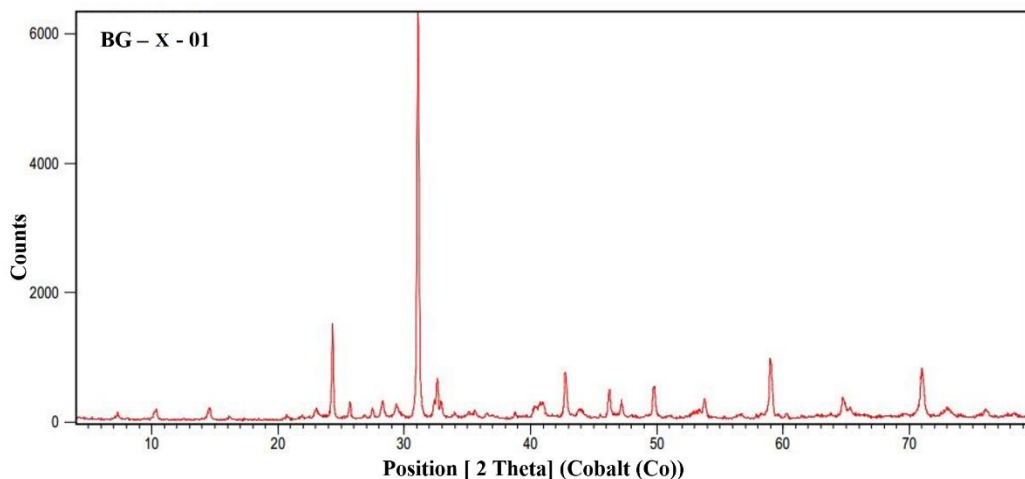
شکل ۳-۱۰: الف) تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی - اپیدوتی، اکسیدهای آهن و آرژیلیکی شدن در مجاور یکدیگر، ب) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی اکسیدهای آهن بصورت پرکننده فضای خالی، Qtz: کوارتز.

۳-۴-۲ بررسی دگرسانی‌ها با استفاده از آنالیز پراش پرتو ایکس

در این بخش ۵ نمونه از سنگ‌های دگرسان شده منطقه باغ قاضی جهت آنالیز XRD به آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران ارسال گردید که نتایج آن در جدول ۳-۴ ارائه شده است. موقعیت این نمونه‌ها بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مشخص شده است. نتایج حاصل از آنالیز XRD برای نمونه‌های دگرسان شده در شکل‌های (۳-۱۱ تا ۳-۱۶) آورده شده است.

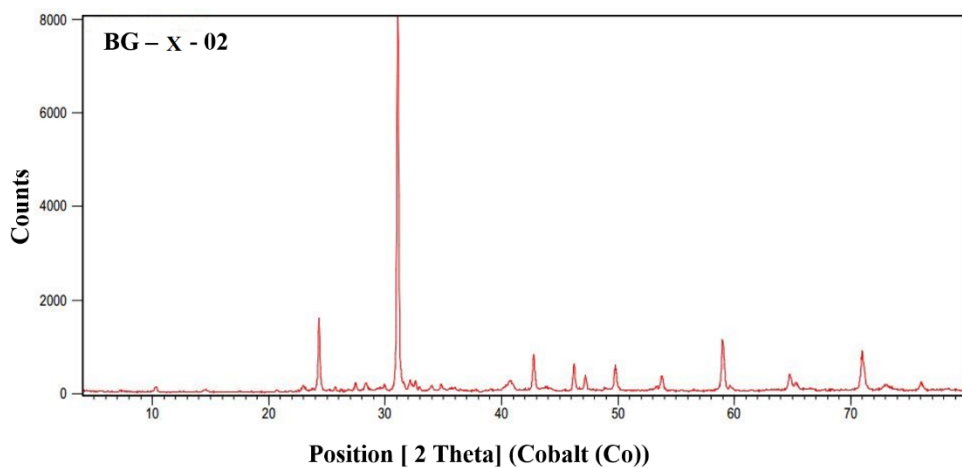
جدول ۳-۱: نتایج آنالیز XRD از نمونه‌های دگرسان شده منطقه باغ قاضی.

| Sample no. | Location | Alteration | Mineral assemblage |
|------------|------------------------|--------------------------------------|---|
| BG-X-01 | X: 625814 Y:3915637 | Chlorite - Sericite | Quartz + Albite low + Clinochlore + Muscovitte |
| BG-X-02 | X: 625253 Y:3915441 | Chlorite - Argillic | Quartz + Orthoclase + Albite low + Muscovitte + Clinochlore + Illite |
| BG-X-03 | X: 625059 Y:3915359 | Argillic | Quartz + Muscovitte + Orthoclase + Illite |
| BG-X-04 | X: 625394 Y:3915426 | Chlorite - Argillic | Quartz + Albite low + Clinochlore + Illite + Muscovitte |
| BG-X-05 | X: 624646 Y:3916827 | Sericite | Quartz + Albite low + Orthoclase + Diopside + Muscovitte |
| BG-X-06 | - | Chlorite- Sericite - Carbonate | Quartz + Hematite + Clinochlore + Calcite + Goethite + Muscovite |



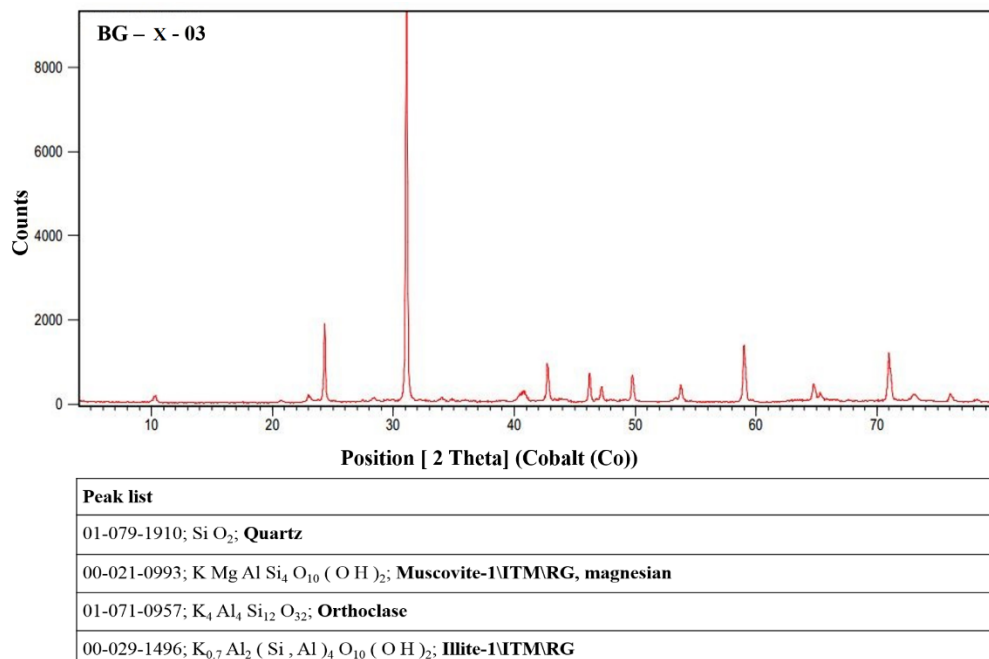
| Peak list |
|--|
| 01-085-0504; Si O ₂ ; Quartz |
| 01-076-1819; Na (Al Si ₃ O ₈); Albite low |
| 00-029-0701; (Mg , Fe) ₆ (Si , Al) ₄ O ₁₀ (O H) ₈ ; Clinochlore-1\ITM#\I#\b\RG, ferroan |
| 00-007-0025; K Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (O H) ₂ ; Muscovite-1\ITM\RG, syn |

شکل ۳-۱۱: نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های کلریتی - سریسیتی منطقه مورد مطالعه.

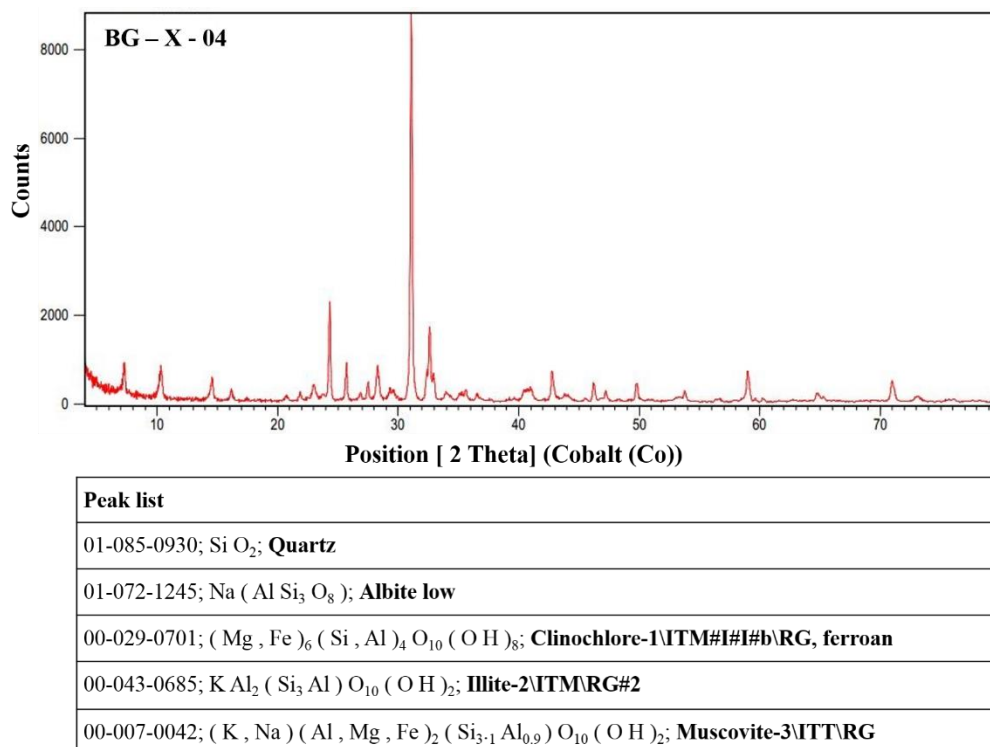


| Peak list |
|--|
| 01-078-2315; Si O ₂ ; Quartz |
| 01-071-1540; K Si ₃ Al O ₈ ; Orthoclase |
| 01-080-1094; Na (Al Si ₃ O ₈); Albite low |
| 00-021-0993; K Mg Al Si ₄ O ₁₀ (O H) ₂ ; Muscovite-1\ITM\RG, magnesian |
| 00-046-1323; (Mg , Al , Fe) ₆ (Si , Al) ₄ O ₁₀ (O H) ₈ ; Clinochlore-1\ITM#\I#\b-2\RG |
| 00-024-0495; K _{0.7} Al _{2.1} (Si , Al) ₄ O ₁₀ (O H) ₂ ; Illite-2\ITM#\2\RG |

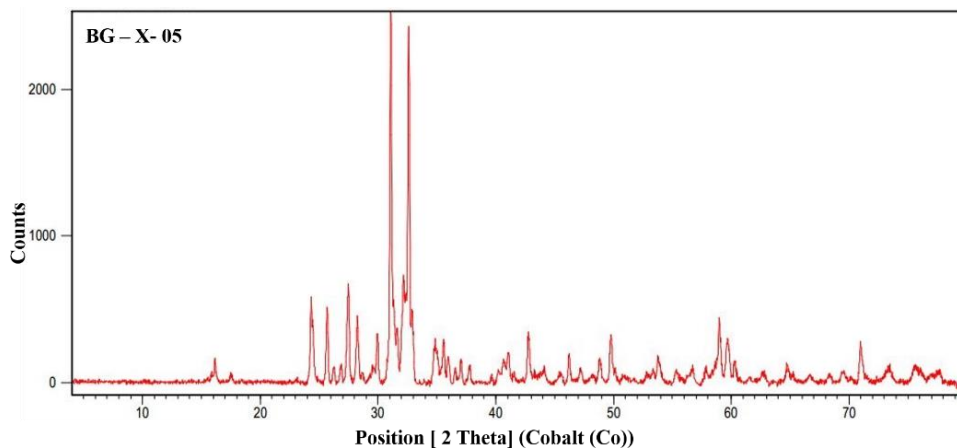
شکل ۳-۱۲: نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های کلریتی - آرژیلیکی منطقه مورد مطالعه.



شکل ۳-۱۳: نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های آرژیلیکی منطقه مورد مطالعه.

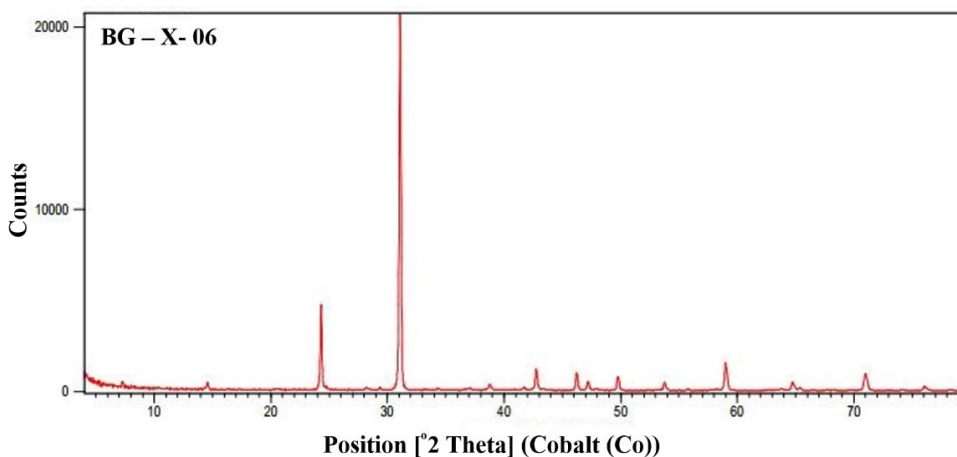


شکل ۳-۱۴: نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های کلریتی - آرژیلیکی منطقه مورد مطالعه.



| Peak list |
|---|
| 01-085-0795; Si O ₂ ; Quartz |
| 01-072-1245; Na (Al Si ₃ O ₈); Albite low |
| 01-071-0957; K ₄ Al ₄ Si ₁₂ O ₃₂ ; Orthoclase |
| 01-086-0932; Ca Mg Si ₂ O ₆ ; Diopside |
| 01-074-0345; K Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (O H) ₂ ; Muscovite |

شکل ۳-۱۵: نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های سریسیتی منطقه مورد مطالعه.



| Peak list – BG-X-06 |
|---|
| 01-085-0796; SiO ₂ ; Quartz |
| 04-079-0007; Fe ₂ O ₃ ; Hematite |
| 00-029-0701; (Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈ ; Clinocllore-1\ITM#\I#\b\RG, ferroan |
| 01-083-1762; Ca (CO ₃); Calcite |
| 00-003-0251; Fe + 3O (OH); Goethite |
| 01-075-0948; K Al ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂ ; Muscovite |

شکل ۳-۱۶: نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه‌های کلریتی - سریسیتی - کربناتی منطقه مورد مطالعه.

فصل چهارم

کانی‌شناسی، ساخت،

بافت و توالی پراژنری

کانی‌ها

۴-۱ مقدمه

کانه‌نگاری یا مطالعه میکروسکوپی کانسنگ به منظور مطالعه کانه‌های اپاک^۱ و نیز شناخت بافت و ساختمان کانی‌های اپاک با میکروسکوپ پلاریزان (مطالعه میکروسکوپی به کمک نور انعکاسی) در یک منطقه صورت می‌گیرد. از آنجا که ساخت و بافت مواد معدنی و انواع کانه‌ها در کانسارهای با منشاء مختلف متفاوت است هدف از این مطالعات بررسی شرایط و چگونگی تشکیل کانسار، تغییرات پاراژنز در مراحل تبلور و تشخیص تعداد مراحل کانی‌سازی هر منطقه است. به همین منظور ۱۰ مقطع صیقلی و ۴ مقطع نازک - صیقلی از کانسنگ تهیه گردید. در این فصل ابتدا به مطالعه شناسایی کانه‌ها و سپس مطالعات ساخت و بافت و توالی پاراژنزی کانه‌ها پرداخته می‌شود.

۴-۲ شناسایی کانه‌ها

برای شناسایی کانه‌ها توسط میکروسکوپ پلاریزان نور انعکاسی از ویژگی‌های نوری مشاهده شده در کانه‌ها (در دو حالت نور پلاریزه ساده و نور پلاریزه متقاطع) استفاده می‌شود. مهمترین ویژگی‌هایی که در نور پلاریزه ساده و متقاطع مورد بررسی قرار می‌گیرد عبارتند از شکل بلوری، مرز دانه‌ها، رنگ، شدت انعکاس، چندرنگی انعکاسی، بازتاب داخلی، رخ، آثار شکستگی و جداشدگی، رنگ‌های پلاریزه، منطقه‌بندی و دوقلویی، همسانگردی و ناهمسانگردی، سختی خراش، سختی صیقلی، عدد سختی ویکرز، میانبارها و درهم‌رشدی‌ها هستند (مقدسی و خاکراه، ۱۳۹۰). طبق مطالعات میکروسکوپی صورت گرفته، کانی‌ها در سه گروه کانه‌های منطقه هیپوژن، کانه‌های منطقه سوپرژن و کانی‌های باطله همراه با کانی‌سازی رده‌بندی شده و مورد بررسی قرار گرفتند.

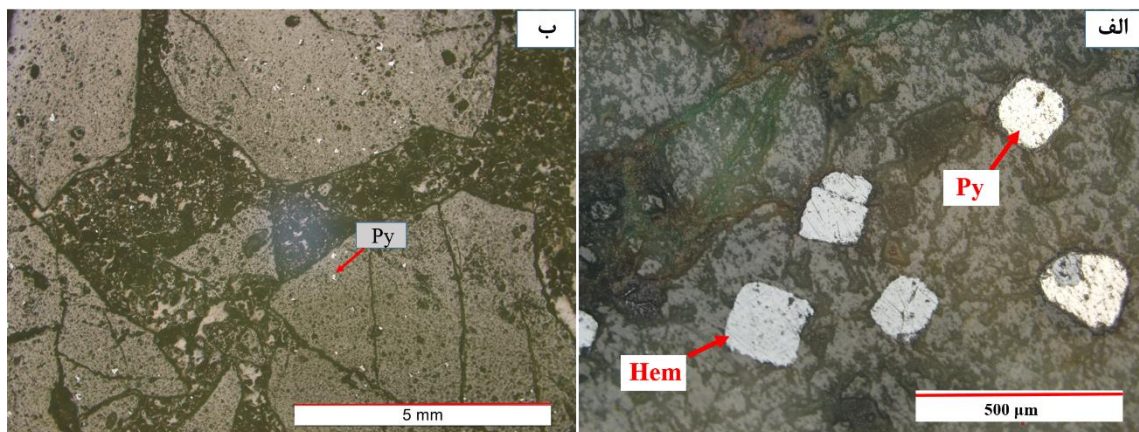
¹ Opaque

۴-۲-۱ کانی‌های منطقه هیپوژن

این کانی‌ها از سیالات ماگمایی و گرمابی در عمق تشکیل شده‌اند.

۴-۲-۱-۱ پیریت (FeS_2)

پیریت‌ها به صورت پراکنده و شکل‌دار دیده می‌شوند که اغلب تحت تأثیر فرآیندهای اکسیداسیون به هماتیت و گویتیت تبدیل شده‌اند و پدیده پسودومورفیزم^۱ را به نمایش گذاشته‌اند. بیشتر دانه‌های پیریت به صورت پراکنده بین کانی‌های سیلیکاته سنگ (شکل ۴-۱ الف) و قطعات برش (شکل ۴-۱ ب) مشاهده شدند، و فضای بین قطعات برش توسط اکسیدهای آهن پر شده است. به نظر می‌رسد کانسنگ اولیه حاوی پیریت بوده است سپس کانسنگ برشی شده و بعد در فضای بین آنها اکسیدهای آهن شکل گرفته است.

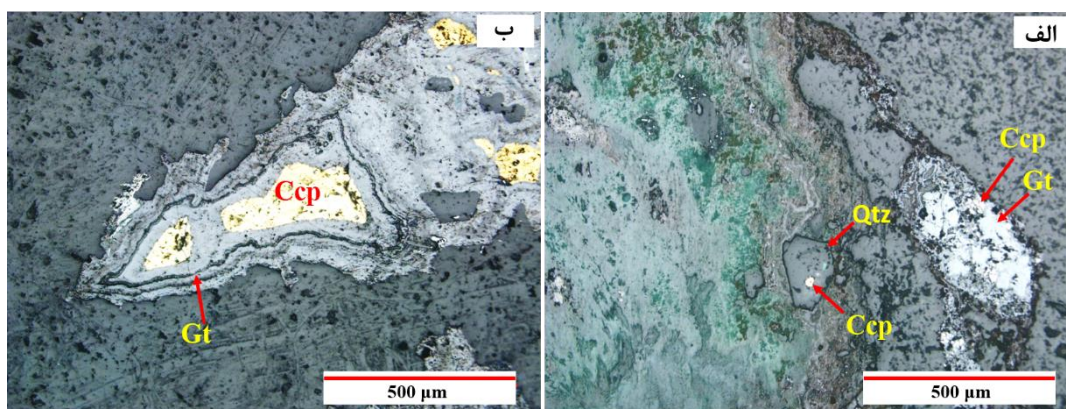


شکل ۴-۱: الف) تصویر میکروسکوپی از پیریت‌های پراکنده بین کانی‌های سیلیکاته سنگ، پیریت‌ها هماتیته شده و پدیده پسودومورفیزم را به نمایش گذاشته‌اند و ب) تصویر میکروسکوپی از پیریت‌های پراکنده بین قطعات برش؛ Py: پیریت و Hem: هماتیت.

¹ Pseudomorphism

۲-۱-۲-۴ کالکوپیریت (CuFeS_2)

در مقاطع میکروسکوپی مشاهده شده، کالکوپیریت به دو صورت پراکنده در بین کانی‌های سیلیکاته سنگ و همچنین به صورت ادخال‌های ریز در کانی کوارتز مشاهده شد. در واقع سیال علاوه بر ته‌نشست کالکوپیریت درون سنگ و در فضای بین کانی‌های سیلیکاته، از طریق شکاف‌ها و شکستگی‌های ریز کانی‌ها، کالکوپیریت را به صورت ادخال‌های ریز در کانی کوارتز برجای گذاشته است (شکل ۲-۴ الف). همچنین اینکه کالکوپیریت‌ها در اثر هوازدگی و فرآیند سوپرژن بعدی، از حواشی تبدیل به کانی‌های ثانویه مثل کوولیت، دیژنیت، کالسیت و اکسیدهای آهن (گویتیت) شده است (شکل ۲-۴ ب).



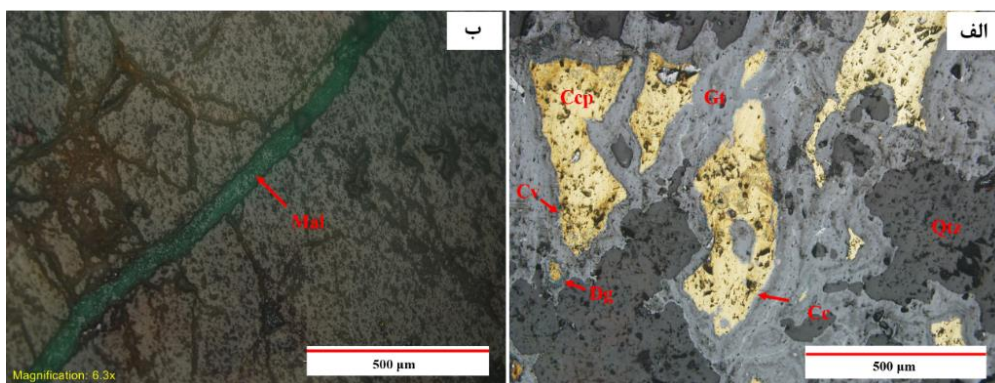
شکل ۲-۴ الف) کالکوپیریت بصورت ادخال‌های ریز در کانی کوارتز و باقی‌مانده کالکوپیریت حاصل از جانیشینی گویتیت و ب) کالکوپیریت بصورت پراکنده در بین کانی‌های سیلیکاته سنگ که از اطراف توسط گویتیت جانشین شده است. ، Ccp: کالکوپیریت، Gt: گویتیت، Qtz: کوارتز.

۴-۲-۲ کانی‌های منطقه سوپرژن

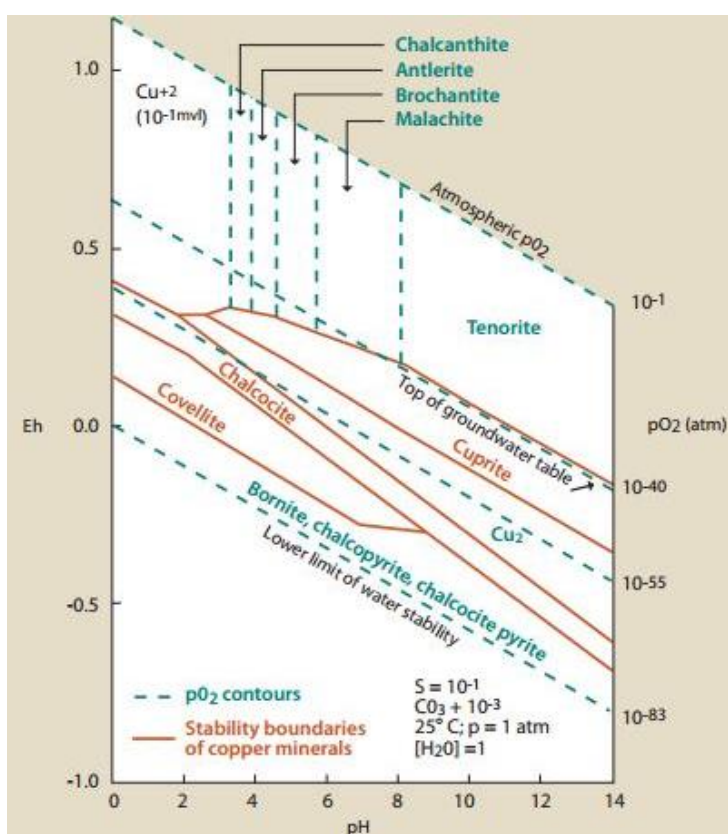
۴-۲-۲-۱ کانی‌های مس دار

در مرحله اکسیداسیون، کانی‌های مرحله هیپوژن شامل پیریت و کالکوپیریت تحت تأثیر فرآیندهای اکسیداسیون قرار گرفته‌اند. در اثر اکسیداسیون کالکوپیریت، حواشی بیرونی کالکوپیریت‌ها به سولفیدهای ثانویه مس شامل کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت تبدیل شده است. با پیشرفت اکسیداسیون کالکوپیریت مس خود را از دست داده و توسط اکسیدهای آهن (گوتیت) جانشین شده است (شکل ۳-۴ الف) با وجود شرایط مناسبی چون حضور کربنات‌ها در محیط و در دسترس بودن آنیون کربناته و افزایش pH محلول، کانی کربنات مس، مالاکیت تشکیل می‌شود. مالاکیت هم به صورت رگچه‌ای و هم به صورت آغستگی زمینه سنگ دیده می‌شود (شکل ۳-۴ ب). با توجه به شکل (۴-۴) حضور مالاکیت نشان‌دهنده محیط قلیایی و اکسیدان است. کریزوکولا نیز یک کانی سیلیکات مس آبدار است که همراه با مالاکیت و آزوریت از رایج‌ترین کانی‌های مس با رنگ سبز/آبی می‌باشند که در محیط‌هایی با pH کمی قلیایی شکل می‌گیرند و دارای اشکال گوناگونی از توده‌ای تا کروی و خوشه‌مانند می‌باشند و از نظر ترکیب متغیر می‌باشند. کریزوکولا مستقیماً^۱ از طریق رنگ سبز - آبی شیشه‌ای مشخص می‌شود که به عنوان یک سنگ جواهر قیمتی و نیمه قیمتی شناخته شده است (تیلور^۱، ۲۰۱۱). در مقاطع میکروسکوپی این کانی به همراه اکسیدهای آهن و مالاکیت به صورت رگه و رگچه‌ای مشاهده شد.

¹ Taylor



شکل ۴-۳: الف) کالکوپیریت توسط کانی‌های مس دار کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت و اکسیدهای آهن (گویتیت) جانشین شده است، ب) ملاکیت بصورت رگه و رگچه‌ای و تیغه‌ای در میزبان کوارتز؛ Qtz: کوارتز، Ccp: کالکوپیریت، Gt: گویتیت، Cv: کوولیت، Dg: دیژنیت، Mal: ملاکیت.

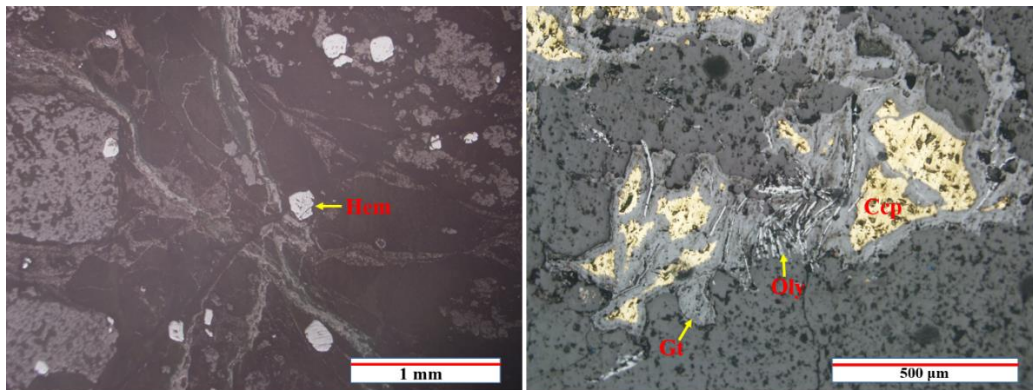


شکل ۴-۴: محدوده پایداری کانی‌های مس دار به عنوان تابعی از Eh، pH و $f(\text{CO}_2)$ (اندرسون^۱، ۱۹۸۲).

¹ Anderson

۴-۲-۲-۲ اکسید و هیدرواکسیدهای آهن

گویتیت، هماتیت و لیمونیت از معمول‌ترین کانی‌های ثانویه غنی از آهن هستند که به فراوانی در مقاطع میکروسکوپی مشاهده شدند. عملکرد آب‌های جوی از خلال درزه‌ها و شکستگی‌ها موجب اکسید شدن کانه‌های سولفیدی شده و تشکیل اکسید - هیدرواکسیدهای ثانویه آهن را داده است. در واقع در اثر پدیده انحلال و اکسیداسیون سطحی، کانی‌های سولفیدی در قسمت سطحی دچار انحلال می‌شوند در نتیجه یون گوگرد آنها از محیط خارج و هیدرواکسیدهای آهن بر جای می‌مانند (رامدهور^۱، ۲۰۱۳). این کانی‌ها گاهی همراه با مالاکیت و کریزوکولا در رگه و رگچه‌های کانه‌دار در طی فرآیندهای ثانویه شکل گرفته‌اند. پیریت‌ها نیز در اثر اکسیداسیون در بعضی موارد بصورت درجا و یا بخشی هماتیته شده‌اند (شکل ۴-۵ ب) و پدیده پسودومورفیسم را به نمایش گذاشته‌اند. الیژیست‌ها نیز طی فرآیندهای سوپرژن در زون اکسیدی شکل گرفته‌اند (شکل ۴-۵ الف).

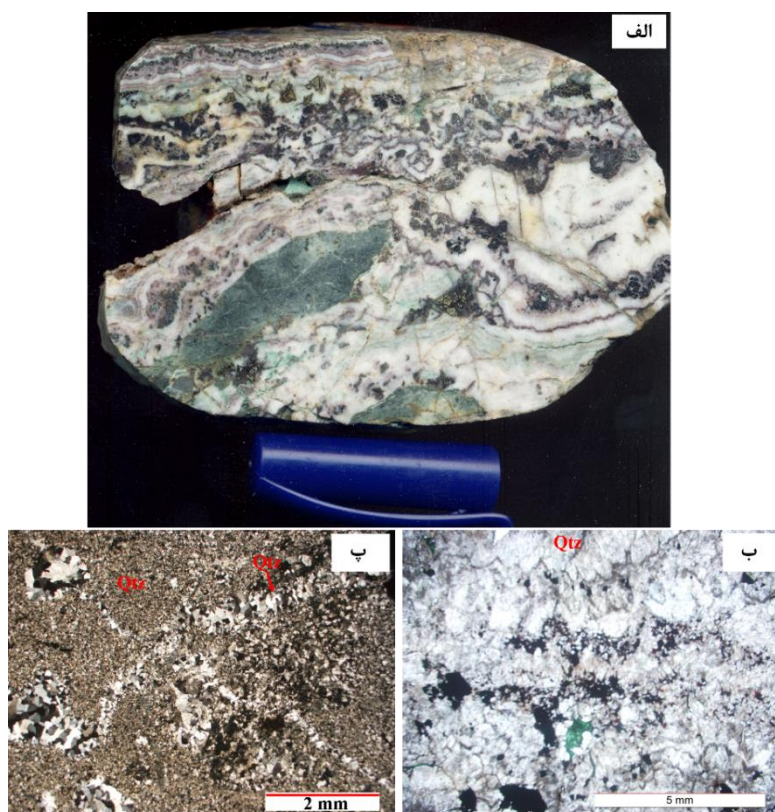


شکل ۴-۵: الف) کالکوپیریت‌ها توسط کانی‌های اکسید آهن (گویتیت) جانشین شده‌اند به همراه الیژیست ثانویه، ب) پیریت‌ها کاملاً هماتیته شده و پدیده پسودومورفیسم را به نمایش گذاشته‌اند؛ Ccp: کالکوپیریت، Gt: گویتیت، Oly: الیژیست، Hem: هماتیت.

¹ Ramdhor

۴-۲-۳ کانی‌های باطله همراه با کانی‌سازی

مهمترین کانی باطله‌ای که کانی‌سازی را در باغ‌قاضی همراهی می‌کند، کانی کوارتز می‌باشد. که بصورت رگه و رگچه‌ای، سیلیس‌های نواری، کلسدونی و پوسته‌ای در منطقه نمایان است.



شکل ۴-۶: الف) تصویر اسکن شده از نمونه سیلیس‌های نواری در منطقه، ب) کوارتز با بافت شانه‌ای و پ) کوارتز بصورت دانه‌های ریز و بصورت رگه و رگچه‌ای در متن سنگ؛ Qtz: کوارتز.

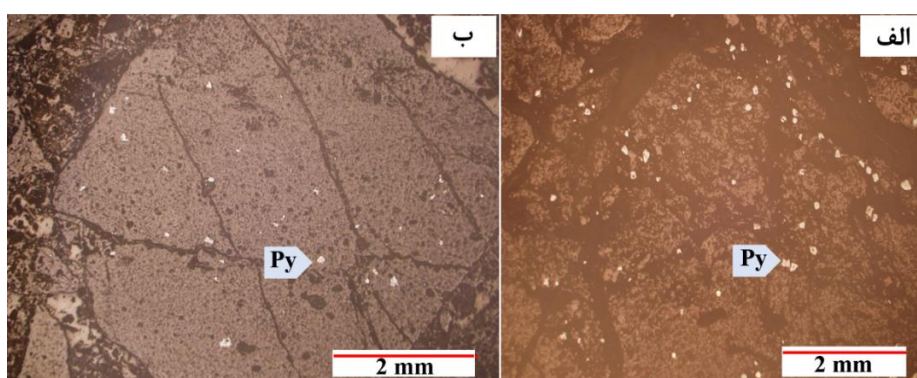
۴-۳ ساخت و بافت کانه‌ها

ساخت از روی شکل، اندازه و حالت تک تک دانه‌ها تعیین می‌گردد و در زیر میکروسکوپ و در بیرون‌زدگی‌ها و حتی در نمونه‌های دستی قابل مشاهده است و بافت از روی نحوه قرار گرفتن

کانی‌هایی که از نظر شکل، اندازه و حتی ترکیب با هم متفاوتند، تعیین می‌گردد (شهاب‌پور، ۱۳۹۰). عوامل موثر در بافت ذخایر ماگمایی و گرمایی عبارتند از: دما، عمق تبلور، مدت زمان تبلور، ترکیب شیمیایی ماگما و محلول ماگمایی و گرمایی می‌باشد (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۸). ساخت و بافت مواد معدنی که دارای منشأهای متفاوتی هستند با یکدیگر تفاوت دارد و این به ماهیت سیال‌های کانه‌سازی، مشخصات فیزیکی و شیمیایی سنگ میزبان و شیوه جایگزینی کانسنگ بستگی دارد. در زیر به توصیف هر یک از ساخت و بافت‌های مشاهده شده طی مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی پرداخته می‌شود.

۴-۳-۱ بافت پراکنده^۱

حضور این بافت در مطالعات میکروسکوپی صورت گرفته بسیار کم‌رنگ است. در برخی از نمونه‌های کانسنگ پیریت و کالکوپیریت به صورت پراکنده در متن سنگ مشاهده می‌گردد (شکل ۴-۷-الف). و در نمونه‌های برشی شده هم دانه‌های پراکنده پیریت عمدتاً^۱ در متن قطعات برش مشاهده می‌شود (شکل ۴-۷-ب). این بافت نشان‌دهنده نهشت اولیه ماده معدنی در حین تشکیل سنگ در برگیرنده و همراه با سایر کانه‌های تشکیل‌دهنده آن است.

