





دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی

کانی‌شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه کانه‌زایی آهن – مس – طلا در منطقه کاوند،
باختر – جنوب باختر زنجان

نگارنده:

نادیا پرتاک

استاد راهنما:

دکتر مسعود علی‌پور اصل

تیر ۱۳۹۶

تقدیم به خداوندگارم

که زیباترین گل های زندگی را برایم ارزانی داشت، پدر و مادر مهربان و

غزیزتر از جانم

باسپاس از سه وجود مقدس:

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم...

مومنان سپید شدند تا ما رو سفید شویم...

و عاشقانه سوختند تا کربا بخش وجود ما و روشنگر

را همان باشند...

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

تعهدنامه

اینجانب نادیا پرتاک دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی زمین‌شناسی اقتصادی دانشکده‌ی علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده‌ی پایان‌نامه با عنوان **کانی‌شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه کانه‌زایی آهن – مس – طلا در منطقه کاوند، باختر – جنوب باختر زنجان** تحت راهنمایی دکتر مسعود علی‌پوراصل متعهد می‌شوم:

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

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

مقالات برگرفته از پایان نامه:

۱- پرتاک، ن.، علی پوراصل، م، ۱۳۹۴، "کانی زائی اکسید آهن-طلا-مس در سازند سلطانیه، منطقه کاوند، جنوب باختر زنجان"، سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

۲- پرتاک، ن.، علی پوراصل، م، ۱۳۹۵، "ویژگی‌های دگرسانی و ژئوشیمیایی کانی‌زائی اکسید آهن - طلا - مس کاوند، جنوب باختر زنجان"، بیست و چهارمین همایش بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

چکیده

کانسار کاوند در ۳۵ کیلومتری جنوب غربی زنجان و در زیر پهنه سلطانیه واقع شده است. سازندهای کهر، گرانیته دوران، بایندر، سلطانیه، باروت، زایگون و لالون به سن پرکامبرین پسین - کامبرین پیشین در این محدوده رخنمون دارند. برونزد کوچکی از گابرو و فروگابرو به سن پس از الیگوسن در سازندهای کهر و دولومیت‌های سلطانیه وجود دارد. سازندهای کهر، سلطانیه و باروت میزبان اکسیدهای آهن، طلا و مس هستند، ولی کانی‌سازی‌ها بیشتر در دولومیت‌های بخش پایینی سلطانیه متمرکز می‌باشد. دولومیت‌ها از نوع دولومیکرایت‌های آب سرد می‌باشد، و براساس نسبت Ca/Mg و مقادیر Na و Sr در محدوده سنی پرکامبرین پسین - کامبرین پیشین قرار می‌گیرند. گرانیته‌ها از نظر سنی منسوب به پرکامبرین پسین و سنگ والد آن سنگهای متاگژیوکی بوده، درحالی که توده‌های گابرویی و فروگابرو دارای سن پس از الیگوسن و سنگ والد آنها آمفیبولیت می‌باشد. کانی‌سازی در منطقه کاوند به انواع اکسیدآهن (عمدتاً اولیژیست)، اکسیدآهن - کوارتز - باریت، اکسیدآهن - کوارتز - باریت - طلا و اکسیدآهن - کوارتز - طلا - مس قابل تفکیک است. کانی‌های اولیه کانسار شامل پیریت، کالکوپیریت، طلا، هماتیت، اولیژیست و کانی‌های ثانویه شامل کالکوسیت، آزوریت، مالاکیت، گوتیت و لیمونیت می‌باشد. کوارتز، باریت، کلسیت، دولومیت، کلریت و سرسیت کانی‌های باطله را تشکیل می‌دهند. در سنگهای محدوده کانسار دگرسانی‌های سیلیسی، اکسیدآهنی، آرژیلیتی، سرسیتی، کربناتی، کلریتی و اپیدوتی مشاهده می‌گردد. ساخت‌های کانی‌سازی شامل عدسی، برشی و رگه - رگچه‌ای و پرکننده فضاهای کارستی کربناتها بوده و بافتها عبارت از برشی، رگه - رگچه‌ای، دانه‌پراکنده، کلوفرمی، باقیمانده، جبهه‌ای، اسفرولیتی و جانیشینی می‌باشد. داده‌های ژئوشیمی کانسنگ عناصر آهن، طلا، مس را در حد مقادیر کانساری نشان می‌دهد. مقادیر بیشینه آهن، طلا و مس در نمونه‌های کانسنگ به ترتیب $28/47$ ، $14/67$ ppm و $12/83$ ٪ است. تحلیل‌های آماری چند متغیره بیشترین همبستگی طلا را با عناصر نقره، آرسنیک، کادمیوم، مس، روی، آنتیموان، گوگرد، باریم و منگنز نشان می‌دهد. در بررسی‌های ژئوشیمیایی فاکتوری همبستگی طلا با آهن منفی است، این در حالی است که شواهد صحرایی و تجزیه‌های نقطه‌ای همیافتی طلا را با گوتیت و هماتیت نشان می‌دهد. دلیل همبستگی منفی این دو عنصر به این خاطر است که در منطقه، بیشترین گسترش آهن به صورت اولیژیست است که دارای مقادیر بسیار پایینی از طلا می‌باشد. حجم قابل توجه اولیژیست تحلیل‌های آماری چند متغیره را تحت تأثیر قرار داده و به عنوان مؤلفه غالب ظاهر گشته است. نتایج تجزیه شیمیایی نقطه‌ای به روش میکروپروپ الکترونی در انطباق با کانی‌شناسی نوری بوده و در این میان کانی‌های گوتیت، پیریت‌های هماتیتی شده و هیدروکسیدهای آهن، مس و آرسنیک دارای بیشترین مقدار طلا می‌باشند. تجزیه شیمیایی نقطه‌ای دانه‌های طلا از رسوبات بستر آبراهه‌ای نشان می‌دهد که مقادیر عناصر طلا و نقره نسبت به بقیه عناصر قابل توجه است. مقایسه‌ی ترکیب شیمیایی ذرات طلا با تیپهای مختلف کانی‌سازی طلا مشابهت طلای کاوند را با انواع اپی‌ترمال ثابت می‌کند. مطالعات میانبارهای سیال

بر روی کانی‌های کوارتز و کلسیت به ترتیب متوسط درجه حرارت $277/84$ و $221/8$ درجه سانتی‌گراد و متوسط شوری $3/67 \text{ wt\%NaCl}$ و $0/76$ را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه کلسیت نسبت به کوارتز یک فاز تأخیری گرمایی است، بنابراین ویژگی‌های چگالی، فشار و عمق سیال کانه‌ساز بر اساس درجه حرارت و شوری میانبرهای سیال کوارتز برآورد شده است. چگالی سیال کانه‌دار کمتر از $1 (1-0/5)$ است که در فشار کمتر از 200 اتمسفر و عمق بیش از 700 متری جای گرفته و جوشش رخ نداده است. کانی‌سازی طلا و عناصر همراه در منطقه کاوند و مناطق همجوار در محور تکاب - زنجان با کنترل‌کننده‌های چینه‌شناسی، ساختمانی و نفوذ توده‌های آذرین در ارتباط می‌باشد. در این میان نقش سازندهای آتشفشانی - رسوبی پرکامبرین پسین، سنگهای گرانیتوئیدی ترشیر و گسل‌های با روند شمال غرب - جنوب شرق برجسته می‌باشد. مقایسه ویژگی‌های کانسار کاوند با تیپ‌های مختلف کانی‌سازی طلا در ایران و جهان، بیشترین شباهت و نزدیکی آن را با کانسارهای اپی‌ترمال با سنگ میزبان رسوبی (کربناتی) نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: طلا، اکسید آهن، سنگ میزبان کربناتی، اپی‌ترمال، کاوند، زنجان

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی ۳
- ۳-۱- شرایط آب و هوایی ۴
- ۴-۱- شرایط اجتماعی ۴
- ۵-۱- ریخت‌شناسی ۴
- ۶-۱- مطالعات انجام شده قبلی ۵
- ۷-۱- طرح مسئله و ضرورت هدف از مطالعه ۸
- ۸-۱- روش مطالعه ۹
- ۱-۸-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع ۹
- ۲-۸-۱- مطالعات صحرایی ۹
- ۳-۸-۱- مطالعات آزمایشگاهی ۱۰
- ۴-۸-۱- مطالعات دفتری ۱۱

فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای

- ۱-۲- مقدمه ۱۴
- ۲-۲- چینه‌شناسی ۱۶
- ۱-۲-۲- نهشته‌های پرکامبرین ۱۶
- ۲-۲-۲- نهشته‌های آواری - کربناته پرکامبرین بالایی - پالئوزوئیک زیرین ۱۷
- ۳-۲-۲- نهشته‌های پالئوزوئیک ۱۸
- ۴-۲-۲- نهشته‌های مزوزوئیک ۱۹

۲۰.....	۵-۲-۲- نهشته‌های سنوزوئیک
۲۱.....	۳-۲- توده نفوذی
۲۲.....	۴-۲- تکتونیک
۲۴.....	۵-۲- زمین‌شناسی اقتصادی
۲۵.....	۱-۵-۲- آهن
۲۵.....	۲-۵-۲- ذغال سنگ
۲۶.....	۳-۵-۲- مس
۲۶.....	۴-۵-۲- فلدسپات و کائولن
۲۶.....	۵-۵-۲- سیلیس
۲۶.....	۶-۵-۲- آگات و کلسدوئن
۲۷.....	۷-۵-۲- سنگ‌های ساختمانی

فصل سوم: زمین شناسی و سنگ شناسی منطقه معدنی

۳۰.....	۱-۳- مقدمه
۳۰.....	۲-۳- چینه‌شناسی
۳۱.....	۱-۲-۳- سنگ‌های دگرگونه پرمبرین ($Mt_{1,2}$)
۳۲.....	۲-۲-۳- نهشته‌های آواری سازند کهر ($P \in k$)
۳۳.....	۳-۲-۳- نهشته‌های سازند بایندر (€ br)
۳۴.....	۴-۲-۳- نهشته‌های سازند سلطانیه (€ s)
۳۵.....	۵-۲-۳- نهشته‌های سازند باروت (€ bt)
۳۶.....	۶-۲-۳- نهشته‌های سازند زایگون (€ z)
۳۶.....	۷-۲-۳- نهشته‌های پرمین
۳۷.....	۸-۲-۳- نهشته‌های کوهپایه‌ای پلیو- پلیستوسن

۳۷	 نهشته‌های کواترنر ۹-۲-۳
۳۸	 توده‌های نفوذی محدوده ۱۰-۲-۳
۳۸	 توده گرانیتی دوران ۱-۱۰-۲-۳
۳۹	 توده‌های آذرین نیمه عمیق (P) ۲-۱۰-۲-۳
۳۹	 تکتونیک و زمین‌شناسی ساختمانی ۳-۳

فصل چهارم: کانه‌زایی و دگرسانی

۴۲	 مقدمه ۱-۴
۴۲	 سنگ میزبان اصلی کانه‌زایی ۲-۴
۴۳	 کانه‌زایی ۳-۴
۴۴	 کانی‌سازی اکسید آهن ۱-۳-۴
۴۴	 کانی‌سازی اکسید آهن - کوارتز - باریت ۲-۳-۴
۴۵	 کانی‌سازی اکسید آهن - کوارتز - باریت - طلا ۳-۳-۴
۴۶	 کانی‌سازی اکسید آهن - کوارتز - سولفید - طلا ۴-۳-۴
۴۶	 دگرسانی ۴-۴
۴۷	 دگرسانی‌های موجود در منطقه ۱-۴-۴
۴۸	 دگرسانی آرژلیک ۱-۱-۴-۴
۴۸	 دگرسانی سیلیسی ۲-۱-۴-۴
۵۰	 دگرسانی اکسید آهنی ۳-۱-۴-۴
۵۰	 دگرسانی کربناتی شدن ۴-۱-۴-۴
۵۱	 دگرسانی کلریتی و اپیدوتی ۵-۱-۴-۴
۵۲	 دگرسانی سرسیتی (QPS) ۶-۱-۴-۴

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

۵-۱- مقدمه	۵۴
۵-۲- کانی شناسی	۵۴
۵-۲-۱- کانی های اولیه (هیپوژن)	۵۵
۵-۲-۱-۱- اولیژیست	۵۵
۵-۲-۱-۲- هماتیت	۵۶
۵-۲-۱-۳- پیریت	۵۷
۵-۲-۱-۴- کالکوپیریت	۵۷
۵-۲-۱-۵- پسیلوملان	۵۸
۵-۲-۱-۶- مگنتیت	۵۹
۵-۲-۱-۷- طلا	۶۰
۵-۲-۲- کانی های ثانویه (سوپرژن)	۶۱
۵-۲-۲-۱- کالکوسیت، ملاکیت و آزوریت	۶۱
۵-۲-۲-۲- گوتیت	۶۲
۵-۲-۲-۳- لیمونیت	۶۳
۵-۲-۲-۳- کانی های باطله	۶۳
۵-۲-۳-۱- کوارتز	۶۳
۵-۲-۳-۲- باریت	۶۴
۵-۲-۳-۳- کلسیت و دولومیت	۶۴
۵-۳- ساخت و بافت ماده معدنی	۶۵
۵-۳-۱- ساخت و بافت رگه و رگچه ای	۶۵
۵-۳-۲- ساخت عدسی	۶۵
۵-۳-۳- ساخت و بافت دانه پراکنده	۶۶
۵-۳-۴- ساخت برشی شدن	۶۷

۶۸	۵-۳-۵- بافت جانشینی
۶۸	۵-۳-۶- ساخت پرکننده فضاهای خالی کارست‌ها
۶۹	۵-۳-۷- بافت باقیمانده
۶۹	۵-۳-۸- بافت جبهه‌های
۶۹	۵-۳-۹- بافت کلوفرمی
۷۰	۵-۳-۱۰- بافت اسفرولیتی
۷۰	۵-۴- توالی پاراژنتیک کانی‌ها

فصل ششم: ژئوشیمی

۷۴	۶-۱- مقدمه
۷۴	۶-۲- برداشت و آنالیز نمونه‌ها
۸۳	۶-۲-۱- ارزیابی میزان دقت داده‌های ژئوشیمیایی
۸۴	۶-۲-۲- سنسورگیری
۸۴	۶-۳- ژئوشیمی سنگ‌های منطقه
۸۵	۶-۳-۱- طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین براساس داده‌های عناصر اصلی
۸۶	۶-۳-۲- تعیین سری ماگمایی
۸۶	۶-۳-۳- تقسیم بندی توده نفوذی بر مبنای موقعیت زمین ساختی
۸۷	۶-۳-۴- مقایسه ترکیب شیمیایی عناصر فرعی و کمیاب سنگ‌های آذرین
۹۱	۶-۴- ژئوشیمی سنگ‌های رسوبی
۹۳	۶-۵- ژئوشیمی کانسنگ‌های محدوده کاوند
۹۳	۶-۵-۱- آهن
۹۴	۶-۵-۲- طلا
۹۵	۶-۵-۳- مس

۹۵.....	۶-۵-۴- باریم
۹۵.....	۶-۶- آنالیز خوشه‌ای عناصر
۹۷.....	۶-۷- آنالیز مؤلفه‌های اصلی
۹۷.....	۶-۷-۱- تجزیه عاملی (آنالیز فاکتوری)
۹۸.....	۶-۷-۲- جدول مشارکت‌ها
۹۹.....	۶-۷-۳- تحلیل نتایج تجزیه فاکتوری
۱۰۲.....	۶-۸-۱- شیمی کانی‌ها براساس روش میکروپروپ الکترونی (EPMA)
۱۰۳.....	۶-۸-۱- هدف و ضرورت انجام مطالعه
۱۰۴.....	۶-۸-۲- نتایج تجزیه نمونه‌ها به روش میکروپروپ الکترونی
۱۱۳.....	۶-۸-۳- تجزیه‌ی شیمیایی ذرات طلا از بخش تغلیظ یافته‌ی نمونه‌های کانی سنگین
۱۱۴.....	۶-۸-۳-۱- برداشت نمونه‌های کانی سنگین
۱۱۴.....	۶-۸-۳-۲- آماده سازی نمونه‌های کانی سنگین
۱۱۵.....	۶-۸-۴-۳- مطالعه نمونه‌های کانی سنگین