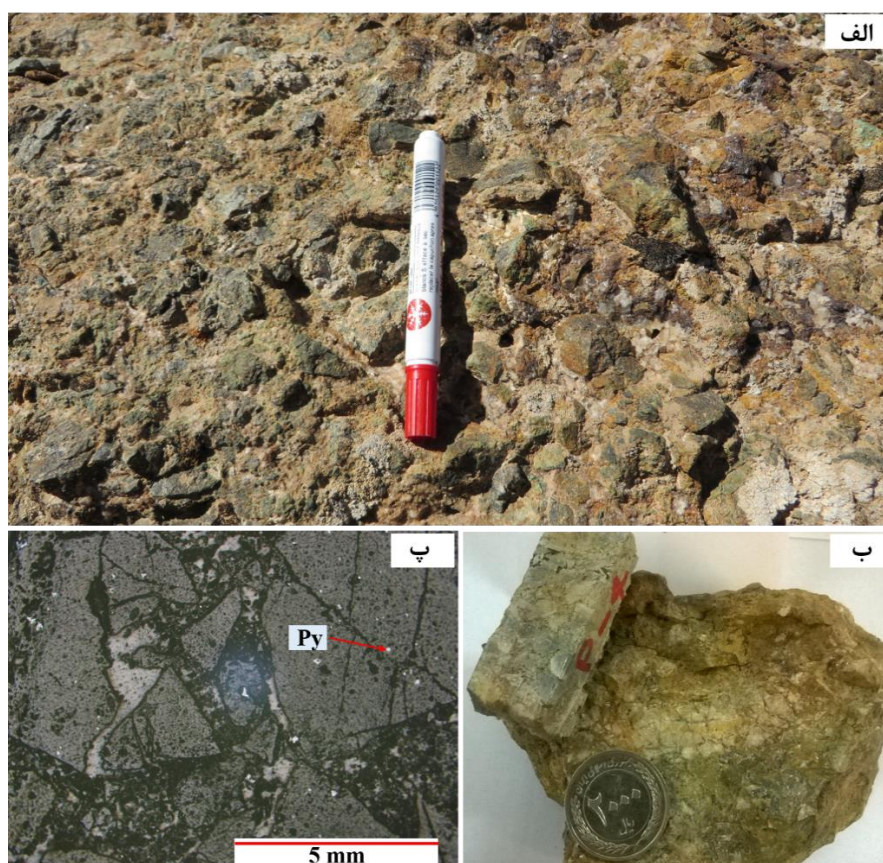


شکل ۴-۷: الف) دانه‌های پیریت با بافت پراکنده در سنگ میزبان آتشفشانی، ب) دانه‌های پراکنده پیریت در متن قطعات برش؛ Py: پیریت.

¹ Disseminated

۴-۳-۲ ساخت و بافت برشی^۱

در منطقه مورد مطالعه این بافت توسط سیالات با دما و حرارت بالا شکل گرفته است. در واقع سیالات با دما و حرارت بالا سبب خرد شدن و برشی شدن سنگ شده و فضای بین قطعات برش توسط سیلیس، پیریت و کالکوپیریت پر شده است. در مرحله سوپرژن کانی‌های سولفیدی به اکسیدهای آهن (لیمونیت و گوتیت) و مالاکیت دگرسان شده‌اند (شکل ۴-۸).



شکل ۴-۸: ساخت و بافت برشی؛ الف) تصویر صحرایی از زون برشی، ب) تصویر نمونه دستی از ساخت برشی پ) بافت برشی، پیریت بصورت پراکنده داخل قطعات برش وجود دارد و فضای بین قطعات برش توسط اکسیدهای آهن و سیلیس پر شده است؛ Py: پیریت.

^۱ Breccia

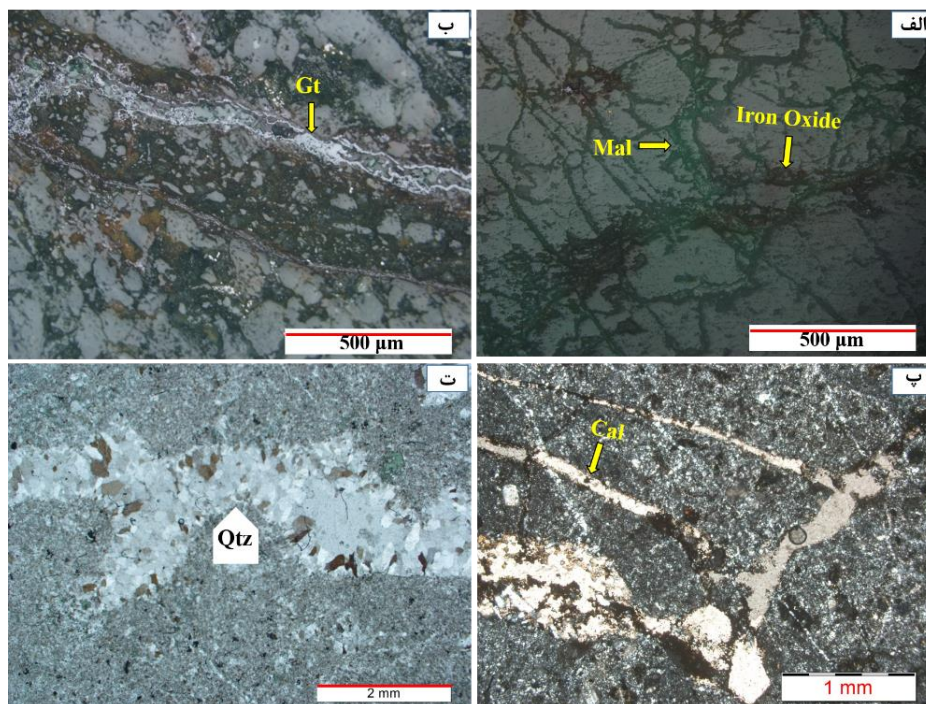
۳-۳-۴ ساخت و بافت رگه و رگچه‌های^۱

محلول‌های ماگمایی یا گرمابی در صورتی که به هنگام عبور از گسل‌ها، شکستگی‌ها، درزه و شکاف‌ها بار خود را برجای گذارند، ساخت و بافت حاصله از نوع رگه و رگچه‌ای خواهد بود. با توجه به اینکه ساختمان‌های مناسب اولیه و ثانویه محدود به سطح تا عمق کم می‌شوند، اپی‌ژنتیک هستند. در مقیاس ماکروسکوپی رگه و رگچه‌های سیلیسی مس‌دار با ضخامت ماکزیمم ۳۰ سانتی‌متر در منطقه برونزد دارند که توسط توف و گدازه‌های آندزیتی تا داسیتی میزبانی می‌شوند (شکل ۴-۹ب). در مقیاس میکروسکوپی رگه و رگچه‌های سیلیسی، کربناتی، مالاکیتی و اکسیدهای آهن را در مقاطع شاهد هستیم (شکل ۴-۱۰).



شکل ۴-۹: ساخت رگه-رگچه‌ای؛ الف) تصویر صحرایی از رگچه‌های سیلیسی در سنگ میزبان آتشفشانی، ب) تصویر صحرایی از رگه‌های سیلیسی مس‌دار در منطقه.

¹ Veins-Veinlets

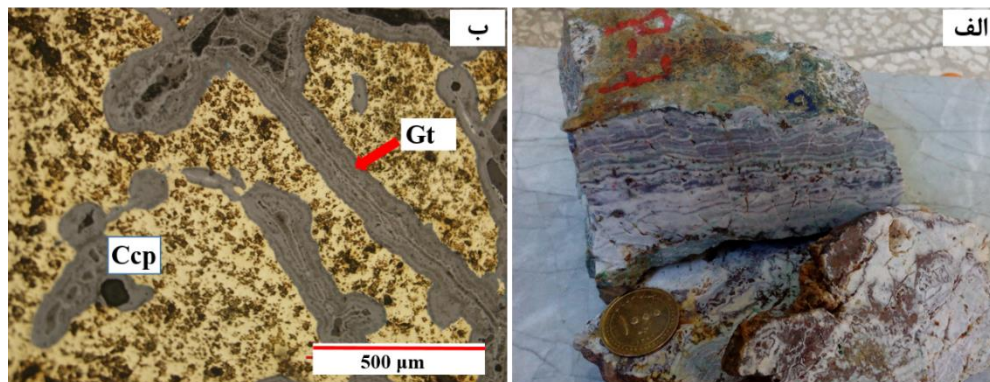


شکل ۴-۱۰: بافت رگه-رگچه‌ای؛ الف) تصویر میکروسکوپی از رگچه‌های درهم از ملاکیت و اکسیدهای آهن، ب) رگچه گوییتی، پ) رگچه‌های سیلیسی - کربناتی، ت) رگچه سیلیسی؛ Gt: گویتیت، Cal: کلسیت، Mal: ملاکیت، Qtz: کوارتز.

۴-۳-۴ ساخت و بافت نواری^۱

شاخص‌ترین ویژگی ساختی و بافتی اندیس معدنی باغ‌قازی وجود نوارهای سولفیدی و اکسیدهای آهن (عموماً "گویتیت") موازی با نوارهای سیلیسی می‌باشد که از تناوب نوارهای سفیدرنگ از جنس سیلیس و نوارهای تیره شامل سولفیدهای مس و اکسیدهای آهن تشکیل شده‌اند (شکل ۴-۱۱).

^۱ Banded

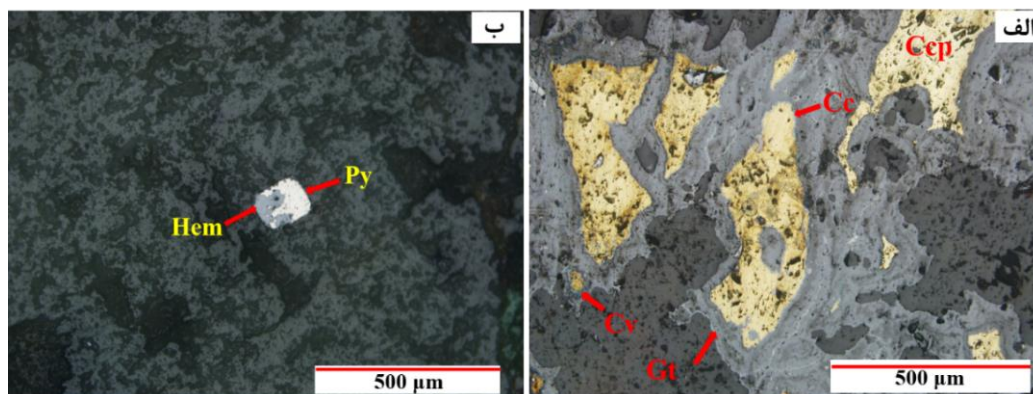


شکل ۴-۱۱: ساخت و بافت نواری؛ الف) تصویر نمونه دستی از سیلیس‌های نواری، ب) کانی‌های اکسید آهن در اطراف کانی کالکوپیریت؛ Ccp: کالکوپیریت، Gt: گوتیت.

۴-۳-۵ بافت جانشینی^۱

اکسیده شدن سولفیدها به اکسیدهای آهن و ترکیبات دیگر، از نوع جانشینی محسوب می‌گردد. سولفیدهای مس در سطح زمین اکسید شده، در شرایط اسیدی املاح مس توسط آب‌های فرورو حمل می‌شوند. در عمق در ناحیه احیایی املاح مس با سولفیدهای اولیه (پیریت و کالکوپیریت) واکنش می‌دهند و ضمن جانشینی به صورت کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت بر جای گذاشته می‌شوند و از سطح تا عمق محدودی را در بر می‌گیرند (شکل ۴-۱۲).

^۱ Replacment

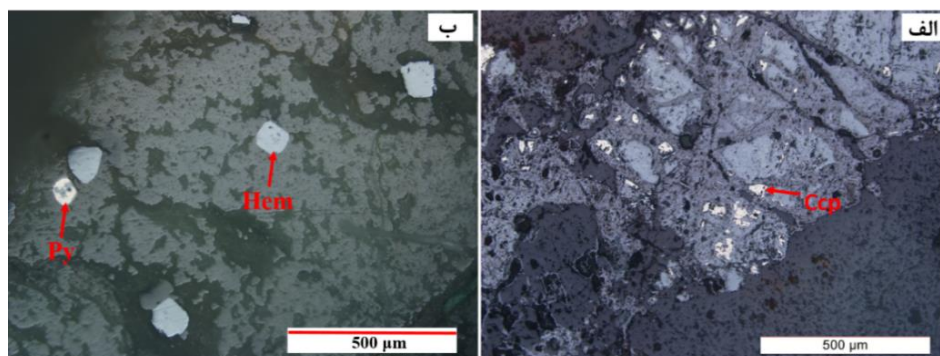


شکل ۴-۱۲: بافت جانشین؛ الف) جانشین شدن گویتیت، کالکوسیت و کوولیت به جای کالکوپیریت، ب) بافت مخرسی بین پیریت و هماتیت، نشان‌دهنده جانشین شدن پیریت توسط هماتیت می‌باشد؛ Ccp: کالکوپیریت، Cc: کالکوسیت، Cv: کوولیت، Gt: گویتیت، Py: پیریت، Hem: هماتیت.

۴-۳-۶ بافت باقی‌مانده^۱

این بافت بر اثر جانشینی سولفیدهای اولیه شامل پیریت و کالکوپیریت توسط کالکوسیت، کوولیت، گویتیت و هماتیت تشکیل می‌شود. در واقع جانشینی از حاشیه بلور شروع شده و به سمت مرکز ادامه می‌یابد. در بعضی موارد، تنها بخشی از بلورهای اولیه پیریت و کالکوپیریت باقی می‌ماند و بخش اعظم آن جانشین می‌شود (شکل ۴-۱۳)، در نتیجه بافت باقی‌مانده شکل می‌گیرد.

^۱ Relict



شکل ۴-۱۳: بافت باقی‌مانده؛ الف) بازمانده کانی کالکوپیریت که توسط اکسیدهای آهن جانشین شده است، ب) قالب پیریت که پس از جانشینی کامل توسط هماتیت باقی مانده و پدیده پseudomorphs را به نمایش گذاشته است؛ Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت، Hem: هماتیت.






















۴-۳-۷ بافت جعبه‌ای^۱

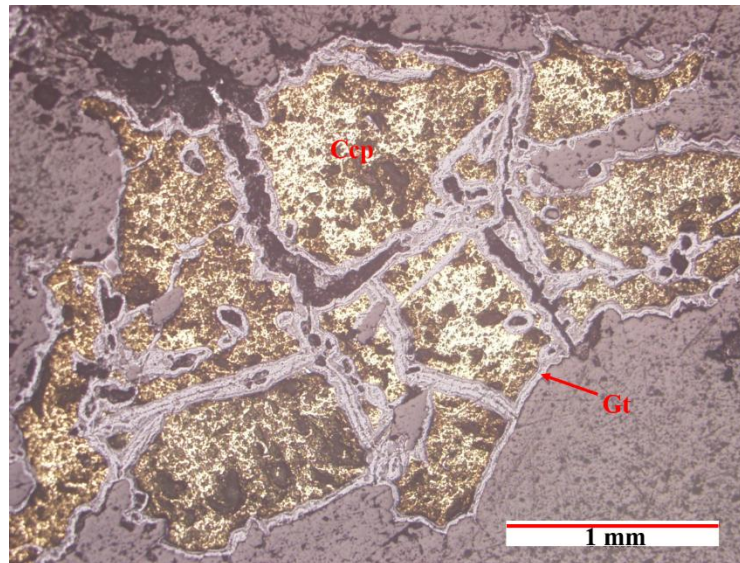
ساخت‌های سلول‌وار که عموماً "جعبه‌ای نامیده می‌شوند در هر شرایط محیطی که سیالات در ناپیوستگی موجود در کانی یا سنگ نفوذ کند و کانی‌ها از آن ته‌نشین شوند (به عنوان شیارهای باریک که حتی در فرآیندهای هوازگی باقی می‌مانند). توسعه پیدا می‌کنند (جدول ۴ - ۱). در مقیاس کوچک، مجراها شامل مرز دانه‌ها، کلیواژ، شکستگی‌های دانه‌های منفرد و در مقیاس بزرگتر الگوی شکستگی سنگ می‌باشند. در اغلب موارد مرحله اصلی توسعه شیارهای بافت جعبه‌ای در اطراف سطح ایستابی (به خصوص بالای سطح ایستابی) اتفاق می‌افتد و به عنوان باقی‌مانده از کانی‌ای که بوسیله فرآیندهای اکسیداسیون حذف شده است (معمولاً "کانی‌های سولفیدی)، در معرض دید قرار می‌گیرد و این تصور که توسعه شیارها در رخنمون شسته شده و بخشی از فرآیندهای هوازگی سطحی است، فقط در برخی از موارد صدق می‌کند (تیلور، ۲۰۱۱). با توجه به جدول (۴ - ۱) و شکل (۴-۱۲) به نظر می‌رسد فرآیندهای انحلال، غنی‌سازی سوپرژن و pseudomorphs در تشکیل بافت جعبه‌ای مشاهده شده در مقاطع میکروسکوپی دخالت داشته‌اند (شکل ۴-۱۴) و تشکیل این بافت در شرایط

^۱ Boxworks

اکسیدان و در حضور محلول‌های اسیدی صورت گرفته است.

جدول ۴-۱: مسیر تشکیل بافت جعبه‌ای تیلور (۲۰۱۱)

| COMMON PATHWAYS | HYOGENE | SUPERGENE | WATER TABLE (FLUCTUATING) | OXIDE ZONE | LEACHED CAP GOSSAN ZONE | COMMENT |
|-------------------------|--|---|--|--|---|--|
| 1. DISSOLUTION |  Original Sulphide |  Original Sulphide Dissolution | |  Cavity |  Negative pseudomorph | Most common pathway especially if via pyrite, sphalerite or pyrrhotite. Acid attack in lower oxide zone creates cavities which may reflect mineral shapes (negative pseudo-morphs). Major dissolution may occur in carbonate hosts, creating space for infill oxides. Especially zinc minerals via sphalerite dissolution. |
| 2. SUPERGENE ENRICHMENT |  Original Sulphide |  Supergene Enrichment | | Change of Chalcocite Covellite | | Original mineralogy changed at supergene zone. Chalcocite covellite formation common. Upward changes important in porphyry copper systems (see text Section 8). |
| 3. BOXWORK FORMATION |  Original Sulphide |  Original Sulphide |  A |  B Ribbing |  C | (A) Ribbing development commences at water table (B) Remnant sulphide leached in oxide zone giving boxwork (C) boxwork at surface affected by weathering may crumble, or become partially removed. |
| 4. IN SITU RESIDUES |  Original Sulphide |  Original Sulphide |  A |  B Grains |  C | (A) Ribs form as insoluble secondary minerals. ± rim replacement. (B) Process continues in oxide zone creating a granular mass. (C) Crumbling/ weathering of granular mass at surface ± further oxidation. Examples Galena → Anglesite/Cerussite → Lead Oxides Arsenopyrite → Scorodite → Limonite |
| 5. PSEUDO-MORPHISM |  Original Sulphide |  Original Sulphide |  A |  B Limonite |  C | Especially in carbonate-rich hosts – rapid acid neutralisation may produce pseudomorphs (A, B, C) especially after pyrite. |



شکل ۴-۱۴: بافت جعبه‌ای کالکوپیریت، در این تصویر شکستگی کالکوپیریت و سپس تشکیل دیواره‌های ضخیم از هیدرواکسیدهای آهن در بین قطعات کالکوپیریت دیده می‌شود؛ Ccp: کالکوپیریت، Gt: گوتیت.

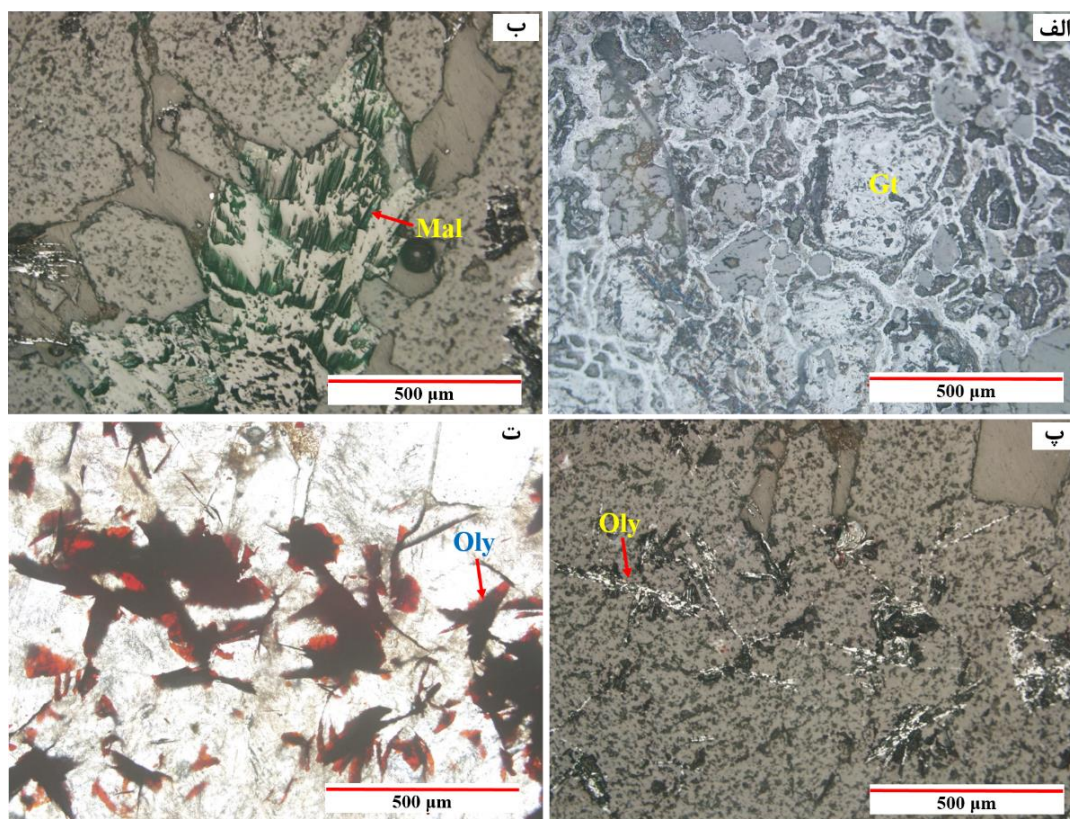
۴-۳-۸ بافت کلوفرمی^۱، سوزنی^۲ و تیغه‌ای^۳

بافت کلوفرمی به‌خصوص در کانی‌های اکسید آهن و منگنز معمول است. وجود بافت کلوفرمی گوتیت (شکل ۴-۱۵-الف)، نشان‌دهنده ته‌نشست این کانی در شرایط حرارت پایین در فضای خالی بین سایر کانی‌ها می‌باشد. بافت سوزنی یا رشته‌ای نیز در الیزبیت‌ها (شکل ۴-۱۵ پ و ت) و تیغه‌ای مالاکیت‌ها (شکل ۴-۱۵ ب) مشاهده می‌شود.

^۱ Colloform

^۲ Needle

^۳ Blade



شکل ۴-۱۵: (الف) بافت کلوفرمی اکسیدهای آهن، (ب) ملاکیت‌های تیغه‌ای، (پ) الیژیست‌های سوزنی در نور ppl، (ت) اولیژیست‌های سوزنی در نور xpl؛ Gt: گویتیت، Mal: ملاکیت، Oly: الیژیست.

۴-۴ توالی پاراژنتیک کانی‌ها

به کانی‌هایی که به طور همزمان از یک منشأ واحد متبلور می‌شوند اصطلاحاً "پاراژنز می‌گویند. پاراژنز هر کانسار تابع ترکیب شیمیایی محلول کانه‌دار، دما، فشار، تغییرات Eh، pH و شرایط محلول است (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۸). بررسی پاراژنز به کمک مطالعات میکروسکوپی و ماکروسکوپی امکان‌پذیر است.

مراحل کانی‌سازی در محدوده باغ‌قازی:

مرحله هیپوژن (اولیه): در این مرحله کانی‌های مس و آهن اولیه شامل کالکوپیریت، پیریت و

هماتیت از سیالات ماگمایی و هیدروترمالی به صورت پراکنده، رگه - رگچه‌ای و برشی در عمق تشکیل شده‌اند.

مرحله سوپرژن: در مرحله اکسیداسیون کانی‌های مرحله هیپوژن شامل کالکوپیریت، پیریت و هماتیت تحت تأثیر فرآیندهای اکسیداسیون قرار گرفته‌اند. در اثر هوازدگی کالکوپیریت، آهن قبل از مس خارج می‌شود. بنابراین حواشی بیرونی کالکوپیریت‌ها به کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت تبدیل شده و آهن نیز یا وارد محلول می‌شود یا به صورت گویتیت ته‌نشین می‌گردد. در اثر وجود شرایط مناسب چون حضور کربنات در محیط و در دسترس بودن آنیون کربنات در محیط و افزایش pH محلول، کانی کربنات مس، مالاکیت تشکیل می‌شود. مالاکیت هم بصورت رگچه‌ای و هم به صورت آغشتگی زمینه سنگ دیده می‌شود. بافت‌های رگه - رگچه‌ای، جانشینی، کلوفرمی، سوزنی و تیغه‌ای از مهمترین بافت‌های مشاهده شده در این زون می‌باشند. با توجه به مطالعات کانی‌شناسی در منطقه مورد مطالعه محتمل‌ترین توالی پاراژنتیکی در جدول (۴-۱) ارائه شده است.

فصل پنجم

ژئوشیمی

۵-۱ مقدمه

توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی هر منطقه و ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر از مهمترین جنبه‌هایی است که در مطالعات ژئوشیمیایی مد نظر می‌باشد و اهمیت بسزایی در جهت تعیین ویژگی‌های محیط تشکیل و فرآیندهای مؤثر در تشکیل ذخایر معدنی دارند (پیرسی^۱، ۲۰۱۱). در این فصل با استفاده از بررسی‌های ژئوشیمیایی، بر اساس نسبت‌های عنصری (عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی) و با استفاده از دیاگرام‌های تجربی و منطقی معتبر ابتدا به طبقه‌بندی و نام‌گذاری واحدهای سنگی و سپس مشخص کردن محیط تکتونیکی، رفتار ماگمای مادر و در نهایت به بررسی ژئوشیمی عنصری و رفتار عناصر در شکل‌گیری زون‌های کانی‌سازی پرداخته می‌شود.

۵-۲ روش و داده‌ها

به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی در منطقه مورد مطالعه، در مجموع ۱۷ نمونه سنگ و کانسنگ به شیوه تصادفی از رخنمون‌های سطحی سنگ‌های آتشفشانی شامل توف و گدازه، توده‌های نفوذی و سنگ‌ها و رگه‌های دارای کانی‌سازی برداشت گردید. لازم به ذکر است که نمونه‌ها همه برجا و از سطح تازه رخنمون‌های سنگی برداشت شده است.

امروزه از روش‌های دستگاهی متنوعی به منظور دستیابی به داده‌های ژئوشیمی استفاده می‌شود. در این تحقیق از نتایج تجزیه شیمیایی ۱۰ نمونه به روش XRF، ۱۸ نمونه به روش ICP-OES، ۱۱ نمونه به روش ICP-MS در آزمایشگاه مرکز فرآوری مواد معدنی ایران (ایمیدرو) و ۷ نمونه به روش Fire Assay برای عنصر طلا در آزمایشگاه زرآزما استفاده گردید. موقعیت نمونه‌های برداشت شده در جدول (۵-۱) و نتایج حاصله در جداول (۵-۲، ۵-۳، ۵-۴ و ۵-۵) ارائه گردیده است. آنچه در این فصل مورد بحث قرار گرفته است، داده‌های حاصل از تجزیه ژئوشیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی،

¹Piercy

توسط نرم‌افزارهای مختلف، مورد پردازش و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

جدول ۵-۱: موقعیت جغرافیایی محل برداشت نمونه‌های سنگی.

| شماره نمونه | علامت | توصیف صحرائی نمونه | مختصات محل برداشت | |
|----------------|-------|--|-------------------|---------|
| | | | X | Y |
| BG-G-01 | ▲ | آندزیت | ۶۲۶۷۲۱ | ۳۹۱۴۸۷۶ |
| BG-G-02 | - | رگه سیلیسی مس‌دار در محل معدنکاری قدیمی مس. | ۶۲۶۷۳۰ | ۳۹۱۴۸۹۹ |
| BG-G-03 | - | نمونه برشی دارای اکسیدهای آهن (لیمونیت و گویتیت) که آغشتگی ضعیف به سیلیس دارد، در محل معدنکاری قدیمی مس. | ۶۲۶۷۳۰ | ۳۹۱۴۸۹۹ |
| BG-G-04 | - | کانی‌سازی مس بصورت مالاکیت در آندزیت‌ها در محل معدنکاری قدیمی مس. | ۶۲۶۷۳۰ | ۳۹۱۴۸۹۹ |
| BG-G-05 | ▲ | آندزیت | ۶۲۶۷۶۹ | ۳۹۱۵۱۴۸ |
| BG-G-06 | ▲ | توف با ترکیب حدواسط | ۶۲۶۳۵۹ | ۳۹۱۵۳۳۰ |
| BG-G-07 | - | رگه سیلیسی مس-آهن‌دار | ۶۲۵۲۵۳ | ۳۹۱۵۴۴۱ |
| BG-G-08 | ▲ | توف با ترکیب ریولیتی | ۶۲۵۲۵۳ | ۳۹۱۵۴۴۱ |
| BG-G-09 | - | کانی‌سازی مس همراه سیلیس داخل ولکانیک‌ها | ۶۲۵۰۵۹ | ۳۹۱۵۳۵۹ |
| BG-G-10 | ▲ | توف با ترکیب داسیتی | ۶۲۵۰۵۹ | ۳۹۱۵۳۵۹ |
| BG-G-11 | ▲ | توف با ترکیب داسیتی | ۶۲۵۲۹۳ | ۳۹۱۵۴۸۵ |
| BG-G-12 | ▲ | برش توفی دگرسان‌شده | ۶۲۴۶۴۶ | ۳۹۱۶۸۲۷ |
| BG-G-13 | - | سیلیس‌های نواری همراه با کانی‌سازی مس بصورت کالکوپیریت و مالاکیت. | ۶۲۵۲۹۹ | ۳۹۱۵۴۷۷ |
| BG-G-14 | ■ | گرانودیوریت | ۶۲۸۶۰۲ | ۳۹۱۳۰۰۲ |
| BG-G-15 | ■ | گرانیت | ۶۲۹۷۰۲ | ۳۹۱۵۲۲۹ |
| BG-G-16 | ■ | گرانودیوریت | ۶۳۱۴۵۰ | ۳۹۱۳۵۲۰ |
| BG-G-17 | ■ | گرانیت | ۶۳۱۲۰۴ | ۳۹۱۳۷۱۴ |

جدول ۵-۲: مقادیر غلظت اکسید عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی به روش XRF در سنگ‌های آتشفشانی و توده-

های نفوذی منطقه باغ‌قازی .

| شماره نمونه | لیتولوژی | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | Fe ₂ O ₃ | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | TiO ₂ | MnO | LOI |
|-------------|--------------|------------------|--------------------------------|------|------|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|------------------|------|------|
| BG-G-01 | تراکی داسیت | ۵۹/۸۶ | ۱۸/۱۱ | ۲/۶۸ | ۱/۷۲ | ۴/۶۴ | ۴/۱۶ | ۴/۴۶ | ۰/۳۵ | ۰/۷۷ | ۰/۱ | ۳/۲۵ |
| BG-G-05 | تراکی آندزیت | ۵۵/۳۴ | ۱۳/۶۱ | ۸/۵۵ | ۳/۷۴ | ۵/۵۳ | ۳/۶۷ | ۳/۰ | ۰/۱۸ | ۰/۵۹ | ۰/۱۱ | ۵/۷۹ |
| BG-G-06 | تراکی داسیت | ۶۱/۴۵ | ۱۸/۴۶ | ۱/۰۹ | ۳/۴۱ | ۳/۹۴ | ۲/۸ | ۵/۲۳ | ۰/۰۸ | ۰/۵۸ | ۰/۰۸ | ۳/۰۴ |
| BG-G-08 | ریولیت | ۷۳/۱۵ | ۱۵/۲۲ | ۰/۰۸ | ۱/۴۶ | ۳/۷۵ | ۰/۷۵ | ۳/۵۸ | ۰/۰۸ | ۰/۳۸ | ۰/۰۶ | ۲/۴۸ |
| BG-G-10 | داسیت | ۶۶/۱۵ | ۱۳/۳۷ | ۲/۵۳ | ۵/۲۳ | ۵/۳۳ | ۱/۶ | ۱/۹۱ | ۰/۱۱ | ۰/۳۷ | ۰/۱۱ | ۳/۵۱ |
| BG-G-11 | داسیت | ۶۶/۹۹ | ۱۶/۳۷ | ۱/۱ | ۲/۵ | ۳/۲۶ | ۴/۲۶ | ۲/۳ | ۰/۱۶ | ۰/۵۶ | ۰/۰۵ | ۲/۶۶ |
| BG-G-14 | گرانودیوریت | ۶۶/۱۸ | ۱۴/۹۵ | ۴/۰۵ | ۱/۸۴ | ۳/۵۶ | ۳/۰۷ | ۳/۷ | ۰/۱۹ | ۰/۸۶ | ۰/۰۹ | ۰/۸۸ |
| BG-G-15 | گرانیت | ۷۵/۹۴ | ۱۳/۱۶ | ۰/۸۹ | ۰/۰۸ | ۰/۸۲ | ۳/۲۴ | ۵/۲۹ | ۰/۳۲ | ۰/۰۸ | ۰/۱۴ | ۰/۳۹ |
| BG-G-16 | گرانیت | ۷۴/۸۷ | ۱۳/۵۳ | ۳/۰۶ | ۰/۰۸ | ۱/۷۷ | ۳/۸۱ | ۲/۴۹ | ۰/۲ | ۰/۰۸ | ۰/۰۸ | ۰/۴۸ |
| BG-G-17 | گرانیت | ۷۲/۵۲ | ۱۳/۶۱ | ۲/۰۲ | ۰/۰۸ | ۲/۳۴ | ۳/۹ | ۴/۷۶ | ۰/۱۲ | ۰/۰۸ | ۰/۰۵ | ۰/۸۶ |
| BG-G-11' | داسیت | ۶۶/۸ | ۱۶/۵۹ | ۰/۷۷ | ۲/۸ | ۲/۸۴ | ۵۶/۳۱ | ۱/۷۹ | ۰/۱۴ | ۰/۵۹ | ۰/۰۶ | ۲/۵۲ |
| BG-G-15' | گرانیت | ۷۴/۶۱ | ۱۳/۰۱ | ۰/۷۴ | ۰/۰۸ | ۰/۷۵ | ۲/۹۷ | ۷/۳ | ۰/۳۱ | ۰/۱۴ | ۰/۱۳ | ۰/۴۷ |

* BG-G-15' و BG-G-11' به ترتیب نمونه‌های تکراری، معادل BG-G-15 و BG-G-11 می‌باشند.