فصل هفتم: مطالعه سیالات درگیر

۱۲۳.....	۷-۱- مقدمه
۱۲۵.....	۷-۲- نمونه برداری و آماده سازی نمونه‌ها
۱۲۶.....	۷-۳- پتروگرافی سیالات درگیر
۱۲۸.....	۷-۳-۱- پدیده باریک شدگی
۱۲۹.....	۷-۳-۲- سیالات درگیر تک فاز (آبگین) (L) نوع I
۱۲۹.....	۷-۳-۳- سیالات درگیر دوفازی (آبگین+گاز) (L+V) نوع II
۱۳۰.....	۷-۴- مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر
۱۳۲.....	۷-۴-۱- کوارتز

۷-۴-۲- کلسیت ۱۳۵

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

۸-۱- مقدمه ۱۴۲

۸-۲- زمین‌شناسی منطقه ۱۴۲

۸-۳- ویژگی‌های بافتی و ژئوشیمیایی سنگ میزبان ۱۴۳

۸-۴- کانی‌زایی ۱۴۴

۸-۵- دگرسانی ۱۴۵

۸-۶- ساخت و بافت ۱۴۵

۸-۷- ژئوشیمی ۱۴۵

۸-۸- مطالعات سیالات درگیر ۱۴۶

۸-۹- الگوی تشکیل کانی‌سازی Fe - Cu - Au کاوند ۱۴۷

۸-۱۰- مقایسه کانی‌سازی کاوند با برخی از تیپ‌های کانیزسازی طلا ۱۵۲

۸-۱۱- مقایسه کانسار کاوند با برخی از تیپ‌های کانیزسازی طلا در ایران و جهان ۱۵۲

۸-۱۲- نتیجه‌گیری ۱۶۱

۸-۱۳- پیشنهاد اکتشافی و تحقیقاتی ۱۶۳

منابع ۱۶۶

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- نقشه راه-های دسترسی به محدوده کاوند..... ۳
- شکل ۱-۲- تصویری از وضعیت ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۵
- شکل ۱-۳- در نقشه زمین‌ساختی ایران محدوده کاوند ۱۶
- شکل ۱-۳-۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی کاوند..... ۳۱
- شکل ۲-۳- الف) برونزد میان لایه‌های کوارتزی در واحد دگرگونه پرکامبرین Mt_2 ۳۲
- شکل ۳-۳- تصویر میکروسکوپی کانی‌های پیریت (Py)، کلریت (Chl)،..... ۳۳
- شکل ۳-۴- شیل و ماسه سنگ ارغوانی سازند بایندور ۳۴
- شکل ۳-۵- کانی‌زایی‌های موجود در دولومیت‌های سازند سلطانیه ۳۵
- شکل ۳-۶- همبری سازند شیلی و ماسه سنگی زایگون با سازند شیلی و دولومیتی باروت ۳۶
- شکل ۳-۷- تناوب کنگلومرا، مارن متعلق به پلیستوسن در دیواره رودخانه‌های محدوده..... ۳۷
- شکل ۳-۸- الف) نمایی از برونزد گرانیات دوران در محدوده مورد مطالعه..... ۳۸
- شکل ۳-۹- نمایی از برونزد توده آذرین نیمه عمیق در منطقه مورد مطالعه..... ۳۹
- شکل ۴-۱- الف) کانی‌سازی اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت، لیمونیت)..... ۴۴
- شکل ۴-۲- رگه‌های اکسید آهن - کوارتز - باریت که فاقد طلا می‌باشد..... ۴۵
- شکل ۴-۳- رگه‌های کانه‌زایی اکسید آهن - کوارتز - باریت، طلا..... ۴۵
- شکل ۴-۴- رگه‌های اکسید آهن، کوارتز، سولفید طلا دار ۴۶
- شکل ۴-۵- دگرسانی سیلیسی با دو نسل کوارتز زایی ریز دانه و درشت دانه در مقیاس میکروسکوپی .. ۴۹
- شکل ۴-۶- نمونه XRD دگرسانی سیلیسی که دارای کانی کوارتز و به مقدار جزئی پیریت می‌باشد.... ۴۹
- شکل ۴-۷- نمونه XRD دگرسانی اکسید آهن را که دارای کانی‌های هماتیت، گوتیت و کوارتز..... ۵۰
- شکل ۴-۸- نمونه XRD دگرسانی کربناتی که دارای کانی‌های کلسیت، کوارتز، دولومیت و هماتیت... ۵۱
- شکل ۵-۱- الف، ب) اولیژیست با ساخت عدسی و رگه و رگچه در سنگ‌های دولومیتی سازند سلطانیه. ۵۶
- شکل ۵-۲- الف) کانه مگنتیت که از حاشیه به هماتیت تبدیل شده است ۵۷

- شکل ۵-۳- تصویر میکروسکوپی کانی کالکوپیریت که از حواشی به گوتیتی شده. ۵۸.....
- شکل ۵-۴- الف) نمونه دستی از رگه‌های اکسید آهن - سیلیس - باریت و اکسید منگنز ۵۹.....
- شکل ۵-۵- الف) نمونه دستی از گابرو دیوریت مگنتیت‌دار. ۶۰.....
- شکل ۵-۶- الف و ب) کانه‌های طلای آزاد در رگه‌های اکسید آهن - کوارتز - باریت - طلا ۶۱.....
- شکل ۵-۷- تصویر میکروسکوپی کانه‌های مالاکیت (Mlc)، آزوریت (Az) و مالاکیت (Lm) ۶۲.....
- شکل ۵-۸- الف) نمونه دستی دارای کانی گوتیت، ب) تصویر میکروسکوپی از گوتیت (Gth) ۶۳.....
- شکل ۵-۹- الف) سنگ دارای کوارتز و ب) رگه کلسیت که دو نسل کوارتز زایی را قطع کرده است. ... ۶۴
- شکل ۵-۱۰- الف) کانی‌سازی آهن به شکل عدسی در داخل شیل و شیل‌های توفی سازند کهر ۶۶.....
- شکل ۵-۱۱- الف) کانی‌سازی پراکنده پیریت در شیل‌های کهر ۶۷.....
- شکل ۵-۱۲- الف) ساخت برشی که توسط سیمانی از اکسیدهای آهن (گوتیت و لیمونیت). ۶۸.....
- شکل ۵-۱۳- الف و ب) کانی کالکوپیریت که توسط اکسیدهای آهن و کالکوسیت جانشین شده است. ۷۰.....
- شکل ۵-۱۴- الف و ب) کوارتزهای که در مقاطع دارای بافت اسفرولیتی می‌باشد. ۷۰.....
- شکل ۶-۱- نمودار میزان سیلیس و عناصر قلیایی TAS (Cox و همکاران، ۱۹۷۹). ۸۵.....
- شکل ۶-۲- الف) نمودار سه تایی AFM از ابروین و باراگا (۱۹۷۱). ۸۶.....
- شکل ۶-۳- تعیین خاستگاه توده‌های گرانیتوئیدی کاوند ۸۷.....
- شکل ۶-۴- الف) نمودار عناصر کمیاب بهنجار شده به کندریت (Thompson 1982) ۹۱.....
- شکل ۶-۵- منحنی توزیع دولومیت‌ها در طول فانروزوئیک. ۹۲.....
- شکل ۶-۶- مقایسه مقادیر Na و Sr در دولومیت‌های سلطانیه با دولومیت‌های پرکامبرین تا عهد حاضر. ۹۲.....
- شکل ۶-۷- دو نمونه کانی سنگین که از رسوبات بستر آبراهه‌های منطقه کاوند ۹۴.....
- شکل ۶-۸- نمودار آنالیز خوشه‌ای صورت گرفته بر روی نتایج آنالیز نمونه‌های محدوده کاوند ۹۷.....
- شکل ۶-۹- نمودار صخره‌های جهت جدایش فاکتورهای معتبر آنالیز فاکتوری ۹۹.....
- شکل ۶-۱۰- نقاط پروپ بر روی نمونه Kp-02 ۱۰۵.....
- شکل ۶-۱۱- نمودار تغییرات مقدار طلا در کانه‌های مختلف در نمونه Kp-02 ۱۰۵.....

- شکل ۶-۱۲- الف) نقاط پروپ بر روی نمونه Kp-03، ب) نمودار تغییرات مقدار باریم ۱۰۶
- شکل ۶-۱۳- نقاط پروپ انجام شده بر روی نمونه Kp-07 ۱۰۷
- شکل ۶-۱۴- الف) نمودار تغییرات مقدار طلا در کانی‌های مختلف در نمونه Kp-07 ۱۰۷
- شکل ۶-۱۵- الف) نقاط پروپ انجام شده بر روی نمونه Kp-11 ۱۰۸
- شکل ۶-۱۶- ذرات طلای مشاهده شده دارای اشکال لامپی، اسفنجی و صفحه‌ای. ۱۱۶
- شکل ۶-۱۷- موقعیت نقاط میکروپروپ بر روی هر یک از ذرات طلا نشان داده شده است. ۱۱۷
- شکل ۶-۱۸- نمودار ستونی توزیع طلا، نقره و مس در مرکز و حاشیه دانه‌های طلای کاوند ۱۱۹
- شکل ۶-۱۹- نمودار سه‌گانه $(Cu \times 100) - (Ag \times 10) - Au$ ۱۲۰
- شکل ۷-۱- سیالات انواع سیالات درگیر بر مبنای انواع فازهای موجود در دمای اتاق. ۱۲۷
- شکل ۷-۲- الف) پدیده باریک‌شدگی (Necking down) در کوارتز نمونه Kp-05 ۱۲۹
- شکل ۷-۳- میانبرهای دو فازی (L+V) الف) در کوارتز نمونه Kp-05، ب) در کوارتز نمونه Kp-07 .. ۱۳۰
- شکل ۷-۴- الف- نمودار فراوانی آخرین نقطه ذوب یخ، ب- نمودار فراوانی شوری سیالات ۱۳۵
- شکل ۷-۵- الف) نمودار فراوانی آخرین نقطه ذوب یخ، ب) نمودار فراوانی شوری سیالات ۱۳۷
- شکل ۷-۶- الف) نمودار تعیین چگالی سیالات درگیر بر حسب دمای همگن شدن و شوری ۱۳۸
- شکل ۷-۷- الف) نمودار تعیین تیپ کانه‌زائی براساس شوری و دمای همگن شدن. ۱۳۹
- شکل ۷-۸- الف) نمودار عمق - دما و شوری نمونه‌های سیالات درگیر در نمونه‌های کوارتز ۱۴۰
- شکل ۸-۱- ابتدا نهشته‌های سازند کهر در یک حوضه پلاتفرمی (حوضه کششی) ۱۴۹
- شکل ۸-۲- نهشته‌های پرکامبرین پسین کامبرین زیرین شامل سازند بایندر، سازند سلطانیه. ۱۴۹
- شکل ۸-۳- رخداد فاز کوه‌زایی لارامید که به صورت ناپیوستگی میان تهشته‌های ترشیر. ۱۵۰
- شکل ۸-۴- نقش توده‌های نفوذی پس از الیگوسن(میوسن؟) در تشکیل کانی سازی‌های طلا. ۱۵۱

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- نتایج تجزیه برخی از نمونه‌های ژئوشیمی سیلت آبراه‌های در محدوده کاوند. ۷.....
- جدول ۱-۵- توالی پاراژنتیکی کانی‌ها در کانسار کاوند. ۷۲.....
- جدول ۱-۶- مختصات جغرافیایی و سنگ‌شناسی نمونه‌های سنگ ژئوشیمیایی. ۷۶.....
- جدول ۲-۶- مقادیر غلظت اکسید عناصر (٪) در سنگ آذرین و کربناتی. ۷۶.....
- جدول ۳-۶- مقادیر غلظت عناصر اصلی، فرعی و کمیاب (ppm) به روش ICP-OES/MS. ۷۷.....
- جدول ۴-۶- مقادیر غلظت عناصر اصلی و کمیاب و طلا (ppm) در نمونه‌های کانسنگ. ۷۸.....
- ادامه جدول ۴-۶- مقادیر غلظت عناصر اصلی و کمیاب و طلا (ppm) در نمونه‌های کانسنگ. ۷۹.....
- ادامه جدول ۴-۶- مقادیر غلظت عناصر اصلی و کمیاب و طلا (ppm) در نمونه‌های کانسنگ. ۸۰.....
- ادامه جدول ۴-۶- مقادیر غلظت عناصر اصلی و کمیاب و طلا (ppm) در نمونه‌های کانسنگ. ۸۲.....
- جدول ۵-۶- مقادیر خطای محاسبه شده برای عناصر مختلف در تجزیه‌ی نمونه‌ها به روش XRF. ۸۳.....
- جدول ۶-۶- مقادیر خطای محاسبه شده برای عناصر مختلف در تجزیه‌ی نمونه‌ها به روش ICP-OES. ۸۳..
- جدول ۷-۶- پارامترهای آماری شامل میانگین، میانه، انحراف معیار، واریانس، مقادیر کمینه و بیشینه. ۹۳..
- جدول ۸-۶- میزان مشارکت هر یک از متغیرها در آنالیز فاکتوری. ۹۸.....
- جدول ۹-۶- مقادیر مولفه‌های چرخش یافته در فاکتورهای ۸ گانه به روش تجزیه عاملی. ۱۰۱.....
- جدول ۱۰-۶- نتایج آنالیز EPMA بر روی نمونه Kp-02 (برحسب ppm). ۱۰۹.....
- جدول ۱۱-۶- نتایج آنالیز EPMA بر روی نمونه Kp-03 (برحسب ppm). ۱۱۰.....
- جدول ۱۲-۶- نتایج آنالیز EPMA بر روی نمونه (برحسب ppm). ۱۱۱.....
- جدول ۱۳-۶- نتایج آنالیز EPMA بر روی نمونه (برحسب ppm). ۱۱۲.....
- جدول ۱۴-۶- نتایج تجزیه نقطه‌ای تعداد ۶ دانه طلا از تغلیظ یافته‌های رسوبات. ۱۱۷.....
- ادامه جدول ۱۴-۶- نتایج تجزیه نقطه‌ای تعداد ۶ دانه طلا از تغلیظ یافته‌های. ۱۱۸.....
- جدول ۱۵-۶- پارامترهای آماری نتایج تجزیه نقطه‌ای دانه‌های طلای کاوند. ۱۱۹.....
- جدول ۱۶-۶- مقایسه ترکیب شیمیایی دانه‌های طلای منطقه کاوند. ۱۲۰.....