جدول ۵-۳: مقادیر غلظت (ppm) عناصر فرعی و کمیاب و برخی عناصر اصلی (درصد وزنی) در نمونه‌های کانسنگ

منطقه باغ‌قازی به روش ICP-OES (عنصر طلا به روش Fire Assay اندازه‌گیری شده است).

| شماره نمونه عنصر | BG-G-02 | BG-G-03 | BG-G-04 | BG-G-07 | BG-G-09 | BG-G-12 | BG-G-13 | BG-G-13' |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Au | ۰/۰۱ | ۰/۱۸ | ۰/۰۹ | ۰/۰۷ | ۰/۰۹ | ۰/۰۵ | ۳/۲۲۸ | - |
| Ag | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Al (%) | ۴/۴ | ۲/۳ | ۳/۱ | ۲/۲ | ۲/۶ | ۴ | ۱ | ۱/۱ |
| As | ۳۴ | ۶۵ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ |
| Be | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Bi | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ |
| Ca (%) | ۱۲ | ۱۸/۱ | ۰/۶ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۹ | <۰/۱ | <۰/۱ |
| Cd | ۳ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Ce | ۲۹ | ۲۴ | ۱۷ | <۱۰ | ۱۱ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ |
| Co | ۹ | ۳۳ | ۱۲ | <۱۰ | ۱۱ | <۱۰ | ۱۶ | ۱۷ |
| Cr | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | ۱۴ | ۲۰ | ۱۳ | ۸۴ | ۷۱ |

ادامه جدول ۳-۵: مقادیر غلظت (ppm) عناصر فرعی و کمیاب و برخی عناصر اصلی (درصد وزنی) در نمونه‌های کانسنگ منطقه باغ‌قازی به روش ICP-OES (عنصر طلا به روش Fire Assay اندازه‌گیری شده است).

| شماره نمونه عنصر | BG-G-02 | BG-G-03 | BG-G-04 | BG-G-07 | BG-G-09 | BG-G-12 | BG-G-13 | BG-G-13' |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Cu | ۵۴۳۸ | ۶۶۳۰ | ۳۱۹۵۰ | ۵۷۰ | ۷۳۲۰ | ۷۶۴ | ۸۱۸۶ | ۷۸۷۲ |
| Fe (%) | ۴/۲ | ۹/۶ | ۳/۹ | ۳/۱ | ۳/۴ | ۹/۵ | ۳/۵ | ۳/۶ |
| K | ۳/۷ | ۱/۷ | ۳/۵ | ۳/۱ | ۲/۳ | ۴/۸ | ۰/۵ | ۰/۵ |
| La | <۱۰ | ۱۷ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ |
| Li | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | ۱۳ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ |
| Mg (%) | ۰/۶ | ۰/۴ | ۰/۸ | ۰/۱ | ۰/۶ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ |
| Mn | ۱۰۵۴ | ۱۳۱۶۰ | ۱۵۴۲ | ۱۴۷ | ۱۵۱۶ | ۳۵۱ | ۲۸۴ | ۳۰۷ |
| Mo | ۱۰ | ۷۰ | ۱۶ | ۲۶ | ۹۲ | ۵ | ۱۴ | ۱۴ |
| Na (%) | ۰/۴ | ۰/۲ | ۰/۶ | ۰/۱ | <۰/۱ | ۱/۵ | <۰/۱ | <۰/۱ |
| Ni | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ |
| P (%) | ۰/۰۷ | ۰/۰۴ | ۰/۱۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۷ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ |
| Pb | ۳۹۲ | ۹۵۴ | ۱۱۴ | ۱۹ | ۷۴ | ۱۰۶۳ | ۳۳ | ۲۷ |
| S (%) | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | ۰/۱۴ | <۰/۱ | ۰/۴ | ۰/۱۲ | ۰/۱۵ |
| Sb | ۳۴ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ |
| Sc | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ |
| Sr | ۸۷ | ۷۴ | ۷۲ | ۱۳ | <۱۰ | ۱۹۵ | <۱۰ | <۱۰ |
| Ti (%) | ۰/۱۵ | ۰/۰۹ | ۰/۲۲ | ۰/۲۶ | ۰/۱۹ | ۰/۲۹ | ۰/۰۵ | ۰/۰۵ |
| V | ۷۵ | ۱۰۵ | ۷۱ | ۳۴ | ۲۳ | ۱۳۰ | ۲۱ | ۲۳ |
| Y | ۲۰ | ۳۶ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ |
| Zn | ۲۰۶ | ۲۰۶ | ۲۱۰ | <۱۰ | ۱۳۲ | ۱۴۲ | <۱۰ | <۱۰ |

* BG-G-13 نمونه تکراری، معادل BG-G-13 می‌باشد.

جدول ۴-۵: مقادیر غلظت (ppm) عناصر فرعی و کمیاب در نمونه‌های سنگ منطقه باغ‌قازی به روش ICP-OES.

| شماره نمونه عنصر | BG-G-01 | BG-G-05 | BG-G-06 | BG-G-08 | BG-G-10 | BG-G-11 | BG-G-14 | BG-G-15 | BG-G-16 | BG-G-17 | BG-G-15' |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Ag | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| As | <۲۰ | <۲۱ | <۲۲ | <۲۳ | <۲۴ | <۲۵ | <۲۶ | <۲۷ | <۲۸ | <۲۹ | <۳۰ |
| Be | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | ۳/۱ | <۱ | <۱ | ۳ |
| Bi | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ |
| Cd | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Ce | ۴۹ | ۳۲ | ۴۱ | ۴۳ | ۲۷ | ۳۹ | ۲۶ | ۱۹ | ۳۵ | ۳۷ | ۱۹ |
| Co | <۱۰ | ۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ |
| Cr | ۲۸ | ۴۵ | ۴۴ | ۳۶ | ۲۶ | ۲۲ | ۹۸ | ۲۸ | ۸۰ | ۲۹ | ۲۳ |
| Cu | ۸۸ | <۱۰ | ۱۵ | ۴۲۵ | ۲۲ | ۱۵ | ۴۹ | <۱۰ | ۲۳ | <۱۰ | <۱۰ |
| La | ۱۴ | ۱۲ | ۱۰ | ۱۹ | <۱۰ | ۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | ۱۲ | ۱۳ | <۱۰ |
| Mo | <۲ | <۲ | <۲ | <۲ | <۲ | <۲ | <۲ | <۲ | <۲ | <۲ | <۲ |
| Nd | ۲۰ | ۱۶ | ۱۵ | ۲۳ | ۱۱ | ۱۵ | ۱۲ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ |
| Ni | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ | <۱۰ |
| Pb | <۲۰ | ۲۵ | <۲۰ | <۲۰ | ۲۱ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ |
| S (%) | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ |
| Sb | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ | <۲۰ |
| Sc | ۱۰ | ۱۳ | ۷ | ۶ | ۷ | ۶ | ۱۰ | <۵ | <۵ | <۵ | <۵ |
| Sr | ۱۲۴ | ۱۶۱ | ۸۴ | <۱۰ | ۱۱ | ۴۰ | ۱۸۷ | ۴۲ | ۱۶۰ | ۱۲۳ | ۳۹ |
| V | ۷۹ | ۸۷ | ۳۷ | ۳۰ | ۳۹ | ۲۸ | ۹۴ | ۱۷ | ۳۶ | ۳۶ | ۱۶ |
| Y | ۱۵ | ۱۵ | ۱۱ | ۱۳ | ۱۴ | <۱۰ | ۱۵ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۰ | ۱۲ |
| Zn | ۲۱۷ | ۱۲۸ | ۱۰۷ | ۹۸ | ۲۰۶ | ۵۱ | ۲۸ | <۱۰ | ۱۰ | ۱۷ | <۱۰ |
| Zr | ۳۲ | ۴۶ | ۷۰ | ۵۳ | ۴۰ | ۷۴ | ۱۴۰ | ۱۳۵ | ۱۴۱ | ۱۹۵ | ۱۳۳ |

*BG-G-15 نمونه تکراری، معادل BG-G-15 می‌باشد.

جدول ۵-۵: مقادیر غلظت (ppm) عناصر فرعی و کمیاب و برخی عناصر اصلی (درصد وزنی) در نمونه‌های سنگ و کانسنگ منطقه باغ‌قازی به روش ICP-MS.

| شماره نمونه عنصر | BG-G-01 | BG-G-05 | BG-G-06 | BG-G-07 | BG-G-08 | BG-G-09 | BG-G-11 | BG-G-13 | BG-G-14 | BG-G-16 | BG-G-17 | BG-G-09' |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Al (%) | ۸/۳۲ | ۶/۷۷ | ۹/۳ | ۴/۹۲ | ۶/۵۱ | ۳/۹۳ | ۷/۶۳ | ۲۶,۱ | ۷/۲۲ | ۷/۲۲ | ۶/۸ | ۳/۸۳ |
| Fe (%) | ۳/۴۴ | ۳/۸۳ | ۲/۴۶ | ۲/۹۳ | ۲/۶۵ | ۳/۱۸ | ۱/۸۶ | ۳/۱۷ | ۲/۷۶ | ۱/۱ | ۱/۲۸ | ۲/۸۹ |
| Mg (%) | ۰/۵۶ | ۱/۱۳ | ۱/۴۸ | <۰/۱ | ۰/۵۱ | ۰/۳۹ | ۱/۱۸ | <۰/۱ | ۰/۸۸ | <۰/۱ | <۰/۱ | ۰/۳۳ |
| Ca (%) | ۱/۵۸ | ۳/۸۷ | ۰/۶۷ | ۰/۱۸ | ۰/۱۳ | ۰/۱۹ | ۰/۴۸ | <۰/۱ | ۱/۸۷ | ۱/۲۵ | ۰/۹۲ | ۰/۱۸ |
| Na (%) | ۳/۰۲ | ۲/۲۲ | ۲/۳۷ | ۰/۲۳ | ۰/۴۷ | <۰/۱ | ۲/۲۸ | <۰/۱ | ۱/۸۴ | ۲/۰۸ | ۱/۹۷ | ۰/۱۴ |
| K (%) | ۲/۷۸ | ۱/۷۷ | ۳/۲۸ | ۳/۰۲ | ۲/۷۳ | ۱/۹۴ | ۱/۵۴ | ۰/۳۶ | ۲/۸۱ | ۲/۶۶ | ۳/۰۲ | ۱/۸۵ |
| Ti (%) | ۰/۳۱ | ۰/۳۸ | ۰/۲۲ | ۰/۲۲ | ۰/۲ | ۰/۱۸ | ۰/۲۷ | ۰/۰۹ | ۰/۳۵ | ۰/۲ | ۰/۲ | ۰/۲ |
| P (%) | ۰/۱۲ | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ | ۰/۰۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | ۰/۰۶ | ۰/۰۲ | ۰/۰۵ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۰۴ |
| Mn | ۱۳۲۹ | ۱۴۸۳ | ۱۱۱۳ | ۱۱ | ۷۹۶ | ۱۵۴۹ | ۶۶۱ | ۱۹۶ | ۵۲۸ | ۱۱۵ | ۱۶۴ | ۱۱۱۹ |
| Cr | ۱۱ | ۱۶ | ۲ | ۲۲ | ۱۲ | ۳۱ | <۱ | ۵۷ | ۸۹ | ۶۶ | <۱ | ۲۶ |
| Ag | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | ۵/۱ | <۱ | ۳/۲ | <۱ | <۱ | <۱ | ۴/۶ |
| As | ۲/۸ | ۵/۳ | ۳ | ۴/۹ | ۳/۴ | ۵/۸ | ۳ | ۲۲/۱ | ۸/۲ | ۶/۶ | ۴/۱ | ۵/۶ |
| Hg | <۱ | ۳/۴۶ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Sn | ۳/۳ | ۲/۷ | ۴/۲ | ۲/۵ | ۲/۹ | ۱/۸ | ۳/۴ | ۱ | ۵/۸ | ۶/۷ | ۵/۷ | ۱/۹ |
| S (%) | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | ۰/۱۷ | <۰/۱ | <۰/۱ | ۰/۱۲ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ |
| Cu | ۸۶ | ۱۰ | ۲۰ | ۱۵۷ | ۴۴۰ | ۷۱۶۱ | ۱۸۶ | ۷۸۷۲ | ۱۲۴ | ۷۴ | ۱۷ | ۶۹۵۱ |
| Pb | ۲۳ | ۲۴ | ۱۰ | ۱۷ | ۸ | ۶۹ | ۱۰ | ۲۷ | ۱۵ | ۱۴ | ۱۸ | ۶۳ |
| Zn | ۱۸۱ | ۱۰۴ | ۹۷ | ۲۲ | ۸۳ | ۱۱۷ | ۴۳ | ۲۷ | ۳۲ | ۱۸ | ۲۸ | ۱۰۸ |
| Mo | <۱ | <۱ | <۱ | ۲۳/۶ | <۱ | ۹۳/۱ | ۲/۳ | ۱۲/۲ | ۱/۴ | <۱ | <۱ | ۸۶ |
| Bi | <۱ | <۱ | <۱ | ۱/۷ | <۱ | ۱۸/۸ | ۱/۲ | ۳۱/۲ | ۱/۸ | <۱ | <۱ | ۱۸/۱ |

ادامه جدول ۵-۵: مقادیر غلظت (ppm) عناصر فرعی و کمیاب در نمونه‌های سنگ و کانسنگ منطقه باغ‌قازی به روش ICP-MS.

| شماره نمونه عنصر | BG-G-01 | BG-G-05 | BG-G-06 | BG-G-07 | BG-G-08 | BG-G-09 | BG-G-11 | BG-G-13 | BG-G-14 | BG-G-16 | BG-G-17 | BG-G-09' |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Sc | ۱۰ | ۱۳/۸ | ۸/۷ | ۶/۲ | ۷ | ۴/۹ | ۷/۲ | ۲/۳ | ۱۰/۵ | ۴/۸ | ۵ | ۴/۶ |
| Co | ۱۱ | ۱۴ | ۸ | ۴ | ۹ | ۱۰ | ۶ | ۱۵ | ۱۱ | ۴ | ۵ | ۱۰ |
| Ni | ۳ | ۵ | <۱ | ۱ | <۱ | <۱ | <۱ | ۲ | ۵ | <۱ | ۴ | <۱ |
| Cd | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ | <۰/۱ |
| Sb | <۱ | <۱ | <۱ | ۲ | ۱/۱ | ۱/۸ | <۱ | ۱/۹ | <۱ | <۱ | <۱ | ۲/۶ |
| Tl | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Li | ۸/۳ | ۷/۹ | ۱۱/۱ | ۶/۷ | ۱۱/۷ | ۱۵ | ۹/۳ | ۹/۹ | ۲۷/۱ | ۱۲/۳ | ۱۵/۲ | ۱۵ |
| Be | ۱/۵ | <۱ | ۲/۴ | <۱ | <۱ | <۱ | ۱/۴ | <۱ | <۱ | ۲/۱ | ۱/۳ | <۱ |
| Ga | ۱۶/۸ | ۱۰/۶ | ۱۶/۱ | ۱۲ | ۱۵/۶ | ۷/۹ | ۱۲/۷ | ۴/۱ | ۱۳/۵ | ۱۲/۱ | ۱۱/۱ | ۷/۷ |
| Cs | ۱/۲ | <۱ | ۲ | ۱/۷ | ۲/۲ | ۲/۵ | ۱/۴ | <۱ | ۳/۸ | ۳ | ۵/۵ | ۲/۶ |
| Rb | ۱۳۲ | ۹۰ | ۲۰۵ | ۱۷۰ | ۱۹۴ | ۱۰۲ | ۷۹ | ۲۳ | ۱۸۰ | ۱۶۹ | ۱۶۴ | ۱۰۱ |
| Th | ۲/۶ | ۳/۶ | ۶/۳ | ۲/۷ | ۳ | ۱/۷ | ۳/۸ | <۱ | ۸/۹ | ۱۳/۹ | ۱۳/۲ | ۲/۱ |
| U | <۱ | ۱ | ۱/۴ | <۱ | <۱ | ۱/۱ | <۱ | <۱ | ۲ | ۲/۲ | ۲/۲ | ۱/۲ |
| Y | ۱۷ | ۱۷ | ۲۰ | ۷ | ۲۱ | ۱۰ | ۲۴ | ۴ | ۲۰ | ۱۶ | ۱۴ | ۸ |
| In | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Te | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | ۷/۶ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Zr | ۴۳ | ۴۳ | ۱۰۹ | ۵۵ | ۵۹ | ۷۸ | ۱۳۹ | ۱۰ | ۱۳ | ۱۱ | <۱۰ | ۳۷ |
| Hf | ۱/۹ | ۲/۱ | ۳/۷ | ۲ | ۲/۲ | ۱ | ۲/۸ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | ۱/۴ |
| V | ۹۲ | ۱۰۱ | ۴۳ | ۳۷ | ۳۲ | ۳۰ | ۲۷ | ۳۰ | ۱۰۵ | ۳۸ | ۳۸ | ۲۸ |
| W | <۱ | <۱ | <۱ | ۲/۶ | ۲/۳ | <۱ | <۱ | ۱۰/۵ | ۱/۳ | <۱ | ۱/۴ | ۱/۴ |
| Nb | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۰ | ۸ | ۷ | ۱۲ | ۲ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۱ | ۸ |

ادامه جدول ۵-۵: مقادیر غلظت (ppm) عناصر فرعی و کمیاب در نمونه‌های سنگ و کانسنگ منطقه باغ‌قاضی به روش ICP-MS.

| شماره نمونه عنصر | BG-G-01 | BG-G-05 | BG-G-06 | BG-G-07 | BG-G-08 | BG-G-09 | BG-G-11 | BG-G-13 | BG-G-14 | BG-G-16 | BG-G-17 | BG-G-09' |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| REE | | | | | | | | | | | | |
| Ta | ۱/۷ | ۱/۷ | ۲/۱ | ۱/۹ | ۱/۷ | ۱/۴ | ۲/۲ | <۱ | ۲/۶ | ۲/۸ | ۳/۱ | ۱/۵ |
| La | ۲۶ | ۲۱ | ۴۲ | ۵ | ۵۰ | ۱۱ | ۳۵ | ۴ | ۲۰ | ۲۴ | ۲۸ | |
| Ce | ۵۲ | ۳۱ | ۸۵ | ۱۰ | ۸۱ | ۲۷ | ۷۱ | ۷ | ۳۲ | ۴۰ | ۵۲ | ۲۴ |
| Pr | ۵/۸ | ۴/۹ | ۹/۵ | ۱/۳ | ۱۱/۱ | ۲/۸ | ۸/۱ | ۱ | ۵ | ۴/۶ | ۴/۵ | ۲/۶ |
| Nd | ۲۸ | ۲۲ | ۴۱ | ۶ | ۴۹ | ۱۲ | ۳۵ | ۵ | ۲۲ | ۱۸ | ۱۸ | ۱۲ |
| Sm | ۵/۴ | ۴/۳ | ۷/۱ | ۱/۲ | ۸/۵ | ۲/۵ | ۶/۸ | <۱ | ۴/۱ | ۳/۲ | ۲/۹ | ۲/۵ |
| Eu | ۱/۱۶ | ۱/۰۵ | ۱/۳۴ | <۱ | <۱ | <۱ | ۲ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Gd | ۳/۳ | ۳/۲ | ۳/۱ | ۲ | ۳/۷ | ۲/۵ | ۲/۸ | ۲ | ۲/۵ | ۱/۵ | ۱/۶ | ۲/۳ |
| Tb | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Dy | ۴/۵ | ۴/۱ | ۵/۳ | ۱/۶ | ۶/۳ | ۲/۳ | ۵/۹ | <۱ | ۴/۶ | ۳/۵ | ۲/۸ | ۲/۳ |
| Ho | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | ۱/۱ | <۱ | ۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Er | ۲/۷ | ۲/۳ | ۳ | <۱ | ۳/۹ | ۱/۴ | ۳/۴ | <۱ | ۲/۸ | ۲/۱ | ۱/۶ | ۱/۳ |
| Tm | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |
| Yb | ۱/۵ | ۱/۶ | ۱/۷ | <۱ | ۱/۴ | ۱/۱ | ۲ | <۱ | ۲۲ | ۱/۶ | ۱/۵ | <۱ |
| Lu | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ | <۱ |

۵-۲-۱ پردازش داده‌ها

گام نخست برای پردازش داده‌های ژئوشیمیایی، آماده‌سازی داده‌ها می‌باشد. پس از آماده‌سازی داده‌ها بسته به هدف تحقیق داده‌های ژئوشیمیایی مربوط به نمونه‌های سنگ و کانسنگ با استفاده از روش‌ها و نرم‌افزارهای مختلف پردازش می‌شود. در زیر بطور سلسله‌مراتبی مراحل تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی آورده شده است.

۵-۲-۱-۱ جایگزینی داده‌های سنسورد

داده‌های سنسورد، به داده‌هایی گفته می‌شود که مقادیر آن زیر حد تشخیص و یا بالای حد تشخیص دستگاه اندازه‌گیری می‌باشد. در این مرحله باید درصد فراوانی نسبی در مورد عناصری که مقادیر سنسورد برای آنها گزارش شده است، محاسبه شود و در صورتی که این مقادیر در حد قابل قبول بود، می‌توان به روش‌های مختلف مقادیر سنسورد را جایگزین کرد. یکی از این روش‌ها، روش جایگزینی ساده می‌باشد که در این روش، داده‌های سنسورد حد پایین (زیر کمترین حد تشخیص دستگاه) را با مقادیر $3/4$ حد تشخیص پایینی جایگزین می‌کنند. در تجزیه شیمیایی نمونه‌ها به روش ICP-OES/MS در مورد بعضی از عناصر مقادیر غلظت پایین‌تر از حد تشخیص گزارش شده است (جدول ۳-۵، ۴-۵ و ۵-۵). بنابراین مقادیر درصد فراوانی نسبی برای این عناصر محاسبه گردیده و در جدول (۶-۵) و (۷-۵) ارائه گردیده است. همان‌طور که در جداول (۶-۵) و (۷-۵) مشخص است، بیشتر این عناصر مقادیر سنسورد بالایی نسبت به تعداد کل نمونه‌ها دارند و از پردازش آنها صرف نظر می‌شود. بنابراین از میان این عناصر، عناصری که درصد فراوانی نسبی کمتر از ۵۰ درصد دارند، مقادیر سنسورد حد پایین آنها با $3/4$ حد تشخیص پایینی جایگزین شده است که البته با نتایج حاصل از آنها باید با احتیاط برخورد کرد.

جدول ۵-۶: درصد فراوانی داده‌های سنسورد در تعداد کل ۱۹ نمونه حاصل از تجزیه شیمیایی ICP-OES.

| عنصر | تعداد داده‌های سنسورد | درصد فراوانی نسبی | حد حساسیت دستگاه |
|------|-----------------------|-------------------|------------------|
| Ag | ۱۹ | ۱۰۰ | ۱ ppm |
| As | ۱۷ | ۸۹/۴۷ | ۲۰ ppm |
| Be | ۱۷ | ۸۹/۴۷ | ۱ ppm |
| Bi | ۱۹ | ۱۰۰ | ۲۰ ppm |
| Ca | ۲ | ۲۵ | ۰/۱ درصد |
| Cd | ۱۸ | ۹۴/۷۳ | ۱ ppm |
| Ce | ۴ | ۲۱/۰۵ | ۱۰ ppm |
| Co | ۱۲ | ۶۳/۱۵ | ۱۰ ppm |
| Cr | ۳ | ۱۵/۷۸ | ۱۰ ppm |
| Cu | ۴ | ۲۱/۰۵ | ۱۰ ppm |
| La | ۱۱ | ۵۷/۸۹ | ۱۰ ppm |
| Li | ۷ | ۸۷/۵ | ۱۰ ppm |
| Na | ۳ | ۳۷/۵ | ۰/۱ درصد |
| Nd | ۴ | ۳۶/۳۶ | ۱۰ ppm |
| Ni | ۱۹ | ۱۰۰ | ۱۰ ppm |
| Pb | ۹ | ۴۷/۳۶ | ۲۰ ppm |
| S | ۱۵ | ۷۸/۹۴ | ۰/۱ درصد |
| Sb | ۱۸ | ۹۴/۷۳ | ۱۰ ppm |
| Sc | ۱۲ | ۶۳/۱۵ | ۱۰ ppm |
| Sr | ۴ | ۲۱/۰۵ | ۱۰ ppm |
| Y | ۷ | ۳۶/۸۴ | ۱۰ ppm |
| Mo | ۱۱ | ۵۷/۸۹ | ۲ ppm |
| Zn | ۵ | ۲۶/۳۱ | ۱۰ ppm |

جدول ۵-۷: درصد فراوانی داده‌های سنسورد در تعداد کل ۱۲ نمونه حاصل از تجزیه شیمیایی ICP-MS.

| عنصر | تعداد داده‌های سنسورد | درصد فراوانی نسبی | حد حساسیت دستگاه |
|------|-----------------------|-------------------|------------------|
| Mg | ۴ | ۳۳/۳ | ۰/۱ درصد |
| Ca | ۱ | ۸/۳ | ۰/۱ درصد |
| Na | ۲ | ۱۶/۷ | ۰/۱ درصد |
| Cr | ۲ | ۱۶/۷ | ۱ ppm |
| Ag | ۹ | ۷۵ | ۱ ppm |
| Hg | ۱۱ | ۹۱/۷ | ۱ ppm |
| S | ۱۰ | ۸۳/۳ | ۰/۱ درصد |
| Mo | ۶ | ۵۰ | ۱ ppm |
| Bi | ۶ | ۵۰ | ۱ ppm |

ادامه جدول ۵-۷: درصد فراوانی داده‌های سنسورد در تعداد کل ۱۲ نمونه حاصل از تجزیه شیمیایی ICP-MS

| عنصر | تعداد داده‌های سنسورد | درصد فراوانی نسبی | حد حساسیت دستگاه |
|------|-----------------------|-------------------|------------------|
| Ni | ۶ | ۵۰ | ۱ ppm |
| Cd | ۱۲ | ۱۰۰ | ۰/۱ ppm |
| Sb | ۷ | ۵۸/۳ | ۱ ppm |
| Ti | ۱۲ | ۱۰۰ | ۱ ppm |
| Be | ۷ | ۵۸/۳ | ۱ ppm |
| Cs | ۲ | ۱۶/۷ | ۱ ppm |
| Th | ۱ | ۸/۳ | ۱ ppm |
| U | ۵ | ۴۱/۷ | ۱ ppm |
| In | ۱۲ | ۱۰۰ | ۱ ppm |
| Te | ۱۱ | ۹۱/۷ | ۱ ppm |
| Hf | ۴ | ۳۳/۳ | ۱ ppm |
| W | ۶ | ۵۰ | ۱ ppm |
| Ta | ۱ | ۸/۳ | ۱ ppm |
| Sm | ۱ | ۸/۳ | ۱ ppm |
| Eu | ۸ | ۶۶/۷ | ۱ ppm |
| Tb | ۱۲ | ۱۰۰ | ۱ ppm |
| Dy | ۱ | ۸/۳ | ۱ ppm |
| Ho | ۱۰ | ۸۳/۳ | ۱ ppm |
| Er | ۲ | ۱۶/۷ | ۱ ppm |
| Tm | ۱۲ | ۱۰۰ | ۱ ppm |
| Yb | ۳ | ۲۵ | ۱ ppm |
| Lu | ۱۲ | ۱۰۰ | ۱ ppm |

۵-۲-۲ محاسبه میزان دقت با استفاده از نمونه تکراری

در جداول (۳-۵) و (۴-۵) با استفاده از نمونه های تکراری و بر اساس میانگین اندازه‌گیری‌ها میزان دقت برای دو نمونه XRF (جدول ۵-۸)، یک نمونه ICP-OES (جدول ۵-۹) و یک نمونه ICP-MS (جدول ۵-۱۰) با استفاده از فرمول (۱) (حسنی‌پاک، ۱۳۸۹) محاسبه شد و میزان خطا در اندازه‌گیری‌ها بدست آمد. از آنجا که در دنیا ۱۰ تا ۱۵ درصد خطا قابل قبول است و میزان خطای بدست آمده زیاد نیست می‌توان از داده‌ها جهت رسم گراف و تفسیر استفاده کرد.

$$\text{Error \%} = \frac{X_1 - X_2}{X_2} * 100 \quad \text{فرمول (۱)}$$

X_1 = مقدار اندازه‌گیری شده
 X_2 = میانگین دو اندازه‌گیری

جدول ۵-۸: محاسبه میزان خطا با استفاده از نمونه تکراری برای داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی به روش XRF.

| اکسید نمونه | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | Fe ₂ O ₃ | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | TiO ₂ | MnO |
|--------------------|------------------|--------------------------------|-------|------|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-------|
| BG-G-11 | ۶۶/۹۹ | ۱۶/۳۷ | ۱/۱ | ۲/۵ | ۳/۲۶ | ۴/۲۶ | ۲/۳ | ۰/۱۶ | ۰/۵۶ | ۰/۰۵ |
| BG-G-11' | ۶۶/۸ | ۱۶/۵۹ | ۰/۷۷ | ۲/۸ | ۲/۸۴ | ۵/۳۱ | ۱/۷۹ | ۰/۱۴ | ۰/۵۹ | ۰/۰۶ |
| میانگین | ۶۶/۸۹ | ۱۶/۴۸ | ۰/۹۳ | ۲/۶۵ | ۳/۰۵ | ۴/۷۸ | ۲/۰۴ | ۰/۱۵ | ۰/۵۷ | ۰/۰۵۵ |
| خطا (%) | ۰/۱۴ | ۰/۶۷ | ۱۷/۶۵ | ۵/۶۶ | ۶/۸۹ | ۱۰/۹۷ | ۱۲/۴۷ | ۶/۶۷ | ۲/۶۱ | ۲/۷ |
| BG-G-15 | ۷۵/۹۴ | ۱۳/۱۶ | ۰/۸۹ | ۰/۰۸ | ۰/۸۲ | ۳/۲۴ | ۵/۲۹ | ۰/۳۲ | ۰/۰۸ | ۰/۱۴ |
| BG-G-15' | ۷۴/۶۱ | ۱۳/۰۱ | ۰/۷۴ | ۰/۰۸ | ۰/۷۵ | ۲/۹۷ | ۷/۳ | ۰/۳۱ | ۰/۱۴ | ۰/۱۳ |
| میانگین | ۷۵/۲۷ | ۱۳/۰۸ | ۰/۸۱ | ۰/۰۸ | ۰/۷۸۵ | ۳/۱۰۵ | ۶/۲۹۵ | ۰/۳۱۵ | ۰/۱۰۷ | ۰/۱۳۵ |
| خطا (%) | ۰/۸۸ | ۰/۵۷ | ۹/۲ | ۰ | ۴/۴۶ | ۴/۳۵ | ۱۵/۹۶ | ۱/۵۹ | ۳۰/۲۳ | ۳/۷ |
| میانگین خطا (%) | ۰/۵۱ | ۰/۶۲ | ۱۳/۴۲ | ۵/۶۶ | ۵/۶۷ | ۷/۶۶ | ۱۴/۲۱ | ۴/۱۳ | ۱۶/۴۲ | ۶/۴۰ |

* BG-G-11' و BG-G-15' به ترتیب نمونه‌های تکراری، معادل BG-G-11 و BG-G-15 می‌باشند.

جدول ۵-۹: محاسبه میزان خطا با استفاده از نمونه تکراری برای داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی به روش ICP.

OES

| عنصر نمونه | Be | Ce | Cr | Cu | La | Nd | Pb | Sc | Sr | V | Y | Zn | Zr |
|---------------|------|----|-----|-----|-----|-----|----|------|------|------|----|-----|------|
| BG-G-15 | ۳/۱ | ۱۹ | ۲۸ | ۷/۵ | ۷/۵ | ۷/۵ | ۱۵ | ۳/۷۵ | ۴۲ | ۱۷ | ۱۲ | ۷/۵ | ۱۳۵ |
| BG-G-15' | ۳ | ۱۹ | ۲۳ | ۷/۵ | ۷/۵ | ۷/۵ | ۱۵ | ۳/۷۵ | ۳۹ | ۱۶ | ۱۲ | ۷/۵ | ۱۳۳ |
| میانگین | ۳/۰۵ | ۱۹ | ۲/۵ | ۷/۵ | ۷/۵ | ۷/۵ | ۱۵ | ۳/۷ | ۴۰/۵ | ۱۶/۵ | ۱۲ | ۷/۵ | ۱۳۴ |
| خطا (%) | ۱/۶ | ۰ | ۹/۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۳/۷ | ۳/۰۳ | ۰ | ۰ | ۰/۷۵ |

* BG-G-15' نمونه تکراری، معادل BG-G-15 می‌باشد.

جدول ۵-۱۰: محاسبه میزان خطا با استفاده از نمونه تکراری برای داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی به روش ICP-

.MS

| عنصر | BG-G-09 | BG-G-09 ^۱ | میانگین | خطا (%) |
|------|---------|----------------------|---------|---------|
| As | ۵/۸ | ۵/۶ | ۵/۷ | ۱/۷ |
| Be | ۰/۷۵ | ۰/۷۵ | ۰/۷۵ | ۰ |
| Ce | ۲۷ | ۲۴ | ۲۵/۵ | ۵/۸۸ |
| Co | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۰ |
| Cr | ۳۱ | ۲۶ | ۲۸/۵ | ۸/۷۷ |
| Cu | ۷۱۶۱ | ۶۹۵۱ | ۷۰۵۶ | ۱/۴۹ |
| Cs | ۲/۵ | ۲/۶ | ۲/۵۵ | ۱/۹۶ |
| Dy | ۲/۳ | ۲/۳ | ۲/۳ | ۰ |
| Ga | ۷/۹ | ۷/۷ | ۷/۸ | ۱/۲۸ |
| Er | ۱/۴ | ۱/۳ | ۱/۳۵ | ۳/۷ |
| Gd | ۲/۵ | ۲/۳ | ۲/۴ | ۴/۱۷ |
| Hf | ۱ | ۱/۴ | ۱/۲ | ۱۶/۶۷ |
| La | ۱۱ | ۱۰ | ۱۰/۵ | ۴/۷۶ |
| Li | ۱۵ | ۱۵ | ۱۵ | ۰ |
| Mo | ۹۳/۱ | ۸۶ | ۸۹/۵۵ | ۳/۹۶ |
| Nb | ۷ | ۸ | ۷/۵ | ۶/۶۷ |
| Nd | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۰ |
| Ni | ۰/۷۵ | ۰/۷۵ | ۰/۷۵ | ۰ |
| Pb | ۶۹ | ۶۳ | ۶۶ | ۴/۵۵ |
| Pr | ۲/۸ | ۲/۶ | ۲/۷ | ۳/۷ |
| Rb | ۱۰۲ | ۱۰۱ | ۱۰۱/۵ | ۰/۴۹ |
| Sc | ۴/۹ | ۴/۶ | ۴/۷۵ | ۳/۱۶ |
| Sm | ۲/۵ | ۲/۵ | ۲/۵ | ۰ |
| Sn | ۱/۸ | ۱/۹ | ۱/۸۵ | ۲/۷ |
| Ta | ۱/۴ | ۱/۵ | ۱/۴۵ | ۳/۴۵ |
| Th | ۱/۷ | ۲/۱ | ۱/۹ | ۱۰/۵۳ |
| U | ۱/۱ | ۱/۲ | ۱/۱۵ | ۴/۳۵ |
| V | ۳۰ | ۲۸ | ۲۹ | ۳/۴۵ |
| W | ۰/۷۵ | ۱/۴ | ۱/۰۷۵ | ۳۰/۲۳ |
| Y | ۱۰ | ۸ | ۹ | ۱۱/۱۱ |
| Yb | ۱/۱ | ۰/۷۵ | ۰/۹۲ | ۱۸/۹۲ |
| Zn | ۱۱۷ | ۱۰۸ | ۱۱۲/۵ | ۴ |
| Zr | ۷۸ | ۳۷ | ۵۷/۵ | ۳۵/۶۵ |

* BG-G-09 نمونه تکراری، معادل BG-G-09 می‌باشد.

۵-۳ کاربرد داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی

نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی، به روش‌های گوناگون و جهت اهداف مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. ارائه این نتایج بصورت عناصر اصلی و کمیاب می‌باشد.

عناصر اصلی که غلظت آنها در تجزیه‌های شیمیایی بصورت درصد وزنی (wt %) اکسید بیان می‌شود. در طبقه‌بندی و نام‌گذاری سنگ‌ها و نمایش داده‌ها بصورت نمودارهای دو متغیره و یا سه متغیره مورد استفاده قرار گرفته‌اند. علاوه بر این به همراه عناصر کمیاب جهت تعیین جایگاه تکتونیکی و تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین مورد استفاده قرار می‌گیرند.

عناصر کمیاب با غلظت کمتر از ۰/۱ درصد در سنگ و بصورت قسمت در میلیون (ppm) بیان می‌شوند. در اغلب موارد این عناصر قادر به ساختن کانی مخصوص به خود نبوده و بیشتر جایگزین عناصر اصلی در ساختار کانی‌ها می‌شوند. عناصر کمیاب در متمایز کردن فرآیندهای پترولوژیکی دارای کارایی بهتری نسبت به عناصر اصلی بوده و بوسیله آنها می‌توان فرآیندهای تبلور تفریقی و ذوب بخشی را روی دیاگرام‌های مربوطه تشخیص داد. عناصر کمیاب را معمولاً "بصورت گروهی مورد مطالعه قرار می‌دهند که مهمترین آنها عناصر کمیاب خاکی یا گروه لانتانیدها می‌باشند. تمام عناصر کمیاب خاکی دارای خصوصیات ژئوشیمیایی و فیزیکی مشابهی هستند و تنها اختلاف کوچکی در رفتارهای شیمیایی از خود بروز می‌دهند. این اختلافات کوچک موجود از نظر رفتار و اندازه در بین عناصر کمیاب خاکی، باعث می‌شود که این عناصر توسط برخی فرآیندهای زمین‌شناسی از یکدیگر تفکیک شوند. در ژئوشیمی با استفاده از این خصوصیت می‌توان به ژنر مجموعه‌های سنگی و ماهیت فرآیندهای زمین‌شناسی پی برد. از آنجایی که عناصر کمیاب خاکی جزء عناصر با کمترین قابلیت انحلال بوده و در اثر عملکرد فرآیندهایی نظیر هوازدگی، دگرگونی درجه پایین و دگرسانی هیدروترمال نسبتاً غیر متحرک‌اند، نقش این عناصر در متمایز فرآیندهای پترولوژیکی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد.

۴-۵ ویژگی‌های پترولوژیکی و ژئوشیمیایی سنگ‌های در برگیرنده کانسار

به منظور بررسی ویژگی‌های پترولوژیکی و ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی - نفوذی اندیس معدنی مس - طلا باغ‌قاضی از نتایج آنالیز تعداد ۱۰ نمونه به روش XRF و ICP-OES و ۸ نمونه به روش ICP-MS استفاده شد که نتایج آن در جداول (۲-۵)، (۴-۵) و (۵-۵) ارائه گردیده است.

۴-۵-۱ نام‌گذاری سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی

۴-۵-۱-۱ طبقه‌بندی واحدهای آتشفشانی منطقه

-طبقه‌بندی میدلموست^۱ (۱۹۹۴):

این طبقه‌بندی بر اساس نسبت $(Na_2O + K_2O)$ در مقابل SiO_2 طراحی شده است. بر اساس این رده‌بندی، سنگ‌های آتشفشانی دربرگیرنده اندیس معدنی باغ‌قاضی در محدوده تراکی‌آندزیت، تراکی‌داسیت، داسیت و ریولیت قرار می‌گیرند (شکل ۵-۱) و انطباق خوبی با نام‌گذاری این سنگ‌ها بر اساس مطالعه مقاطع نازک دارند. این رده‌بندی برای سنگ‌های غنی از پتاسیم و سنگ‌های پرمیزیم که دگرسان‌شده یا متحمل دگرگونی شده‌اند مناسب نیست زیرا این فرآیندها باعث تحرک قلیایی‌ها می‌شود (رولینسون^۲، ۱۳۸۱). اگرچه سعی شد نمونه‌های دارای کمترین دگرسانی برداشت شود ولی با توجه به گسترش دگرسانی در منطقه به منظور تعیین ترکیب و ماهیت سنگ‌های مورد نظر از نمودارهای دیگر نیز استفاده شد.

-طبقه‌بندی وینچستر^۳ و فلوید^۴ (۱۹۷۷)

این طبقه‌بندی بر اساس نسبت Zr/TiO_2 در برابر Nb/Y و با مقیاس لگاریتمی طراحی شده است. از ویژگی‌های این نمودار می‌توان به استفاده از عناصر کمیاب در جدا کردن مرز بین ترکیبات سنگی

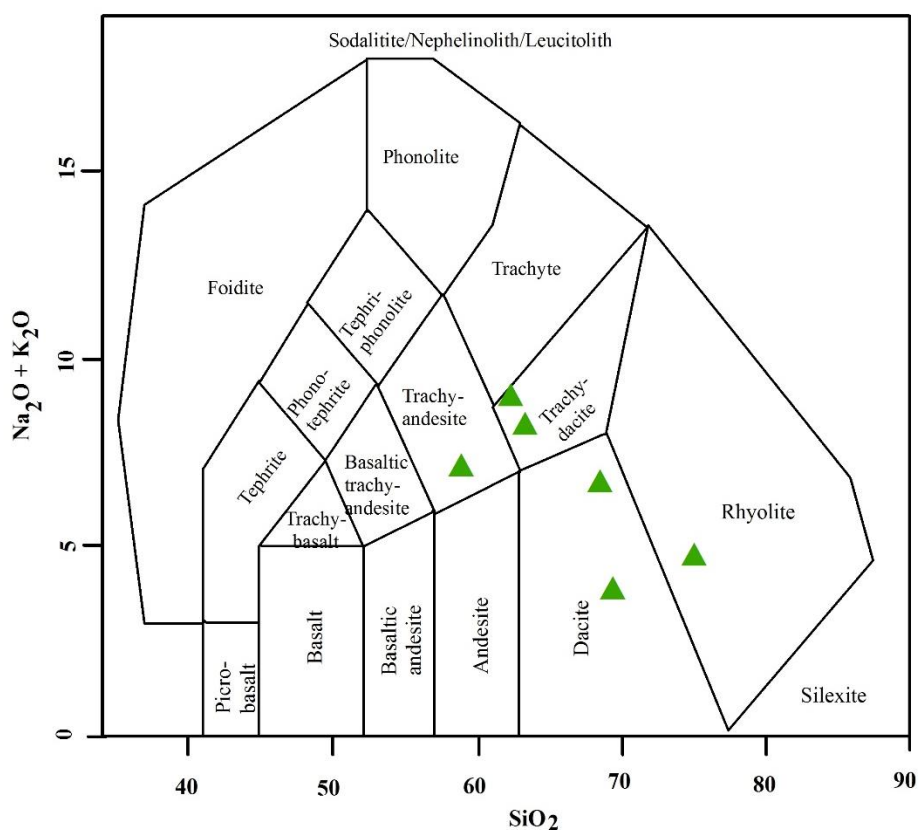
¹ Middlemost

² Rollinson

³ Winchester

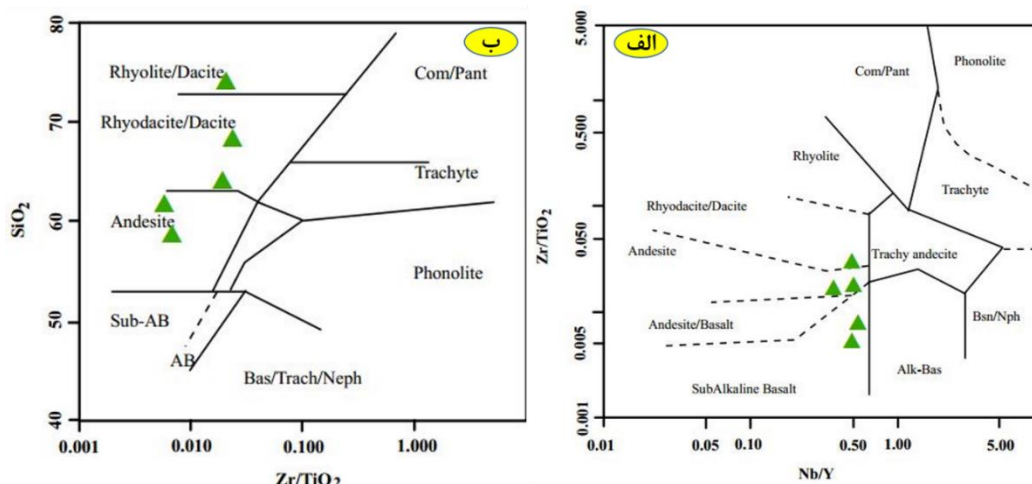
⁴ Floyd

اشاره کرد. با توجه به اینکه عناصر به کار گرفته در این نمودار جزو عناصر با شدت میدان بالا^۱ (HFSEs) بوده و غیر متحرک اند (رولینسون، ۱۹۹۳)، طبقه‌بندی انجام گرفته در این نمودار می‌تواند بیشتر از نمودارهایی که از اکسیدهای اصلی در طبقه‌بندی استفاده می‌کنند، مورد اطمینان باشد. در این نمودار سنگ‌های آتشفشانی منطقه ترکیبی از سنگ‌های ریوداسیت-داسیت، آندزیت و بازالت‌های سبب‌آلکالن را شامل می‌شوند (شکل ۲-۵ الف). همچنین بر اساس نسبت SiO_2 در مقابل Zr/TiO_2 سنگ‌های آتشفشانی منطقه تنوع ترکیبی از آندزیت، ریوداسیت-داسیت و ریولیت-داسیت را نشان می‌دهند (شکل ۲-۵ ب).



شکل ۱-۵: طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی منطقه با استفاده از نمودار میدلموست (۱۹۹۴).

¹ High Field Strength Elements



شکل ۵-۲: الف و ب) طبقه‌بندی سنگ‌های خروجی منطقه با استفاده از نمودارهای وینچستر و فلویید (۱۹۷۷).

۵-۴-۱-۲ طبقه‌بندی واحدهای نفوذی منطقه

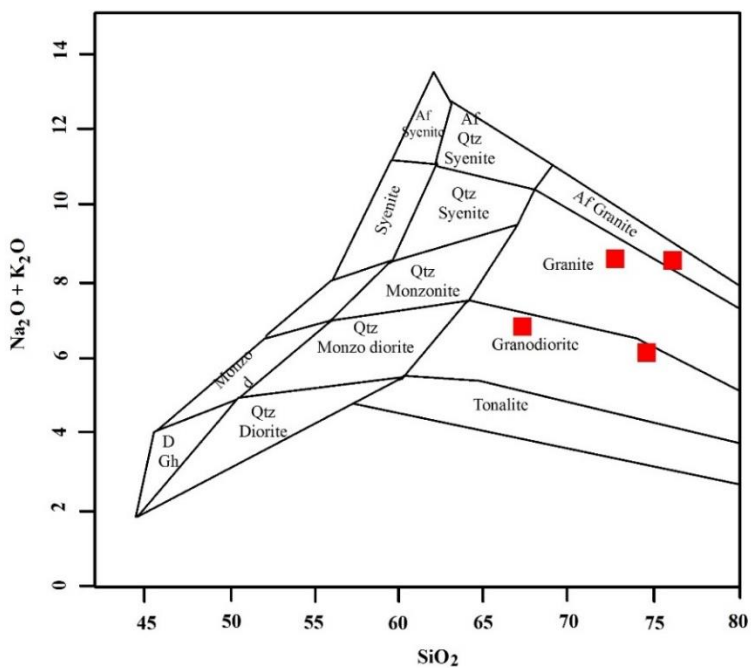
-طبقه‌بندی میدلموست (۱۹۹۴)

اساس این طبقه‌بندی، نمودار مجموعه آلکالی در مقابل سیلیس (TAS) می‌باشد. نمونه‌های مورد مطالعه در این طبقه‌بندی در محدوده گرانودیوریت، گرانیت و آلکالی‌فلدسپار گرانیت واقع می‌شوند (شکل ۵-۳) که شواهد صحرایی و پتروگرافی این واحدها نیز مؤید این مطلب می‌باشد.

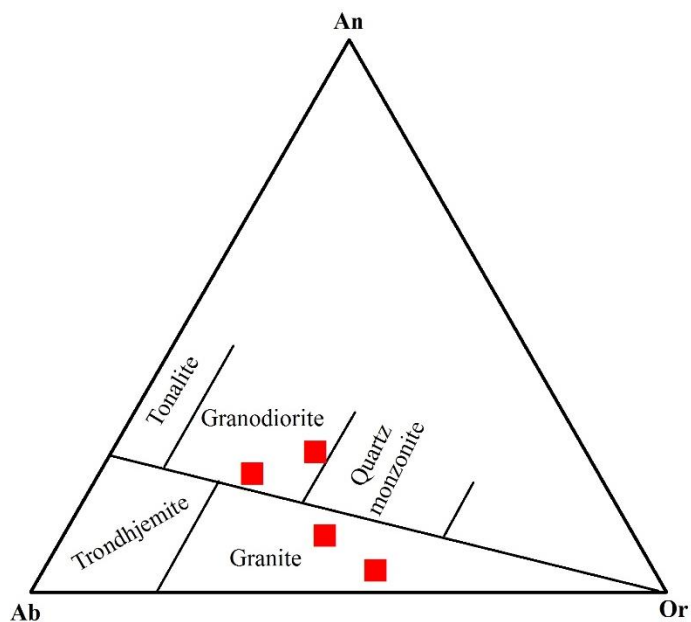
-طبقه‌بندی اکونر^۱ (۱۹۶۵)

اساس این طبقه‌بندی، نمودار Ab-An-Or می‌باشد و بطور مؤثری تونالیت‌ها، ترونجمیت‌ها، گرانودیوریت‌ها و گرانیت‌ها را از هم جدا می‌کند. این نمودار را می‌توان برای طبقه‌بندی سنگ‌های فلسیک دارای بیشتر از ۱۰ درصد کوارتز نرماتیو به کار برد. بر اساس این نمودار واحدهای نفوذی منطقه در محدوده گرانودیوریت و گرانیت واقع شدند (شکل ۵-۴).

¹ O'Connor



شکل ۳-۵: طبقه‌بندی سنگ‌های نفوذی منطقه با استفاده از نمودار میدلموست (۱۹۹۴).



شکل ۴-۵: طبقه‌بندی سنگ‌های نفوذی منطقه با استفاده از نمودار اکونر (۱۹۶۵).

۵-۴-۲ تعیین سری ماگمایی

نمودار ایروین^۱ و باراگار^۲ (۱۹۷۱) یا نمودار AFM به منظور جدایش سری تولییتی از کالکوالکالن برای سنگ‌های منطقه مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۵-۵-الف). طبق این نمودار تمام نمونه‌های سنگی منطقه در محدوده سری کالکوالکالن واقع می‌شوند. ماگماهای کالکوالکالن حاصل اختلاط ماگماهای منشأ گرفته از گوشته و پوسته‌اند (تاتسومی^۳ و تاکاهاشی^۴، ۲۰۰۶). گرانیتهای کالکوالکالن پتاسیم بالا در محیط‌های غیر کوهزایی ندارند اما در محیط‌های حاشیه همگرا بویژه در محیط‌های پس از برخورد رایج می‌باشند (روبرتز^۵ و کلمنز^۶، ۱۹۹۳؛ بریرین^۷، ۱۹۹۹؛ کمپ^۸ و همکاران ۲۰۰۹).

همچنین بر اساس نمودار دو متغیره هاستی^۹ و همکاران (۲۰۰۷) که بر اساس مقادیر Co و Th ارائه شده است، سنگ‌های آتشفشانی منطقه در محدوده کالکوالکالن معمولی و توده‌های نفوذی در محدوده کالکوالکالن پتاسیک واقع می‌شوند (شکل ۵-۵-ب).

¹¹ Irvine

² Baragar

³ Tatsumi

⁴ Takahashi

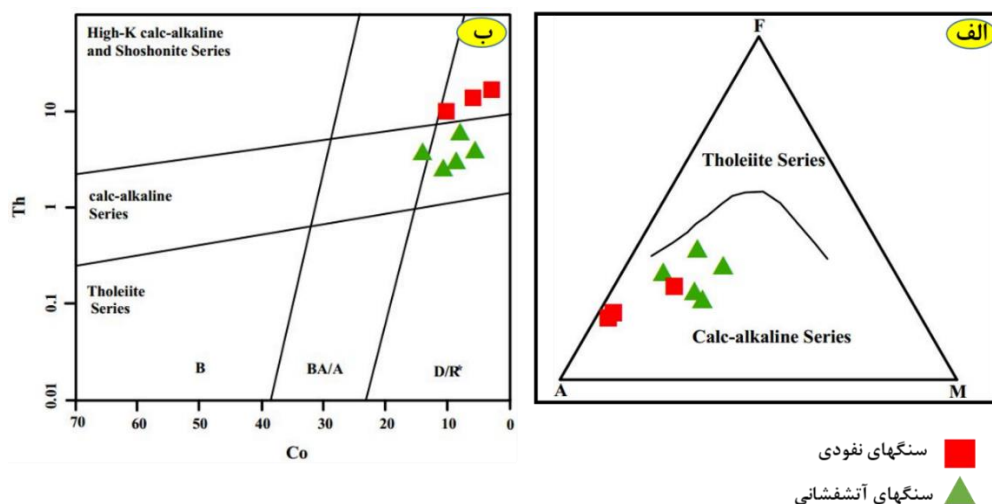
⁵ Roberts

⁶ Clemens

⁷ Barbarin

⁸ Kemp

⁹ Hastie



شکل ۵-۶: تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی با استفاده از نمودارهای ارائه شده: الف) نمودار ایرون و بارانگارا (۱۹۷۱) و ب) هاستی و همکاران (۲۰۰۷).

۵-۴-۳ شاخص اشباع از آلومین (ASI)

با توجه به درجه اشباع از آلومین $(Al/Ca+Na+K)$ ، محققین مختلف رده‌بندی‌های متعددی را برای سنگ‌های آذرین ارائه نمودند. هیندمن^۲ (۱۹۸۵) جهت تعیین مقدار آلومین سنگ‌های آذرین با توجه به مقادیر مولی اکسیدهای CaO ، K_2O ، Na_2O و Al_2O_3 ، آنها را به چهار گروه، به شرح زیر تقسیم نموده است:

$$1- \text{سنگ‌های پرآلومین: } Al_2O_3 > (CaO + Na_2O + K_2O)$$

$$2- \text{سنگ‌های متاآلومین: } (CaO + Na_2O + K_2O) > Al_2O_3 > (Na_2O + K_2O)$$

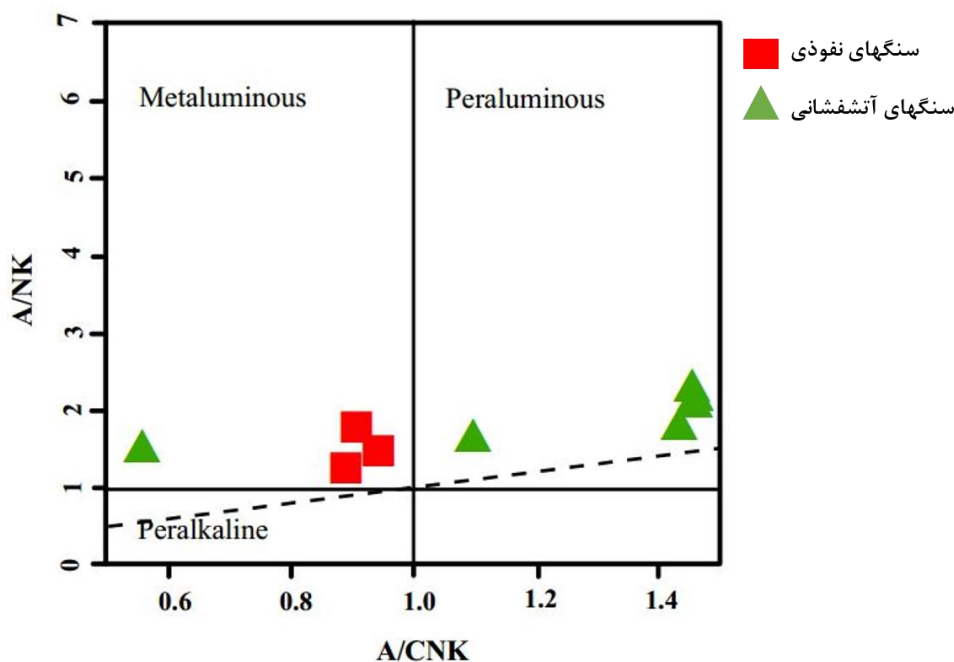
$$3- \text{ساب‌آلومین: } Al_2O_3 = (Na_2O + K_2O)$$

$$4- \text{پرآلکالن: } Al_2O_3 < (Na_2O + K_2O)$$

¹ Aluminum saturation index

²Hyndman

طبق دیاگرام شاندا^۱ (۱۹۴۳)، که بر اساس A/CNK در مقابل A/NK ترسیم شده است، سنگ‌های آتشفشانی منطقه بیشتر دارای ماهیت اشباع از آلومین و توده‌های نفودی ماهیت متآلومین دارند (شکل ۵-۷).



شکل ۵-۷: تعیین شاخص اشباع از آلومین توده‌های نفودی و سنگ‌های آتشفشانی با استفاده از نمودار شاندا (۱۹۴۳).

۴-۴-۵ تعیین جایگاه تکتونیکی

در این بخش به منظور تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، از نمودارهای تمایز تکتونیکی استفاده شده است. این نمودارها عمدتاً^۲ بر پایه عناصر کمیاب نامتحرک (HFS) ترسیم شده‌اند زیرا عناصر مذکور در فازهای سیال در طول هوازگی و دگرگونی انتقال نمی‌یابند (ویلسون^۲، ۱۹۸۹).

نسبت‌های عناصر کمیاب نیز به منظور تمایز محیط‌های تکتونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

^۱ Shand

^۲ Wilson

طبق نظر وود^۱ و همکاران (۱۹۷۹)، سنگ‌های تشکیل شده در قوس قاره‌ای دارای نسبت عناصر کمیاب $Th/Ta > 2$ می‌باشند. این نسبت برای سنگ‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه در محدوده ۳/۴۲-۴/۹۶ تغییر می‌کند و نشان‌دهنده جایگاه تشکیل قوس قاره‌ای می‌باشند.

-نمودارهای تمایز تکتونیکی $Th-Hf/3-Nb/16$ و $Th-Zr/117-Nb/16$ وود (۱۹۸۰)

ویژگی‌های مهم این نمودارها به شرح زیر است:

۱- این نمودارها نمودارهای متمایزکننده بر اساس عناصر غیرمتحرک می‌باشند.

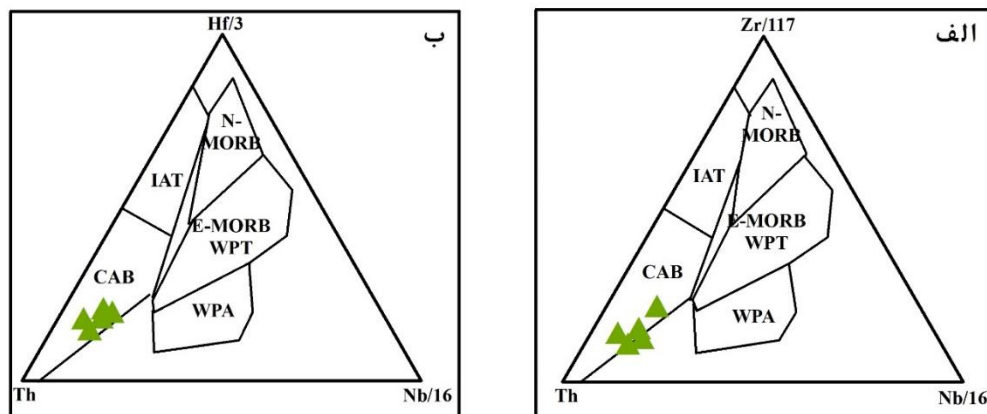
۲- انواع مختلف MORB را مشخص می‌کنند.

۳- می‌توانند برای گدازه‌های متوسط تا سیلیسی نیز مانند بازالت‌ها استفاده شوند.

۴- بویژه برای تشخیص بازالت‌های کمان آتشفشانی مناسب می‌باشند.

بر اساس نمودار پیشنهادی وود (۱۹۸۰) نمونه‌های سنگی منطقه مورد مطالعه در میدان بازالت‌های کمان آتشفشانی قاره‌ای (CAB) واقع می‌شوند (شکل ۵-۸ الف و ب). همان طور که قبلاً" ذکر شد سنگ‌های منطقه مورد مطالعه متعلق به سری‌های کالک‌آلکان تا کالک‌آلکان پتاسیم بالا می‌باشند که قرابت نزدیکی به بازالت‌های کمان آتشفشانی قاره‌ای دارند.

¹ Wood

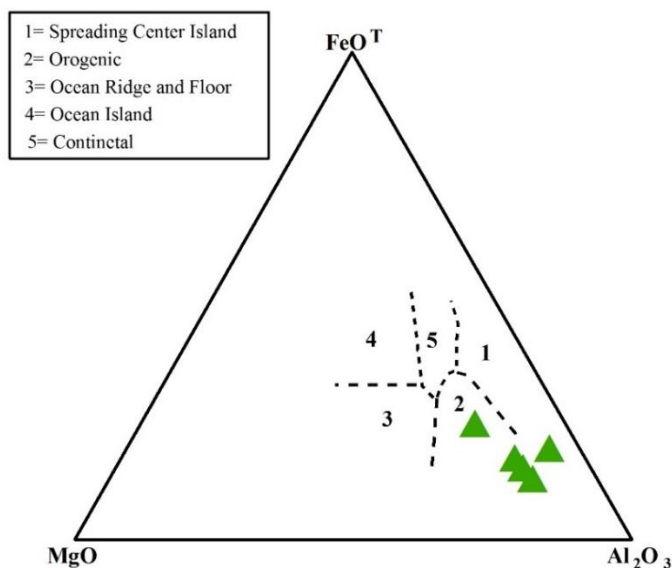


شکل ۵-۸: الف و ب) تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی منطقه با استفاده از نمودارهای وود (۱۹۸۰).

–نمودار Al_2O_3 - FeO^T - MgO (پیرس^۱ و همکاران، ۱۹۷۷)

این نمودار مرزهای متمایزکننده انواع جایگاه زمین‌ساختی را بر پایه گستره ترکیب سنگ‌های آتشفشانی امروزی نشان می‌دهد. طبق این نمودار سنگ‌های ولکانیکی منطقه مورد مطالعه در محدوده محیط کوهزایی قرار می‌گیرند (شکل ۵-۹).

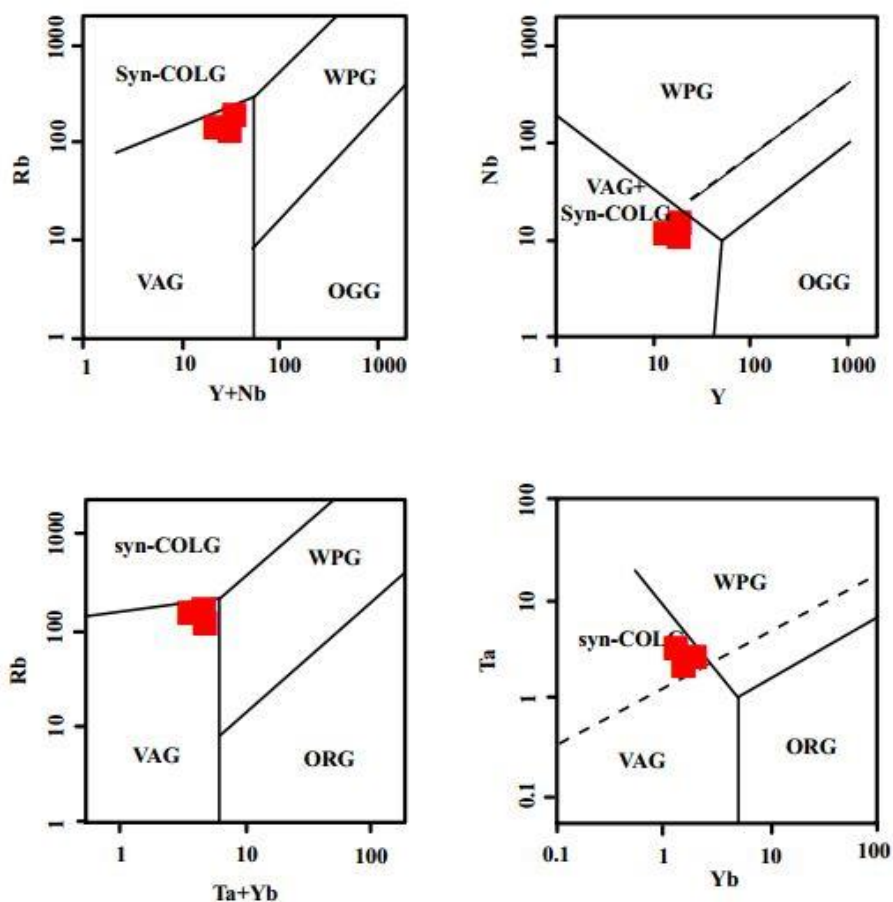
^۱ Pearce



شکل ۵-۹: تعیین جایگاه تکتونیکی سنگ‌های آتشفشانی منطقه با استفاده از نمودار پیرس و همکاران (۱۹۷۷).

نمودارهای (Y+Nb) Rb-، Y Nb-، (Yb+Ta) Rb- و (Yb-Ta) پیرس و همکاران، (۱۹۸۴)

در نمودارهای (Y+Nb) Rb-، Y Nb-، (Yb+Ta) Rb- و (Yb-Ta) پیرس و همکاران، (۱۹۸۴) گرانیت‌های پشته‌های میان‌اقیانوسی (ORG)، گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG)، گرانیت‌های درون صفحه‌ای (WPG) و گرانیت‌های همزمان با برخورد (syn-COLG) از یکدیگر متمایز می‌شوند. با توجه به اینکه توده‌های نفوذی منطقه متعلق به سری کالک‌آلکالن پتاسیم بالا می‌باشند و با توجه به نمودارهای پیرس و همکاران (۱۹۸۴)، از نوع گرانیتوئیدهای کمان آتشفشانی (VAG) می‌باشند (شکل ۵-۱۰).



شکل ۵-۱۰: تعیین جایگاه تکتونیکی توده‌های نفوذی منطقه با استفاده از نمودارهای پیرس و همکاران (۱۹۸۴).

۵-۴-۵ الگوی نمودارهای چند عنصری و ¹REE در سنگ‌های آتشفشانی و

توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه

در بررسی تحولات ماگمایی و به منظور بررسی فرآیندهای پترولوژیکی از نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده استفاده می‌شود. در این نمودارها از بهنجارسازی فراوانی عناصر کمیاب نسبت به فراوانی این عناصر در یک سری نمونه استاندارد خاص استفاده می‌شود (رولینسون، ۱۹۹۳). نمودارهای عنکبوتی ممکن است تنها بر اساس عناصر نادر خاکی (REE) و یا بر اساس عناصر نادر خاکی به همراه

¹ Rare Earth Element

برخی دیگر از عناصر ناسازگار (نمودارهای چند عنصری) ترسیم شوند و با استفاده از این نمودارها می‌توان میزان انحراف هر ترکیب را از الگوی ترکیبی اولیه در طی فرآیندهای ذوب بخشی یا تفریق بلوری تعیین کرد. نمودارهای چند عنصری نسبت به نمودارهای REE دارای مخلوط ناهمگنی از انواع عناصر کمیاب می‌باشند. لذا تعداد پستی و بلندی‌های بیشتری در آنها دیده می‌شود که نشانگر رفتار متفاوت گروه‌های مختلف عناصر کمیاب است. برای مثال عناصر لیتوفیل بزرگ یون^۱ (متحرک) (LILEs) (Cs, Eu, Sr, Ba, K, Rb) و عناصر با قدرت میدان بالا^۲ (کم تحرک) (HFSEs) (Ti, Y) رفتار متفاوتی دارند. غلظت عناصر LIL تابعی از نحوه رفتار فاز سیال است در صورتی که غلظت عناصر HFS بوسیله شیمی سنگ منشأ و فرآیندهای بلور/ مذاب که در حین تشکیل سنگ صورت می‌گیرد، کنترل می‌شود.

به منظور بررسی الگوی تغییرات عناصر کمیاب، نمونه‌های سنگی منطقه مورد مطالعه نسبت به گوشته اولیه (وود و همکاران، ۱۹۷۹؛ سان^۳ و مک دونف^۴، ۱۹۸۹) و کندریت (تامپسون^۵، ۱۹۸۲؛ سان و همکاران، ۱۹۸۰) بهنجار شده‌اند (شکل ۵-۱۱). در همه این نمودارها الگوی عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه با یکدیگر هماهنگ و موازی می‌باشند. طبق نظر ویلسون (۱۹۸۹) اگر یک مجموعه از سنگ‌های آذرین در اثر تحمل فرآیندهای تبلور تفریقی با یکدیگر مرتبط باشند، در نتیجه باید مقادیر عناصر کمیاب و نادر خاکی آنها و نسبت‌های آنها در یک سری سنگی، به طور ثابت و پیوسته تغییر کند. موازی بودن الگوی عناصر در سنگ‌های منطقه و نتایج بدست آمده در بخش‌های قبلی نیز تأیید کننده این امر بوده و بر منشأ واحد این سنگ‌ها دلالت دارند. نمودارهای شکل (۵-۱۱) بیانگر غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک^۶ (LREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین^۷ (HREE) می‌باشند. این امر از ویژگی‌های ماگماهای

¹ Lithophil Ion Large Elements

² High Field Strength Elements

³ Sun

⁴ McDonough

⁵ Thompson

⁶ Light Rare Earth Element

⁷ Heavy Rare Earth Element

کالک آلکالن کمان‌های آتشفشانی پهنه فرورانش حاشیه قاره‌ای می‌باشد (رولینسون، ۱۹۹۹). به اعتقاد سریواستاوا^۱ و سین^۲ (۲۰۰۴) غنی‌شدگی بیشتر عناصر نادر خاکی سبک ممکن است در اثر دو عامل ایجاد شده باشد که این عوامل شامل درجات کم ذوب بخشی (کمتر از ۱۵ درصد) منبع گوشته‌ای و یا آرایش ماگما بوسیله مواد پوسته‌ای می‌باشد. با توجه به خصوصیات سنگ‌شناسی منطقه و سایر بررسی‌های ژئوشیمیایی که شرح آن گذشت، عامل دوم یعنی آلودگی ماگما با مواد پوسته‌ای محتمل‌تر است. همان‌طور که در این نمودارها مشاهده می‌شود غنی‌شدگی عناصر K، Cs و Pb و تهی‌شدگی عناصر Sr، Ti، Zr و Nb آشکار است. تمرکز نسبتاً بالا از عناصر لیتوفیل بزرگ یون (LILE) و تمرکز پایین از عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) از خصوصیات مهم ماگماهای مرتبط با کمان‌های آتشفشانی است که در اثر عملکرد سیالات ناشی از فرورانش به وجود می‌آید (گوس^۳ و کای^۴، ۲۰۰۹؛ کوالنکو^۵ و همکاران، ۲۰۱۰؛ رولینسون، ۲۰۱۴). هم‌چنین آنومالی منفی Ti و Nb ممکن است مرتبط با فرآیندهای پتروژنتیکی مانند مشارکت پوسته قاره‌ای در فرآیندهای ماگمایی می‌باشد (چامنی^۶ و همکاران، ۲۰۰۶). به عبارت دیگر کاهش Ti و Nb نشان دهنده محیط کمان آتشفشانی هم می‌تواند باشد. طبق نظر کامبر^۷ و همکاران (۲۰۰۲) آنومالی مثبت Pb به متاسوماتیزم گوه گوشته‌ای توسط سیالات ناشی از پوسته اقیانوسی فرورو و یا آرایش ماگما با پوسته اشاره دارد. آنومالی منفی Sr که در نمونه‌های بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه و کندریت مشاهده می‌شود می‌تواند به دلیل دگرسانی شدید در منطقه (بخصوص دگرسانی پلاژیوکلازها) باشد که حین دگرسانی Sr آزاد شده است.

¹ Srivastava

² Singh

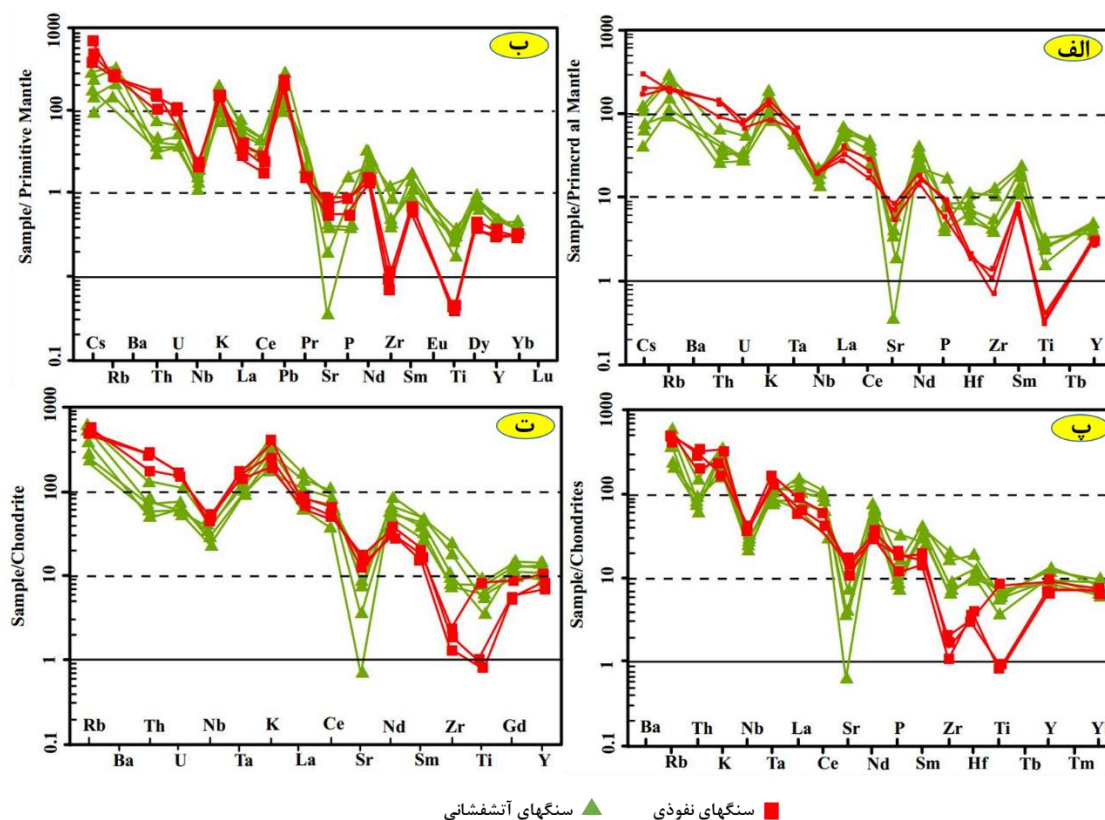
³ Goss

⁴ Kay

⁵ Kovalenko

⁶ Tchameni

⁷ Kamber



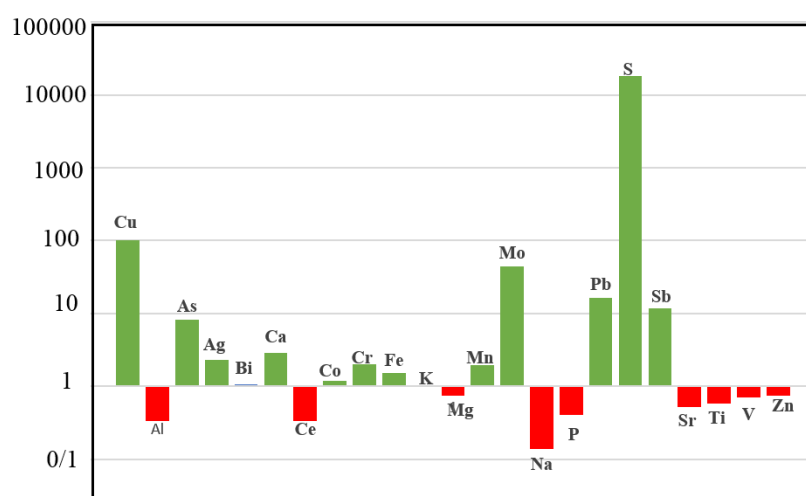
شکل ۵-۱۱: نمودارهای عناصر خاکی و کمیاب بهنجار شده به گوشته اولیه (الف و ب) و کندریت (پ و ت).