- جدول ۷-۱- مشخصات و عیار عناصر Fe، Ba، Cu، Au موجود در نمونه‌های سیالات درگیر..... ۱۲۸
- جدول ۷-۲ - داده‌های سیالات درگیر در کانی کوارتز نمونه Kp-07..... ۱۳۴
- جدول ۷-۳ - داده‌های سیالات درگیر در کانی کوارتز نمونه Kp-05..... ۱۳۴
- جدول ۷-۴ - داده‌های سیالات درگیر در کانی کلسیت نمونه Kp-11..... ۱۳۶
- جدول ۸-۱ - مقایسه کانسار کاوند با انواع تیپ‌های کانسار طلا..... ۱۵۴
- ادامه جدول ۸-۱ - مقایسه کانسار کاوند با انواع تیپ‌های کانسار طلا..... ۱۵۵
- جدول ۸-۲ - مقایسه کانسار طلای کاوند با مثال‌های از کانسارهای طلای ایران..... ۱۵۷
- ادامه جدول ۸-۲ - مقایسه کانسار طلای کاوند با مثال‌های از کانسارهای طلای ایران..... ۱۵۸
- جدول ۸-۳ - مقایسه کانسار طلای کاوند با مثال‌های از کانسارهای طلای جهان..... ۱۵۹



فصل اول

کلیات



۱-۱- مقدمه

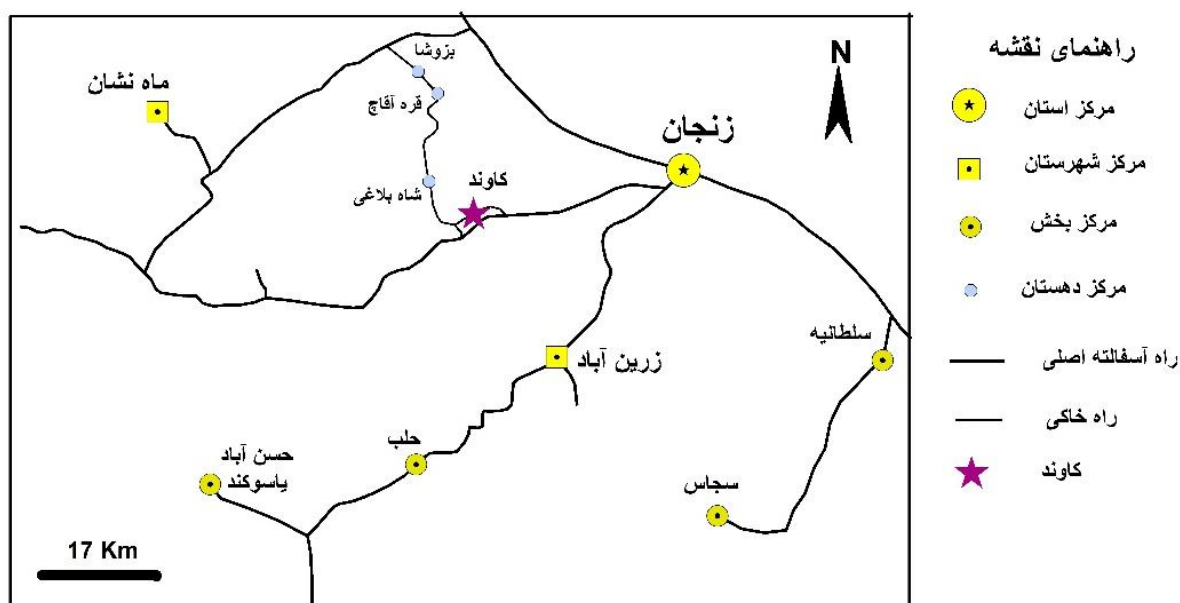
طلا یک کالای معدنی ارزشمند است که به عنوان پشتوانه پولی و زیورآلات مورد استفاده قرار می‌گیرد. با تقاضای روز افزون جوامع امروزی به طلا، سرمایه‌گذاری جهت توسعه روش‌های اکتشاف، استخراج و فرآوری این عنصر گران‌بها نیز شتاب چشمگیری داشته است. طلا در ایران به صورت تیپ‌های طلای اپی-ترمال، طلا پورفیری، طلای کارلین، IOCG و طلای کوهزایی از زمان پرکامبرین تا عهد حاضر حضور دارد. کانی‌سازی طلا در ایران با پیدایش و شکل‌گیری پوسته ایران زمین و عملکرد فعالیت‌های زمین-ساختی - ماگمایی که در پرکامبرین پسین و فانروزوئیک رخ داده، شکل گرفته است. در این میان رخداد زمین‌ساختی پیرنه (ائوسن - الیگوسن تا میوسن) وسیع‌ترین و متنوع‌ترین ذخایر معدنی بخصوص طلا و مس را در ایران تشکیل داده است. با توجه به اینکه کنترل کننده اصلی کانی‌زایی طلا در سنگ‌های این محدوده زمانی، گسل‌ها و پهنه‌های برشی و خرد شده می‌باشد در نتیجه کانی‌سازی طلا به همراه دیگر عناصر به صورت اپی‌ژنتیک و مربوط به فازهای جوانتر بوده و سن دقیق آنها در اکثر موارد کهن‌تر از سنوزوئیک نمی‌باشد. داده‌های زمین‌شناسی و معدنی موجود نشان می‌دهد که منطقه فلززایی تکاب - زنجان به عنوان یکی از مناطق طلادار مهم در کشور مطرح است و وجود کانسارهای طلای همچون زرشوران، آق‌دره، توزلار، گلوجه و... موید این گفته است.

طلای کاوند در چهارچوب اکتشافات سیستماتیک ۱/۱۰۰۰۰۰ (سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۸۶) و ۱/۲۵۰۰۰ (سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان ۱۳۸۹) بررسی شده است. با توجه به مقادیر قابل توجهی از طلا در رسوبات آبراهه‌ای و کانی سنگین و تجزیه‌های ژئوشیمیایی باعث شد برای تعیین سنگ منشأ و متالورژی این عنصر این منطقه برای موضوع پایان نامه انتخاب شود. در این

راستا این منطقه از لحاظ سنگ‌شناسی، ژئوشیمی سنگ و کانسنگ، میکروپروپ، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، کانی سنگین و سیال درگیر بررسی شده است و در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه شده است.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

منطقه مورد مطالعه در ۳۵ کیلومتری غرب - جنوب غرب شهرستان زنجان واقع شده است و راه دسترسی به منطقه کاوند جاده آسفalte زنجان - دندی می‌باشد (شکل ۱-۱)، و به طول‌های جغرافیایی $48^{\circ} 11' 02''$ تا $48^{\circ} 37' 12''$ شرقی و عرض‌های $36^{\circ} 40' 24''$ تا $36^{\circ} 40' 24''$ شمالی محدود می‌باشد، و مساحتی در حدود ۷۳ کیلومتر مربع را در برمی‌گیرد.



شکل ۱-۱- نقشه راه‌های دسترسی به محدوده کاوند، که این محدوده بصورت ستاره در نقشه نمایان است.

۱-۳- شرایط آب و هوایی

تفاوت آب و هوایی در نواحی مختلف استان زنجان را می‌توان به خوبی در یک زمان در قسمت‌های شمالی، مرکزی و جنوبی استان مشاهده کرد. استان زنجان با توجه به تأثیر ناهمواری‌ها و تماس غیر مستقیم با توده هوای مرطوب غربی و شمالی، و صرف نظر از خصوصیات محلی و عرض جغرافیایی، دو نوع آب و هوای متفاوت شامل آب و هوای کوهستانی و آب و هوای گرم و نیمه مرطوب می‌باشد. بارندگی‌های استان عمدتاً در فصل‌های پائیز، زمستان و بهار به وقوع می‌پیوندد و میزان بارندگی در بهار و زمستان بیش‌تر از دیگر فصل‌هاست. بیشترین دما در تابستان به‌حداکثر ۳۶ درجه سلسیوس و کمترین آن در زمستان تا ۲۰- درجه سلسیوس می‌رسد. میانگین بارندگی سالیانه ۲۸۵ میلیمتر است.

۱-۴- شرایط اجتماعی

مردم منطقه اکثراً ترک زبان با گویش‌های محلی و غالباً در شهرها متمرکز هستند. اقتصاد منطقه وابسته به کشاورزی، دامداری و پرورش زنبور عسل در روستاها و در مناطق شهری به‌طور عمده تا اشتغال در صنایع نساجی، معدنی و صنایع دستی و قالیبافی، چاقوسازی، ملیله‌کاری، نقره‌کاری، سفالگری و مسگری است. محصولات کشاورزی در این منطقه بسته به آب و هوای بخش‌های مختلف شامل گندم، جو، غلات، یونجه، حبوبات، گردو و بادام و میوه‌هایی نظیر سیب و انگور است. علاوه بر این، دامداری نیز نقش به‌سزایی در چرخه اقتصادی مناطق روستایی دارد.

۱-۵- ریخت‌شناسی

از نظر ریخت‌شناسی، به ۳ بخش مجزا در منطقه زنجان قابل تفکیک می‌باشد. در بخش شمالی دارای ارتفاعات خشن و رشته‌ای را تشکیل داده است که شامل رشته کوه‌های طارم می‌باشد (شکل ۱-۲ الف). در بخش مرکزی دشت هموار و کوهپایه‌ای تشکیل می‌شود که شامل دشت زنجان است و به‌دلیل

حاصلخیزی منطقه و بارش مناسب، عمدتاً زیر کشت قرار گرفته‌اند (شکل ۱-۲ ب). در بخش جنوبی نیز ارتفاعات خشنی وجود دارد که دارای روند شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد که شامل فرازمین سلطانیه می‌باشد.



شکل ۱-۲- تصویری از وضعیت ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه الف- توپوگرافی خشن و ارتفاعات شمال منطقه (دید به سمت جنوب). ب- زمین‌های کشاورزی و جلگه رودخانه در جنوب منطقه (دید به سمت شمال).

۱-۶- مطالعات انجام شده قبلی

در سطح استان زنجان، به سبب اهمیت معدنی، مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی خوبی توسط سازمان صنایع و معادن استان و همچنین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام گرفته است.

- سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۶۹) نقشه زمین‌شناسی چهارگوشه زنجان، ۱:۲۵۰۰۰۰، به شماره را تهیه کرد.

- سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۳) نقشه زمین‌شناسی چهارگوشه زنجان، ۱:۱۰۰۰۰۰، به شماره ۵۶۶۳ را تهیه کرد.

- سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان (۱۳۸۶) طی یک عملیات اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در ورقه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ زنجان به چند منطقه امیدبخش دست یافتند که یکی از این منطقه‌ها منطقه‌ی کاوند بود.

- سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان در سال ۱۳۸۹ در طی پی‌جویی به روش اکتشافات ژئوشیمیایی در ورقه‌ی ۱:۲۵۰۰۰ در محدوده کاوند نتایج کانی‌سنگین طلا و آنومالی ژئوشیمی بسیار با ارزشی بدست آمد.

- وزارت صنعت، معدن و تجارت استان زنجان (۱۳۹۲) طی طرح تهیه نقشه ۱/۵۰۰۰ کاوند و گزارش پیشرفت کار عملیات اکتشافی هم در منطقه کار شده است و نتایج با ارزشی بدست آمده است.

با توجه به اینکه پایان نامه براساس گزارشات ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰ در زنجان انتخاب شده است در زیر به نتایج مختصر این بررسی‌ها در محدوده کاوند پرداخته می‌شود.

اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ (زنجان (شماره ۵۶۶۳) که با برداشت ۶۱۵ نمونه ژئوشیمیایی سیلت آبراهه‌ای (۸۰ مش < سائز) و ۱۳۳ نمونه کانی سنگین انجام شده است، منجر به معرفی سه منطقه ناهنجار در چهارگوشه زنجان شده است که محدوده کاوند - حسین آباد - گل بلاغی ناهنجاری شماره دو پیشنهادات می‌باشد و برای اکتشاف طلا و آهن معرفی گردیده است. در محدوده کاوند - حسین آباد - گل بلاغی، بر پایه داده‌های ژئوشیمی سیلت آبراهه‌ای تعداد ۵ نمونه دارای عیار بیش از ۲۰ میلی گرم در تن طلا است و مقدار بیشینه عیار طلای این محدوده ۳۱۳ میلی گرم در تن در نمونه ZJ-418 می‌باشد، که بالاترین عیار عنصر طلا در میان کل نمونه‌های ژئوشیمی سیلت آبراهه‌ای در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ زنجان است (جدول ۱-۱). در محدوده کاوند - حسین آباد - گل بلاغی، بر پایه نتایج نمونه‌های کانی سنگین تعداد ۷ نمونه محتوی ذرات طلای آزاد بوده است، تعداد ذرات طلا در این نمونه‌ها

از ۲ تا ۸ ذره تغییر می‌کند، و نمونه کانی سنگین ZJ-321-H دارای ۸ ذره می‌باشد، شیئلیت و سینابر در نمونه‌های کانی سنگین طلا را همراهی می‌کنند. لازم به ذکر است که تعداد بیشینه ذرات طلا در نمونه-های کانی سنگین ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ زنگان ۱۵ ذره است که مربوط به نمونه کانی سنگین ZJ-211-H در محدوده ریحان (ناهنجاری شماره یک) می‌باشد (سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۸۶).

جدول ۱-۱- نتایج تجزیه برخی از نمونه‌های ژئوشیمی سیلت آبراهه‌ای در محدوده کاوند-حسین آباد-گل بلاغی به روش آذرمحک برای طلا و ICP-OES برای سایر عناصر (سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۸۶).

Sample	Au	Ag	As	Fe	Cu	Mo	Sb	Zn	Pb	Sn	W	Te
UNITS	ppb	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
ZJ-323	6	<0.1	19	4.89	35	1	1.8	101	20	2	2	<0.2
ZJ-341	22	<0.1	22	6.48	45	2	3.6	86	23	2	4	<0.2
ZJ-344	0	0.1	16	6.99	31	1.5	2.4	78	15	3	4	<0.2
ZJ-377	10	<0.1	25	5.23	34	1.5	3.4	68	24	2	3.5	<0.2
ZJ-382	22	<0.1	19	8.06	38	1.5	4.2	83	18	2	5	<0.2
ZJ-384	46	0.1	34	8.22	46	2.5	7.8	88	32	2	5	<0.2
ZJ-418	313	2.3	24	5.83	46	2	3.4	88	22	2	3.5	<0.2
ZJ-421	231	0.2	22	5.46	47	2	2.6	93	25	2	2.5	<0.2

بر اساس نتایج اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ زنجان، محدوده کاوند به وسعت ۱۵۰ کیلومتر مربع برای پی‌جویی به روش اکتشافات ژئوشیمیایی - کانی سنگین در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ انتخاب گردید. عملیات اکتشافی در این محدوده با برداشت ۵۶۲ نمونه ژئوشیمیایی سیلت آبراهه‌ای (۸۰ مش <سایز) و ۱۸۹ نمونه کانی سنگین انجام شده است. در محدوده کاوند مقادیر کمینه، متوسط و بیشینه طلا در نمونه‌های سیلت آبراهه‌ای به ترتیب ۶۳/۱ و ۲۹۱۴ میلی‌گرم در تن است. تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد که ۳۷ نمونه سیلت آبراهه‌ای (۷ درصد کل نمونه‌ها) دارای مقدار طلای بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در تن و ۲۰ نمونه (۴ درصد کل نمونه‌ها) دارای مقدار طلای بیش از ۵۰۰ میلی‌گرم در تن می‌باشد. از آنجایی که میانگین فراوانی پوسته‌ای طلا در حدود ۶ میلی‌گرم در تن است، بنابراین مقادیر غلظت طلا در نمونه‌های سیلت آبراهه‌ای کاوند غیر عادی بوده و بیان از رخداد کانی‌سازی طلا در این منطقه است. در محدوده کاوند بر پایه نتایج ۱۵۱ نمونه کانی سنگین، تعداد ۱۶ نمونه (۱۱ درصد کل

نمونه‌های کانی سنگین) محتوی ذرات طلای آزاد بوده است، تعداد ذرات طلا در این نمونه‌ها از ۱ تا بیش از ۱۵۰ ذره تغییر می‌کند. در این بررسی‌ها انطباق خوبی میان نتایج مطالعات ژئوشیمیایی و کانی سنگین مشاهده می‌گردد، و کاوند بعنوان منطقه مستعد کانی‌سازی طلا و آهن، برای مطالعات زمین‌شناسی - معدنی در مقیاس ۱/۵۰۰۰ پیشنهاد شده است (سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۸۹).

۱-۷- طرح مسئله و ضرورت هدف از مطالعه

محدوده اکتشافی کاوند از نظر کانه‌زایی آهن، طلا و مس از پتانسیل بالایی برخوردار است. کانی‌سازی آهن در منطقه‌ی مورد مطالعه از مدت‌ها پیش شناسایی گردیده و حتی برخی از آنها در حال استخراج و بهره‌برداری می‌باشند. اکتشافات چکشی در مرحله‌ی کنترل ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی آبراهه‌ای، بخش‌های سیلیسی و اکسید آهنی دولومیتی سلطانیه را سنگ منشأ کانی‌سازی معرفی می‌نماید، ولی اثبات این مسئله، تعیین تیپ کانی‌سازی و ارائه مدل زایشی برای کانسار نیاز به مطالعات بیشتری دارد که در چارچوب این تحقیق به آن پرداخته می‌شود. از آنجایی که تا به حال در سازند دولومیتی سلطانیه و سازندهای معادل آن در پهنه‌های زمین‌ساختی دیگر، کانی‌سازی طلا و مس گزارش نشده است، این مسئله اهمیت پژوهش در این منطقه را دو چندان می‌کند. سؤالات بنیادی زیر در ارتباط با کانی‌سازی طلا و عناصر همراه در کاوند وجود دارد که در این تحقیق سعی می‌شود به آنها پاسخ مناسب داده شود:

- سنگ منشأ طلا و عناصر همراه چه می‌باشد؟

- نقش کنترل‌کننده‌های چینه‌شناسی و ساختاری در جای‌گیری ماده معدنی چیست؟

- کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیکی کانی‌سازی چگونه است؟

- ارتباط کانی‌سازی با سنگ‌های دولومیتی سلطانیه (سنگ میزبان) چگونه است؟

- ویژگی‌های ژئوشیمی کانه‌زائی چیست؟
- تغییرات عیار طلا در سطح و بصورت جانبی چگونه است؟
- تیپ کانی‌سازی طلا براساس مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و میانبارهای سیال چیست؟
- با توجه به گسترش سازند دولومیتی سلطانیه در زیر پهنه سلطانیه و نواحی همجوار، چه معیارهایی برای پی‌جویی و اکتشاف طلا در این نواحی پیشنهاد می‌گردد؟

۱-۸- روش مطالعه

این تحقیق طی چند مرحله صورت گرفته است :

۱-۸-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع

- تهیه و مطالعه کتب و مقالات در زمینه موضوع پایان‌نامه و منطقه
- گردآوری نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و نیز بررسی کلیه گزارش‌ها و مقالاتی که به نحوی در ارتباط با منطقه مورد مطالعه و نواحی اطراف و نیز کانه‌زایی مشابه در جهان هستند.
- برنامه‌ریزی برای انجام مطالعات صحرایی.
- برقراری ارتباط با زمین‌شناسان داخل و خارج از ایران جهت تهیه منابع به روز.

۱-۸-۲- مطالعات صحرایی

- بازدیدهای مقدماتی جهت آشنا شدن با منطقه

- مطالعات صحرایی و مطالعه و شناسایی توده‌های آذرین، پهنه‌های دگرسانی و وضعیت دگرریختی در منطقه

- مطالعه شکل هندسی، ساخت و بافت ماده معدنی در مقیاس‌های صحرایی و نمونه‌دستی

- نمونه‌برداری سیستماتیک از رخساره‌های مختلف کانسار و سنگ میزبان

- شناسایی و تفکیک دقیق واحدهای سنگی و چگونگی ارتباط آن‌ها با یکدیگر

- بررسی جایگاه چین‌شناسی کانه‌زایی‌ها و ارتباط آن‌ها با سنگ‌های توالی میزبان

۱-۸-۳- مطالعات آزمایشگاهی

پس از نمونه برداری منطقه کاوند با توجه به اهداف مطالعه، بر روی نمونه‌های برداشت شده، مطالعات مختلف به شرح زیر انجام گرفت:

- تهیه ۸ مقطع نازک از نمونه‌های سنگی مختلف و انجام مطالعات پتروگرافی

- تهیه ۸ مقطع صیقلی از نمونه‌ها و انجام مطالعات کانی‌شناسی، بافت و پاراژنز کانه‌ها

- تهیه ۱۳ مقطع نازک - صیقلی از نمونه‌ها و انجام مطالعات کانی‌شناسی، بافت و پاراژنز کانه‌ها

- تهیه ۵ مقطع دوبرصیقلی برای مطالعات میکروترومتری سیالات درگیر

- تجزیه ۶ نمونه به روش فلوئورسانس اشعه ایکس (XRF : X-Ray Fluorescence)، به منظور تعیین

میزان عناصر اصلی و فرعی در سنگ‌های موجود در منطقه

- تجزیه ۶ نمونه به روش طیف‌سنج نوری جفت پلاسمای القا شده (Inductively Coupled Plasma

ICP-OEC : Optic Emission Spectroscopy)

- آنالیز ۴ نمونه به روش کمی - نقطه‌ای با دستگاه الکترون میکروپروپ (EPMA) تمامی این آنالیزهای فوق با حمایت سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (IMIDRO) در آزمایشگاه‌های مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران انجام شده است.
- تجزیه ۱۸ نمونه به روش پراش اشعه ایکس (XRD : X-Ray Diffraction) به منظور مطالعه کانی-شناسی بخش‌های دگرسان شده اطراف مناطق کانه‌دار که در آزمایشگاه کانساران بینالود انجام شده است.
- آنالیز ۲۹ نمونه از کانسنگ‌ها به منظور تعیین عیار عناصر اصلی، کمیاب و نادرخاکی به روش طیف سنجی پلاسمای جفت شده‌ی القایی - نشر نوری (Inductively Coupled Plasma Optic Emission Spectroscopy : ICP-OEC) و طلا به روش آذر محک (Fire Assay) در آزمایشگاه زراژما انجام شده است.

- برداشت و مطالعه‌ی ۲ نمونه کانی سنگین از رسوبات آبراهه‌ای برای جدا سازی ذرات طلای آزاد.

۱-۸-۴- مطالعات دفتری

- مطالعه پایان نامه‌ها، رساله‌ها، مقالات و کتب مرتبط با موضوع تحقیق
- ترسیم نقشه‌ها، مقاطع زمین‌شناسی، نمودارها، شکلها و... با استفاده از نرم افزارهای ArcGIS، Corel و Surfer
- تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از تجزیه نمونه‌ها با استفاده از نرم افزارهای تخصصی مانند Excel، GCDKIT، Spss و غیره.
- پردازش، تجزیه و تحلیل و تلفیق داده‌های حاصل از بررسی‌های صحرایی، مطالعات مقاطع میکروسکوپی و داده‌های ژئوشیمیایی

- تلفیق داده‌های یاد شده با داده‌های حاصل از مطالعه مقالات و کتب مربوط به منظور ارائه مدل کانه-سازی در منطقه و نیز مقایسه این کانه‌زایی با نهشته‌های مشابه در جهان.



فصل دوم

زمین شناسی ناحیه‌ای



۲-۱- مقدمه

از نگاه زمین‌ساختی در قلمرو استان زنجان وضعیتهای تکتونیکی متفاوتی حاکم است. بخش شمال شرقی استان (کوههای طارم) قسمت کوچکی از دامنه‌های جنوبی البرز غربی است در حالیکه گستره‌های وسیعی از استان متعلق به ورقه ایران مرکزی است (شکل ۲-۱). شواهد زمین‌شناسی موجود نشانگر آنند که مرز بین دو پهنه مزبور از دشت قزوین، ابهر، زنجان عبور می‌کند. ارتفاعات شمال شهرستان زنجان به عنوان بخشی از البرز غربی ریخت‌شناسی کوهساز دارد. از خاصه‌های بارز زمین‌شناسی ارتفاعات ماگمای شمال استان زنجان توده‌های نفوذی گرانیتی و گرانودیوریتی درشت دانه است که به افزون مجموعه‌های آذر آواری ائوسن (سازند کرج) تزریق شده‌اند به همین لحاظ این توده‌ها سن بعد از ائوسن دارند و با توجه به شواهد منطقه‌ای بخشی از توده‌های نفوذی فاز کوهزایی پیرنین هستند که در امتداد ساختار و گسلهای طولی و عمیق بلندیه‌ای طارم تزریق شده‌اند یکی از خاصه‌های توده‌های نفوذی بعد از ائوسن ایجاد هاله-های دگرسان در آذر آواری‌های ائوسن است که بطور عموم فازهای گرمایی آن با تشکیل عناصری نظیر طلای اپی‌ترمال، مس، سرب - روی، کائولن و... همراه بوده است. در استان زنجان، نواحی واقع در جنوب کوههای طارم، بخشی از پهنه ایران مرکزی هستند که در نتیجه عملکرد گسل‌های با روند شمال شرقی - جنوب غربی به چند بلوک تکتونیکی محدود به مناطق گسلی تبدیل شده‌اند که مهمترین آنها عبارتند از:

الف- فرونشست زنجان - ابهر

دشت کم عرض زنجان ابهر که با پوشش آبرفتی کواترنر پوشیده شده است نوعی فرو نشست تکتونیکی است که با توجه به شواهد موجود در حاشیه آن دشت با توالی ضخیم توفهای سازند کرج، به سن ائوسن رخنمون دارد. ولی در شمال غربی زنجان می‌توان رخنمون‌هایی از سنگهای اولیگو - میوسن منطقه میانه و ردیف‌های چین نخورده پلیو - پلیستوسن را نیز دید.

ب- فرازمین سلطانیه

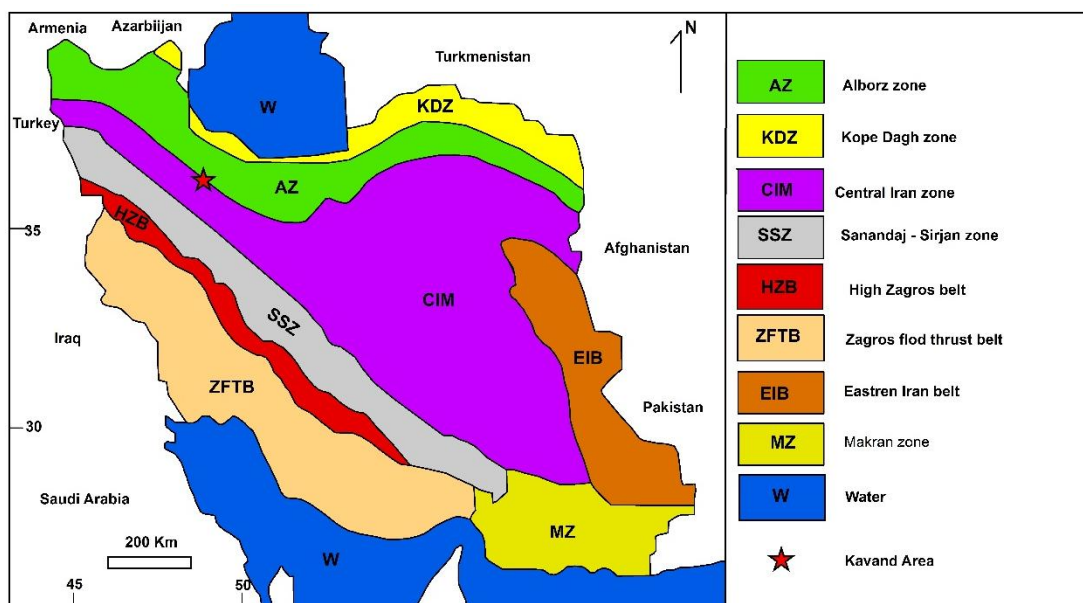
فرازمین سلطانیه رشته کوه باریکی است که در یک روند شمال غربی - جنوب شرقی، سرتاسر استان زنجان را از زنجان تا ابهر زیر پوشش دارد و در شکل‌گیری آن عملکرد ادامه جنوب خاوری گسل تبریز و همزادهای آن نقش اساسی دارند.

ج- فرونشست کاوند - دوتپه

فرونشست کاوند - دوتپه به موازات حاشیه جنوب غربی کوههای سلطانیه قرار دارد و پوشیده با نهشته‌های آبرفتی جوان است. در دره‌های بریده این دشت برونزدهایی از کنلگومرای چین نخورده پلیو - پلیوسن و نهشته‌های آب شیرین دیده می‌شود. با توجه به شواهد زمین‌شناسی موجود دشت کاوند - دوتپه نوعی ناودیس ملایم است که با سنگهای کرتاسه و ترشیاری پر شده است.

د- تپه‌های سعید آباد - کرسف

تپه‌های سعید آباد - کرسف بخشی از نواحی واقع در میان پهنه سنندج - سیرجان و فرازمین سلطانیه، است که به نظر می‌رسد ادامه شمال غربی نواحی کاشان - قم - ساوه باشد. در این نواحی، از نگاه ساختاری تفاوت‌های آشکاری بین ردیف‌های ترشیاری و سنگهای قدیمی‌تر از ترشیاری وجود دارد. بطوریکه سنگهای قدیمی‌تر از ائوسن به شدت دگرشکل شده و با نفوذی‌های کوچک و بزرگ بریده شده‌اند (سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۸۹).



شکل ۲-۱- در نقشه زمین‌ساختی ایران محدوده کاوند در حد فاصل دو پهنه زمین‌ساختی البرز باختری و ایران مرکزی نمایان است.

۲-۲- چینه شناسی

واحدهای گوناگون سنگ چینه‌ای رخنمون یافته در محدوده ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ زنگان از کهن‌تر به جوان‌تر به شرح زیرند:

۲-۲-۱- نهشته‌های پرکامبرین

سنگ‌های دگرگونه پرکامبرین ($Mt_{1,2}$) (سنگهای دگرگونه سبز - خاکستری فیلیت و شیست‌های کوارتز - سریسیت - کلریت‌دار و آلبیت - کلریت - مسکویت‌دار همراه با عدسی‌ها و میان لایه‌های کوارتزیت) در جنوب غربی شهرستان زنگان و در تماس با گرانیت دوران رخنمون دارند که جاده زنگان - بیجار آن را قطع می‌کند.

نهشته‌های شیل‌های اسلیتی سبز - خاکستری سازند کهر ($P\epsilon K$) قدیمی‌ترین نهشته‌های غیردگرگون در زنگان را تشکیل می‌دهد که بیشترین رخنمون آنها در جنوب روستای چورزق و روستای رحیم آباد می‌-

باشد. مرز بالایی نهشته‌های سازند کهر با سنگ‌های دگرگونه قدیمی مشخص نیست و به نظر می‌آید که سنگ‌های دگرگونه شاید همان نهشته‌های سازند کهر هستند که در یک زون برش شکل‌پذیر دگرگون شده هستند. سازند کهر در محدوده اکتشافی کاوند هم رخنمون دارد و میزبان کانی‌سازی آهن می‌باشد.

۲-۲-۲- نهشته‌های آواری - کربناته پرکامبرین بالایی - پالئوزوئیک زیرین

بر روی نهشته‌های سازند کهر ترادفی ضخیم از نهشته‌های آواری و کربناته با مرز ناهمساز جای می‌گیرد. این نهشته‌های آواری کربناته که فاصله زمانی پرکامبرین بالایی تا کامبرین زیرین را دربرمی‌گیرد از کهن‌تر به جوان‌تر شامل واحدهای سنگ چینه‌ای زیر است:

نهشته‌های سازند بایندور (€br) در شمال - شمال شرقی روستای دوران و در کوه بایندور با تناوبی از ماسه سنگ و شیل سیلتی ارغوانی میان لایه‌های دولومیت قهوه‌ای چرت‌دار با مرز ناهمساز جای می‌گیرد که خود بگونه همساز در زیر واحد دولومیتی سازند سلطانیه قرار گرفته است.