۵-۵ ژئوشیمی کانسنگ

برای بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی کانی‌سازی منطقه باغ‌قازی تعداد ۷ نمونه کانسنگ به شماره‌های BG-G-02, BG-G-03, BG-G-04, BG-G-07, BG-G-09, BG-G-12 و BG-G-13 و سنگ‌های دگرسان‌شده با شماره‌های BG-G-05, BG-G-06, BG-G-08 و BG-G-10 برای عناصر اصلی، فرعی و کمیاب به روش‌های مختلف تجزیه شده که جزئیات آن در ابتدای این فصل آورده شده است. در ادامه به کاربرد این داده‌ها در بررسی ویژگی‌های ژئوشیمی کانی‌سازی پرداخته می‌شود.

از بین ۳۰ فلز واسطه، Cu, Au, Ag, Zn, Mo, Co, Fe و Mn، عموماً "ذخایر گرمابی بزرگی را تشکیل می‌دهند. طبق نمودار غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر نمونه‌های کانسنگ نسبت به سنگ

میزبان (شکل ۵-۱۲)، نمونه‌های کانسنگ منطقه باغ قاضی غنی‌شدگی قابل توجهی از عناصر مس، مولیبدن، آنتیموان، سرب و آرسنیک و به طور ضعیف‌تر نقره، آهن و کبالت نشان می‌دهند. مقادیر عنصر روی در بیشتر نمونه‌های کانسنگ زیر حد تشخیص دستگاه (۱۰ ppm) بوده است و فاقد تغییرپذیری می‌باشد، بنابراین در تفسیر ژئوشیمی عنصر روی باید با احتیاط بحث شود. در این بخش به بررسی چگونگی پراکندگی عناصر و ارتباط و همبستگی عناصر در نمونه‌های کانسنگ منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود.



شکل ۵-۱۲: نمودار غنی‌شدگی و تهی‌شدگی نمونه‌های کانسنگ نسبت به سنگ میزبان سالم.

از بین عناصر نام برده، مقادیر غلظت دو عنصر Cu و Au در نمونه‌های کانسنگ بخصوص در چهار نمونه BG-G-03, BG-G-04, BG-G-09 و BG-G-13 که موقعیت و مشخصات آن‌ها در جدول (۵-۱۱) و شکل (۵-۱۳) آورده شده است، در حد مقادیر اقتصادی می‌باشد. نمونه BG-G-03 از پهنه برشی در محل معدنکاری قدیمی مس برداشت شده است، فضای بین قطعات برش توسط اکسیدهای آهن (گویتیت و لیمونیت) و سیلیس پر شده است. در مقطع صیقلی تهیه شده از این نمونه کانی‌های پراکنده پیریت داخل قطعات برش مشاهده شد (شکل ۵-۱۳).



شکل ۵-۱۳: تصویر نمونه دستی از از نمونه BG-G-03 متعلق به پهنه برشی در محل معدنکاری قدیمی مس.

جدول ۵-۱۱: مقادیر غلظت مس و طلا در نمونه‌های کانسنگ باغ‌قازی.

| شماره نمونه | مختصات | توصیف صحرایی | عیار مس (ppm) | عیار طلا (ppm) |
|-------------|-------------------------|--|---------------|----------------|
| BG-G-02 | X: ۶۲۶۷۳۰ Y: ۳۹۱۴۸۹۹ | رگه سیلیسی مس‌دار در محل معدنکاری قدیمی مس | ۵۸۳۸ | ۰/۰۱ |
| BG-G-03 | X: ۶۲۶۷۳۰ Y: ۳۹۱۴۸۹۹ | نمونه برشی دارای اکسیدهای آهن (لیمونیت و گوئیتیت) که آغشتگی ضعیف به سیلیس دارد، در محل معدنکاری قدیمی مس | ۶۶۳۰ | ۰/۱۸ |
| BG-G-04 | X: ۶۲۶۷۳۰ Y: ۳۹۱۴۸۹۹ | کانی‌سازی مس بصورت ملاکیت در آندزیت‌ها در محل معدنکاری قدیمی مس | ۳۱۹۵۰ | ۰/۰۹ |
| BG-G-07 | X: ۶۲۵۲۵۳ Y: ۳۹۱۵۴۴۱ | رگه سیلیسی مس - آهن‌دار | ۵۷۰ | ۰/۰۷ |
| BG-G-09 | X: ۶۲۵۰۵۹ Y: ۳۹۱۵۳۵۹ | کانی‌سازی مس همراه با سیلیس داخل ولکانیک‌ها | ۷۳۲۰ | ۰/۰۹ |
| BG-G-12 | X: ۶۲۴۶۴۶ Y: ۳۹۱۶۸۲۷ | برش توفی دگرسان‌شده | ۷۶۴ | ۰/۰۵ |
| BG-G-13 | X: ۶۲۵۲۹۹ Y: ۳۹۱۵۴۷۷ | سیلیس‌های نواری همراه با کانی‌سازی مس بصورت کالکوپیریت و ملاکیت | ۸۱۸۶ | ۳/۲۲۸ |

نمونه BG-G-04 از کانی‌سازی مس بصورت ملاکیت در آندزیت‌ها در محل معدنکاری قدیمی مس برداشت شده است (شکل ۵-۱۴).

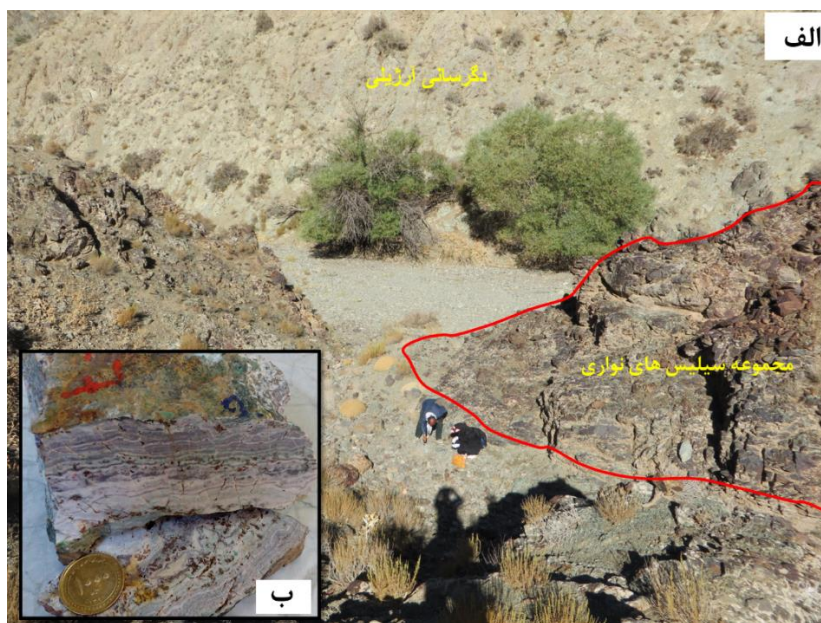


شکل ۵-۱۴: کانی‌سازی مس بصورت ملاکیت در آندزیت‌ها متعلق به نمونه BG-G-04.

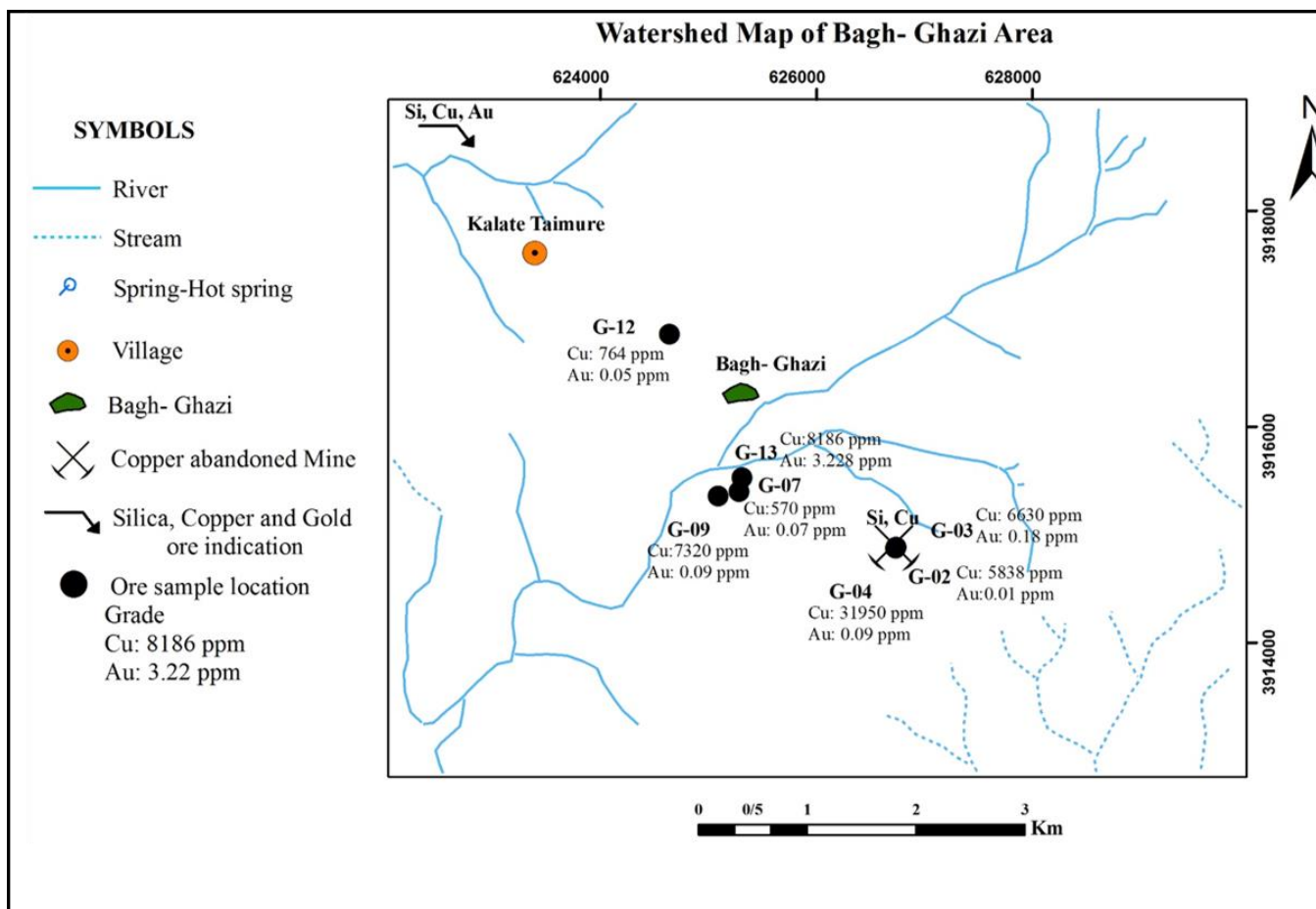
نمونه BG-G-09 از ولکانیک‌ها همراه با کانی‌سازی مس همراه با سیلیس برداشت شده است که رگه سیلیسی با ضخامت ماکزیمم ۳۰ سانتی‌متر نیز داخل این مجموعه آتشفشانی تزریق شده است. نمونه BG-G-13 متعلق به نمونه سیلیسی مس‌دار همراه با کانی‌سازی مس بصورت کالکوپیریت و ملاکیت می‌باشد. در این نمونه سیلیس‌ها حالت نواری داشته و کانی‌سازی‌ها را همراهی می‌کنند.



شکل ۵-۱۵: تصویر صحرایی از مجموعه ولکانیکی همراه باکانی‌سازی بصورت ملاکیت و محل برداشت نمونه BG-G-09، (دید به سمت شمال شرق).



شکل ۵-۱۶: تصاویر مربوط به نمونه BG-G-13؛ الف) تصویر صحرایی از مجموعه سیلیس‌های نواری (دید به سمت شمال)، ب) تصویر نمونه دستی از سیلیس‌های نواری.

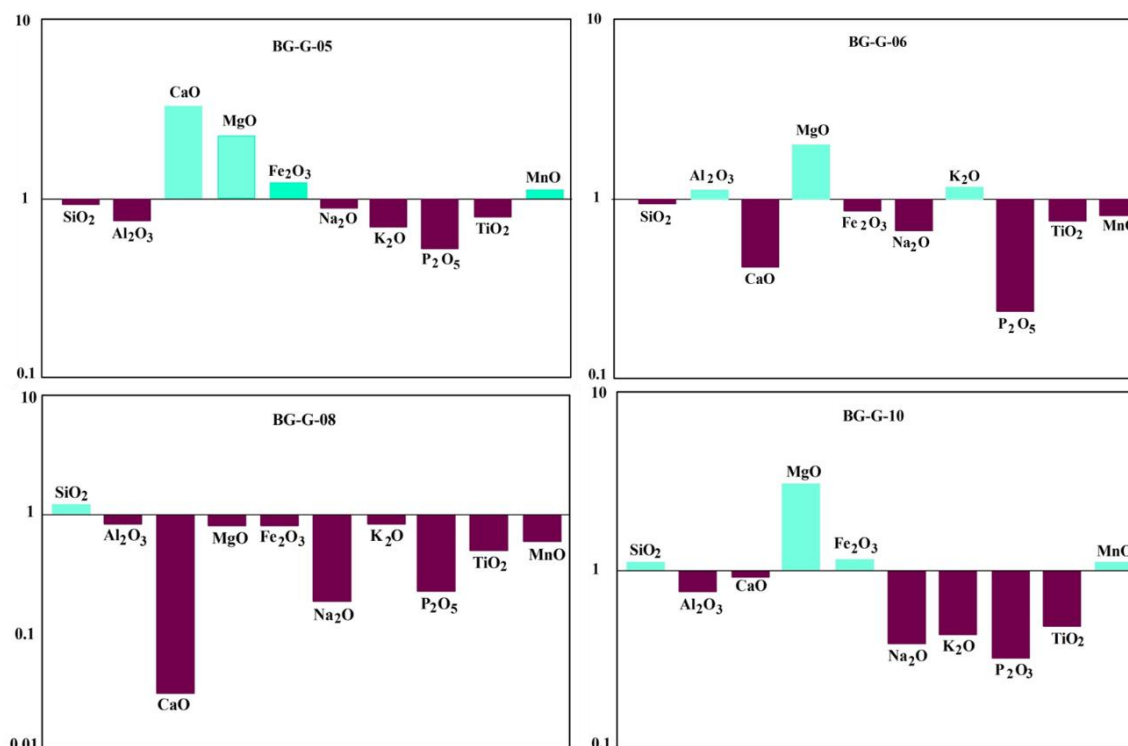


شکل ۵-۱۷: نقشه حوضه آبریز منطقه باغ‌قازی که موقعیت نمونه‌های کانسنگ و عیار مس و طلا برای هر نمونه روی آن مشخص شده است.

۵-۱-۵ ضریب همبستگی و ارتباط ژئوشیمیایی بین عناصر

همبستگی عبارت است از سنجش شدت وابستگی دو متغیر اندازه‌گیری شده در مجموعه‌ای از داده‌های منفرد (رولینسون، ۱۹۹۳). شناخت ارتباط و همبستگی ژنتیکی متقابل موجود بین عناصر مختلف می‌تواند در تفسیر صحیح یافته‌های ژئوشیمیایی و شناخت دقیق‌تر تغییرات موجود در محیط‌های ژئوشیمیایی بکار گرفته شود. برای تشخیص ارتباط بین عناصر از جدول ضرایب همبستگی پیرسون عناصر مختلف بر پایه داده‌های لگاریتمی استفاده شده 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. هرچه قدر مطلق ضریب به دست آمده بین دو عنصر به عدد یک نزدیک باشد، بیانگر ارتباط قوی (مستقیم یا معکوس) بین آن دو عنصر می‌باشد (حبیب‌پور و صفری، ۱۳۸۸). جدول ضریب همبستگی عناصر (شکل ۵-۱۱) برای نمونه‌های کانسنگ منطقه باغ قاضی با استفاده از نرم‌افزار SPSS تهیه شده است. بر طبق این جدول، همبستگی قوی بین عناصر $Ag-Fe$ ، $Ag-Cu$ ، $Ag-Pb$ ، $Ag-Zn$ ، $Au-Ni$ ، $Au-As$ ، $Bi-Cu$ ، $Bi-Fe$ ، $As-Ni$ ، $Ag-Bi$ ، $Ag-Cu$ ، $S-Sb$ و $Pb-Zn$ ، $Mo-Pb$ ، $Mo-Zn$ ، $Fe-Pb$ ، $Cu-Fe$ ، $Bi-Cu$ ، $Bi-Fe$ ، $As-Ni$ ، $Ag-Bi$ ، $Ag-Cu$ ، $Bi-Pb$ ، $As-Bi$ ، $As-Cu$ ، $As-Fe$ ، $Au-Bi$ ، $Au-Zn$ ، $Au-Pb$ ، $Au-Cu$ همبستگی متوسط بین عناصر $Bi-Ni$ ، $Ag-Mo$ ، $Au-Fe$ ، $Au-S$ ، $Au-Sb$ و همبستگی ضعیف بین عناصر $Fe-Zn$ ، $Cu-Pb$ ، $Cu-Zn$ ، $Bi-Mo$ ، $Cu-Ni$ ، $Cu-Mo$ ، $Fe-Ni$ ، $Fe-Mo$ ، $Ni-S$ و $Ni-Sb$ وجود دارد که در جدول (۵-۱۱) قابل مشاهده می‌باشد. همبستگی بالای بین عناصر بیانگر قرابت ژنتیکی و هم‌یافتی ژئوشیمی آنها در طول فرآیندهای مهاجرت و تمرکز می‌باشد. همبستگی مثبت و بالای Au با عناصر Fe ، Ag ، Bi ، As ، Cu و Pb و Zn قابل توجه است و چنین هم‌یافتی ژئوشیمیایی بیان از رخداد کانی‌سازی گرمابی دمایی پایین (آپی‌ترمال) در منطقه است.

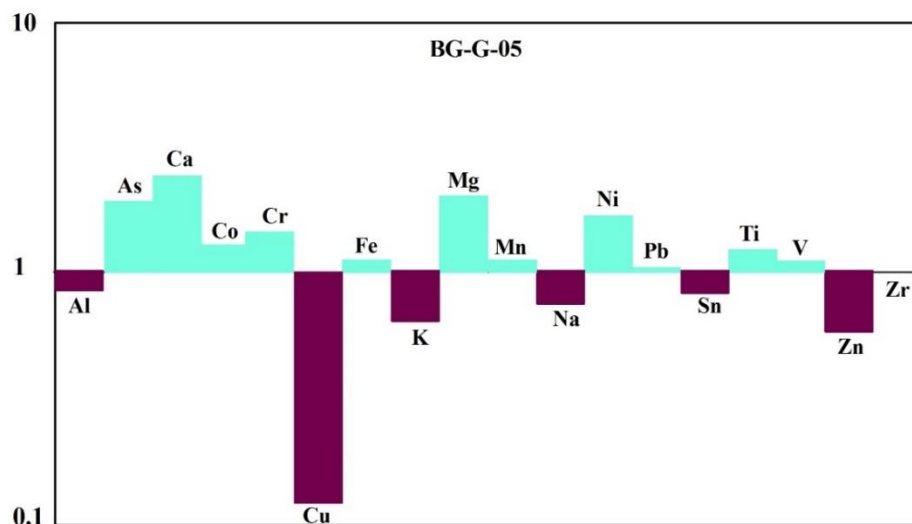
مقدار Al_2O_3 به دلیل تشکیل کانی‌های رسی از جمله سرسیت و ایلیت ناشی از تجزیه پلاژیوکلازها و مقدار جزئی فلدسپات پتاسیم در این پهنه می‌باشند. این دگرسانی نسبت به نمونه مبنا از نظر Fe_2O_3 و SiO_2 تهی‌شدگی نشان می‌دهند. از آنجا که تجزیه پلاژیوکلازها و پتاسیم فلدسپات به کانی‌های رسی با آزاد شدن SiO_2 همراه‌اند، شاهد تهی‌شدگی SiO_2 در این پهنه نسبت به نمونه مبنا می‌باشیم. همچنین تهی‌شدگی Fe_2O_3 در این نمونه‌ها نسبت به نمونه مبنا به کاهش مقدار پیریت در این پهنه مرتبط است. همچنین در نمونه‌های آنالیز شده از دگرسانی سیلیسی شاهد غنی‌شدگی سیلیس نسبت به سنگ مبنا هستیم. سیلیسی شدن یا ناشی از اضافه شدن SiO_2 توسط محلول‌های ماگمایی و گرمابی و یا ناشی از بالا رفتن سیلیس به دلیل انحلال مواد دیگر در سنگ و باقی ماندن سیلیس می‌باشد.



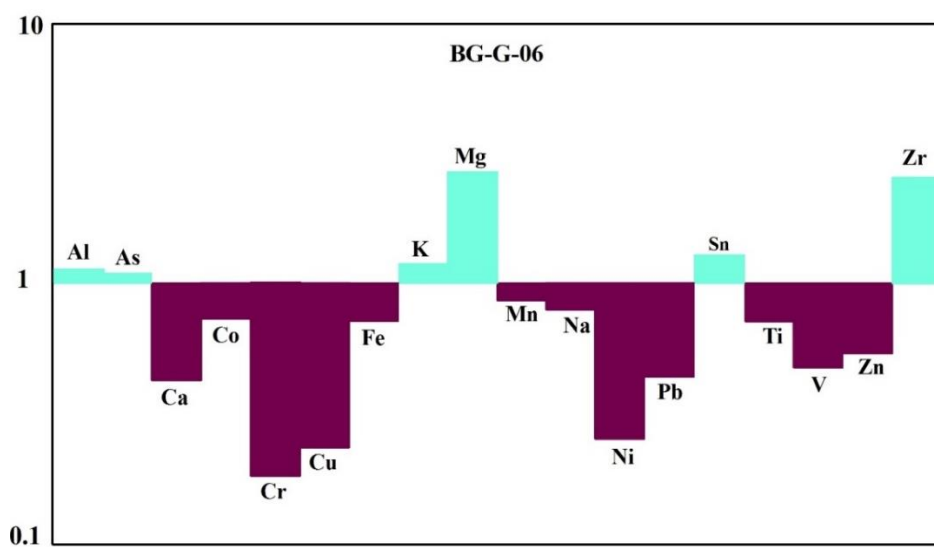
شکل ۵-۱۸: نمودارهای تهی‌شدگی - غنی‌شدگی اکسیدهای اصلی در نمونه‌های دگرسان شده BG-G-05، BG-G-06، BG-G-08 و BG-G-10 نسبت به نمونه غیردگرسان.

۵-۳ رفتار ژئوشیمیایی عناصر کمیاب در طی دگرسانی

با توجه به نمودارهای رسم شده در شکل (۵-۱۴) نمونه‌های دگرسان شده تهی‌شدگی از مس را نشان می‌دهند. با توجه به کانه‌زایی مس در منطقه، این تهی‌شدگی نشان می‌دهد که منشأ این کانه‌زایی‌ها احتمالاً واحدهای ولکانیکی منطقه می‌باشند. به عبارت دیگر مس توسط محلول از سنگ شسته شده، حمل شده و تحت شرایط مناسب در جایی دیگر نهشت پیدا کرده است. عنصر روی در تمام نمونه‌های دگرسان شده و سرب در بعضی نمونه‌ها نسبت به نمونه مبنا تهی‌شدگی نشان می‌دهند. وجود کمپلکس‌های سولفوروی عامل مهمی در انتقال این عناصر می‌باشد. غنی‌شدگی سرب در بعضی نمونه‌ها ناشی از تحرک بالای این عنصر می‌باشد. همه نمونه‌های دگرسان شده نسبت به آرسنیک غنی‌شدگی نشان می‌دهند، به نظر می‌رسد که محلول‌های هیدروترمال محتوای آرسنیک بالایی داشته‌اند. وجود آرسنیک می‌تواند به انتقال یون‌های فلزی کمک کند. از آنجا که Ni^{+} از لحاظ بار و شعاع یونی شبیه به Mg^{+2} و Fe^{+2} می‌باشد در ساختمان کانی‌های مافیک جانشین این عناصر شده است و در سنگ میزبان حضور داشته است. شستشوی اسیدی سبب خروج این عنصر در نمونه‌های با دگرسانی آرژیلیکی (نمونه BG-G-06) شده است در حالی که در نمونه‌های با دگرسانی پروپلیتیک این عنصر نسبت به نمونه مبنا غنی‌شدگی نشان می‌دهد که به نظر می‌رسد در حضور محلول‌های قلیایی این عنصر در ساختمان کانی‌های فرومنینین حفظ شده است. در نمونه مربوط به دگرسانی پروپلیتیک (BG-G-05) شاهد غنی‌شدگی عنصر کروم و در نمونه مربوط به دگرسانی آرژیلیکی (BG-G-06) شاهد تهی‌شدگی این عنصر می‌باشیم. کروم در سنگ میزبان عمدتاً در ساختمان کلینوپیروکسن‌ها جای می‌گیرد. تهی‌شدگی این عنصر در نمونه BG-G-06 به دلیل محلول‌های اسیدی قوی می‌باشد که سبب خروج این عنصر از ساختمان کانی‌های سنگ شده است.



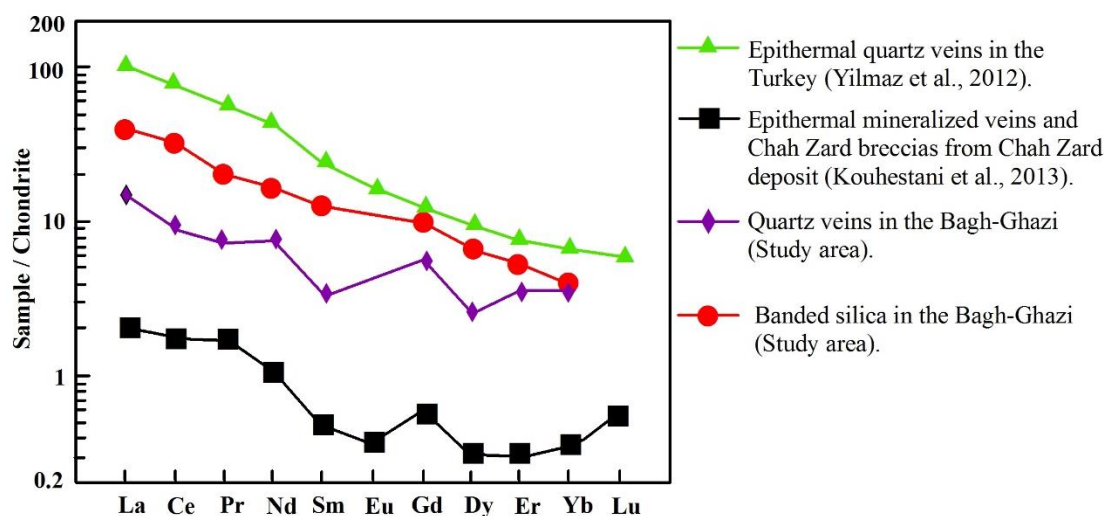
شکل ۵-۱۹: نمودار تهی‌شدگی - غنی‌شدگی عناصر کمیاب در نمونه دگرسان‌شده BG-G-05 نسبت به نمونه غیردگرسان.



شکل ۵-۲۰: نمودار تهی‌شدگی - غنی‌شدگی عناصر کمیاب در نمونه دگرسان‌شده BG-G-06 نسبت به نمونه غیردگرسان.

۵-۴ رفتار عناصر خاکی کمیاب رگه‌های مس- طلا دار

به منظور بررسی الگوی تغییرات عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های کانسنگ محدوده مورد مطالعه، رگه‌های سیلیسی مس - طلا دار نسبت به کندریت (ناکامورا^۱، ۱۹۷۴) بهنجار شده‌اند. سپس این الگوها با الگوی عناصر خاکی کمیاب در نمونه‌های کانسنگ سایر کانسارها در ایران و جهان مقایسه شده‌اند. الگوی عناصر خاکی کمیاب در سیلیس‌های نواری در منطقه مورد مطالعه بیشترین همخوانی را با رگه‌های کواتز اپی‌ترمال طلا دار در ترکیه داشتند. و الگوی عناصر خاکی کمیاب در رگه‌های سیلیسی مس- طلا دار در منطقه، بیشترین همخوانی را با رگه‌ها و برش‌های اپی‌ترمال در کانسار چاه زرد داشتند. بنابراین الگوی تغییرات عناصر خاکی کمیاب در رگه‌های مس - طلا دار در منطقه باغ‌قازی مشابه با این الگوها در کانسارهای اپی‌ترمال می‌باشد.



شکل ۵-۲۱: مقایسه الگوی عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت (ناکامورا، ۱۹۷۴) رگه‌های سیلیسی مس- طلا دار در منطقه مورد مطالعه با سایر مناطق ایران و جهان.

^۱ Nakamura

فصل ششم

مطالعات میانبارهای

سیال

۱-۶ مقدمه

همزمان با رشد بلورها، به علت ناهمسانی‌هایی که در رشد آنها تحت تأثیر عوامل متعدد روی می‌دهد، فضاهایی در سطوح رشد بلور ایجاد شده و یا در ضمن رشد، درزه‌هایی در بلور ایجاد می‌شود که محلول‌های کانه‌دار می‌توانند در آن محبوس شوند. به این گونه فضاها و محتویات داخل آنها، انکلوزیون‌های سیال و یا سیالات درگیر گفته می‌شود (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۸). در واقع سیالات درگیر، بخش جداناپذیر از هر سنگ یا کانی هستند و مطالعه آنها به اندازه مطالعه اجزای کانیایی و شیمی اصلی سنگ، اهمیت و ارزش دارد. در علوم زمین‌شناسی، یکی از متداول‌ترین و شناخته‌شده‌ترین شیوه‌های مطالعه نهشته‌های معدنی، بررسی سیالات درگیر وابسته است. مطالعه سیال درگیر علاوه بر تعیین درجه حرارت شکل‌گیری کانسار، ترکیب شیمیایی سیالات کانه‌ساز را تا حدی مشخص می‌کند. علاوه بر این مطالعه آنها به عنوان راهی مستقیم جهت بررسی وضعیت سیالات کانه‌ساز و فرآیندهای مؤثر در تشکیل کانسار از اهمیت زیادی برخوردار بوده و اطلاعات مهمی در خصوص منشأ سیالات و فلزات و اهمیت نسبی آب‌های ماگمایی، جوی و سازندی ارائه می‌کند (ویلیکینسون^۱، ۲۰۰۱). هرچند باید در نظر داشت که مطالعه میانبارهای سیال نیز مانند سایر روش‌های مطالعاتی به تنهایی قادر به حل تمام مسائل موجود در نحوه تشکیل کانسارها نیست و در کنار استفاده از این روش باید از سایر ابزارها از جمله مطالعات مینرالوگرافی و روش‌های تجزیه‌ای و ایزوتوپی نیز بهره گرفت.

۲-۶ روش مطالعه

به منظور تعیین دما، شوری، چگالی و حتی ترکیب احتمالی سیال مسئول کانه‌زایی و دگرسانی در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، ۵ نمونه از رگه و رگچه‌های سیلیسی هیدروترمال همراه با کانه‌زایی انتخاب گردید (جدول ۱-۶). به جهت آماده‌سازی این نمونه‌ها برای مطالعات پتروگرافی و

¹ Wilkinson

میکروترنومتری، نمونه‌ها به مرکز فرآوری مواد معدنی ایران ارسال شد و تعداد ۵ مقطع دو بر صیقل^۱ تهیه گردید. سپس اندازه گیری‌های میکروترنومتری بر روی مقاطع با استفاده از استیج گرمایش - انجماد مدل THMS600 ساخت شرکت Linkam که بر روی میکروسکوپ زایس^۲ نصب است در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران صورت گرفت. از این میان تنها دو مقطع برای مطالعات میکروترنومتری مناسب تشخیص داده شد و در سه نمونه دیگر (BG-G-02، BG-G-04، BG-G-07) فلوئیدی مشاهده نشد. دامنه حرارتی دستگاه ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد است. همچنین این دستگاه مجهز به دو کنترل‌گر، گرمایش (TP94) و سرمایش (LNP)، مخزن ازت (جهت پمپ نیتروژن برای انجماد) و مخزن آب (جهت خنک کردن دستگاه در دمای بالا) است. جهت کالیبراسیون دستگاه از استانداردهای زیر استفاده شد: کالیبراسیون دستگاه با تلورانس:

Heating: ± 0.6 , Freezing: ± 0.2

Heating: Cesium nitrate, melting point: +4

Freezing: n-Hexane, melting point: -94.3°C

کالیبراسیون Stage در گرمایش با دقت ± 0.16 درجه بوده که با نیترات سزیم^۳ و با نقطه ذوب ۴۱۴ درجه صورت پذیرفت و در انجماد با دقت ± 0.2 درجه و با ماده استاندارد ان-هگزان^۴ با نقطه ذوب -94.3 درجه سانتی‌گراد انجام گرفت.