نهشته‌های سازند سلطانیه (€S) بر روی نهشته‌های سازند بایندور با مرز همساز جای می‌گیرد. در محدوده زنجان نهشته‌های سازند سلطانیه گسترشی زیاد دارند و به سه بخش دولومیتی، توده‌ای گرهک چرت‌دار درزیر €S₁، شیل رسی سیاه‌رنگ (چپقلو) در میان €ch، و دولومیت‌های لایه لایه زردرنگ دارای نوارهای چرت €S₂ در بالا، قابل تقسیم است. این سازند در محدوده کاوند هم رخنمون دارد و سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی آهن، طلا و مس می‌باشد.

نهشته‌های شیل میکاسه ارغوانی قرمز با میان لایه‌ها نازک آهک دولومیتی چرت‌دار سازند باروت (€bt) بر روی دولومیت‌های سازند سلطانیه، با مرز همساز و تدریجی جای می‌گیرد. با توجه به موقعیت چینه‌ای

می‌توان آن را هم‌ارز کامبرین زیرین پنداشت. این سازند در محدوده کاوند هم رخنمون دارد و کانی‌سازی خفیفی از آهن، طلا و مس را میزبانی می‌نماید.

نهشته‌های سازند زایگون (€Z) با نهشته‌های سازند باروت دارای مرز تدریجی می‌باشند. نهشته‌های این سازند شامل شیل رسی و سیلتی با رنگ قرمز مایل به قهوه‌ای که گاه دارای رنگ‌های بنفش، سبز، خاکستری، سیاه نیز می‌باشد.

۲-۳- نهشته‌های پالتوزوئیک

با وجود اینکه بخش بزرگتر مجموعه کربناته - آواری پرکامبرین - کامبرین زیرین وابسته به پائین‌ترین بخش‌های پالتوزوئیک (کامبرین زیرین) است ولی از آنجا که نشان‌دهنده تغییر رژیم نهشته‌گذاری از سازند کهر به بعد است و خود نیز رژیم رسوبگذاری کم و بیش یکسانی را نشان می‌دهند. نهشته‌های پالتوزوئیک در محدوده زنجان نظیر سایر نقاط این منطقه، بطور عمده وابسته به زمان کامبرین - اردوئین و پرمین هستند و نهشته‌های مربوط به زمان‌های سیلورین، دونین و کربنیفر حضور ندارند.

ماسه سنگ‌های سازند لالون (€L): بر روی واحد شیلی سازند زایگون با یک مرز نامشخص (شاید تدریجی) جای می‌گیرد که در سرتاسر رشته کوه سلطانیه، در بخش جنوبی زنجان، گسترش داشته است. ترکیب آن یک ماسه سنگ کوارتزیتی تا آرکوزی است که اجزاء تشکیل دهنده آن بطور عمده دانه‌های گرد شده کوارتز با میزان کمی فلدسپات، اکسید آهن، زیرکن و گارنت است.

نهشته‌های سازند میلا (€M) بر روی ماسه سنگ سازند لالون و افق کوارتزیتی زیرین با مرز همساز جای می‌گیرند. در کوه‌های سلطانیه نهشته‌های سازند میلا به دو بخش قابل تقسیم‌اند، بخش زیرین آن یک

واحد دولومیت و آهک دولومیتی تیره رنگ ضخیم لایه چرت‌دار است و بخش بالایی آن آهک اسپاری زردرنگ و میان لایه‌های آهک مارنی هستند.

نهشته‌های پرمین (Pr, Pd) با مرز ناهمساز بر روی نهشته‌های کربناته سازند میلا جای می‌گیرند. نهشته‌های پرمین در محدوده ورقه زنجان دربرگیرنده یک بخش ماسه سنگی سفید تا صورتی در زیر Pd و یک واحد آهکی خاکستری رنگ در بالا Pr است. واحد آهکی Pr که بگونه ای همساز بر روی واحد ماسه سنگی Pd جای گرفته است و دارای رنگ خاکستری تیره و لایه‌بندی منظم است.

۲-۲-۴- نهشته‌های مزوزوئیک

نهشته‌های مربوط به مزوزوئیک در محدوده زنجان از قدیم به جدید شامل:

نهشته‌های دولومیتی تریاس (Re) در حاشیه غربی ورقه در زیر نهشته‌های آواری سازند شمشک رخنمون دارند که با مرزی ناهمساز بر روی واحد آهکی پرمین قرار گرفته‌اند. مرز آنها با نهشته‌های سازند شمشک همشیب ولی ناپیوسته است و هیچگونه آثار فسیلی در آنها دیده نشده است.

نهشته‌های سازند شمشک (Js) در بخش کوه‌های سلطانیه در دو منطقه، یکی در جنوب شرقی و دیگری در غرب زنجان گسترش دارند و با مرز ناهمساز بر روی نهشته‌های کهن جای گرفته‌اند. این نهشته‌ها دربرگیرنده ترادف ضخیمی از شیل‌های تیره تا خاکستری و سبز با میان لایه‌های ماسه‌سنگی خاکستری قهوه‌ای و سبز می‌باشند.

نهشته‌های کرتاسه در زنجان رخنمونی شایان توجه ندارند و آن نیز بدلیل فرسایش شدید حاکم بر منطقه در زمان پیش از ترشیری است. در محدوده ورقه زنجان دو رخنمون کوچک سنگ‌های کرتاسه از آهک خاکستری متوسط تا ضخیم لایه است که با مرزی ناهمساز بر روی واحد آهکی سازند لار جای گرفته است شناسایی شده‌اند.

۲-۵- نهشته‌های سنوزوئیک

شرح خلاصه واحدهای گوناگون نهشته‌های سنوزوئیک در زنجان از کهن به جوان بصورت زیر است:

نهشته‌های توفی، شیلی سازند کرج (Ek_1) در کوهپایه‌های شمالی کوههای سلطانیه با میان لایه‌های ماسه‌سنگ وجود دارد. بخشهای توفی سخت و ریزدانه‌اند و گاه آهکی نیز هستند. در حالیکه بخشهای شیلی نرم و نازک لایه‌اند و به رنگ‌های زرد و مایل به سبز، سبز مایل به آبی یافت می‌شوند و زمان ائوسن میانی را نشان می‌دهند.

برخلاف حوضه فرورفته‌ی باریک و کشیده زنجان - ابهر که به پیکر یک حوضه بین کوهستانی میان کوههای سلطانیه و کوههای طارم دیده می‌شود. در حاشیه جنوب غربی آن، واقع در کوهپایه‌های شمال شرقی کوههای سلطانیه، ترادف ضخیم نهشته‌های آواری و آتشفشانی و آتشفشانی آواری ائوسن بگونه‌ای گسترده رخنمون دارند. در حوضه فرورفته جنوب باختری کوههای سلطانیه مجموعه‌های آتشفشانی و آتشفشانی - آواری ائوسن رخنمون ندارند ولی در هر دو حوضه فرورفته یادشده واحدهای کهن تر توسط نهشته‌های آواری - کربناته الیگو میوسن بگونه ناهمساز پوشیده شده‌اند. شرح خلاصه این نهشته‌ها بصورت زیر است.

واحد کنگلومرا و ماسه‌سنگ سازند قرمز رنگ زیرین (O^C) در زیر واحد آهکی سازند قم رخنمون دارد و مربوط به زمان الیگوسن می‌باشد.

واحد آهکی سازند قم (Qm) بر روی واحد کنگلومرا ماسه‌سنگی قرمز رنگ جای می‌گیرد که هم در حاشیه باختری و هم در گوشه جنوب غربی زنجان گسترش دارد و مرز آن واحد با واحد قرمز زیرین ناهمساز

است. در حالیکه مرز آن با نهشته‌های آواری سازند بالایی همشیب و گاه تدریجی است. زمان الیگوسن بالایی تا میوسن زیرین را شامل می‌شود.

نهشته‌های آواری سازند قرمز بالایی تناوبی از مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرای رنگارنگ می‌باشد که به دو بخش مارن و ماسه‌سنگ، کنگلومرا به رنگ قرمز، صورتی و سبز و خاکستری در زیر (واحد M_1) و ماسه-سنگ، مارن و کنگلومرای قرمز رنگ در بالا (واحد M_2) قابل تقسیم است.

نهشته‌های کوهپایه‌ای پلیو - پلیئستوسن در حوضه فرورفته زنجان در دو سوی رودخانه زنجان رود و در حوضه جنوب غربی رخنمون دارند. نهشته‌های مارن و کنگلومرا بصورت تپه‌های به هم چسبیده که ارتفاع با سطوح فرسایشی صاف و یک سطح گسترده‌ای، گسترش دارد که از دو بخش میانی شامل مارن، سیلت، کمی به رنگ‌های قرمز، زرد، صورتی و قهوه ای PI^m و حاشیه ای شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن PI^c تشکیل شده‌اند. این مجموعه‌های آواری که در محیط کم‌آبرفتی دریایچه‌ای لب شور پدیدار شده‌اند.

نهشته‌های آبرفتی کواترنر در محدوده ورقه زنجان بطور عمده در حوضه فرورفته زنجان در کوهپایه‌های شمال شرقی کوه‌های سلطانیه و کوهپایه‌های جنوب غربی کوه‌های طارم تا نزدیکی رودخانه زنجان رود گسترش دارند و شامل نهشته‌های بادزنه آبرفتی قدیمی (Q_1^f)، پادگانهای قدیمی آبرفتی (Q_1^l)، با ترکیب عمدتاً کنگلومرا و خیلی کم سیلت و کلی، پادگانهای جوان آبرفتی (Q_2^l)، بادزنهای آبرفتی جوان (Q_2^f) با ترکیب عمده سیلت، رس، خیلی کنگلومرا و آبرفت های جوان بستر کنونی رودخانه ها (Q^{al}) است.

۲-۳- توده نفوذی

توده‌های نفوذی موجود در سطح محدوده زنجان بصورت زیر است:

کهن‌ترین تکاپوی ماگمایی در محدوده زنجان را می‌توان دو رخنمون گرانیتهی روشن رنگ گرانیته دوران عنوان نمود که یکی در پیرامون روستای دوران، در جنوب غربی زنجان، و دیگری در حاشیه غربی زنجان در پیرامون روستای شاه بلاغ، در زون سلطانیه، جای دارند و نهشته‌های فیلیتی و اسلیتی سازند کهر با زمان پرکامبرین بالایی را قطع کرده‌اند و توسط نهشته‌های سازند بایندور پوشیده شده است. گرانیته دوران با توجه به موقعیت چینه‌ای مربوط به زمان پرکامبرین پسین عنوان شده است. لازم به ذکر است که توده گرانیتهی دوران در بخش جنوب غربی محدوده اکتشافی کاوند نیز رخنمون دارد.

توده گرانیتهی - گرانودیوریتی و سینیتی ترسیر (S,g) در بخش جنوبی محدوده و در زون سلطانیه، در دامنه شمالی کوه سقرائن، در امتداد گسل رخنمون دارد که واحد آهکی پرمین (Pr) را قطع کرده و به احتمال در ارتباط با فعالیت ماگمایی ترسیر است. این توده سینیتی، درشت تا متوسط دانه و به رنگ صورتی است و دربردارنده فلدسپات آلکالن زیاد و میزان کمی بیوتیت می‌باشد. دارای زمان پس از ائوسن به احتمال الیگوسن می‌باشد.

توده‌های نیمه عمیق و دایکهای نیمه آتشفشانی (P) با ترکیب دیوریتی با بافت پورفیری بطور عمده واحدهای سنگی پالئوزوئیک زیرین را در کوههای سلطانیه و سنگهای کرتاسه را در زنجان قطع کرده‌اند. این توده‌ها و دایکها در محدوده اکتشافی کاوند هم رخنمون دارند و در سازندهای کهر، بایندر، دولومیت سلطانیه و باروت تزریق شده‌اند و ترکیب سنگ شناسی آنها از دیوریت تا گابرو تغییر می‌کند (سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۸۶).

۴-۲- تکتونیک

محدوده زنجان از نگاه ساختاری بخشهایی از دو زون طارم و سلطانیه را دربرمی‌گیرد. زون طارم به پیکر یک فرازمین با روند شمال غرب - جنوب غرب در گوشه شمال شرقی محدوده رخنمون دارد و زون

سلطانیه نیز بصورت یک فرازمین با روند شمال غرب - جنوب شرقی موازی با زون طارم از گوشه جنوب شرقی و تا غرب زنجان کشیده شده است. در حوضه فرورفته بین کوهستانی، یکی در میان فرازمین طارم و سلطانیه (حوضه فرورفته زنجان) و دیگری در جنوب زون سلطانیه در گوشه جنوب غربی زنجان که در آن انباشته‌های آواری - کربناته‌ی الیگو- میوسن و انباشته‌های آواری پلیو- پلیئستوسن و آبرفته‌های کوتاه‌تر برجای نهاده شده‌اند. زون طارم یک کمان ماگمایی مرکب از نهشته‌های آتشفشانی و آتشفشانهای ائوسن است که توسط توده‌های نفوذی الیگوسن زیر تأثیر قرار گرفته و در حقیقت دنباله‌ی نوار آتشفشانی نفوذی البرز غربی است. در حالیکه زون سلطانیه بطور عمده از نهشته‌های رسوبی پرکامبرین - پالئوزوئیک بسیار کم مزوزوئیک پدید آمده و در حقیقت یک سری سنگ بالا آمده کهن است. نهشته‌های آتشفشانی و آتشفشانی - آواری در زون طارم، تکتونیک آرامی را تحمل کرده و شیبی ملایم برابر ۱۰ تا ۱۵ درجه بدست آمده تاقدیس‌ها و ناودیس‌های ملایمی را در یک ناودیس بزرگ با روند شمال غرب - جنوب شرقی تشکیل داده‌اند. بالا آمدگی و فرازمین شدن زون طارم در سرانجام ائوسن و سرآغاز الیگوسن همزمان با نفوذ توده‌های نفوذی گرانیات - گرانودیوریتی الیگوسن رخ داده است که باعث پیدایش حوضه‌های بین کوهستانی لازم برای نهشته شدن رسوبات آواری و کربناته الیگو- میوسن شده است. چنین می‌نماید که تکتونیک ملایم زون طارم در ارتباط با نفوذ توده‌های گرانیتی به درون این کمان ماگمایی باشد که باعث سخت شدن و پایداری آن در برابر فرآیندهای تکتونیک آلپ میانی و پسین شده است. زون سلطانیه که در حقیقت پی‌سنگ بالا آمده پرکامبرین - پالئوزوئیک در زون اصلی ایران مرکزی است، بصورت یک رشته طویل و باریک با روند شمال غرب - جنوب شرقی موازی با زون طارم است، دارای رخساره‌های سنگی پرکامبرین و پالئوزوئیک و حتی مزوزوئیک بطور کامل همسان البرز (نهشته‌های سازند کهر، سلطانیه، زاگون، لالون، میلا، شمشک و لار) است و چنین می‌نماید که در زمان پرکامبرین تا سرانجام

ژوراسیک حوضه رسوبی واحدی را با البرز تشکیل می‌داده است. این زون بالاآمده باریک و دراز کشیده دارای مرز شمال شرقی گسله با حوضه فرورفته زنجان است و بالاآمدگی در امتداد گسله طویل را نشان می‌دهد. این گسله در بخش جنوب خاوری زون سلطانیه در خارج از محدوده ورقه، پرشیب و با جابجایی امتداد لغز چپ گرد است و در گوشه جنوب شرقی محدوده زنجان از جنوب بایندور تا جنوب غربی چورزق شیب آن به ۳۰ تا ۴۰ درجه بطرف جنوب باختر شده و بصورت تراست نمایان می‌شود و سپس بسوی شمال غرب دوباره عملکرد امتداد لغز چپ گرد با شیب زیاد یافته است. گسله سلطانیه یک گسله پی‌سنگی و عمیق کهن است که تکاپوی آن از پالئوزوئیک به بعد آغاز شده ولی اوج تکاپوی آن از ائوسن به بعد (الیگوسن؟) بوده است. گسله‌های عرضی پرشماری با روندهای شمال غرب - جنوب شرقی و شمال شرقی - جنوب غربی گسله اصلی و زون سلطانیه را قطع کرده‌اند که به احتمال گسله‌ها بطور عمده جابجایی امتداد لغز راست گرد (گسله‌های شمال غرب - جنوب شرقی) و یا چپ گرد (گسله‌های شمال شرق - جنوب غربی) دارند (سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۸۶).