¹ Doubly Polished Thin Section

² ZEISS

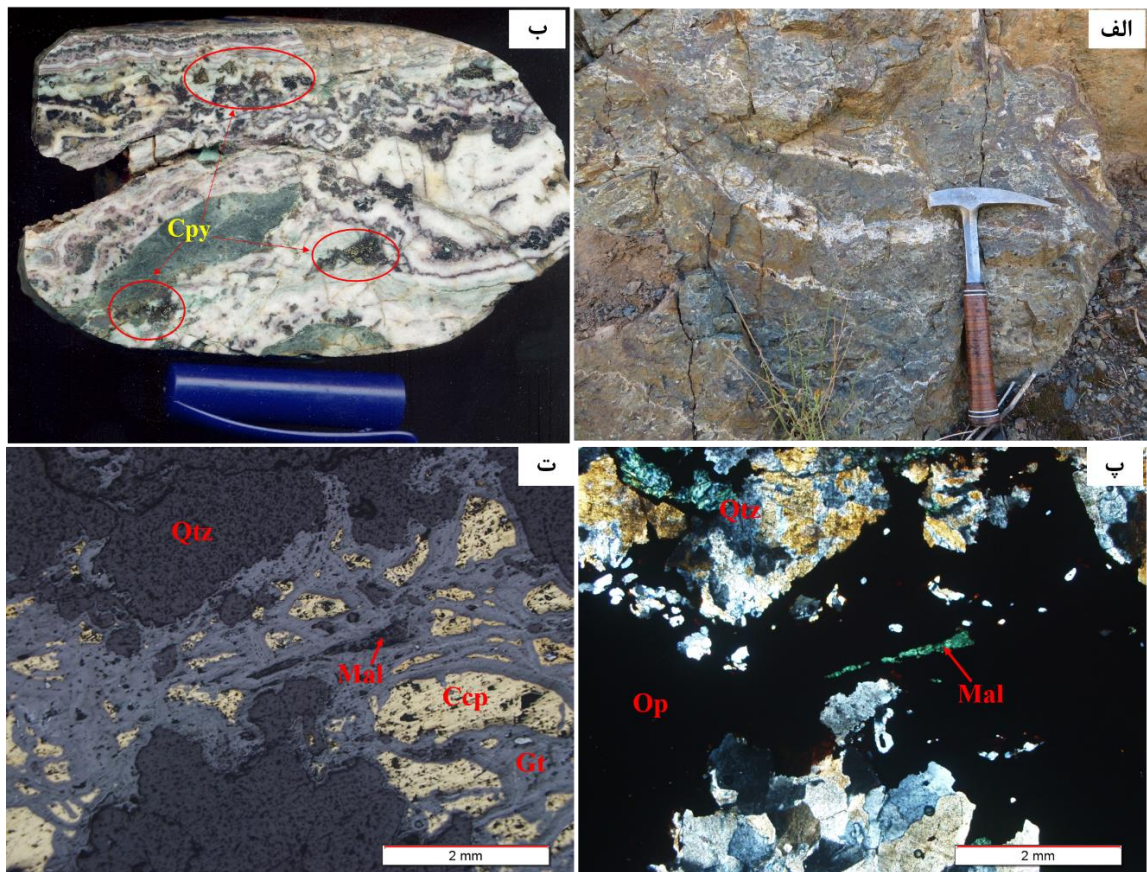
³ Cesium nitrate

⁴ n-Hexane

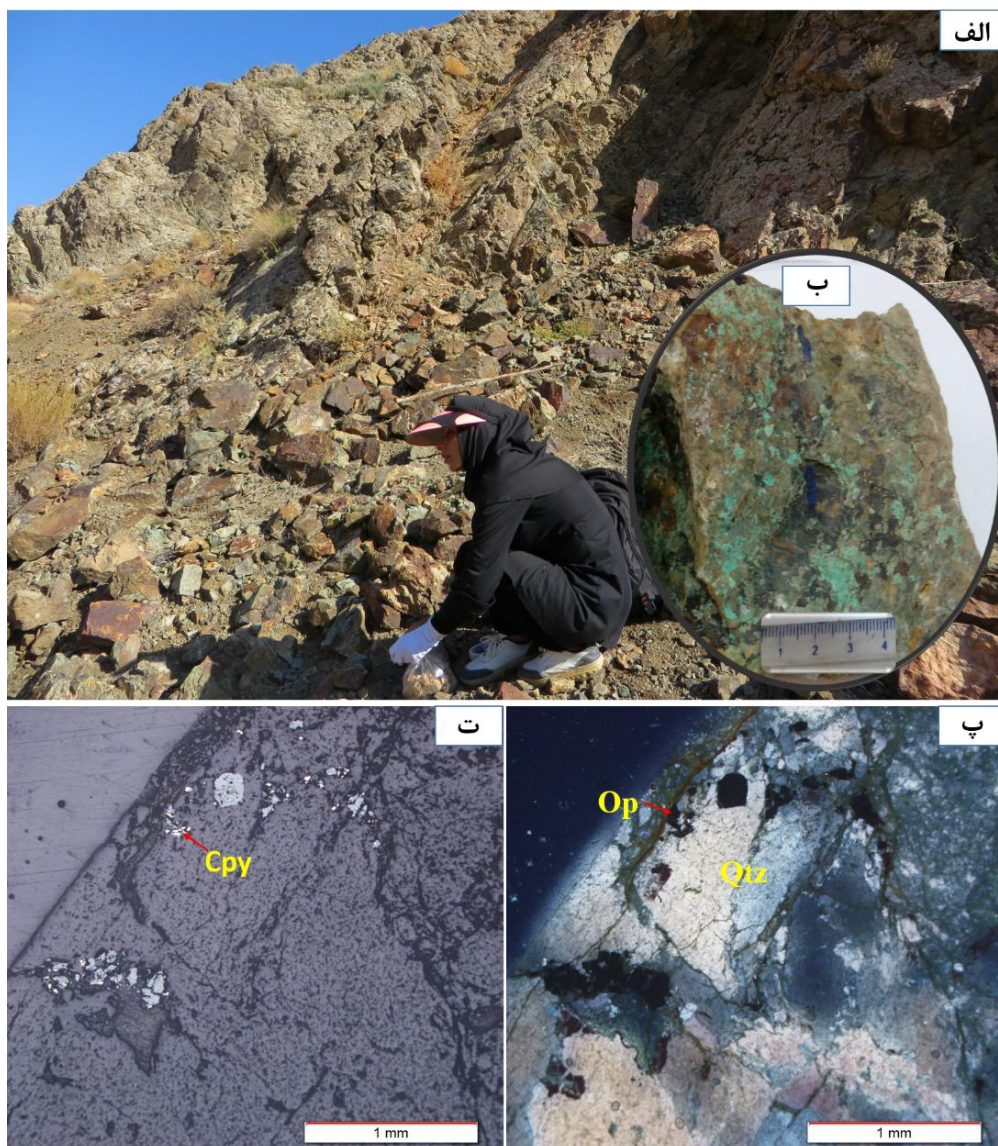
جدول ۱-۶: شرح مختصر نمونه‌هایی که جهت مطالعه میانبارهای سیال انتخاب شدند.

| شماره نمونه | مختصات UTM | توضیحات |
|-------------|-------------------------|---|
| BG-P-07* | x: 625299 y: 3915477 | نمونه سیلیسی مس‌دار با کانی‌سازی مس به صورت کالکوپیریت و مالاکیت، در این نمونه کوارتز و سولفیدها حالت نواری دارند. |
| BG-G-09* | x: 626201 y: 3915756 | کانی‌سازی مس بصورت مالاکیت همراه با سیلیس، داخل ولکانیک‌ها. |
| BG-G-07 | x: 625253 y: 3915441 | رگه سیلیسی آغشته به اکسیدهای آهن و مالاکیت. |
| BG-G-04 | x: 626730 y: 3914899 | نمونه دارای اکسیدهای آهن، پیریت و کالکوپیریت می‌باشد که آغشتگی به سیلیس دارد و از معدنکاری قدیمی مس برداشت شده است. |
| BG-G-02 | x: 626730 y: 3914899 | نمونه دارای اکسیدهای آهن شامل لیمونیت و گویتیت و سیلیس که به مالاکیت آغشتگی دارد و از معدنکاری قدیمی مس برداشت شده است. |

*نمونه‌هایی که برای مطالعات میکروترمومتری مناسب تشخیص داده شد.



شکل ۶-۱: تصاویر مربوط به نمونه BG-P-07؛ الف) تصویر صحرایی از سیلیس‌های نواری، ب) تصویر اسکن شده از سطح برش سیلیس‌های نواری، پ) تصویر میکروسکوپی در نور عبوری از سیلیس‌های نواری که نشان‌دهنده همراهی کوارتز با کانی‌سازی می‌باشد، و ت) تصویر میکروسکوپی از نمونه در نور انعکاسی.



شکل ۶-۲: تصاویر مربوط به نمونه BG-G-09؛ الف) تصویر صحرایی از نمونه (دید به سمت شمال شرق)، ب) تصویر نمونه دستی همراه با کانی‌سازی به صورت مالاکیت، پ) تصویر میکروسکوپی در نور عبوری که نشان‌دهنده همراهی کوارتز با کانی‌سازی می‌باشد و ت) تصویر میکروسکوپی از نمونه در نور انعکاسی که حاوی کالکوپیریت (Ccp) می‌باشد.

۳-۶ طبقه‌بندی میانبارهای سیال

تاکنون تقسیم‌بندی‌های زیادی در مورد میانبارهای سیال ارائه شده است. عواملی چون زمان

تشکیل میانبارها، نوع و تعداد فازهای موجود در میانبارهای سیال اساس این تقسیم‌بندی‌ها قرار گرفته‌اند. رودر^۱ (۱۹۸۴) بر اساس زمان تشکیل، میانبارهای سیال را به سه گروه اولیه^۲ (P)، ثانویه^۳ (S) و ثانویه کاذب^۴ (PS) تقسیم‌بندی کرد. زمان تشکیل میانبارهای سیال نسبت به زمان تشکیل بلور سنجیده می‌شود. میانبارهای سیال اولیه در طی رشد بلور کانی تشکیل شده‌اند و معمولاً دارای شکل هندسی منظم می‌باشند و در امتداد سطوح رشد بلور با فاصله از یکدیگر قرار می‌گیرند و اندازه آنها در مقایسه با نوع ثانویه بزرگتر می‌باشد در حالی که نوع ثانویه پس از اتمام شکل‌گیری بلور در فضای شکستگی و درزهایی که در اثر فرآیندهای حرارتی یا مکانیکی ایجاد شده است، به دام می‌افتند این میانبارها در امتداد درزه‌ها قرار می‌گیرند و معمولاً بی‌شکل و یا کشیده هستند و یا حالت صفحه‌ای دارند. چنانچه در حین رشد بلور، درزهایی در بلور ایجاد شود و سیال در فضای این شکستگی‌ها قرار گیرد، به گونه‌ای که این درزه‌ها در مراحل بعدی رشد بلور پوشیده شود، میانبارهای سیالی که در این فضاها قرار می‌گیرند به عنوان ثانویه کاذب شناخته می‌شوند. این گونه انکلوزیون‌ها ترکیب شیمیایی و داماسنجی مشابه انکلوزیون‌های اولیه را از خود نشان می‌دهند. با توجه به اینکه هدف از مطالعه میانبارهای سیال بازسازی شرایط زمان تشکیل کانی از جمله فشار، دما و شوری سیال می‌باشد، سعی بر آن شده که میانبارهای سیال جهت مطالعه همگی از میانبارهای سیال اولیه انتخاب شوند. تقسیم‌بندی میانبارهای سیال بر اساس ترکیب و نسبت فازهای درونی شامل فازهای جامد، مایع و بخار نیز صورت می‌گیرد که بر این اساس شفرده^۵ و همکاران (۱۹۸۵) میانبارهای سیال را به ۵ گروه میانبارهای سیال تک فاز مایع (L)، میانبارهای سیال دو فاز غنی از مایع (L+V)، میانبارهای سیال دو فاز غنی از بخار (V+L)، میانبارهای سیال تک فاز بخار (V)، میانبارهای سیال چند فاز جامد و چند جامدی (S+L±V) و میانبارهای سیال حاوی مایع نامیژاک (L₁+L₂±V) تقسیم کردند (شکل ۶-۱). میانبارهای مطالعه شده بر پایه

¹ Roedder

² Primary

³ Secondary

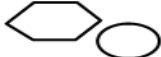





⁴ Pseudosecondary

⁵ Shepherd

فازهای درونی جزء میانبارهای دو فازی غنی از مایع (L+V) محسوب می‌شوند. در تقسیم‌بندی دیگر میانبارها بر اساس نوع سیال، به دو دسته سیال همگن و غیر همگن تقسیم می‌شوند که سیالات به دام افتاده در میانبارهای مطالعه شده، همگی از نوع همگن به حساب می‌آیند.

جدول ۶-۲: رده‌بندی انواع میانبارهای سیال بر مبنای محتوا و انواع فازهای موجود در دمای اتاق (شفرد و همکاران،

۱۹۸۵).

| Inclusion type | Abbreviation | Appearance | Essential phases |
|--------------------------|-------------------------------------|---|---------------------------------|
| Monophase liquid | L |  | L= 100% |
| Monophase vapor | V |  | V= 100% |
| Liquid- rich, two- phase | L+V |  | L> 50% |
| Vapor- rich, two- phase | V+L |  | V= 50 - 80% |
| Multiphase solid | S+L ±V |  | L, S |
| Immiscible liquid | L ₁ + L ₂ ± V |  | L ₁ , L ₂ |

۶-۴ پتروگرافی میانبارهای سیال

مطالعات پتروگرافی اولین و مهمترین بخش مطالعه میانبارهای سیال می‌باشد زیرا که در این مرحله، علاوه بر تعیین انواع و مشخصات هریک از آنها، میانبارهای سیال مناسب از نظر اندازه و نوع (اولیه یا ثانویه کاذب) برای مرحله بعدی (مطالعات میکروترمومتری) انتخاب می‌شوند. هم چنین با دقت و مطالعه دقیق در این مرحله می‌توان اطلاعات مهمی در رابطه با ویژگی‌های سیال کانه‌دار، سیر تکاملی آنها و نیز فرآیندهای ژئوشیمیایی مؤثر در ته‌نشست میانبارهای سیال، مانند پدیده‌های جوشش، اختلاط

و جدایش فازی را تا حدودی شناسایی نمود (آیونو^۱، ۲۰۰۷). به طور کلی در مطالعات پتروگرافی میانبارهای سیال، مشخصات نوری از قبیل شکل و اندازه میانبارها (شکل میانبارها تا حدودی به وسیله ساختمان بلوری کانسنگ، میزبان کانی میزبان کنترل می‌شود)، تعیین و تفکیک میانبارها از نظر ژنتیکی (اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب)، تعیین نوع و فازهای موجود (L, V, S)، تعیین پاراژنز میانبارهای سیال بر اساس تعیین روابط بافتی میان آنها، نوع کانی دختر (بر اساس شکل کریستالی و مورفولوژی ظاهری)، تعیین درصد فاز غالب در هر سیال، اندازه‌گیری درجه پرشدگی (F) به طور تقریبی (درجه پرشدگی (F) نشان‌دهنده حجم نسبی فاز مایع نسبت به حجم کل سیال درگیر است) و پدیده‌هایی مانند نشت^۲ و دم بریدگی^۳ مورد بررسی قرار می‌گیرند.

با توجه به فراوانی رگه و رگچه‌های کوارتز در باغ‌قازی و همراهی این رگه و رگچه‌ها با کانی‌سازی، اکثر نمونه‌ها از رگه و رگچه‌های کوارتز که کانی‌سازی‌ها را همراهی می‌کردند انتخاب شدند. نبود رخ، شفافیت کانی و توانایی تبلور مجدد آسان، کانی کوارتز را به یک میزبان مناسب برای میانبارهای سیال تبدیل کرده است (والش^۴ و هوبس^۵، ۱۹۹۹). بطور کلی از لحاظ شکل ظاهری، میانبارهای سیال در نمونه‌ها بیشتر به صورت اشکال چند وجهی نامنظم می‌باشند. نبود شکل خاص در میانبارها می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که فضاهای بین سطوح بلوری که باعث به تله افتادن میانبارها شده‌اند دارای شکل مشخصی نبوده‌اند. میانبارهای سیال اندیس معدنی باغ‌قازی از لحاظ اندازه غالباً "ریز تا بسیار ریز بوده و ابعادی از حداقل ۵ تا حداکثر ۱۵ میکرون دارند. کوچک بودن اندازه این میانبارها یکی از مشکلات مطالعه آنها است. از نظر رده‌بندی ژنتیکی، توزیع میانبارهای سیال در نمونه‌های باغ‌قازی بیشتر به صورت اولیه و تعداد اندکی به صورت ثانویه مشاهده شد که میانبارهای سیال اولیه به صورت پراکنده و

¹ Ioannou

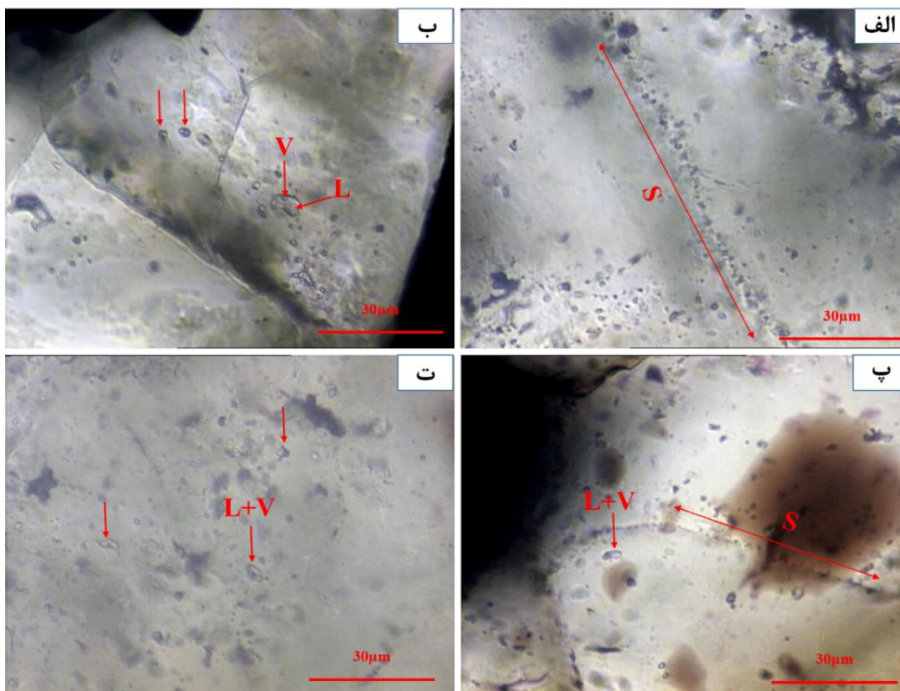
² Leakage

³ Necking down

⁴ Walshe

⁵ Hoobs

درشت تر نسبت به نوع ثانویه در مقاطع مشاهده شدند در حالی که میانبارهای سیال ثانویه به صورت ردیفی در یک امتداد (راستای صفحات شکستگی کوارتز) مشاهده شد (شکل ۶-۴). وجود میانبارهای سیال ثانویه می تواند بیانگر این باشد که منطقه تحت کشش های بعدی قرار گرفته و میانبارهای سیال به صورت ثانویه در محل درزه ها و شکستگی ها تشکیل شده اند. این نوع میانبارها برای مطالعات حرارت-سنجی مناسب نیستند. از نظر نوع و تعداد فاز، میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع (L+V) بیشترین حجم میانبارها را به خود اختصاص داده است. در پتروگرافی های انجام شده روی میانبارهای سیال فازهای CO₂ مایع و هیدروکربن های مایع مشاهده نگردید و هم چنین اثری از فازهای جامد مثل هالیت، سیلویت و . مشاهده نشد که این موضوع بیانگر این است که میزان شوری سیال کانه ساز در این منطقه کم است.



شکل ۶-۳: پتروگرافی میانبارهای سیال؛ الف) میانبارهای ثانویه در روند خطی در نمونه BG-P-07، ب) میانبارهای دوفازی اولیه غنی از مایع در نمونه BG-P-07، پ) میانبارهای ثانویه در روند خطی و میانبارهای اولیه غنی از مایع در

نمونه BG-P-07 و پ) میانبارهای اولیه غنی از مایع در نمونه BG-G-09.

جدول ۳-۶: نتایج مطالعات میکروترمومتری میانبراهای سیال کوارتز در منطقه باغقازی.

| Sample NO. | Size (μm) | Type | Tmice ($^{\circ}\text{C}$) | Salinity (wt.% NaCl) | Th(v-l) ($^{\circ}\text{C}$) |
|--|------------------------|------|------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| BG-P-07 | ۵ | L+V | -۳ | ۵/۰۷ | ۳۵۰ |
| | ۱۰ | L+V | -۵ | ۸/۰۷ | ۲۸۷ |
| | ۵ | L+V | -۱۱ | ۱۴/۹۸ | ۲۹۳ |
| | ۵ | L+V | -۵ | ۸/۰۷ | ۲۶۰ |
| | ۶ | L+V | -۹ | ۱۲/۹۵ | ۲۴۰ |
| | ۵ | L+V | -۱/۵ | ۲/۵ | ۲۹۵ |
| | ۶ | L+V | -۶ | ۹/۴۱ | ۳۱۸ |
| | ۶ | L+V | -۳/۶ | ۶/۰۲ | ۲۳۰ |
| | ۱۵ | L+V | -۰/۵ | ۰/۶ | ۲۷۰ |
| | ۶ | L+V | -۴/۱ | ۶/۷۷ | ۳۰۳ |
| | ۱۵ | L+V | -۴ | ۶/۶۲ | ۲۷۶ |
| | ۵ | L+V | -۳/۵ | ۵/۸۶ | ۳۳۰ |
| | ۱۰ | L+V | -۴ | ۶/۶۲ | ۳۴۱ |
| | ۱۵ | L+V | -۰/۷ | ۰/۹۹ | ۲۱۰ |
| ۷ | L+V | -۳/۴ | ۵/۷ | ۲۱۲ | |
| BG-G-09 | ۷ | L+V | -۱۰/۹ | ۱۴/۸۸ | ۱۵۸ |
| | ۷ | L+V | -۱۰/۵ | ۱۴/۴۹ | ۱۲۵ |
| | ۹ | L+V | -۸/۵ | ۱۲/۴ | ۱۵۰ |
| | ۶ | L+V | -۷/۵ | ۱۱/۲۷ | ۱۴۸ |
| | ۵ | L+V | -۸/۵ | ۱۲/۴ | ۱۴۸ |
| | ۶ | L+V | -۱۱/۵ | ۱۵/۴۵ | ۱۷۶ |
| | ۱۰ | L+V | -۱۰/۵ | ۱۴/۴۹ | ۱۴۷ |
| | ۱۰ | L+V | -۹/۵ | ۱۳/۴۸ | ۱۱۸ |
| | ۷ | L+V | -۱۱ | ۱۴/۹۸ | ۱۵۰ |
| Tmice: دمای آخرین نقطه ذوب یخ، Th(v-l): دمای همگن شدن به فاز مایع، nv: غیر قابل مشاهده | | | | | |

۵-۶ حرارت‌سنجی میانبارهای سیال

همان‌گونه که قبلاً^۱ اشاره گردید مطالعات حرارت‌سنجی میانبارهای سیال بر روی دو نمونه دو بر صیقل (BG-P-07 و BG-G-09) در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران با استفاده از یک دستگاه میکروسکوپ زایس و بوسیله دستگاه Linkam مدل THMS600 با کنترل‌کننده‌های گرمایش TP94 و سرمایش LNP که بر روی میکروسکوپ زایس نصب شده است انجام پذیرفت. مطالعات حرارت‌سنجی بر اساس مشاهده دقیق و تشخیص تغییرات فازی میانبارهای سیال، طی مراحل سرمایش^۱ و گرمایش^۲ بنا شده است.

۱-۵-۶ گرمایش

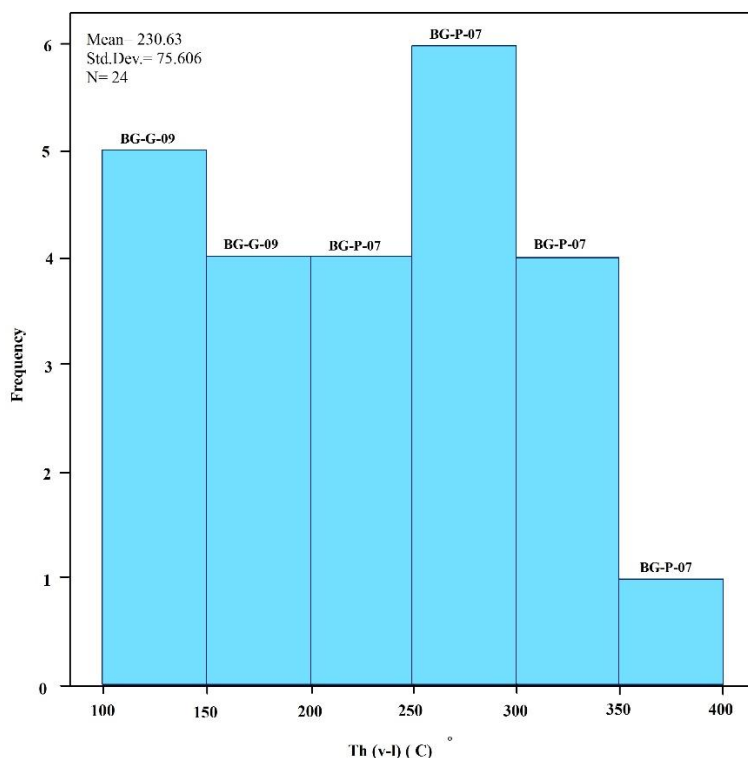
در این مرحله طی گرم کردن سیال، فازهای مختلف تشکیل‌دهنده سیال آنقدر حرارت داده می‌شوند تا همه فازهای آن به یک فاز اصلی همگن شوند. در تمامی میانبارهای سیال مطالعه شده، حالت همگن شدن بصورت فاز مایع می‌باشد. در این مطالعات دمای همگن شدن^۳ یا Th میانبارهای سیال بدست می‌آید که به عنوان حداقل دمای به دام افتادن سیال درگیر یا تشکیل بلور میزبان در نظر گرفته می‌شود (شفرود و همکاران، ۱۹۸۵).

نتایج مطالعات گرمایش میانبارها نشان می‌دهد که تغییرات دمای همگن شدن میانبارها به فاز مایع، در میانبارهای دو فازی مایع و بخار (L+V) در میزبان کوارتز در نمونه BG-P-07 بین ۲۴۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد (میانگین °C ۲۸۱) و در نمونه BG-G-09 بین ۱۱۸ تا ۱۷۶ درجه سانتی‌گراد (میانگین °C ۱۴۶/۶۷) می‌باشد جدول (۲-۶) و شکل (۵-۶).

¹ Freezing

² Heating

³ Temperature of homogenization



شکل ۶-۴: هیستوگرام فراوانی دمای همگن شدن میانبارهای سیال دوفازی.

۶-۵-۲ سرمایه‌ش

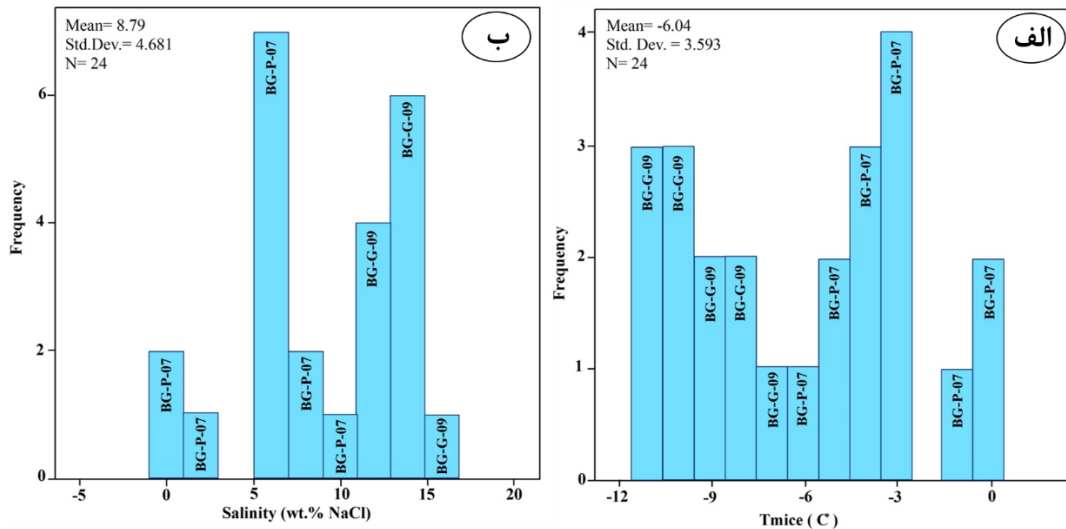
در آزمایش انجماد، میانبار سیال به زیر دمای اتاق سرد می‌شود تا جایی که تغییر فاز از مایع به جامد مشاهده شود. بسته به نوع فازهای تشکیل دهنده، ترکیب، چگالی و یا شوری، میانبارها مختلف در دماهای مختلفی منجمد می‌شوند. بعد از اینکه انجماد کامل صورت گرفت دوباره نمونه بصورت تدریجی گرم می‌شود تا یخ شروع به ذوب شدن کند. ذوب یخ معمولاً^۱ از حاشیه‌ها شروع و به سمت داخل ادامه می‌یابد تا اینکه یخ کاملاً^۲ ذوب شود. اولین قطره مایعی که ظاهر می‌شود یا به عبارتی اولین دمایی که یخ در آن ذوب می‌شود، دمای یوتکتیک^۱ یا T_E نامیده می‌شود. این دما ارتباط مستقیم با نوع نمک‌ها و کاتیون‌های موجود در مایع دارد (بودنار^۲ و همکاران، ۱۹۹۴). گرم کردن تا جایی که آخرین بلور یخ ذوب

^۱ Eutectic temperature

^۲ Bodnar

شود ادامه می‌یابد. دمایی که در آن یخ تماماً^۱ ذوب می‌شود دمای نهایی ذوب یخ^۱ یا Tm نامیده می‌شود و نشان‌دهنده میزان شوری سیال است.

نتایج مطالعات سرمایش نشان می‌دهد که درجه شوری میانبارهای سیال در میزان کوارتز در نمونه BG-G-07 (نمونه سیلیس نواری) بین ۰/۲ تا ۱۴/۹۸ (میانگین ۶/۱۳) درصد وزنی معادل نمک طعام، و در نمونه BG-G-09 (نمونه معدن مس متروکه) بین ۱۱/۲۷ تا ۱۵/۴۵ (میانگین ۱۳/۲۲) درصد وزنی معادل نمک طعام در تغییر است جدول (۶-۲) و شکل (۶-۶). نبود فاز دختر در این میانبارها نیز تأکیدی بر شوری متوسط تا پایین است (رودر، ۱۹۸۴) و می‌تواند ناشی از اختلاط آب‌های جوی باشد (بارنز^۲، ۱۹۷۹).



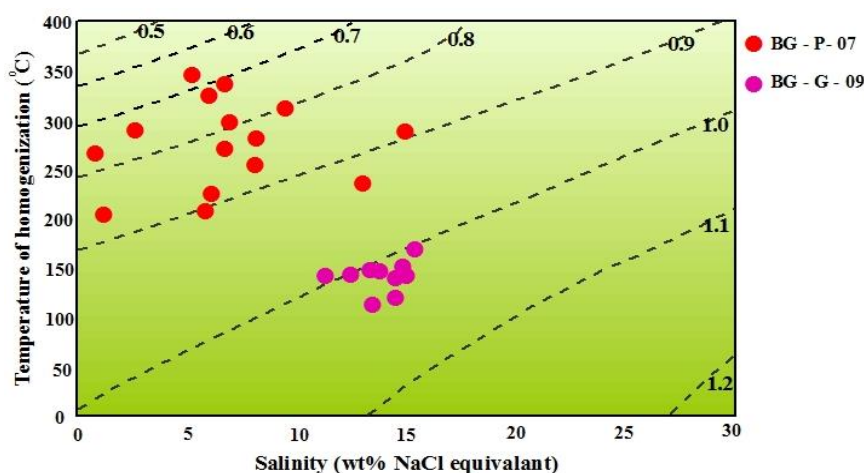
شکل ۶-۵: الف) هیستوگرام فراوانی دمای آخرین نقطه ذوب یخ و ب) هیستوگرام فراوانی میزان شوری برحسب درصد وزنی معادل نمک طعام.

^۱ Temperature of melting

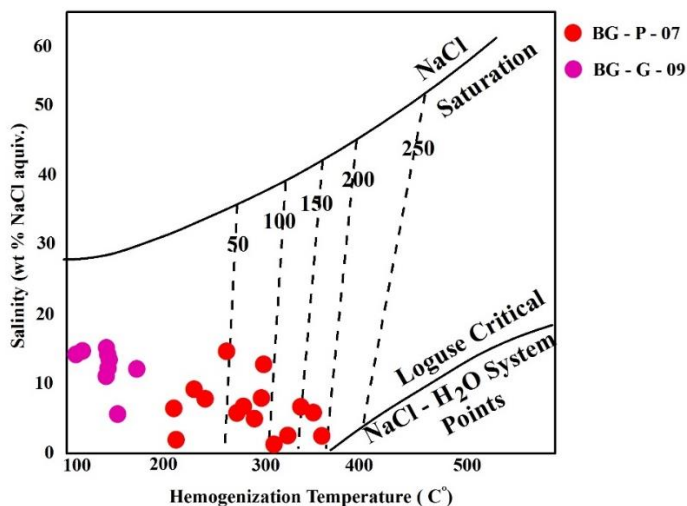
^۲ Barnes

۶-۶ تعیین چگالی و فشار بخار میانبارهای سیال

با استفاده از نمودارهایی که بر اساس دمای همگن شدن و شوری سیالات برای محاسبه چگالی و فشار بخار طراحی شده است، چگالی سیالات در بازه ۰/۵ تا ۱/۰۴ (شکل ۶-۷) و فشار بخار در بازه کمتر از ۵۰ تا حداکثر ۲۰۰ بار قرار می‌گیرد (شکل ۶-۸).



شکل ۶-۶: نمودار دما - شوری جهت تعیین چگالی محلول‌های NaCl-H₂O اشباع از بخار (ویلکینسون، ۲۰۰۱).



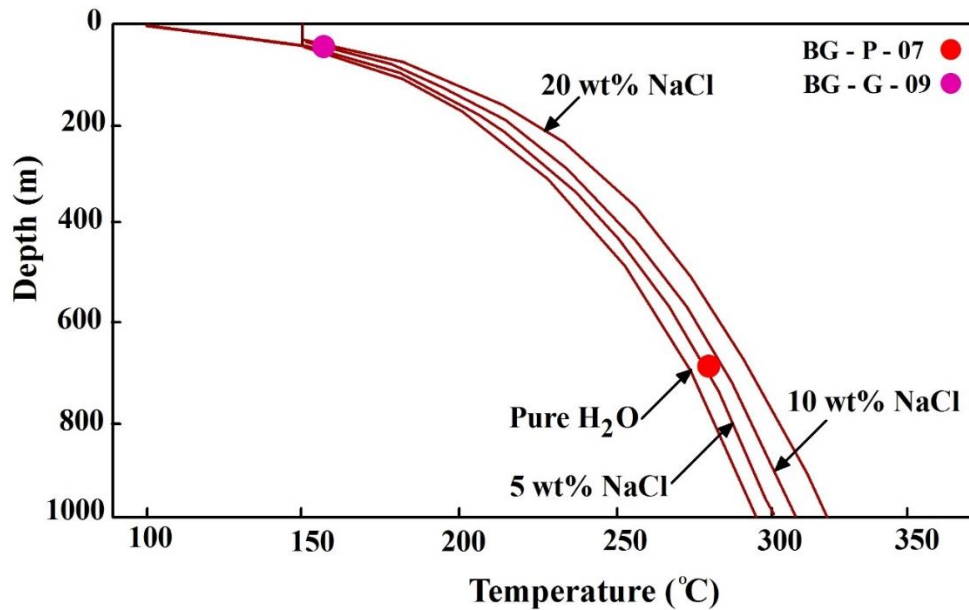
شکل ۶-۷: نمودار تعیین فشار بخار محلول بر حسب دمای همگن شدن و شوری (احمد^۱ و رز^۲، ۱۹۸۰).

^۱ Ahmad

^۲ Rose

۶-۷ تعیین عمق تشکیل سیالات

بر اساس نمودار هاس (۱۹۷۱) عمق به دام افتادن میانبره‌های سیال در منطقه باغ‌قازی بیش از ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر می‌باشد که جوشش رخ نداده است (شکل ۶-۹).



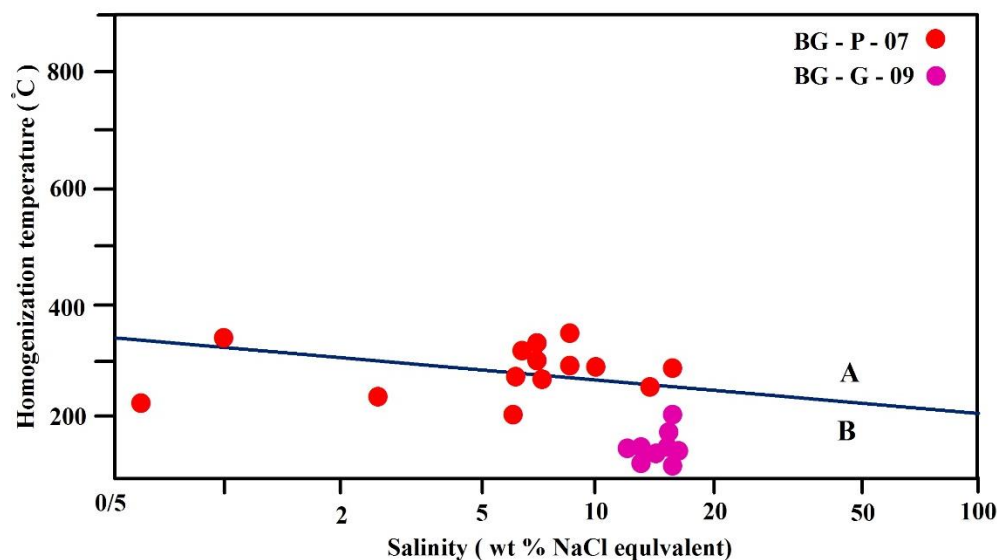
شکل ۶-۸: نمودار تعیین عمق به دام افتادن میانبره‌های سیال (هاس^۱، ۱۹۷۱).

۶-۸ تعیین نوع کمپلکس‌های احتمالی

مواد معدنی به صورت محلول یا غیرمحلول در آب و یا به صورت ترکیبات ساده، یونی و کمپلکس توسط ماگما و یا محلول‌های ماگمایی، گرمابی و آب‌های سطحی حمل و تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر تغییرات دما و فشار، pH، و Eh، تغییر در فوگاسیته اکسیژن، غلظت گوگرد، واکنش با سنگ‌های دیگر و یا جذب سطحی ته‌نشین می‌شوند. کمپلکس‌های کلریدی و بی‌سولفیدی مهمترین نقش را در حمل فلزات واسطه و طلا در محیط‌های گرمابی دارند. طلا در دماهای بالا (بالتر از ۳۰۰ درجه

¹ Haas

سانتی‌گراد) توسط کمپلکس‌های کلریدی و در دماهای پایین، توسط کمپلکس‌های بی‌سولفیدی حمل می‌شود. با توجه به نمودار شکل (۶-۹) کمپلکس‌های کلریدی و بی‌سولفیدی هر دو در حمل فلزات نقش داشته‌اند که در این میان کمپلکس‌های بی‌سولفیدی نقش مؤثرتری در حمل فلزات داشته‌اند.

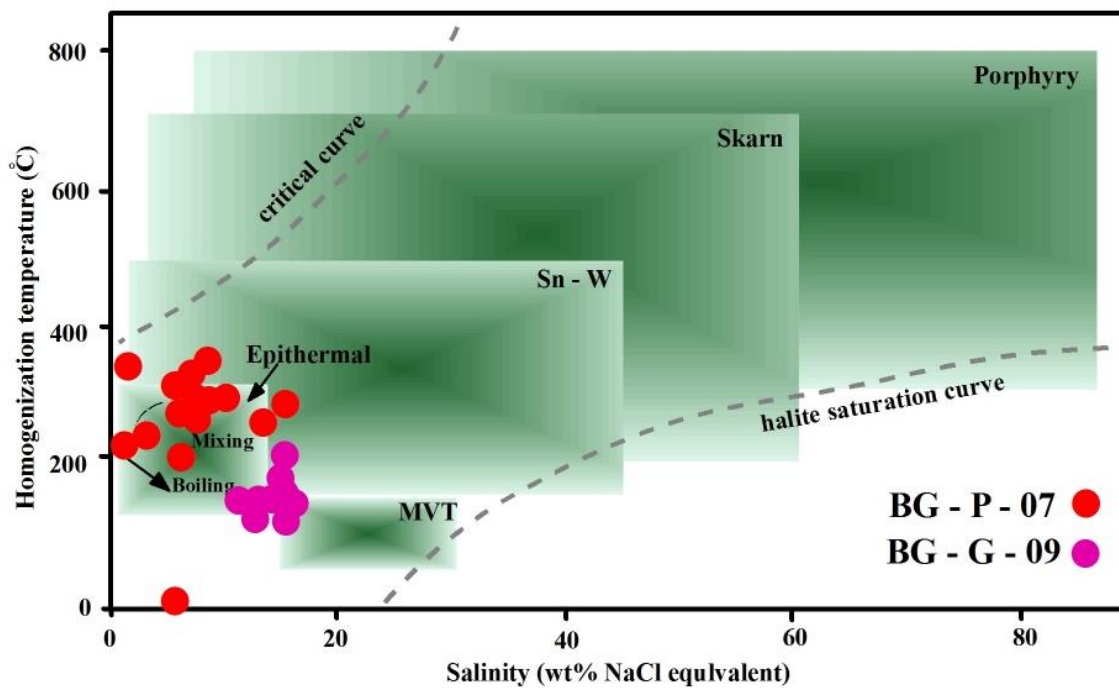


شکل ۶-۹: نمودار محدوده شوری و دما در کانسارهای مختلف (لارج^۱ و همکاران، ۱۹۸۸). در محدوده A (بالای خط) کمپلکس‌های کلریدی و در محدوده B (پایین خط) کمپلکس‌های بی‌سولفیدی غلبه دارند.

۶-۹ تعیین نوع کانسار احتمالی

بر اساس نمودار شکل (۶-۱۰) که بر پایه محدوده دمای همگن شدن و شوری میانبارهای سیال کانسارهای مختلف طراحی شده است، میانبارهای سیال مورد مطالعه در محدوده کانسارهای اپی‌ترمال قرار می‌گیرند.

¹ Large



شکل ۶-۱۰: نمودار میزان شوری - دمای همگن‌سازی (ویلکینسون، ۲۰۰۱). در این نمودار نمونه‌های منطقه باغ-

قازی در محدوده اپی‌ترمال قرار گرفته است و فرآیند آمیختگی سیال عامل نهشت کانسنگ می‌باشد.

فصل هفتم

نتیجه‌گیری، تیپ و

الگوی تشکیل کانسار و

پیشنهادها

۷-۱ مقدمه

در فصل‌های گذشته کلیه مطالعات صحرایی، میکروسکوپی، ژئوشیمیایی و سیالات درگیر بر پایه مشاهدات و اطلاعات موجود و آنالیزهای شیمیایی انجام گرفته، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. با توجه به بررسی‌ها و مطالعات انجام شده، کانه‌زایی مس - طلای باغ‌قازی در رده کانسارهای اپی‌ترمال قرار می‌گیرد.

در این فصل با استفاده از نتایج مشاهدات صحرایی، مطالعات میکروسکوپی و بررسی‌های ژئوشیمیایی درباره ژنز و نحوه تشکیل اندیس معدنی باغ‌قازی بحث خواهد شد. بدین منظور ابتدا شواهد ژنتیکی مهم مورد بازنگری قرار گرفته و سپس اشاره مختصری به تقسیم‌بندی کانسارهای اپی‌ترمال داشته و در ضمن آن، جایگاه کانه‌زایی مس - طلای اپی‌ترمال باغ‌قازی را در این تقسیم‌بندی مشخص خواهیم نمود و با مقایسه کانه‌زایی اندیس معدنی باغ‌قازی با کانسارهای اپی‌ترمال مشابه در دنیا و ایران به بررسی ژنز کانسار و ارائه الگوی تشکیل مناسب کانه‌زایی پرداخته می‌شود. و در پایان پیشنهادهای جهت تحقیقات تکمیلی بعدی ارائه می‌گردد.

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

زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه: محدوده باغ‌قازی در حاشیه شمالی ایران مرکزی و در بخش جنوبی زیرپهنه سبزوار در کمربند آتشفشانی - نفوذی شمال گسل درونه در بخش شمالی گسل تکنار (ریوش) قرار می‌گیرد. منطقه مورد مطالعه مجموعه‌ای از واحدهای ولکانیک و پلوتونیک دوران سوم را شامل می‌شود. واحدهای ولکانیکی منطقه با تنوع بالایی از انواع آندزیت و داسیت مشاهده می‌شوند که حضور واحدهای آذرآواری (توفها با ترکیب مختلف از حدواسط تا اسیدی) بر تنوع لیتولوژیکی این واحدها می‌افزاید. مجموعه پلوتونیک منطقه شامل گرانیت و گرانودیوریت است که این مجموعه آتشفشانی را مورد نفوذ قرار داده‌اند.

در آتشفشان‌های جزایر قوسی و حاشیه‌های فعال قاره‌ای که در حال حاضر فعالیت دارند، حجم زیادی آندزیت به همراه بازالت، داسیت و ریولیت یافت می‌شود. به طوری که در جزایر قوسی آندزیت‌ها با مقدار زیادی آندزیت به همراه بازالت و اندکی داسیت و ریولیت همراه می‌باشند ولی در مناطق فعال حاشیه قاره‌ها آندزیت‌ها همراه با مقدار زیادی داسیت و ریولیت و مقدار اندکی بازالت مشاهده می‌شوند. میاشیرو^۱ و دیگران (۱۹۷۴) ضمن تأیید این مسئله ابراز داشتند که در جزایر قوسی بیشتر سری تولوئیتی و در حاشیه قاره‌ها بیشتر سنگ‌های آتشفشانی سیلیس‌دار مربوط به سری کالک‌آلکانل یافت می‌شوند. به نقل از شفایی مقدم و همکاران (۲۰۱۴) در مقاله خود تحت عنوان گرانیتوئیدهای ائوسن کاشمر (شمال شرق ایران)، گرانیتهای کالک‌آلکانل پتاسیم بالا در محیط‌های غیر کوهزایی ندارند اما در محیط‌های حاشیه همگرا بویژه در محیط‌های پس از برخورد رایج می‌باشند. ماگماهای کالک‌آلکانل حاصل اختلاط ماگماهای منشأ گرفته از گوشته و پوسته می‌باشد (تاتسومی و تاکاهاشی، ۲۰۰۳). با توجه به آنچه گفته شد، شواهد صحرایی و مطالعات پترولوژیکی در منطقه مورد مطالعه موارد زیر را تأیید می‌نماید:

الف- حضور مواد آذرآواری با گسترش نسبتاً زیاد در منطقه مؤید فوران‌های انفجاری می‌باشد.

ب- بیشترین تنوع لیتولوژیکی منطقه مربوط به آندزیت‌ها و مواد آذرآواری بوده است. بنابراین می‌توان اینطور نتیجه‌گیری کرد که شکل‌گیری این پیکره‌های سنگی در حاشیه قاره‌ای فعال صورت گرفته است.

پ- گرانیتهای و گرانودیوریت‌های منطقه مورد مطالعه مربوط به سری‌های کالک‌آلکانل پتاسیم بالا می‌باشند که از شاخصه‌های زون‌های فرورانش می‌باشند.

ت- از آنجا که تمام نمونه‌های سنگی منطقه در سری کالک‌آلکانل و کالک‌آلکانل پتاسیم بالا قرار

¹ Miyashiro

گرفته‌اند می‌توان نتیجه گرفت که آرایش پوسته‌ای در شکل‌گیری این سنگ‌ها نقش داشته است.

کانه‌زایی و دگرسانی: در محدوده باغ‌قازی کانه‌زایی بصورت رگه‌های سیلیسی مس- طلا دار با برونزد منقطع با ضخامت ماکزیمم ۳۰ سانتی‌متر و طول رخنمون حدود ۲۰ متر در سنگ میزبان آتشفشانی (اغلب گدازه‌های آندزیتی) ائوسن زیرین تشکیل شده است و کانی‌زایی توسط پهنه گسلی کنترل شده و دارای راستای N70E با شیب 55° SE می‌باشد. سیلیس‌های نواری (کوارتز و کلسدونی) از ویژگی‌های شاخص کانی‌سازی طلا - نقره اپی‌ترمال می‌باشد (کاربت، ۲۰۰۲). این نوع سیلیس‌ها در کانی‌سازی باغ‌قازی به صورت نوارهای ظریف پوسته‌ای و کلسدونی نیز نمایان است. با توجه به مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی ساختار کانی‌سازی از نوع پرکننده فضای شکستگی‌ها و قطعات برش است و به شکل‌های رگه، رگچه، مناطق سیلیسی شده و برش‌های گرمابی نمایان است.

نواحی دگرسانی گرمابی گسترش وسیعی در محدوده مطالعاتی دارند که بیشتر سنگ‌های آتشفشانی آذرآواری (توفها) منطقه را تحت تأثیر خود قرار داده‌اند. مجموعه دگرسانی‌ها در محدوده مورد مطالعه شامل دگرسانی‌های سیلیسی، آرژیلیک متوسط، سریسیتی، پروپیلیتیک، کربناتی شدن و اکسیدهای آهن می‌باشند. طبق نظر کاربت (۲۰۰۲) دگرسانی‌های سریسیتی، آرژیلیک حدواسط، سیلیسی (کلسدونی و اوپال) و پروپیلیتیک از دگرسانی‌های معمول و رایج در کانسارهای اپی‌ترمال سولفید پایین می‌باشند.

کانی‌شناسی و ساخت و بافت: کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده اندیس معدنی باغ‌قازی در سه گروه کانی‌های منطقه هیپوزن (پیریت و کالکوپیریت)، کانی‌های منطقه سوپرژن (کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت، مالاکیت، کریزوکولا، هماتیت و گویتیت) و کانی‌های باطله همراه با کانی‌سازی (کوارتز و کلسدونی) رده‌بندی شدند. از عمده‌ترین ساخت و بافت‌های مشاهده شده می‌توان به ساخت و بافت برشی، ساخت و بافت نواری، بافت جانیشینی، بافت باقی‌مانده، بافت جعبه‌ای و بافت کلوفر می اشاره کرد.

ژئوشیمی سنگ‌های در بر گیرنده: تحقیقات تیلور و همکاران (۱۹۶۹) و مطالعات لوفور^۱ (۱۹۷۳) نشان می‌دهد که ترکیب گدازه‌های کالکوالکالن مناطق در حال فرورانش با یکدیگر متفاوت می‌باشند. بدین ترتیب که دامنه تغییرات درصد SiO_2 در گدازه‌های حاشیه قاره‌ها خیلی بیشتر از جزایر قوسی است. در حاشیه قاره‌ها درصد SiO_2 بین ۵۶ تا ۷۶ درصد است در حالی که درصد SiO_2 در جزایر قوسی بین ۵۰ تا ۶۶ درصد می‌باشد. هم‌چنین گدازه‌های حاشیه قاره‌ها از نظر عناصر کمیاب سبک دارای شعاع یونی بزرگ مانند Rb، U، K و Ba غنی‌تر می‌باشند. درصد SiO_2 در توده‌های نفوذی منطقه بین ۶۶/۱۸ تا ۷۵/۹۴ درصد و در سنگ‌های آتشفشانی منطقه بین ۵۵/۳۴ تا ۷۳/۱۵ درصد می‌باشد. طبق نمودارهای عنکبوتی ارائه شده در فصل ۶، الگوی عناصر کمیاب در نمونه‌های سنگی منطقه بیانگر غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) می‌باشد. این امر از ویژگی‌های ماگماهای کالک آلکالن کمان‌های آتشفشانی پهنه فرورانش حاشیه قاره‌ای می‌باشد (رولینسون، ۱۹۹۹). الگوی عناصر نادر خاکی و تغییرات عناصر فرعی، غنی‌شدگی از LREE نسبت به HREE، تهی‌شدگی از عناصر HFS بویژه Nb، Ti و Zr و تمرکز بالای عناصر LIL بویژه Cs، K و Pb بیانگر آرایش پوسته‌ای ماگمای سازنده این سنگ‌ها می‌باشد.

ژئوشیمی کانسنگ: طبق نتایج مطالعات ژئوشیمی کانسنگ در باغ‌قازی (جدول ۵-۱۱)، همبستگی مثبت و بالای Au با عناصر Cu، As، Bi، Ag، Fe، Pb و Zn قابل توجه است و چنین همیافتی ژئوشیمیایی بیان از رخداد کانی‌سازی گرمایی دمای پایین (اپی‌ترمال) در منطقه است. همبستگی بالای بین عناصر بیانگر قرابت ژنتیکی و هم‌یافتی ژئوشیمی آنها در طول فرآیندهای مهاجرت و تمرکز می‌باشد.

میانبارهای سیال: بر اساس مطالعات پتروگرافی میانبارهای سیال، میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع بیشترین حجم میانبارها را به خود اختصاص دادند. طبق مطالعات پتروگرافی هیچ اثری از پدیده

¹ Lefevre

جوشش مشاهده نشد. نبود فاز جامد نشان‌دهنده شوری متوسط تا پایین سیال می‌باشد. طبق مطالعات حرارت‌سنجی میانبرهای سیال، دامنه تغییرات دمای اندازه‌گیری شده بین ۱۱۸ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد (میانگین، $230/63^{\circ}C$) و دامنه تغییرات شوری بدست آمده بین ۰/۲ تا ۱۵/۴۵ با میانگین ۸/۷۹ درصد وزنی نمک طعام است. با استفاده از نمودارهایی که بر اساس دمای همگن شدن و شوری سیالات برای محاسبه چگالی، فشار بخار و عمق طراحی شده است، چگالی سیالات در بازه ۰/۵ تا ۱/۰۴، فشار بخار در بازه کمتر از ۵۰ تا حداکثر ۲۰۰ بار و حداقل عمق به دام افتادن میانبرهای سیال بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر می‌باشد. طبق نمودار ویلکینسون (۲۰۰۱) که بر اساس دمای همگن‌شدگی و شوری میانبرهای سیال برای کانسارهای مختلف ارائه شده است، از نظر نوع کانسار احتمالی، اندیس معدنی باغ‌قازی در محدوده کانسارهای اپی‌ترمال قرار می‌گیرد.

۳-۷ مقایسه ویژگی‌های اندیس معدنی باغ‌قازی با انواع کانسارهای

اپی‌ترمال

بر اساس شواهد ژنتیکی موجود در ارتباط با کانه‌زایی اندیس معدنی باغ‌قازی، این کانه‌زایی در ردیف کانسارهای اپی‌ترمال قرار می‌گیرد. بر پایه مطالعات سیلیتو^۱ و هدنکوئیست^۲ (۲۰۰۳) خلاصه‌ای از انواع کانسارهای اپی‌ترمال در جدول (۷-۱) ارائه شده است. مقایسه ویژگی‌های شاخص اندیس معدنی باغ‌قازی با انواع کانسارهای اپی‌ترمال نشان می‌دهد که این کانه‌زایی از نظر سنگ میزبان، دگرسانی، نوع سولفید و فلزات اصلی بیشترین شباهت را با کانسارهای اپی‌ترمال سولفید متوسط دارد.

¹ Sillitoe

² Hedenquist

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

جدول ۷-۱: مقایسه اندیس معدنی باغ‌قازی با انواع کانسارهای اپی‌ترمال.

| ویژگی‌های شاخص | سولفید بالا | سولفید متوسط | سولفید پایین | اندیس معدنی باغ قازی |
|---------------------------------|--|--|--|--|
| مثال | ماگما اکسید کننده Yanacocha, Peru (disseminated) | ماگما کاهنده Fresnillo, Mexico (Ag-rich) | ماگما ساب‌آکالین Midas, Nevada | ماگما آکالین Emperor, Fiji |
| سنگ‌های آتشفشانی مرتبط با منشاء | بیشتر آندزیت تا ریوداسیت | ریوداسیت | بازالت تا ریولیت | آلکالی بازالت تا تراکیت |
| کانی‌های دگرسانی | کوارتز-آلونیت/کانی‌های آلومینیوم-فسفات-سولفات؛ کوارتز-پیروفیلیت/دیکیت در عمق | کوارتز-آلونیت/کانی‌های آلومینیوم-فسفات-سولفات؛ کوارتز-دیکیت در عمق | ایلیت/اسمکتیت-آدولاریا | روسکولیت-ایلیت-آدولاریا |
| باطله سیلیس | سیلیسی شدن به صورت توده‌ای و ریز دانه و کوارتز باقی‌مانده حفره‌ای | کوارتز شانه‌ای و پوسته‌ای پرکننده رگه | کوارتز و کلسدونی کلوفرمی و پوسته‌ای پرکننده رگه؛ بافت جانشینی کربنات | کوارتز و کلسدونی کلوفرمی و پوسته-ای پرکننده رگه، کلسدونی |
| باطله کربنات | حضور ندارد | رایج، عموماً شامل کربنات‌های منگنز دار | حضور دارد اما عموماً کم | فراوان اما غیر منگنز دار |
| سایر باطله‌ها | باریت رایج، عموماً تأخیری | به طور محلی باریت و سیلیس‌های منگنز دار | باریت غیر رایج، به طور محلی حضور فلوریت دارند. | باریت، سلسیت و فلوریت رایج و یا بطور محلی حضور دارند. |
| فراوانی سولفید | ۱۰-۹۰ درصد حجمی | ۵ تا بیش از ۲۰ درصد حجمی | عموماً کمتر از ۱-۲ درصد حجمی (اما بیش از ۲۰ درصد حجمی با سنگ میزبان بازالت) | کمتر از ۱۰ درصد حجمی |
| نوع سولفید | انارژیت، لوزونیت، فاماتینیت، کوولیت | اسفالریت، گالن، تتراهدریت، تنانتیت، کالکوپیریت | خیلی کم آرسنوپیریت±پیرویت؛ کمی اسفالریت، گالن، تتراهدریت-تنانتیت، کالکوپیریت | پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت |
| فلزات اصلی | طلا-نقره، مس، آرسنیک-آنتیموان | نقره-طلا، روی، سرب، مس | طلا±نقره، | مس، طلا |
| فلزات فرعی | روی، سرب، بیسموت، تنگستن، مولیبدن، قلع، جیوه | مولیبدن، آرسنیک، آنتیموان | روی، سرب، مس، مولیبدن، آرسنیک، آنتیموان، جیوه | سرب، روی، آرسنیک |
| Se و Te | تلوریدها رایج، سلنیدها به طور محلی حضور دارند. | تلوریدها به طور محلی رایج، سلنیدها غیر رایج | سلنیدها رایج، تلوریدها به طرز محلی حضور دارند. | - |
| منابع | سیلیتو و هدنکوئیست (۲۰۰۳) | سیلیتو و هدنکوئیست (۲۰۰۳) | سیلیتو و هدنکوئیست (۲۰۰۳) | تحقیق حاضر |

۴-۷ مقایسه ویژگی‌های اندیس معدنی باغ‌قازی با سایر کانسارهای

اپی‌ترمال در ایران و جهان

در سنگ‌های آتشفشانی ترشیری ایران و بسیاری از کشورهای دیگر شاهد کانی‌سازی اپی‌ترمال فلزات گرانبها و فلزات پایه هستیم. این ذخایر در مقیاس قاره‌ای در فرورانش در حاشیه صفحات قرار می‌گیرند (هیلد^۱ و همکاران، ۱۹۸۷). اندیس معدنی باغ‌قازی با کانسارهای اپی‌ترمال از نوع سولفید متوسط تا پایین در کمربندهای مختلف ایران (جدول ۲-۷) و با کانسارهای اپی‌ترمال بریتیش کلمبیا، اکوادور و ترکیه (جدول ۳-۷) مقایسه شده است. مقایسه ویژگی‌های اندیس معدنی باغ‌قازی از قبیل جایگاه زمین‌ساختی، سنگ میزبان، ساخت و بافت، فرم کانی‌سازی، دگرسانی، درجه حرارت و شوری سیال و ... با کانسارهای اپی‌ترمال ایران و جهان نشان می‌دهد این کانسار بیشترین شباهت را با کانسارهای سولفید متوسط در ایران و کانسارهای سولفید متوسط (Sahinli and Tespil Dere) در غرب ترکیه را دارد.

¹ Heald

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

جدول ۷-۲: مقایسه اندیس معدنی باغ‌قازی با کانسارهای اپی‌ترمال خنثی تا قلیایی در ایران (LS, IS).

| ویژگی‌های اصلی | باغ قازی | چشمه نقره | چشمه حافظ | چاه زرد | چاه‌نعلی |
|----------------------------|--|--|--|--|--|
| موقعیت جغرافیایی | شمال غرب کاشمر | شمال غرب کاشمر | شمال شرق معلمان | جنوب غرب یزد | شرق سیستان و بلوچستان |
| پهنه ساختاری | خواف-درونه | خواف-درونه | ترود-چاه شیرین | ارومیه-دختر | مکران (شمال غرب پشته-های آتشفشان بزمان) |
| سنگ میزبان | گدازه‌های آندزیتی تا ریوداسیتی | سنگ‌های آذرآواری | آندزیت تا داسیت | برش‌های آتشفشانی | گدازه‌های آندزیتی و سنگ‌های آذرآواری |
| فلزات اصلی | مس - طلا | طلا-مس | فلزات پایه نقره و طلا | طلا-نقره | طلا-الکتروم |
| سن کانه‌زایی | الیگومیوسن | ترشیری | میوسن | ائوسن | میوسن |
| کانی‌شناسی | کالکوپیریت، پیریت، کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت، همتیت، گوئیتیت، مالاکیت | پیریت، اکسیدهای آهن، مالاکیت و آزوریت | گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، تتراهیدریت و دیژنیت | پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، سولفوسالت‌های نقره، ژاروسیت، مارکازیت | مولیبدنیت، Powellite، پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، طلای آزاد، الکتروم، Naumannite، Hessite، Jodargrite، کوولیت، کالکوسیت، تنوریت، کوپریت، همتیت، گوئیتیت، لیمونیت، مالاکیت |
| ساخت و بافت | نواری، جانشینی، رگه-رگچه‌ای، کلوفرمی، برشی، پراکنده | پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه-رگچه‌ای | پرکننده فضای خالی، رگه‌ای، برشی، شانه‌ای، جانشینی | پرکننده فضای خالی، برشی، رگه-ای، پراکنده | رگه-رگچه‌ای، کلوفرمی، کوکاد، حفره‌ای، برشی، شانه‌ای |
| دگرسانی | سرسیستی، آرژیلیک، پروپیلیتیک، سیلیسی | پروپیلیتیک، سریستی، آرژیلیک | سرسیستی، آرژیلیک پیشرفته، کلریتی، کرناتی | سرسیستی، آرژیلیک، سیلیسی، پروپیلیتیک | |
| میانگین دمای همگن شدن (C°) | ۱۱۸-۳۵۰ | - | ۱۴۰-۲۸۰ | کوارتز: ۳۱۵ اسفالریت: ۲۸۶ | ۲۰۳-۳۴۰ |
| میانگین شوری (wt.% NaCl) | ۰/۲-۱۵/۴۵ | - | ۴/۷-۱۸ | کوارتز: ۱۰/۱-۱۳/۷ اسفالریت: ۸/۴-۱۲/۱ | ۰/۳-۱/۸ |
| ژنز | اپی‌ترمال (IS) | اپی‌ترمال (LS) | اپی‌ترمال (IS) | اپی‌ترمال (IS-LS) | اپی‌ترمال (LS) |
| منبع | تحقیق حاضر | Alaminia et al., 2010 | Mehrabi & Ghasemi Siani., 2012 | Kouhestani et al., 2013 | Sholeh et al., 2016 |

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

ادامه جدول ۷-۲، مقایسه اندیس معدنی باغ‌قازی با کانسارهای اپی‌ترمال خنثی تا قلیایی در ایران (LS, IS).

| ویژگی‌های اصلی | شرف‌آباد | میر کوه‌علی‌میرزا | ابوالحسنی | قلعه‌زری | گلوجه |
|-------------------------|---|--|--|--|---|
| موقعیت جغرافیایی | شمال غرب ورزقان، استان آذربایجان شرقی | شمال سراب، استان آذربایجان شرقی | جنوب غرب دامغان | جنوب غرب بیرجند | شمال زنجان |
| پهنه ساختاری | زون فلززایی ارسباران در شمال باختر کمان ماگمایی البرز-آذربایجان | البرز-آذربایجان | ترود-چاه‌شیرین | لوت | طارم-هشتجین |
| سنگ میزبان | گدازه‌های آندزیتی و سنگ‌های آذرآواری | توف‌های داسیتی و ریوداسیتی | گدازه‌های آندزیتی و سنگ‌های پیروکلاستیک | سنگ‌های آندزیتی تا بازالتی | آندزیت، آندزیت بازالت، تراکی آندزیت و سنگ‌های آذرآواری |
| فلزات اصلی | طلا-نقره | طلا-نقره | فلزات پایه، طلا و نقره | مس، طلا، نقره | فلزات پایه، نقره±طلا |
| کانی‌شناسی | پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، مگنتیت، ایلمنیت، مولیبدنیت، کوولیت، تتراهیدریت، بورنیت، روتیل، کوبانیت، طلا، سروزیت، دیژنیت، اولیژنیت، مالاکیت، آزوریت | پیریت، نقره طبیعی، کالکوپیریت، مولیبدنیت، آرسنوپیریت، اکسید منگنز، جاروسیت، سروزیت، اکسی-هیدرواکسیدهای آهن | اسفالریت، گالن، پیریت، تتراهیدریت، کالکوپیریت، نقره | کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت | گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت، سروزیت، کوولیت |
| ساخت و بافت | رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، پراکنده، استوک‌ورک، برشی، حفره-ای، نواری، پوسته‌ای، شانه-ای، پر مانند، موزائیکی | پرکننده فضای خالی، رگه-رگچه‌ای، حفره‌ای، شبکه‌ای، تیغه‌ای، شانه‌ای، برشی، پوسته‌ای | برشی، دانه پراکنده، رگه‌ای، نواری، پرکننده فضای خالی | پرکننده فضای خالی، نواری، شانه‌ای، کوکاد، اکسلوشن، کاتاکلاستیک، جانشینی، جعبه‌ای | نواری، برشی، رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی |
| دگرسانی | سلیسی، آرژلیک، پروپیلیتیک، حدواسط، پروپیلیتیک | سرسیستی، سلیسی، کربناتی | آرژلیک حدواسط، پروپیلیتیک | سرسیستی، آرژلیک، پروپیلیتیک، سلیسی | پروپیلیتیک، سرسیستی، آرژلیک متوسط |
| دمای همگن شدن سیال (C°) | میزبان کوارتز: ۲۷۰-۱۷۰ میزبان اسفالریت: ۲۶۵-۲۱۵ میزبان کربنات: ۲۵۰-۱۶۰ | ۲۶۰-۱۶۱ | ۳۴۰-۲۳۴ | ۳۰۰-۱۶۰ | کوارتز: ۲۸۷-۲۲۳ اسفالریت: ۲۴۴-۱۷۵ |
| شوری سیال (wt.% NaCl) | میزبان کوارتز: ۸/۷-۱ میزبان اسفالریت: ۱۵/۳-۱۰/۸ میزبان کربنات: ۳/۸-۱/۵ | ۶/۵-۰/۵ | ۶/۷-۱۸/۷ | ۴-۱ | میزبان کوارتز: ۱۷-۶/۵ میزبان اسفالریت: ۱۲-۱/۵ |
| ژنز | اپی‌ترمال IS | اپی‌ترمال LS | اپی‌ترمال IS | اپی‌ترمال LS | اپی‌ترمال (IS) |
| منبع | ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۷ | مقصودی و همکاران، ۱۳۸۶ | Shamanian et al., 2004 | Hassan-Nezhad & Moor., 2004 | Mehrabi et al., 2016 مهرابی و همکاران، ۱۳۹۳ |

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

جدول ۳-۷: مقایسه اندیس معدنی باغ‌قازی با کانسارهای اپی‌ترمال در اکوادور، بریتیش کلمبیا و ترکیه.

| ویژگی‌های اصلی | اندیس باغ‌قازی | Fruta del Norte | Newton | Sahinli and Tespik Dere |
|----------------------------|---|---|--|--|
| موقعیت جغرافیایی | ایران | Southeastern Ecuador | British Columbia | Western Turkey |
| موقعیت تکتونیکی | محیط‌های کششی مرتبط با فرورانش | کمان ماگمایی حاشیه قاره | کمان ماگمایی حاشیه قاره | محیط‌های کششی مرتبط با فرورانش |
| سنگ میزبان | گدازه‌های آندزیتی تا ریوداسیتی | سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی | سنگ‌های آتشفشانی اسیدی و نفوذی‌های کوارتز-فلدسپار پورفیری و فلدسپار-کوارتز-هورنبلند پورفیری | سنگ‌های آتشفشانی آندزیت تا داسیت |
| فلزات اصلی | مس-طلا | طلا-نقره | نقره، طلا، مس، روی، سرب، کمی مولیبدن و آرسنیک | طلا-نقره، فلزات پایه |
| کانی‌شناسی | کالکوپیریت، پیریت، کالکوسیت، دیژنیت، گوئیتیت، اولیژیست، مالاکیت | مارکازیت، پیریت، اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، تتراهیدریت | پیریت، مارکازیت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، پیروتیت، مولیبدنیت، آرسنوپیریت، الکتروم و تلوریدهای طلا-نقره و طلا-بیسموت | پیریت، گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، تتراهیدریت‌های غنی از نقره، الکتروم، بورنیت، مولیبدنیت، دیژنیت، کالکوسیت، کوولیت، سروزیت، گوئیتیت |
| دگرسانی | سرسیتی، آرژیلیک متوسط، پروپیلیتیک، سیلیسی، کربناتی | سرسیتی، آرژیلیک، سیلیسی، کربناتی | کوارتز-سرسیت، آرژیلیک، پروپیلیتیک و پتاسیک | آرژیلیک متوسط و پیشرفته، سیلیسی، پروپیلیتیک |
| بافت | رگه و رگچه‌ای و کمتر بصورت پراکنده | رگه‌ای و کمتر بصورت پراکنده | پراکنده و کمتر به صورت رگه-رگچه‌ای | رگه-رگچه‌ای رایج و کمتر بصورت پراکنده |
| باطله سیلیس | کلسدونی، کوارتز پرکننده حفرات، رگه و رگچه‌ای، نواری | کوارتز کلوفرمی-پوسته-ای، کوکاد و شانه‌ای و کلسدونی | کوارتز پرکننده رگه | کوارتز پرماند، پرکننده حفرات، رگه-رگچه‌ای، شانه‌ای، کوکاد (تاج خروسی)، نواری و کلسدونی |
| سایر باطله‌ها | - | کربنات‌های منگن‌دار، رودوکروزیت، آدولاریا | - | باریت |
| فراوانی سولفید | <۱۰٪ | - | ۲-۶٪ | <۱ - ۶۰٪ |
| میانگین دمای همگن شدن (C°) | ۲۳۰/۶۳ | - | ۳۱۳ | ۲۲۰-۳۲۲ |
| شوری سیال (wt.% NaCl) | ۸/۷۹ | - | ۴/۸ | ۴/۳-۶/۹ |
| ژنز | اپی‌ترمال (IS) | اپی‌ترمال (IS&LS) | اپی‌ترمال (IS) | اپی‌ترمال (IS) |
| منبع | تحقیق حاضر | Leary et al., 2016 | Liu et al., 2016 | Yilmaz et al., 2010 |

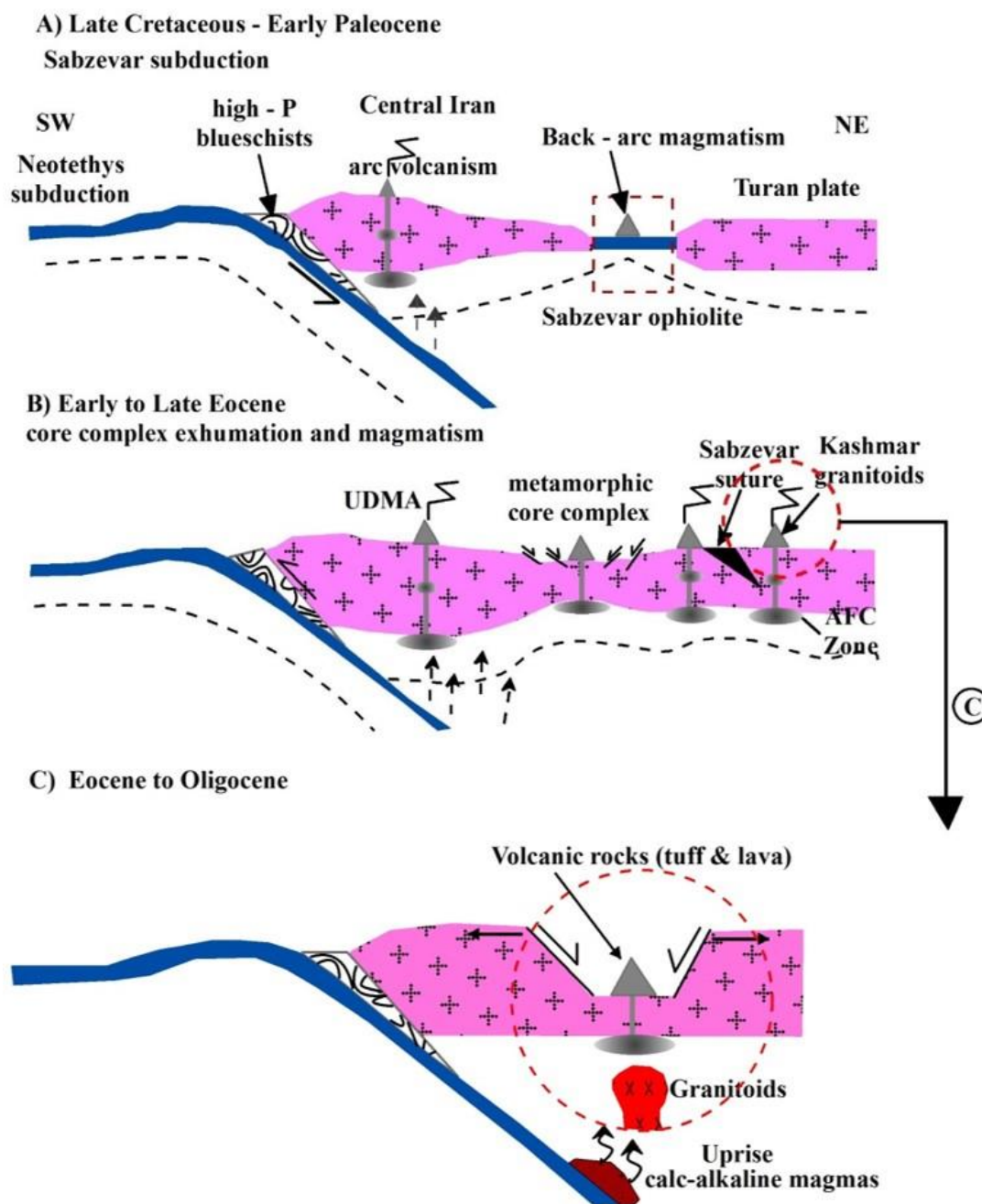
۷-۵ الگوی تشکیل اندیس معدنی باغ‌قازی

فعالیت‌های آذرین مرتبط با فرورانش در ایران از کرتاسه تا به امروز ادامه داشته است اما اوج فعالیت‌ها در زمان ائوسن تا الیگوسن بوده است (عمیدی و همکاران، ۱۹۸۴؛ بربریان^۱ و کینگ^۲، ۱۹۸۱). در طول زمان کرتاسه بالایی - پالئوسن زیرین، همزمان با فرورانش نئوتتیس اولیه به زیر ایران مرکزی، افیولیت‌های سبزوار در حال شکل‌گیری بوده است (شکل ۷-۱-۷). در طول زمان ائوسن همگرایی ادامه‌دار بین صفحه عربی و ایران به بسته شدن حوضه سبزوار و جایگیری افیولیت‌های سبزوار و دیگر افیولیت‌های ایران مرکزی کمک می‌کند (آگارد و همکاران، ۲۰۱۱؛ روزتی و همکاران، ۲۰۱۰) (شکل ۷-۱-۷). فعالیت‌های کششی و نازک‌شدگی لیتوسفری در زمان ائوسن شاید به خاطر بالآمدگی استونسفر آبدار بوده است (وردل^۳ و همکاران، ۲۰۰۷؛ ۲۰۱۱)، از طرفی شفایی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۴)، فعالیت‌های کششی زمان ائوسن را ناشی از ورقه‌ورقه شدن لیتوسفری، کشش‌های پی‌درپی و در معرض قرارگیری سریع هسته ایران مرکزی می‌دانند. در نتیجه این فعالیت‌های کششی ائوسن یک سری حوضه‌های فروافتاده در ناحیه پشت‌کمانی ایجاد می‌شود (شکل ۷-۱-۷) که در نتیجه فرو رفتن پوسته اقیانوسی و ذوب آن ماگمایی به وجود می‌آید که با صعود به سوی بالا باعث پیدایش سنگ‌های آتشفشانی در زمان ائوسن زیرین در داخل این حوضه‌ها می‌شود. پس از آن در زمان الیگوسن توده‌های نفوذی به داخل این مجموعه آتشفشانی نفوذ کرده است.