۲-۵- زمین‌شناسی اقتصادی

محدوده زنجان از دو پهنه ساختاری - فلزایی عمده ساخته شده است؛ یکی زون طارم با ویژگی‌های کمان ماگمایی در بخش شمال شرقی زنجان، و دیگری زون سلطانیه با ویژگی رسوبی کهن (پی‌سنگ بالاآمده پرکامبرین - پالئوزوئیک)، مزوزوئیک و ترسیر که توسط توده‌های گرانیتی کهن (دوران) و ترسیر (خرمدره) تحت تأثیر قرار گرفته است.

- در زون طارم ترادف ضخیم آتشفشانی و آتشفشانی - آواری ائوسن توسط توده‌های نفوذی گرانیتی - گرانودیوریتی پس از ائوسن (الیگوسن؟) تحت تأثیر قرار گرفته و زون‌های دگرسانی گرمایی گسترده‌ای همراه با رگه‌های سیلیسی مس، سرب، روی، طلادار، در آن پدیدار شده است.

- در زون سلطانیه به دلیل گسترش وسیع نهشته‌های پرکامبرین با پالئوزوئیک و مزوزوئیک، کانی‌سازی فلزی شایان توجهی دیده نمی‌شود و تنها در ارتباط با نفوذ توده گرانیته دوران به درون این نهشته‌ها یکسری کانی‌سازی آهن بصورت هماتیت رخنمون دارد که با وجود عیار بالای آهن از ذخیره‌ای شایان توجه برخوردار نیستند. کانی‌سازی غیرفلزی نظیر سیلیس در واحد کوارتزیتی فوقانی، زغال سنگ در نهشته‌های سازند شمشک و فلدسپات و کائولن در بخش هوازده و دگرسان شده گرانیته دوران در این زون در محدوده زنجان رخنمون دارد که بخش خصوصی از آن‌ها در حال بهره برداری است. مهمترین کانه‌های فلزی و غیرفلزی موجود در زون سلطانیه واقع در محدوده زنجان به شرح زیر است:

۲-۵-۱- آهن

کانسارها و نهشته‌های معدنی آهن متعددی در پهنه سلطانیه در شمال و شرق توده گرانیته دوران درون واحدهای دولومیتی سازندهای باروت و سلطانیه رخنمون دارند. در شمال روستاهای شاه بلاغ و کاوند نیز کانی‌سازی آهن بصورت هماتیت در واحد دولومیتی توده‌ای سازند سلطانیه رخنمون دارد و به اشکال نامنظم رگه و عدسی دیده می‌شود که پیش‌تر از آن‌ها بصورت روباز بهره برداری شده است.

۲-۵-۲- ذغال سنگ

در نهشته‌های سازند شمشک شماری لایه‌های نازک ذغال دیده می‌شود که بیشترشان ارزش اقتصادی ندارند. تنها در شمال خاور روستای قضاوت، در جایی که نهشته‌های سازند شمشک در ارتباط با یک گسل امتداد لغز شمالی - جنوبی در مجاور نهشته‌های سازند بایندور قرار می‌گیرد.

۲-۵-۳- مس

درون واحد سازند کرج در خاور روستای داشکن کانی‌سازی مس بصورت رگچه‌های نازک مالاکیت در سطوح شکستگی واحد توفی رخنمون دارد که هم از نظر عیار و هم از نظر ذخیره، اقتصادی به نظر نمی‌رسد.

۲-۵-۴- فلدسپات و کائولن

توده گرانیتی دوران بدلیل نداشتن کانی‌های آهن‌دار و همچنین برخورداری از هوازدگی شدید به مجموعه‌های پودری و نرم سفیدرنگی تبدیل شده‌اند که به عنوان ماده اولیه صنایع سرامیک قابل بهره برداری هستند. در حاشیه جنوبی توده بزرگ گرانیتی باختر زنجان در نزدیکی روستای مرصع یک بخش دگرسان شده کائولینیتی وجود دارد که از آن بصورت محدود بهره برداری شده است.

۲-۵-۵- سیلیس

افق کوارتزیتی فوقانی یا تاپ کوارتزیت در اغلب نواحی جنوب شرقی زنجان با ضخامت ۵۰ تا ۶۰ متر به عنوان ماده اولیه صنعت شیشه قابل بررسی است و در بسیاری از موارد از آن بهره برداری می‌شود.

۲-۵-۶- آگات و کلسدوئن

در جنوب زنجان در خاور روستای دیزه چند افق آندزیتی در داخل واحد سازند کرج وجود دارد که دربردارنده ژئودهای فراوانی از کلسدوئن و آگات به رنگ‌های سفید تا مایل به آبی هستند و به عنوان کانی‌های گوهرین باید بررسی شوند.

۲-۵-۷- سنگ‌های ساختمانی

بخش‌های توفی سخت و بخش‌هایی از گدازه‌های آندزیتی (a) در سازند کرج و نیز بخش‌های ماسه‌سنگی لالون و دولومیت‌های سازند سلطانیه بعنوان سنگ‌های ساختمانی (سنگ لاشه و مالون) در ساخت بناها و پل‌ها بکار می‌رود (سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۸۶).



فصل سوم

زمین شناسی و سنگ شناسی منطقه معدنی

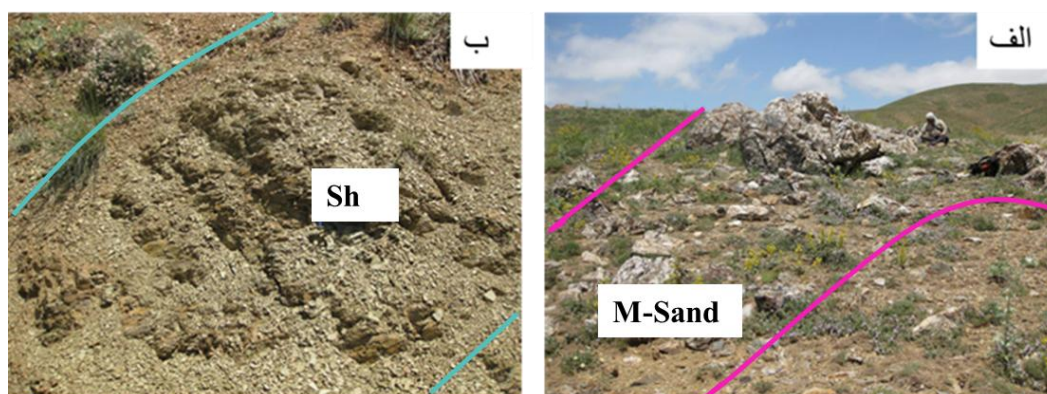


۳-۱- مقدمه

محدوده اکتشافی کاوند از نظر زمین‌ساختی در پهنه ایران مرکزی واقع می‌باشد (شکل ۱-۲). این محدوده در چهار گوش زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ زنجان و چهار گوش زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ زنجان قرار دارد و بین طول‌های جغرافیایی $۴۸^{\circ} ۰۴' ۰۴''$ تا $۴۸^{\circ} ۱۱' ۰۲''$ شرقی و عرض‌های $۳۶^{\circ} ۳۷' ۱۲''$ تا $۴۰' ۲۴''$ شمالی محدود می‌باشد، و مساحتی در حدود ۷۳ کیلومتر مربع را دربر می‌گیرد. بر اساس اطلاعات نقشه‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس (۱/۵۰۰۰) در محدوده کاوند از قدیم به جدید سازندهای کهر، گرانیت دوران، بایندر، سلطانیه، باروت و اثرات معدنی آهن گزارش شده است. به منظور مطالعه زمین‌شناسی و بررسی نحوه کانه‌زایی و عوامل مؤثر در تشکیل کانسار، به تهیه نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس ۱/۵۰۰۰ اقدام شده است. این نقشه در چارچوب برداشت‌های صحرایی تحقیق حاضر و با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی نقشه‌های موجود، نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده است. با توجه به نوع کانسار و اهمیت سنگ‌شناسی در کانه‌زایی، به بررسی توالی سنگ چینه‌ای، سنگ میزبان کانی-سازی، توده‌های نفوذی و دیگر پدیده‌های زمین‌شناسی در محدوده مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

۳-۲- چینه‌شناسی

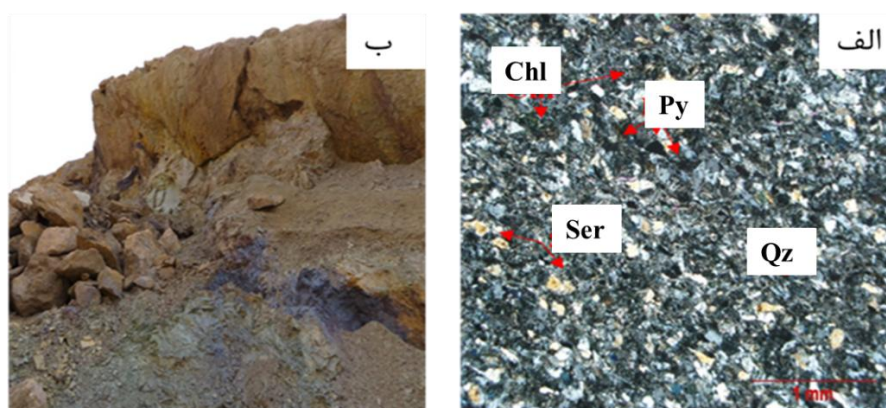
بر پایه نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ کاوند واحدهای زمین‌شناسی از قدیم به جدید به صورت زیر می‌باشد (شکل ۱-۳):



شکل ۳-۲- الف) برونزد میان لایه‌های کوارتزی در واحد دگرگونه پرکامبرین (Mt_1) ب) لایه‌های شیل و اسلیت مربوط به واحد دگرگونه Mt_2

۳-۲-۲- نهشته‌های آواری سازند کهر ($P \in k$)

سازند کهر جزو سازندهای قدیمی با سن پرکامبرین بوده که در نقاط مختلف دارای رخساره‌های متفاوتی می‌باشد ولی غالباً به قدیمی‌ترین نهشته‌های آواری در ایران شهرت داشته و مجموعه‌ای از شیل، شیل اسلیتی، توف، توف اسلیتی و ... را شامل می‌شود (شکل ۳-۳ ب). مرز پایینی این سازند با واحد Mt_2 بطور نامشخص است و مرز بالایی آن سازند تخریبی بایندر می‌باشد. لیتولوژی غالب این سازند در محدوده مورد مطالعه، توف ریولیتی و اسلیت توفی می‌باشد. این سازند دارای کانی‌های کوارتز، مسکویت، کلریت، سریسیت، کانی‌های رسی (ایلیت)، فلدسپات (پلاژیوکلاز و ارتوز) و پیریت می‌باشد (شکل ۳-۳ الف). بخشی از کانی‌سازی اکسیدهای آهن (اولیژیست و هماتیت) در این سازند وجود دارد (شکل ۳-۳ ب).



شکل ۳-۳- تصویر میکروسکوپی کانی‌های پیریت (Py)، کلریت (Chl)، سرسیت (Ser) و کوارتز (Qz) سازند کهر ، (ب) کانی سازی اکسیدهای آهن در سازند کهر

۳-۲-۳- نهشته‌های سازند بایندر (€ br)

نهشته تیپ این سازند در شمال - شمال شرقی روستای دوران و در کوه بایندور می‌باشد که تناوبی از ماسه سنگ و شیل سیلتی ارغوانی میان لایه‌های دولومیت قهوه‌ای چرت‌دار با مرز ناهمساز در آنجا مشاهده شده که خود بگونه همساز در زیر واحد دولومیتی سازند سلطانیه قرار گرفته است (شکل ۳-۴). در تماس این واحد با توده گرانیتی دوران هیچگونه آثار دگرگونی دیده نمی‌شود. در محدوده مورد مطالعه در بخش‌های مرکزی و غربی، برونزدهایی از این سازند با ترکیب شیل و ماسه سنگ میکادار ارغوانی برونزد داشته که در بخشهایی مرز آن گسله می‌باشد. این واحد در واقع برروی سازند کهر در محدوده قرار دارد.

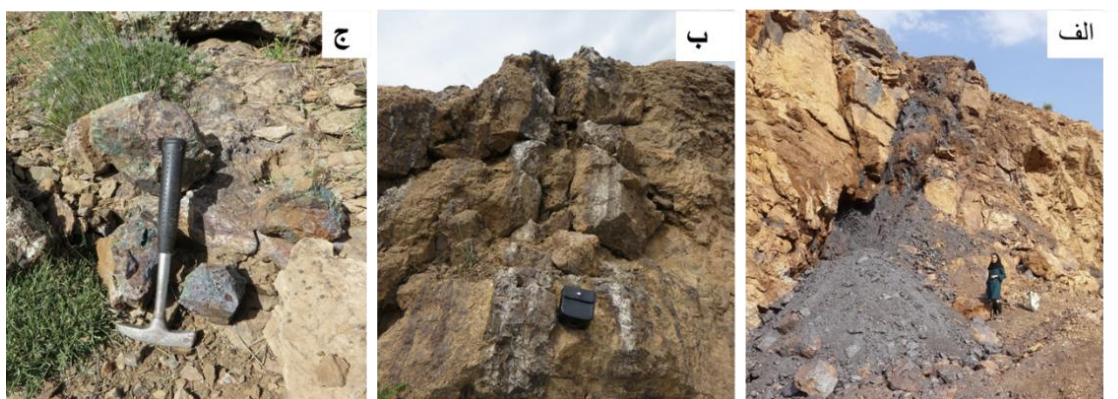


شکل ۳-۴ - شیل و ماسه سنگ ارغوانی سازند بایندور

۳-۲-۴ - نهشته‌های سازند سلطانیه (€s)

در زنجان نهشته‌های سازند سلطانیه گسترشی زیاد دارند و به سه بخش دولومیت توده‌ای گرhek چرت‌دار در زیر (€s₁)، شیل رسی خاکستری تا سیاه رنگ (چپقلو) در میان (€ch) و دولومیت‌های لایه لایه زرد رنگ دارای نوارهای چرت (€s₂) در بالا، قابل تقسیم است. آنچه که از لحاظ زمین‌شناسی اقتصادی در این محدوده حائز اهمیت می‌باشد، وجود توده ضخیمی از سنگ‌های کربناته با ترکیب آهک دولومیتی و دولومیت می‌باشد که جایگاه مناسبی جهت تشکیل ذخایر معدنی در منطقه شده است، بطوریکه در بخش‌های تخریبی منطقه (شیل و ماسه سنگ و...) هیچ‌گونه آثار و شواهد کانی سازی دیده نشده و وجود سنگ میزبان کربناته امتیاز مهمی در نهشت سیال بوده است. معادن آهن الیژیستی منطقه نظیر معدن حسین آباد، شاه‌بولاغی و... نیز در این محیط تشکیل شده‌اند. در این سنگها و در نقاط مختلف آن مناطق سیلیسی - اکسید آهنی (گوتیت، هماتیت، لیمونیت) برونزد دارد که غالباً به دلیل فشارهای تکتونیکی برشی شدند. در این سازند کانی‌های اکسیدهای آهن (اولیژیست، هماتیت، گوتیت، لیمونیت)، مس

(کالکوپیریت، کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت)، اکسیدهای منگنز (مگنتیت، پسیلوملان، پیرولوسیت)، باریت، طلا و پیریت و ... وجود دارد (شکل ۳-۵ د، ن، ه). بخش عمده‌ای از کانی‌سازی در منطقه کاوند در این سازند وجود دارد که شامل کانی‌سازی طلا، آهن، مس، باریت و ... می‌باشد (شکل ۳-۵ الف، ب، ج).