^۱ Berberian

^۲ King

^۳ Verdel



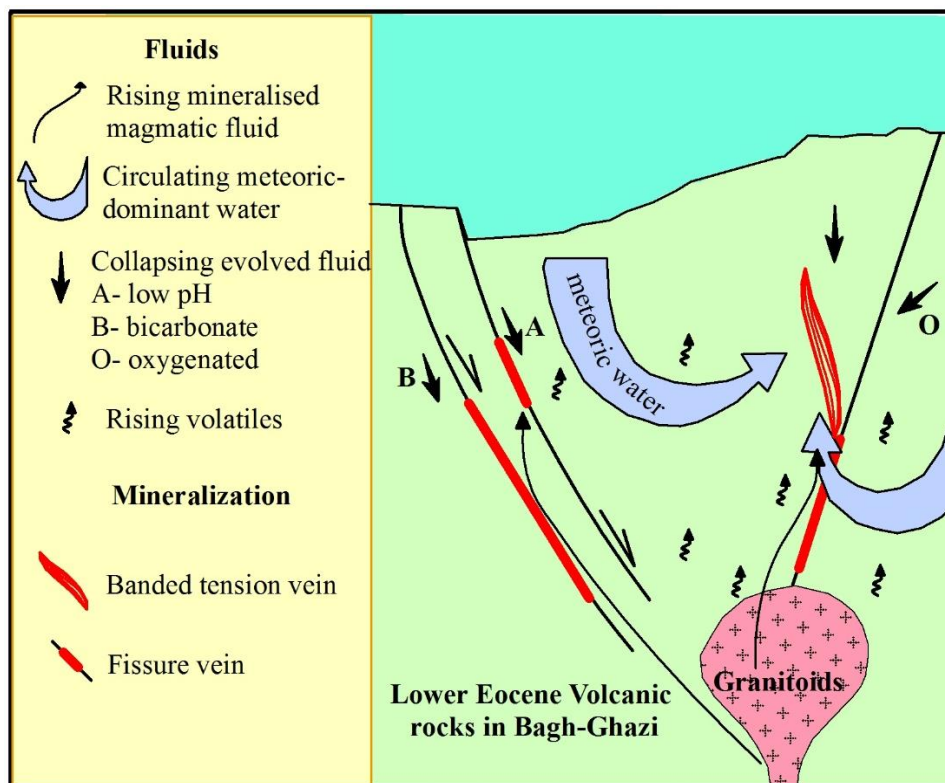
شکل ۷-۱: محیط تکتونیکی تشکیل سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی باغ‌قازی به صورت شماتیک (شفایی-)

مقدم و همکاران، ۱۳۹۲).

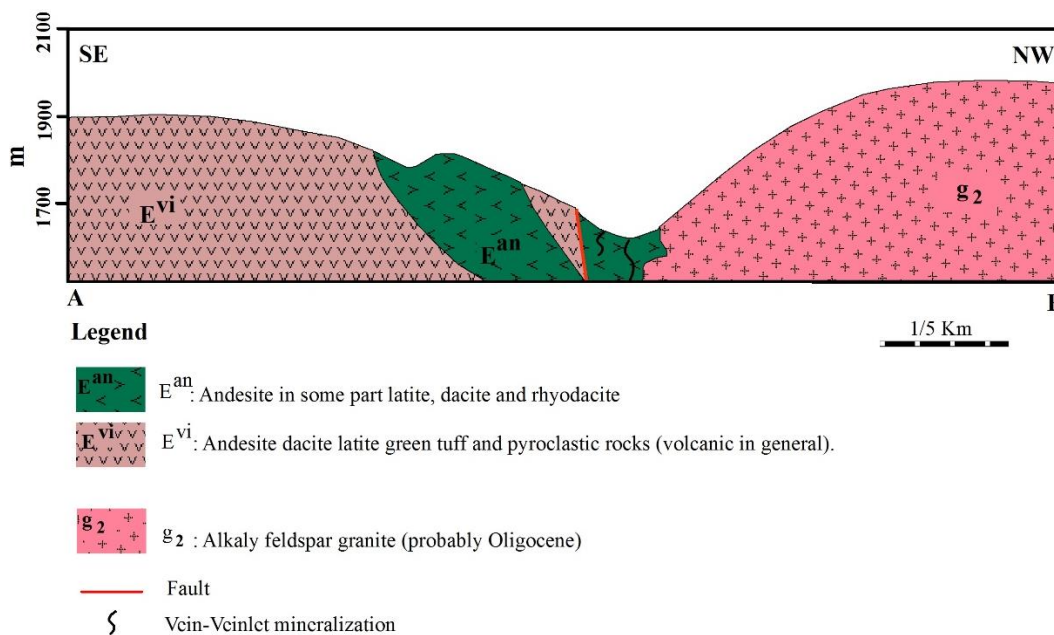
محدوده مورد مطالعه بخشی از کمان ماگمایی شمال گسل درونه است که سنگ‌های آتشفشانی

– نفوذی متوسط تا فلسیک رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه، در یک محیط کششی مرتبط با

پهنه‌های فرورانش شکل گرفته‌اند. این نوع از سنگ‌ها، میزبان اصلی ذخایر فلزات پایه و گرانبها در بسیاری از نقاط جهان می‌باشند (سیلیتو و هدنکوئیست، ۲۰۰۳). زمین‌ساخت منطقه از مهمترین کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی بصورت رگه‌های سیلیس مس- طلا دار بوده است. حضور گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان موجود در منطقه سبب نفوذ آب‌های جوی به عمق شده است در نتیجه واکنش متقابل بین آب‌های جوی و ماگمایی، سیالات گرمایی شکل گرفته‌اند و طی واکنش سیالات با سنگ میزبان محلول‌های غنی از عناصر فلزی ایجاد شدند. گسل‌ها نیز مهمترین راه دستیابی سیالات گرمایی به سنگ‌های آتشفشانی منطقه بوده‌اند. در نتیجه عبور سیالات از گسل‌ها و شکستگی‌ها، محلول‌های گرمایی در فضای حاصل از حرکت این گسل‌ها، رگه‌های سیلیسی مس- طلا دار را در سنگ میزبان آتشفشانی ایجاد کرده‌اند. در سیستم‌های اپی‌ترمال سولفید پایین تا متوسط، سیالات کانه‌زا، محلول‌های دما پایین تا دما متوسطی هستند که حاصل اختلاط آب‌های جوی با آب‌های ماگمایی می‌باشند. دما پایین تا متوسط (۱۱۸-۳۵۰ درجه سانتی‌گراد) و شوری پایین تا متوسط (۰/۶-۱۵/۴۵ درصد وزنی معادل نمک طعام) در منطقه نشان‌دهنده چیرگی آب‌های جوی بر آب‌های ماگمایی می‌باشد. نهشت کانسنگ زمانی اتفاق می‌افتد که محلول‌ها در اثر اختلاط سیالات، جوشش و کاهش فشار، دچار سرد شدن و از دست دادن مواد فرار شوند. با توجه به کانی‌سازی و مطالعه میانبارهای سیال منطقه باغ‌قازی هیچ نشانه‌ای از جوشش مثل نشت و دم‌بریدگی، همراهی فاز مایع با فاز بخار، وجود کلسیت‌های تیغه‌ای و آدولاریا مشاهده نشد. بنابراین می‌توان گفت که رقیق‌شدگی و کاهش درجه حرارت از عوامل اصلی کانی‌سازی در منطقه باغ‌قازی بوده است. در واقع اختلاط سیالات ماگمایی با سیالات جوی در نزدیکی سطح زمین و مواجه شدن با فضا‌های گسسته سنگ میزبان و شکستگی‌های موجود در آن و در نهایت کاهش فشار به ته‌نشست فلزات همراه منجر می‌شود. الگوی تشکیل اندیس معدنی باغ‌قازی به صورت شماتیک در شکل (۷-۲) آورده شده است. وضعیت فعلی توپوگرافی و زمین‌شناسی محدوده باغ‌قازی در امتداد مقطع A-B که بر روی نقشه زمین‌شناسی شکل (۲-۳) مشخص است در شکل (۷-۳) آورده شده است.



شکل ۷-۲: الگوی تشکیل اندیس معدنی باغ‌قازی به صورت شماتیک.



شکل ۷-۳: مقطع عرضی محدوده باغ‌قازی در امتداد A-B، که بر روی نقشه زمین‌شناسی شکل (۲-۳) مشخص شده

است.

با توجه به ویژگی‌هایی از جمله کلیه ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و درجه حرارت پایین تا متوسط سیال، و شوری کم تا متوسط، اندیس معدنی باغ‌قازی یک ذخیره اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط است که کانی‌سازی در آن توسط گسل‌ها و شکستگی‌ها کنترل می‌شود و عواملی از جمله اختلاط آب‌های ماگمایی با آب‌های جوی، سرد شدن و واکنش با سنگ‌های اطراف و دگرسانی از عوامل مهم در ته‌نشست کانیایی بودند.

۶-۷ پیشنهادها

هرچند میزان عیار مس و طلا در محدوده باغ‌قازی قابل توجه و در حد کانی‌سازی کانساری می‌باشد ولی بدلیل گسترش محدود مناطق کانی‌سازی در سطح و نیز بدلیل توپوگرافی خشن و عدم وجود راه ارتباطی، در حال حاضر ادامه فعالیت‌های اکتشافی در این منطقه توجیه‌پذیر نمی‌باشد. با وجود این در راستای تکمیل اطلاعات بدست آمده و در صورت تصمیم به ادامه فعالیت‌های اکتشافی پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

- تهیه نقشه زمین‌شناسی-معدنی بزرگ مقیاس (۱/۵۰۰۰) از مناطق کانی‌سازی.
- تهیه نقشه دگرسانی از مناطق کانی‌سازی.
- حفر ترانشه‌های اکتشافی عمود بر امتداد مناطق کانی‌سازی. برداشت زمین‌شناسی و ترسیم نیمرخ زمین‌شناسی ترانشه‌ها.
- نمونه‌برداری از رخنمون سنگ‌ها، کانسنگ‌ها و ترانشه‌های اکتشافی به منظور انجام مطالعات سنگ-نگاری، کانه‌نگاری. کانی‌شناسی به روش پراش اشعه ایکس.
- نمونه‌برداری معدنی از رخنمون سنگ‌ها، کانسنگ‌ها و ترانشه‌های اکتشافی به هدف انجام تجزیه‌های شیمیایی و ترسیم نیمرخ تغییرات عناصر در طول ترانشه‌ها.

- تجزیه نمونه‌های معدنی به روش آذر محک (Fire Assay) برای طلا و به روش جذب اتمی (AAS) برای عناصر مس، سرب، روی، آرسنیک، آنتیموان، نقره، آهن، منگنز، کادمیم، جیوه.
- برداشت‌های ژئوفیزیکی به روش‌های پلاریزاسیون القایی (IP) و رزیستیویته (RS) به منظور تعیین موقعیت و گسترش کانی‌سازی در عمق. لازم به ذکر است که اطلاعات زمین‌شناسی و یافته‌های ترانسه‌های اکتشافی در تعیین امتداد و فاصله پروفیل‌های برداشت‌های ژئوفیزیکی خیلی مهم است.
- تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی سطحی، داده‌های زمین‌شناسی، معدنی و ژئوشیمیایی ترانسه‌های اکتشافی و آنومالی‌های ژئوفیزیکی و انتخاب مکان‌های مناسب برای حفر گمانه‌های اکتشافی آزمایشی.
- نمونه‌برداری از مغزه‌های حفاری به منظور انجام مطالعات سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری، کانی‌شناسی به روش پراش اشعه ایکس و تجزیه‌های شیمیایی.
- ترسیم نیمرخ‌های زمین‌شناسی، معدنی و تغییرات عیار عناصر در امتداد گمانه‌های اکتشافی.
- انجام مطالعات میانبارها سیال بر روی تعدادی نمونه کانسنگ از ترانسه‌های اکتشافی و مغزه‌های حفاری به منظور ارزیابی درجه حرارت، شوری، چگالی سیال کانه‌ساز، تخمین عمق تشکیل کانی‌سازی.
- مطالعات ایزوتوپی گوگرد بر روی جفت‌های پیریت و کالکوپیریت برای تعیین منشأ و شرایط تشکیل کانسار (دما، ترکیب ایزوتوپی گوگرد، pH، فوگاسیته‌های اکسیژن و گوگرد و ...).
- مطالعات ایزوتوپ‌های اکسیژن و هیدروژن بر روی کانی کوارتز برای تعیین منشأ سیال کانه‌ساز.

منابع

منابع فارسی

- آقائاتی س.ع، (۱۳۸۳) "زمین‌شناسی ایران" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۳۴ ص.

- ابراهیمی س. مینگ پن ی. علیرضایی س. و مهرپرتو م، (۱۳۸۸) "مطالعات کانی‌شناسی و میانبارهای سیال ذخیره اپی‌ترمال شرف‌آباد، شمال باختر ایران" **مجله علوم زمین**، شماره ۷۱، سال هیجدهم: ص ۱۴۹-۱۵۴.

- اعلمی نیا ز. کریم پور م. ح. و حیدریان شهری م. ر، (۱۳۸۸) "زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و مطالعات ژئوشیمیایی در منطقه کلات‌تیمور، شمال شرق ایران" **مجله زمین‌شناسی اقتصادی**، شماره ۲، جلد سوم: ص ۲۱۵-۲۳۴.

- افتخارنژاد ج. آقائاتی ا. همزه‌پور ب. و بارویانت و، (۱۳۵۵)، نقشه زمین‌شناسی کاشمر، سری ۱/۲۵۰۰۰۰.

- سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۴)، اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشمر، شماره ۷۶۶۰.

- پیروان ح، و امینی ص، (۱۳۸۴)، الف، "بررسی رفتار عناصر اصلی در محیط‌های دگرسانی هیدروترمال سنگ‌های ماگمایی منطقه قزوین - زنجان" **نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران**، دانشگاه تربیت معلم، تهران.

- پیروان ح، و امینی ص، (۱۳۸۴)، ب، "رده‌بندی کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی سنگ‌های دگرسانی منطقه طارم" **نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران**، دانشگاه تربیت معلم، تهران.

- حبیب‌پور ک، و صفری ر، (۱۳۸۸) "راهنمای جامع کاربرد SPSS در تحقیقات پیمایشی

(تحلیل داده‌های کمی) "نشر لویه، متفکران، تهران.

- حسنی پاک ع. ا، (۱۳۸۹)، "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی" چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، ۶۱۵ ص.

- حیدری ع. ع، (۱۳۸۷)، "اکتشاف سیستم کانی‌سازی رگه‌ای طلا و پورفیری طلا- مس تنورچه- کاشمر" دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تهران.

- درویش‌زاده ع، (۱۳۸۵) "زمین‌شناسی ایران" انتشارات امیرکبیر، تهران.

- رحمتی‌پور ز، رحیمی ب، و ملک‌زاده شفارودی ا، (۱۳۹۰)، "تحلیل ساختاری مقدماتی رگه‌ی طلا- آنتیموان معدن ارغش (شمال شرق ایران)، سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- رولینسون ه. ر، (۱۳۸۱) "کاربرد داده‌های ژئوشیمیایی (ارزیابی، نمایش، تفسیر)" ترجمه کریم-زاده ع. ر، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز، ۵۵۷ ص.

- زراسوندی ع، (۱۳۷۴) "مبانی سنجش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای" انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز.

- زمردیان م، (۱۳۸۴)، "مطالعات ژئوشیمیایی و لیتوژئوشیمیایی کلات تیمور در شمال کاشمر" بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین.

- زیرجانی‌زاده ص، سمیعی س، و رحیمی ب، (۱۳۹۰)، "بررسی توزیع فضایی کانی‌سازی مس و آهن در شرق کمربند خواف- درونه با استفاده از روش آنالیز فرای" اولین همایش ملی زمین‌شناسی ایران، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز.

- شهاب پور ج، (۱۳۹۰) "زمین‌شناسی اقتصادی" چاپ ششم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ص ۲۸.
- طاهری ج، شمعانیان غ. م، شجاعی کاوه ن، بهره مند م، و امیر رضوی م، (۱۳۸۰)، " نقشه زمین شناسی کاشمر" سری ۱/۱۰۰۰۰۰، شماره ۷۶۶۰.
- عجایی ک. س. کریم پور م. ح. مظاهری س. ا. و سعادت س، (۱۳۸۷) " ماهیت سیال‌های درگیر در سنگ‌های کالک‌آلکانل کانی‌سازی مس و طلائی منطقه تنورچه (شمال کاشمر) " فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره هشتم، سال دوم: ص ۵۵-۶۹.
- قربانی م، (۱۳۸۶) "زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران" انتشارات آرین زمین، تهران.
- قوی ج، کلاگری ع. ا، کریم پور م. ح، و سعادت س، (۱۳۵۵)، " ماگماتیسم ترشیری در بخش شرقی کمر بند ولکانوپلوتونیک درونه-تربت حیدریه-خواف (شمال شرق ایران) " بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- کریم پور م. ح. رحیمی ب. زیرجانیزاده ص. و سلاطی ا، (۱۳۸۹) "سنگ‌شناسی توده‌های نفوذی منطقه تکنار، بردسکن (کاشمر) " مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱، سال هیجدهم: ص ۶۷-۷۸.
- کریم پور م. ح و سعادت س، (۱۳۸۸) " زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی " چاپ سوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۳۳۱-۳۵۸.
- مظلومی ع. ر. کریم پور م. ح. رسا ا. رحیمی ب. و وثوقی عابدینی م، (۱۳۸۷) " کانسار طلائی کوه‌زرتربت حیدریه، مدل جدیدی از کانی‌سازی طلا " مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۳،

سال شانزدهم: ص ۳۷۶-۳۶۳.

- مقدسی ج و خاکراه ف، (۱۳۹۰) "آزمایشگاه مینرالوگرافی (اطلس کانه‌ها و بافت‌های متداول در کانسنگ‌ها)"، انتشارات دانشگاه پیام‌نور.

- مقصودی ع. یزدی م. مهرپرتو م. و وثوقی عابدینی م، (۱۳۹۱) "بررسی ژئوشیمی و مطالعه میانبارهای سیال طلای اپی‌ترمال سولفیدی‌شدن پایین در محدوده میرکوه‌علی‌میرزا، سراب، شمال باختر ایران" **مجله علوم زمین**، شماره ۸۵، سال بیست و دوم: ص ۹-۱۴.

- ملک‌زاده شفارودی ا. کریم‌پور م. ح. و مظاهری س.ا، (۱۳۸۳) "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی تک I، کانسار ماسیوسولفید پلی‌متال (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) تکنار، خراسان-بردسکن" **مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران**، شماره ۲، سال دوازدهم: ص ۱-۱۲.

- منظمی باقرزاده ر، کریم‌پور م. ح، رحیمی ب، و حیدریان م. ر، (۱۳۹۰)، "مطالعه ژئوشیمی و پترولوژی سنگ‌های حدواسط تا بازیک شرق معدن تکنار (شمال غرب بردسکن)، دومین همایش علمی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه تهران.

- مهرابی ب. چقانه ن. و طالع فاضل ا، (۱۳۹۳) "بررسی کانی‌سازی اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط آنومالی ۴ کانسار گلوچه (شمال زنجان)، بر اساس خصوصیات کانه‌نگاری، دگرسانی و ژئوشیمی سیال کانه‌ساز" **مجله زمین‌شناسی اقتصادی**، شماره ۱، جلد ۶: ص ۱-۲۲.

- نادری ن، (۱۳۷۷)، "نقشه زمین‌شناسی شامکان" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- هزاره م. ر. و رسا ا، (۱۳۹۳) "بررسی کانی‌سازی طلا در محدوده شمال بزمان" **مجله علوم زمین**، شماره ۹۴، سال بیست و چهارم: ص ۲۸۷-۲۹۲.

- همام م، (۱۳۷۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "زمین شناسی و پتروولوژی سازند تکنار- سربرج (شمال غرب کاشمر)" دانشگاه اصفهان، ۱۲۶ص.

منابع لاتین

- Agard p. Jolivet L. Vrielynck B. Burov E. and Monie p. (2007) "plat acceleration: the obduction trigger Earth Planet". Sci. Lett, **258**, pp **428-441**.

-Agard P. Omrani J. Jolivet L. Whitechurch H. Vrielynck B. Spakman W. Monie P. Meyer B. and Wortel R. (2011) "Zagros orogeny: a subduction-dominated process". Geological Magazine **148**, pp **692-725**.

-Ahmad S.N. and Rose A.W. (1980) "Fluid inclusions in porphyry and skarn ore at Santa Rita, New Mexico". Economic Geology **75(2)**: pp **229-250**.

-Alaminia Z. and Karimpour M. H., (2010) "The cheshmeh Noghreh abandoned mine: Type of Epithermal Au-Cu Mineralization in the Northwest of Kashmar, Iran". International Applied Geological Congress, Islamic Azad University - Mashhad Branch, Iran, 26-28.

-Alavi M. (1991) "Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran". Geological Society of America Bulletin, **103(8)**, pp **983-992**.

-Amidi S.M. Emami M.H. and Michel R. (1984) "Alkaline Character of Eocene Volcanism in the Middle Part of Central Iran and Its Geodynamic Situation". Geological Rundschu **73**, pp **917-932**.

-Anderson J.A. (1982) "Characteristics of leached capping and techniques of appraisal, Advances in the geology of the porphyry copper deposits". University of Arizona prress: pp **275-296**.

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

- Barnes H. L. (1997). "Geochemistry of hydrothermal ore deposits". (Vol. 1). John Wiley & Sons.
- Baroz R. Macaudiere R. Montigny R. Noghreyan H. Ohnenstetter M. and Rocci G. (1984) "Ophiolites and related formation in the central part of the Sabzevar rang (Iran) and possible geotectonic reconstructions". Neues J. Geol. pala ont. Abh, **168**. pp **353-388**.
- Berberian, M. and King, G.C.P., (1981) "Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran". Canadian Journl of Earth Sciences **18**, **210-265**.
- Bodnar R. J. and Vityk M. O. (1994) "Interpretation of microthermometric data for H₂ONaCl fluid inclusions. Fluid inclusions in minerals: methods and applications". **117-130**.
- Corbett G. (2002) "Epithermal gold for explorations". AIG Journal- Applied geo-scientific practice and research in Australia, **26 pp**.
- Davoudzadeh. M. (1972), "Geology and petrography of the area north of Nain, central Iran Geological Survey of Iran". Rep.
- De La Roche H. Leterrier J. Grande Claude P and Marchal M. (1980) "A Classifications of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagrams and major element analyses- It's relationships with current nomenclature". chem. Geol, **29**, pp **183-210**.
- Goss A.R. and Kay S.M. (2009) "Extreme high field strength element (HFSE) depletion and near-chondritic Nb/Ta ratios in Central Andean adakite-like lavas (~28°S, ~68°W)". Earth and Planetary Science Letters.
- Geophysical and Geochemical Exploration Company Jiangxi, China. (1995), Explnatory Text of Geochemical Map of 1/100000 Kashmar, No 7660.
- Giessner H. and Sarvati M. R. (1983) "Geomorphological studies in the Kashmar region (NE Iran)". Geological survey of Iran, Report No. 51.
- Gifkins C. C. Herrmann W and Large R. R. (2005) "Altered volcanic rocks: A guide to description and interpretation".
- Haas J. L. (1971). "The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a

hydrothermal system at hydrostatic pressure”. *Economic Geology*, **66(6)**, pp **940-946**.

-Hana B. Mogk D. W. Ghaderi M. and Narimani A. (2002) “ Chelpo-Kalate Choubak, Kashmar, NE Iran: an epithermal Sb-As deposit”. *American Geophysical Union*.

-Hassan- Nezhad A. and Moor F. (2004) “A stable isotope and fluid inclusion study of the Qaleh-Zari Cu–Au–Ag deposit, Khorasan Province, Iran”. *Journal of Asian Earth Sciences*, pp. **805–818**.

-Heald P. Foley N. K. and Hayba D. O. (1987) “Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits; acid-sulfate and adularia-sericite types”. *Economic Geology*, **82(1)**, **1-26**.

-Hyndman D.W. (1985) “Petrology of igneous and metamorphic rocks”. Donnelly company pub.

-Ioannou S. E. and Spooner S. (2007) “Fluid Temperature and Salinity Characteristics of the Matagami Volcanogenic Massive Sulfide District, Quebec”. *Economic Geology*, v. **102**, pp **691–715**.

-Irvine T. N. J. and Baragar W. R. A. F. (1971). “A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks”. *Canadian journal of earth sciences*, **8(5)**, pp **523-548**.

-Kamber B. S. Ewart A. Collerson K. D. Bruce M. C. and McDonald G. D. (2002) “Fluid-mobile trace element constraints on the role of slab melting and implications for Archaean crustal growth models”. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **144(1)**: **38-56**.

-Kemp A.I.S. Hawkesworth C.J. Collins W.J. Gray C.M. Blevin P.L and Eimf. (2009) “Isotopic evidence for rapid continental growth in an extensional accretionary orogen: The Tasmanides, eastern Australia”. *Earth and Planetary Science Letters* **284**, pp **455-466**.

-Kouhestani H. Ghaderi M. Zhaoshan C. and Khin Z. (2015) “Constraints on the ore fluids in the Chah Zard breccia-hosted epithermal Au–Ag deposit, Iran: Fluid inclusions and stable isotope studies “. *Ore Geology Reviews*, pp **512-521**.

-Kovalenko V. I. Naumov V. B. Girnis A. V. Dorofeeva V. A. and Yarmolyuk V. V (2010) “ Average Composition of Basic Magmas and Mantle Sources of Island Arcs and

Active Continental Margins Estimated from the Data on Melt Inclusions and Quenched Glasses of Rocks”. ISSN 0869_5911, Petrology, **Vol. 18, No. 1, pp. 1–26.**

-Large R. Huston D. McGoldrick P. McArthur G. and Ruxton P. (1988) “Gold distribution and genesis in Palaeozoic volcanogenic massive sulphide systems, Eastern Australia”. *Bicentennial Gold* **88: 121-126.**

-Lefevre C. (1973) “Les caracteres magmatique du volcanisme plioquaternare des andes dans le sud du perou”. *Contr. Mineral. Petrol.* **41, 259-272.**

-Leavy S. Sillitoe R. H. Stewart P. W. Roa K. J. and Nikolson B. E. (2016) “Discovery, Geology, and Origin of the Fruta del Norte Epithermal Gold-Silver Deposit, Southeastern Ecuador”. *Economic Geology*, **Vol. 111, pp. 1043–1072.**

-Lindenberg H.G. Gorler K. and Ibbeken H. (1983) “Stratigraphy, structure and orogenetic evolution of the Sabzevar zone the area of Oryan Khorasan, NE, Iran”. *GSI, Rep. NO. 51, p: 120- 142.*

-Liu L. Richards J. P. DuFrance S. A. and Rebagliati M. (2016) “Geochemistry, geochronology, and fluid inclusion study of the Late Cretaceous Newton epithermal gold deposit, British Columbia”. *Can. J. Earth Sci.*, **1-80.**

-Mauk J. L. and Simpson M. P. (2007) “Geochemistry and stable isotope composition of altered rocks at the Golden Cross epithermal Au-Ag deposit, New Zealand”. *Economic Geology*, **102(5): 841-871.**

-Mehrabi B. and Ghasemi Siani M. (2010). “Intermediate Sulfidation Epithermal Pb-Zn-Cu (\pm Ag-Au) Mineralization at Cheshmeh Hafez Deposit, Semnan Province, Iran”. *Journal Geological Society of India*, **Vol.80, pp.563-578.**

-Mehrabi B. Ghasemi Siani M. Goldfarb R. Azizi H. Ganerod M. and Marsh E. E. (2016) “Mineral assemblages, fluid evolution, and genesis of polymetallic epithermal veins, Glojeh district, NW Iran”. *Ore Geology Reviews*, pp. **1-49.**

-Miyashiro A. (1974) “Volcanic rocks series in island arcs and active continental margin”. *Am. J. Sci.* **321-335.**

- Middlemost E. A. (1994). "Naming materials in the magma/igneous rock system". *Earth Science Reviews*, **37(3)**, pp. **215-224**.
- Mohajer-Ashjai A. Bezwada H. and Berberian M. (1975) "Reflection on the rigidity of the lut block and recent crustal deformation in eastern Iran". *Tectonophysics*, **Vol.25**, pp **281-301**.
- Nakamura N. (1974) "Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites". *Geochimica et Cosmochimica Acta* **38**, **757-773**.
- O'Connor J.T. (1965) "A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar reactions". *US Geol. Sur. Prof.*, paper: **525, B, 49-84**.
- Pearce J. A, and Gale G.H. (1977). "Identification of ore-deposition environment from trace element geochemistry of associated igneous host rocks". *Geol. Soc. Spec. publ.* **7, 14-24**.
- Pearce J.A. Harris N.B. and Tindle A.G. (1984) "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks". *Journal of petrology*, **25(4): 956-983**.
- Piercey S. J. (2011) "The setting, style, and role of magmatism in the formation of volcanogenic massive sulfide deposits". *Mineralium Deposita*, **46(5-6)**, pp. **449-471**.
- Pirajno F. (2009) "Hydrothermal processes associated with meteorite impacts In *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*". Springer Netherlands. pp. **1097-1130**.
- Ramdohr P. (1980) "The ore minerals and their intergrowths". 2nd edn. *International Series in Earth Sciences* 35.
- Roberts M.P. and Clemens J.D. (1993) "Origin of High-Potassium, Calc-Alkaline, I-Type Granitoids". *Geology* **21**, **825-828**.
- Robert F. Poulsen K.H. and Dube B. (1997) "Gold deposits and their geological classification". *Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration*, p. **209-220**.
- Roedder E. (1984). "Fluid inclusions". (Vol. **12**, pp. **12-45**). P. H. Ribbe (Ed.).

Washington, DC: Mineralogical Society of America.

-Rollinson H. (1993). "Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation". Longman.

-Rollinson H. R. (2014). "Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Routledge".

-Rossetti F. Nasrabad M. Vignaroli G. Theye T. Gerdes A. Razavi M. and Moin Vaziri H. (2010) "Early Cretaceous migmatitic mafic granulites from the Sabzevar range (NE Iran): implications for the closure of the Mesozoic periTethyan oceans in central Iran". *Terra Nova*, v 22, pp 26- 34.

-Seward T. M. and Barnes H. L. (1997) "Metal transport by hydrothermal ore fluids". *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 3: 435-486.

-Shafaii Moghadam H. Li X. H. Ling X. X. Santos J. F. Stern R. J. Li Q. L. and Ghorbani G. (2014) " Eocene Kashmar granitoids (NE Iran): Petrogenetic constraints from U- Pb Zircon geochronology and isotope geochemistry ". *Lithos* 3474.

-Shamanian Gh- H. (2004) "The Gandy and Abolhassani Epithermal Prospects in the Alborz Magmatic Arc, Semnan Province, Northern Iran". *Economic Geology*, Vol. 99, pp. 691–712.

-Shand S. J. (1943) "The Eruptive Rocks, second edition, John Wiley and sons, New York".

-Shepherd T.J. Rankin A.H. and Alderton, D.H.M. (1985) "A practical guide to fluid inclusion studies". Blackie, London, 239p.

-Sholeh A. Rastad E. Huston D. Gemell J. B. Taylor R. D. (2016) "The Chahnaly Low-Sulfidation Epithermal Gold Deposit, Western Makran Volcanic Arc, Southeast Iran". *Economic Geology*, v. 111, pp. 619–639.

-Sillitoe R. H. and Hedenquist J. W. (2003). "Linkages between volcanotectonic settings, orefluid compositions, and epithermal precious metal deposits". *Special Publication-Society of Economic Geologists*, 10, pp. 315-343.

- Srivastava R. k. and Singh R. K. (2004) "Trace element geochemistry and genesis of Precambrian sub-alkaline mafic dikes from the central Indian craton: evidence for mantle metamorphism". *Journal of Asian Earth Sciences*, **23**, 373-389.
- Stöcklin J. (1968) "Structural history and tectonics of Iran: a review". *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* **52**, 1229-1258.
- Stöcklin J. and Nabavi M.H. (1973) "Tectonic map of Iran ". geological survey of iran.
- Sun S. S and Mc Donough W.F. (1989). "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds), magmatism in the ocean basins". *Geol. Soc. London Spec. Publ.* **42**, 313-345.
- Tatsumi Y. and Takahashi T. (2006). "Operation of subduction factory and production of andesite". *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **101(3)**, pp. 145-153.
- Taylor R. (2011), "Gossans and Leached Cappings". Springer Berlin Heidelberg, **138 pp**.
- Taylor S.R. Capp A.C. Graham A.L. and Blake D.H. (1969) "Trace element abundances in andesites II". Saipan, Bougainville and Fiji. *Contrib.Mineral. Petrol.* **23**, 1-26.
- Tchalenko J.S. Berberian M. and Behzadi H. (1973) " Geomorphic and seismic evidence for recent activity on the Doruneh fault,iran ". *Tectonophysics*, **Vol.19**, pp 333-341.
- Tchameni R. Pouclet A. Penay J. Ganwa A. A. and Toteu S. F. (2006) "Petrography and geochemistry of the Ngaondere Pan – African granitoids in Central North Cameroon: Implication for their sources nd geological setting". *Journal of African Earth Sciences*, **44**, 511 – 529.
- Thompson R. N. (1982) "Magmatism of British Teritary volcanic province". *Scott. Geol.* **18**, 49-107.
- Verdel C. Wernicke B.P. Ramezani J. Hassanzadeh J. Renne P.R. and Spell T.L. (2007) "Geology and thermochronology of Tertiary Cordilleran-style metamorphic core complexes in the Saghand region of central Iran". *Geological Society of America Bulletin*, **119**, pp 961-977.

- Verdel C. Wernicke B.P.,Hassanzadeh J. and Guest B. (2011) "A Paleogene extensional arc flare-up in Iran". *Tectonics* 30.
- Walshe J.L and Hobbs B.E. (1999) "Hydrothermal systems, giant ore deposits and a new paradigm for predictive mineral exploration". CSIRO.
- Wellman H.W. (1966) "Active Wrench fault of Iran, Afghanistan and Pakistan". *Geologische Rundschau*, **55**, 716- 735.
- White, N.C. and Hedenquist, J.W. (1995) "Epithermal gold deposits: styles, characteristics and Exploration". *Society of Economic Geologists*: **9-13**.
- Wilkinson J. J. (2001) "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits". *Lithos* **55(1): 229-272**.
- Wilson M. (1989) "**Igneous petrogenesis a global tectonic approach**". Unwin Hyman Ltd, London, **466p**.
- Winchester J.A. and Floyd P.A. (1977) "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements". *Chemical geology* **20**, **325-344**.
- Wood D.A. Joron J.L. and Treuil M. (1979) "A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series in different tectonic setting". *Earth planet. Sci. Letter*, **45**. **326-336**.
- Wood D. A. (1980). "The application of a Th Hf Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province". *Earth and planetary science letters*, **50(1)**, pp. **11-30**.
- Yilmaz H. Oyman T. Sonmez F. N. Arehart G. B. and Billor Z. (2010) "Intermediate sulfidation epithermal gold-base metal deposits in Tertiary subaerial volcanic rocks, Sahinli/Tespil Dere (Lapseki/Western Turkey)". *Elsevier, Ore Geology Reviews* **37**, pp.**236-258**.

Abstract

The Bagh-Ghazi copper- gold mineralization is located at the NW of Kashmar. The study area is a part of Khaf-Darooneh volcanic-plutonic belt, Sabzevar Subzone. The lithological units in this area including lower Eocene volcanic rocks. Granite and granodiorite bodies is probably intruded into volcanic complex in the Oligocene and caused intense epidotic, argillic and silicic hydrothermal alterations. Volcanic rocks and intrusions of Bagh- Ghazi belongs to medium to high K calc- alkaline magmatic series and have been formed during tensional tectonic regime related to subduction. The Eocene volcanic rocks (particularly andesite and dacite) hosting gold-copper bearing silicic veins and veinlets and hydrothermal breccias. The effective factors in Cu- Au mineralization at the study area include: 1- host rocks, 2- structural controls, 3- intrusive bodies and 4- hydrothermal fluids, that have a specific role in the transfer of hydrothermal fluids and their accumulation and deposition. Hypogene ore minerals including: pyrite, chalcopyrite, chalcocite, oligiste and supergene species: chalcocite, covellite, digenite, malachite, goethite and limonite. Open space filling, banded, colloform and breccia textures are the dominant textures in the Bagh- Ghazi ore mineralization. There is positive and high correlation of Au with Cu, As, Bi, Ag, Fe, Pb, and Zn elements in the ore geochemical data. Based on the fluid inclusions studies on quartz, mineralization formed in temperature range 118-350 °C (average 230.63 °C) and 2.5-15.45 salinity (average 8.79) wt% NaCl. Based on geologic, lithology, mineralogy, structure and texture, geochemical and fluid inclusions significations, the Bagh- Ghazi copper-gold ore indication is an intermediate sulfidation epithermal in Kashmar area.

Keywords: Minealogy, geochemistry, fluid inclusions, copper-gold, epithermal, Kashmar, Khaf-Darooneh.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

MSc. Thesis of Economic geology

**Mineralogy, geochemistry, alteration and genesis of the Bagh-
Ghazi gold mineralization, northwest of Kashmar**

By:

Elham Amini

Supervisor:

Dr. Masoud Alipour asl

July 2017