شکل ۳-۵- کانی‌زایی‌های موجود در دولومیت‌های سازند سلطانیه (الف) اولیژیست و هماتیت، (ب) رگه‌های باریت در دولومیت، (ج) رگه‌های کوارتز مس‌دار در دولومیت

۳-۲-۵- نهشته‌های سازند باروت (€ bt)

بر روی دولومیت‌های سازند سلطانیه، با مرز همساز و تدریجی، ترادفی از شیل میکایی ارغوانی - قرمز با میان لایه‌های نازک آهک دولومیتی چرت‌دار جای می‌گیرد. این مجموعه را می‌توان هم‌ارز کامبرین زیرین پنداشت. در بخش میانی محدوده در بین دو گسل طولی قطعه‌ای به شکل چین‌های ناودیس‌گون برونزد داشته که از جنوب به شمال ابتدا با شیبی به سمت جنوب - جنوب غرب سازند سلطانیه بر روی بایندور قرار گرفته، سپس با حرکت بسمت شمال، با مرز گسله شیب لایه‌ها بسمت شمال - شمال شرق شده و سازندهای باروت و زایگون بر روی بایندور قرار گرفته است.

۳-۲-۶- نهشته‌های سازند زایگون (€ z)

نهشته‌های سازند باروت به سوی بالا به تدریج به یک مجموعه یکنواخت شیل رسی و سیلتی با رنگ قرمز مایل به قهوه‌ای تیره تبدیل می‌شود که حاوی بین لایه‌های ماسه سنگی با آثار ریپل مارک و چینه بندی چلیپایی می‌باشد (شکل ۳-۶). این سازند در محدوده مورد مطالعه در نوار شمالی محدوده برروی سازند باروت و زیر سازند میلا قرار گرفته و توپوگرافی ملایمتری دارد.



شکل ۳-۶- همبری سازند شیلی و ماسه سنگی زایگون با سازند شیلی و دولومیتی باروت

۳-۲-۷- نهشته‌های پرمین

در محدوده اکتشافی کاوند، نهشته‌های مربوط به سازندهای کامبرین میانی تا کربونیفر رخنمون ندارد و نهشته‌های مربوط به پرمین با مرز ناهم‌ساز و گسله بر روی نهشته‌های کربناته سازند سلطانیه جای گرفته است. از نظر اختصاصات سنگ چینه‌ای همسان واحد آهکی سازند روته در البرز است. در بخش شرقی محدوده، با مرز گسله برروی سازند سلطانیه قرار گرفته و شامل آهک نازک تا متوسط لایه خاکستری رنگ با توپوگرافی ملایم می‌باشد. این سنگ آهک غنی از فسیل است.

۳-۲-۸- نهشته‌های کوهپایه‌ای پلیستوسن

در بخش‌های جنوبی محدوده دشت حاصلخیزی از رسوبات کواترنر پوشیده شده که در دیواره رودخانه-های اصلی آن می‌توان رسوبات جوان متعلق به پلیستوسن را مشاهده نمود. این واحد از تناوب مارن، ماسه سنگ و کنگلومرا تشکیل شده و در بخش‌های جنوبی و خارج از محدوده بصورت تپه‌های به هم چسبیده با سطوح فرسایشی صاف و یک سطح، گسترش دارد. واحد (PI^C) کنگلومرای است که در دشت رخنمون دارد و در بخش جنوبی محدوده و خارج از کادر نقشه قرار می‌گیرد (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷- تناوب کنگلومرا، مارن متعلق به پلیستوسن در دیواره رودخانه‌های محدوده

۳-۲-۹- نهشته‌های کواترنر

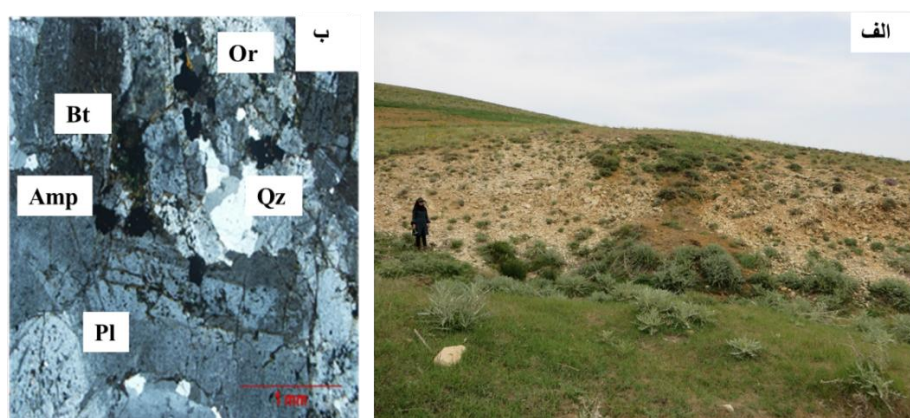
نهشته‌های آبرفتی کواترنر در محدوده مورد مطالعه، بطور عمده در بخش جنوبی و دشت گونه منطقه قرار دارند. روستاهای کاوند، حسین آباد و شاه‌بولاغی در این دشت واقع شده و نیز زمین‌های کشاورزی و باغات زیادی در منطقه دیده می‌شود. این رسوبات بطور عمده شامل پادگانهای قدیمی آبرفتی (Q_1^I) با ترکیب عمدتاً کنگلومرا و خیلی کم سیلت و کلی و آبرفت‌های جوان بستر کنونی رودخانه‌ها (Q^{al}) است.

۳-۲-۱۰- توده‌های نفوذی محدوده

توده‌های نفوذی موجود در محدوده مورد مطالعه شامل توده گرانیت دوران متعلق به پرکامبرین و توده‌های نیمه عمیق با ترکیب دیوریت و گابرویی مربوط به زمان ترشیاری (پس از الیگوسن) می‌باشند که شرح خلاصه هر یک بصورت زیر است:

۳-۲-۱۰-۱- توده گرانیتی دوران

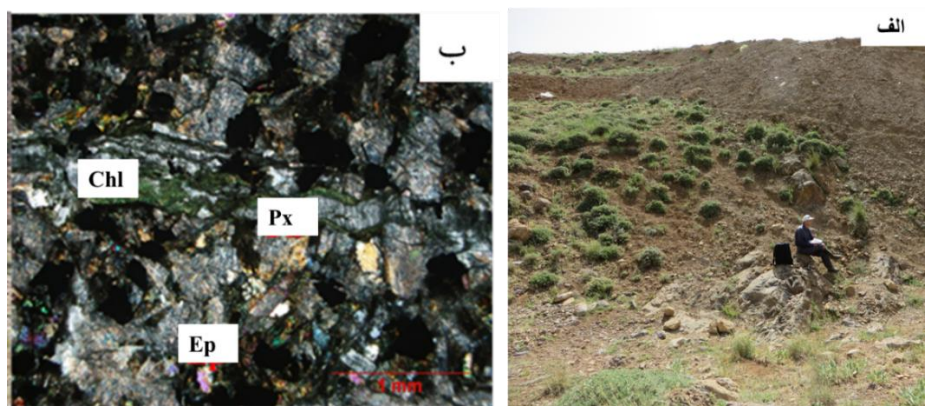
از کهن‌ترین تکاپوی ماگمایی می‌توان به دو رخمون گرانیتی روشن رنگ اشاره نمود که به گرانیت دوران معروف است که در پیرامون روستای دوران، در جنوب غربی شهر زنجان مشاهده می‌شود. در محدوده مورد مطالعه توده گرانیتی غرب روستای شاه‌بلاغی واقع شده و در ظاهر گرانیتی آلتزه با کانی‌های تیره بسیار کم و ظاهری سفید و زرد دارد. توده گرانیت دوران در منطقه ما رخمون دارد (شکل ۳-۸ الف). این توده نفوذی دارای کانی‌های کوارتز، فلدسپات (پلاژیوکلاز و ارتوز)، آمفیبول و بیوتیت می‌باشد (شکل ۳-۸ ب).



شکل ۳-۸- الف) نمایی از برونزد گرانیت دوران در محدوده مورد مطالعه، ب) تصویر میکروسکوپی از گرانیت دوران دارای کانی‌های کوارتز (Qz)، پلاژیوکلاز (Pl)، آمفیبول (Amp)، ارتوز (Or)، بیوتیت (Bt) می‌باشد.

۳-۲-۱۰-۲-۳- توده‌های آذرین نیمه عمیق (P)

شمار معدودی توده های کوچک نیمه عمیق با ترکیب دیوریتی تا گابرویی با بافت پورفیری در واحدهای سنگی محدوده برونزد داشته که بطور عمده واحدهای سنگی پرکامبرین پسین - پالئوزوئیک زیرین (سازند سلطانیه) و حتی جوانتر را قطع کرده‌اند، این توده‌های کوچک و دایک مانند بطور عمده به پیکر تنه‌های دراز و باریک در امتداد گسل‌ها و سطوح تراستی رخنمون دارند (شکل ۳-۹ الف). ترکیب سنگ- شناسی آنها دیوریت - گابرو نشان می‌دهند. با توجه به موقعیت چینه‌ای گمان می‌رود این توده‌های نیمه عمیق و دایکهای مربوط دارای سن ترسیر و به احتمال زیاد پس از الیگوسن هستند. در این توده دارای کانی‌های اپیدوت، کلریت، پیروکسن، پیریت و مگنتیت است (شکل ۳-۹ ب).



شکل ۳-۹- نمایی از برونزد توده آذرین نیمه عمیق در منطقه مورد مطالعه، (ب) تصویر میکروسکوپی از توده آذرین نیمه عمیق که دارای کانی‌های کلریت (Chl)، اپیدوت (Ep)، پیروکسن (Px) و کانی‌های اپک آن پیریت و مگنتیت می‌باشد

۳-۳- تکتونیک و زمین‌شناسی ساختمانی

از نگاه زمین‌شناسی تاریخی، جایگیری نهشته‌های آواری - کربناته پرکامبرین بالایی - کامبرین زیرین (بایندور، سلطانیه، باروت و زایگون) به‌طور ناپیوسته بر روی نهشته‌های سازند کهر و نیز نفوذ توده گرانیتی دوران به‌درون نهشته‌های سازند کهر، می‌تواند نمودی از فاز کوهزایی آسنطیک در منطقه باشد.

نبود رخساره‌های سنگی مربوط به اردویسین تا پرمین آغازی در منطقه و جایگیری نهشته‌های پرمین درود بر روی نهشته‌های سلطانیه و میلا (خارج از محدوده مورد مطالعه)، نشان‌دهنده وجود یک فاز فرسایشی قوی در این فاصله زمانی در زیر پهنه‌ی سلطانیه است که به احتمال زیاد پی آمد فاز کوهزایی کالدونین می‌باشد. بر اثر فاز کوهزایی هرسینین و یا سیمین پیشین، واحدهای مربوط به تریاس در این منطقه دیده نمی‌شوند و سازند شمشک در خارج از محدوده مورد مطالعه با مرز ناهمسان بر روی واحدهای قدیمی‌تر نهشته شده است. مرز ناپیوستگی دیگری نیز در فاصله زمانی ژوراسیک بالایی و کرتاسه زیرین در این ناحیه وجود دارد که نشان‌دهنده یک فاز تکتونیکی پویا (به احتمال زیاد فاز کوهزایی کیمرین پسین) در این منطقه است. در فرا زمین سلطانیه، در طی کرتاسه واحدهای سنگی (بیشتر از نوع سنگ آهک) بر روی واحدهای قبلی ته‌نشست شده‌اند و نهشته‌های ترشیری با قاعده کنگلومرایی، در طی فاز کوهزایی لارامید، بر روی این واحدها گذاشته شده‌اند. بدلیل تحمل فازهای کوهزایی متعدد، در واحدهای سنگی منطقه، چین خوردگی و جابجایی‌های متعدد و غیر مشخصی را می‌توان مشاهده نمود. بطور مثال بخش شرقی محدوده توسط گسلی جدا و مشخص می‌باشد. این بخش به فرم تاقدیس در آمده بطوریکه دامنه جنوبی و مشرف به دشت شیپی به سمت جنوب - جنوب غرب داشته و در بخش‌های شمالی همین لایه‌ها شیپی بسمت شمال می‌یابد. در بخش میانی محدوده بین دو گسل با روند N20E قطعه‌ای مجزا به فرم ناودیس‌گون مشاهده شده و در بخش غربی شیب عمومی لایه‌ها بسمت شمال-شمال شرق است. این وضعیت پیچیده ناشی از عملکرد گسلهای امتداد لغز و نرمال و نیز چین خوردگی‌های متعدد می‌باشد که جملگی به سبب تحمل فازهای کوهزایی متعدد است.



فصل چهارم
کانه‌زایی و دگرسازی



۴-۱- مقدمه

منطقه معدنی کاوند از لحاظ زمین‌ساختی در زیر پهنه‌ی سلطانیه قرار دارد و بخشی از پهنه ایران مرکزی به حساب می‌آید. در این زیر پهنه، فعالیت‌های ماگمایی پرکامبرین پسین (گرانیت دوران) و ترشیری (گرانیت، دیوریت، گابرو و...) برجسته است. این منطقه با توجه به وجود پتانسیل‌های معدنی متعددی همچون آهن، طلا، مس، منگنز، سرب و روی، باریم و... دارای اهمیت اکتشافی بالایی است. آنچه که از لحاظ زمین‌شناسی اقتصادی و کانی‌زایی در این محدوده حائز اهمیت است، عملکرد فعالیت‌های ماگمایی ترشیر، کنترل کننده‌های تکتونیکی و چینه‌شناسی می‌باشد. سیالات کانه‌دار حاصل از فعالیت‌های ماگمایی در زونهای خرد شده و گسلی، چین خوردگی‌ها و حفرات سنگهای کربناتی و دیگر سنگها نهشت یافته و کانی‌سازی‌های متعددی از قبیل آهن، منگنز، طلا، مس، سرب، روی و... را تشکیل داده است. کانی‌زایی در محدوده کاوند بصورت اکسیدهای آهن (غالباً الیژیست) نظیر معادن فعال حسین آباد و گل‌بولاغی، عدسی و رگه‌های دست نخورده الیژیست و برونزدهای اکسید آهنی (گوتیت، هماتیت، الیژیست، لیمونیت) - سیلیسی - باریتی طلادار در سازندهای کهر، سلطانیه و باروت تشکیل یافته است. در این میان بخش عمده کانی‌سازی توسط دولومیت‌های سازند سلطانیه میزبانی می‌شود. در ادامه به ویژگی‌های کانی‌زایی و دگرسانی محدوده کاوند پرداخته می‌شود.

۴-۲- سنگ میزبان اصلی کانه‌زایی

سنگ میزبان اصلی کانه‌زایی در منطقه کاوند سنگهای دولومیتی سازند سلطانیه است. با توجه به شواهد میکروسکوپی، سنگهای دولومیتی منطقه کاوند از نوع دولومیت‌های نوع اول (دولومیکرایت) است. این نوع دولومیت‌ها بلورهای ریز و بی‌شکل دارند، اندازه بلورها در این دولومیت‌ها کمتر از ۵ تا ۱۶ میکرون در تغییر است. بلورهای دولومیت اکثراً بی‌شکل و تعداد کمی از آنها به صورت نیمه شکل دارند. اکثر این نوع

دولومیت‌ها توسط رگه‌های استیلولیتی قطع شده‌اند که این بیانگر تأخیر فرایند انحلال فشارشی نسبت به تشکیل دولومیت نوع یک است. از دیگر خصوصیات این رخساره، می‌توان به وجود ذرات ریز کوارتز در اندازه سیلت اشاره نمود. این نوع دولومیت‌ها بر اساس تقسیم‌بندی گرگ و سیبلی (۱۹۸۷) و شلتون (۱۹۹۰) دولومیت‌های نوع یک با حالت صفحه‌ای و دمای پائین می‌باشند و تحت شرایط سطحی و در محیط‌های سوپراتایدال تا قسمت بالایی اینترتایدال تشکیل می‌شود. دولومیت‌ها تحت شرایط گوناگون و در دمایی بین ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد (دولومیت هیدروترمالی) تا ۲ درجه سانتی‌گراد (دولومیت‌های آب سرد) تشکیل می‌شوند و در این بین دولومیت‌های پرکامبرین از نوع دولومیت‌های آب سرد هستند، که دولومیت‌های سلطانیه منطقه کاوند با توجه به سن تشکیل (پرکامبرین پسین) از این نوع دولومیت‌ها می‌باشند (Zenger et al., 1980; Machel and Mountjoy, 1986; Shukla and Baker, 1988; Purser et al., 1994; Flood and Chivas, 1995; Adabi, 2002).

۴-۳- کانه‌زایی

در منطقه کاوند، کانی‌سازی‌ها از نوع اکسیدهای آهن (الیژیست، هماتیت، گوتیت، لیمونیت و...)، اکسیدهای منگنز (پیرولوسیت و پسیلوملان)، باریت، مس (کالکوپیریت، کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت)، طلا، پیریت و... می‌باشد، و به وسیله‌ی سنگ‌های سازنده‌های کهر، سلطانیه و باروت میزبانی می‌شود. سنگ میزبان غالب کانی‌سازی دولومیت‌های سازند سلطانیه است. بر اساس مشاهدات صحرایی و همیافتی کانی‌شناسی، کانی‌سازی به بخش‌های اکسید آهن (عمدتاً اولیژیست)، اکسید آهن-طلا، اکسید آهن-کوارتز-باریت-طلا و اکسید آهن-کوارتز-طلا-مس قابل تفکیک است. از نظر شکل، کانی‌سازی به صورتهای رگه - رگچه‌ای، عدسی، برشی و پراکنده مشاهده می‌شود.

۴-۳-۱- کانی‌سازی اکسید آهن

کانه‌زایی اکسید آهن با سنگهای دولومیت سازند سلطانیه و سازند کهر میزبانی می‌شود و شکل کانی‌سازی آنها به صورت رگه، رگچه‌ای، عدسی و برشی می‌باشد که ابعاد رخنمون آنها از چند سانتی‌متر تا چند متر تغییر می‌کند. کانی‌های تشکیل‌دهنده این رگه‌ها اولیژیست، هماتیت، گوتیت و لیمونیت می‌باشد (شکل ۴-۱ الف، ب).



شکل ۴-۱- الف) کانی‌سازی اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت، لیمونیت) در دولومیت سلطانیه و ب) کانی‌سازی اکسیدهای آهن (اولیژیست و هماتیت) در سنگهای دولومیتی سازند سلطانیه

۴-۳-۲- کانی‌سازی اکسید آهن - کوارتز - باریت

کانه‌زایی اکسید آهن - کوارتز - باریت با سنگهای دولومیت سازند سلطانیه میزبانی می‌شود و شکل کانی‌سازی آنها به صورت رگه، رگچه‌ای و برشی می‌باشد که ابعاد رخنمون آنها از چند سانتی‌متر تا ۲ متر هم می‌رسد. کانی‌های آن عمدتاً اکسیدهای آهن (اولیژیست، هماتیت، گوتیت، لیمونیت)، کوارتز، باریت می‌باشد و طلا و مس با آنها همراهی نمی‌شود (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲- رگه‌های اکسید آهن - کوارتز - باریت که فاقد طلا می‌باشد.

۴-۳-۳- کانی‌سازی اکسید آهن - کوارتز - باریت - طلا

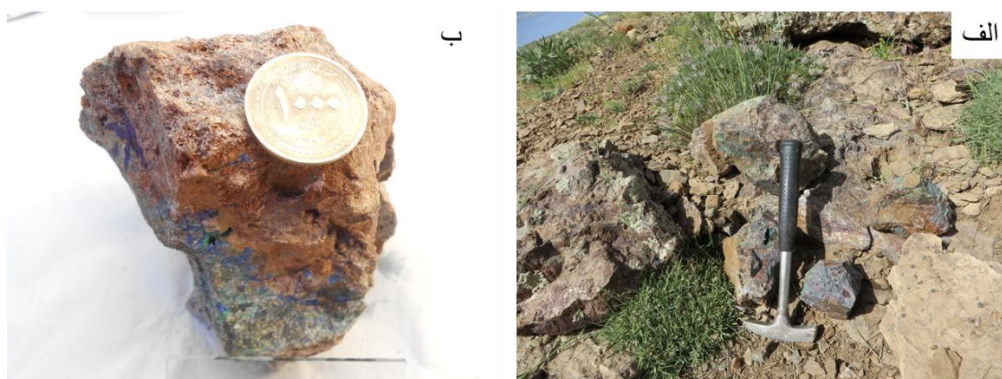
کانه‌زایی اکسید آهن - کوارتز - باریت - طلا با سنگهای دولومیت سازند سلطانیه میزبانی می‌شود و شکل کانی‌سازی آنها به صورت رگه، رگچه‌ای، برشی و پرکننده فضاها می‌باشد که ابعاد رخنمون آنها در محدوده کاوند از چند سانتی‌متر تا چند متر هم می‌رسد. کانی‌های موجود در آن شامل اکسیدهای آهن (اولیژیست، هماتیت، گوتیت و لیمونیت)، کوارتز، باریت و طلا می‌باشد (شکل ۴-۳).



شکل ۴-۳- رگه‌های کانه‌زایی اکسید آهن - کوارتز - باریت، طلا

۴-۳-۴- کانی‌سازی اکسید آهن - کوارتز - سولفید طلا

این نوع کانه‌زایی توسط سنگ دولومیت سلطانیه میزبانی می‌شود و دارای شکل کانی‌سازی رگه‌ای و در ابعاد حدود ۲ متر در ۲۰ متر رخمون می‌باشد. کانی‌های موجود در این رگه شامل اکسیدهای آهن (اولیژست، هماتیت، گوتیت، لیمونیت)، کوارتز، سولفید (کالکوپیریت، کالکوسیت)، ملاکیت و آزوریت و پیریت می‌باشد (شکل ۴-۴ الف، ب). در تجزیه‌های شیمیایی مقدار طلا برداشت شده از این رگه‌ها ۹۸۴۴ میلی گرم در تن بوده است.



شکل ۴-۴- رگه‌های اکسید آهن، کوارتز، سولفید طلا دار، (ب) نمونه دستی از اکسیدهای آهن، کوارتز، سولفید طلا دار

۴-۴- دگرسانی

هر گونه تغییر ترکیب کانی‌شناسی، شیمیایی و فیزیکی که توسط فرایندهای شیمیایی و یا فیزیکی، در سنگ ایجاد می‌شود، تحت عنوان دگرسانی یا آلتراسیون نامیده می‌شود. دگرسانی می‌تواند در طی فرایند سنگ‌شدگی یا دیاژنز رسوبات، در فرایندهای ناحیه‌ای نظیر دگرگونی و نیز فعالیت‌های بعد از ماگماتیسم یا ولکانیسم و همچنین به عنوان فرآورده‌های حاصل از کانی‌سازی ظاهر شود (گیلبرت و پارک، ۱۹۹۷). در زمین‌شناسی اقتصادی بر نوع خاصی از دگرسانی تأکید می‌شود که در آن، سیالات داغ عامل دگرسانی شناخته می‌شوند. سنگهای در بر هستند و این واکنش، تا زمان به تعادل رسیدن آنها ادامه می‌یابد و

نتیجه آن، به وجود آمدن محدوده‌ای دگرسان شده در سنگهای در برگیرنده ماده معدنی است. ضخامت این محدوده، در رگچه‌های معدنی در حد چند میلی‌متر و در اطراف رگه‌های عریض معدنی در حد چند متر و در اطراف کانسارهای پورفیری در حد چند کیلومتر است. به عبارت دیگر، سیالات گرمابی از طریق تخلخل اولیه (فضاهای خالی بین ذرات) و یا تخلخل ثانویه (شکستگی‌ها) ایجاد شده در سنگها، تا مسافت‌های زیاد جابه‌جا شده و سبب ایجاد دگرسانی در سنگهای دیواره می‌گردند (Taylor, 1986). محصولات و فرایندهای دگرسانی که همراه کانه‌زایی وجود دارند یکی از بنیان‌های شناسایی فرآیندهای مربوط به نحوه تشکیل کانسار است و باعث پیشرفت در تکنیک‌های اکتشافی می‌شود (Lentz, 1998). مواد معدنی گوناگونی که در روند تشکیل و تکامل کانسار بر جای گذاشته می‌شوند، ناشی از ناپایداری کمپلکس‌های حمل‌کننده فلزات در سیالاتی است که رکن اساسی تشکیل کانسار بشمار می‌روند. تغییر شرایط P-T-X سیال، در طی برجای گذاشتن مواد معدنی یا پس از آن، موجب می‌شود تا بازتاب این تغییر، بصورت واکنش با سنگ میزبان سیلیکاته، در اثر اکتیویته بالای این کمپلکس‌ها، نمود پیدا کند. لذا سیالات، به ویژه سیالات کانه‌زا، در ایجاد دگرسانی نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند. تغییراتی که دگرسانی در سنگ‌ها ایجاد می‌کند به مشخصات خاستگاه، سیال کانه‌دار، حرارت و فشار انجام واکنش، بستگی دارد (یعقوب پور ، ۱۳۸۳). بسته به ترکیب سنگ میزبان، توده نفوذی و ویژگی‌های سیال (دما، حجم سیال، ترکیب شیمیایی سیال و...)، انواعی از دگرسانی‌ها را می‌توان انتظار داشت.

۴-۴-۱- دگرسانی‌های موجود در منطقه

ورود توده نفوذی به درون واحدها و صعود سیالات ماگمایی، منجر به رخداد دگرسانی و کانی‌زایی در توده نفوذی و سنگ‌های میزبان گردیده است. براساس مطالعات صحرایی، میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD، بر

روی تعدادی از نمونه‌های برداشت شده از منطقه، به طور عمده دگرسانی‌ها از نوع آرژلیک، سیلیسی، اکسید آهنی، کربناتی، کلریتی، سرسیتی و اپیدوتی هستند.

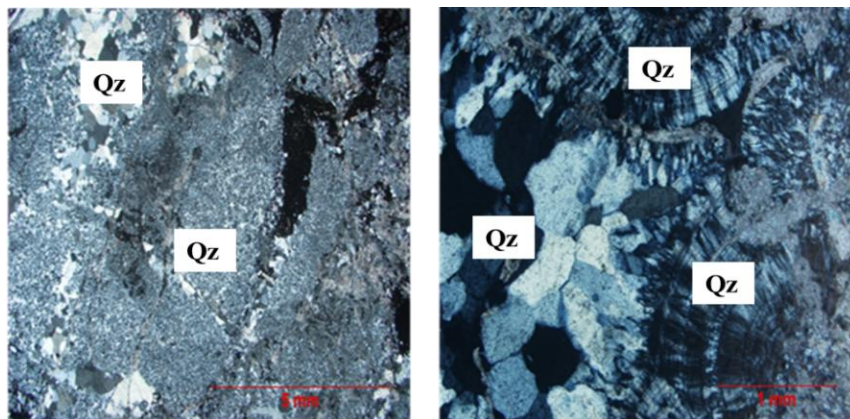
۴-۱-۱-۴-۱- دگرسانی آرژلیک

دگرسانی آرژلیک، که به واسطه حضور کانی‌های رسی مشخص می‌شود، در شرایط کاملاً اسیدی رخ می‌دهد. با کاهش دمای سیالات گرمایی و کاهش فعالیت K^+/H^+ تمامی کاتیون‌های قلیایی از سنگ خارج شده، در چنین شرایطی کانی‌های رسی تشکیل می‌گردند. در طی دگرسانی، فلدسپات‌ها به کانی‌های رسی تبدیل می‌شوند. در منطقه کاوند سنگهای گرانیته تیپ دوران به کانی‌های رسی تبدیل شده و نمادی از دگرسانی آرژلیک می‌باشند و به طور محلی به عنوان ماده معدنی کائولن استخراج می‌شود. مطالعات میکروسکوپی مقاطع این دگرسانی نشان دهنده آن است که اغلب پلاژیوکلازها و فلدسپات‌ها به طور بخشی و گاه کامل از حواشی و مرکز بلور به کانی‌های رسی (کلریت) تبدیل شده است (شکل ۳-۸ الف، ب).

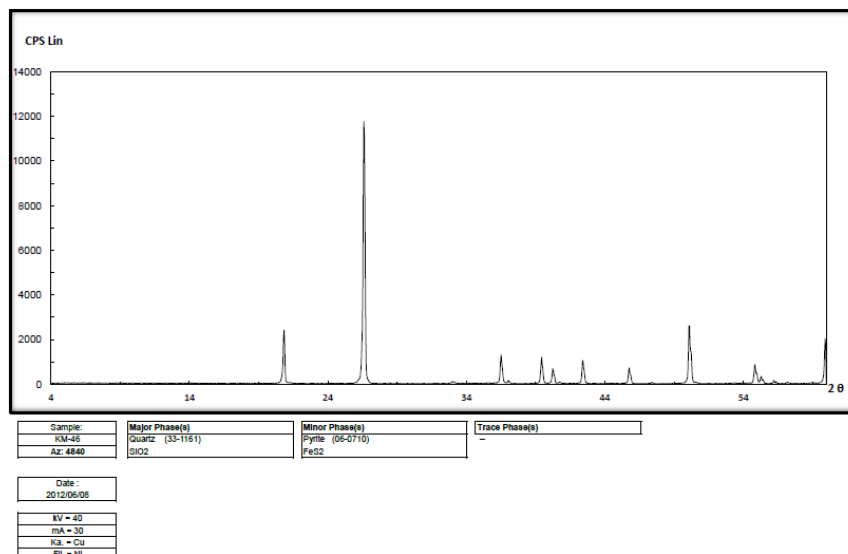
۴-۱-۲-۴-۱- دگرسانی سیلیسی

دگرسانی سیلیسی، نتیجه افزایش مقدار درصد کوارتز یا سیلیس میکروکریستالین در سنگ‌های دگرسان شده است. قابلیت انحلال سیلیس با افزایش دما و فشار افزایش می‌یابد و در فشار و درجه حرارت پایین به راحتی نهشته می‌شود (پیراژنو، ۱۹۹۲). سیلیسی‌شدن سنگ‌ها به روش‌های مختلفی رخ می‌دهد: از جمله؛ الف- به علت انحلال و شستشوی کاتیون‌های موجود در سنگ دیواره، مقدار سیلیس افزایش یافته است. ب- از طریق دیگر منابع، مانند افزوده شدن محلول‌های ماگمایی و گرمایی غنی از سیلیس به سنگ (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۴). همچنین در مواردی، به علت تبدیل کانی‌ها در طی دگرسانی، سیلیس حاصل می‌شود که این سیلیس به وجود آمده، در مجموعه پاراژنتیکی دگرسانی وارد می‌گردد. این

دگرسانی در منطقه کاوند با دو نسل کوارتززایی وجود دارد (شکل ۴-۵). طبق داده‌های نمونه‌های XRD وجود دگرسانی سیلیسی اثبات شده است که دارای کانی کوارتز و مقدار جزئی پیریت می‌باشد (شکل ۴-۶).



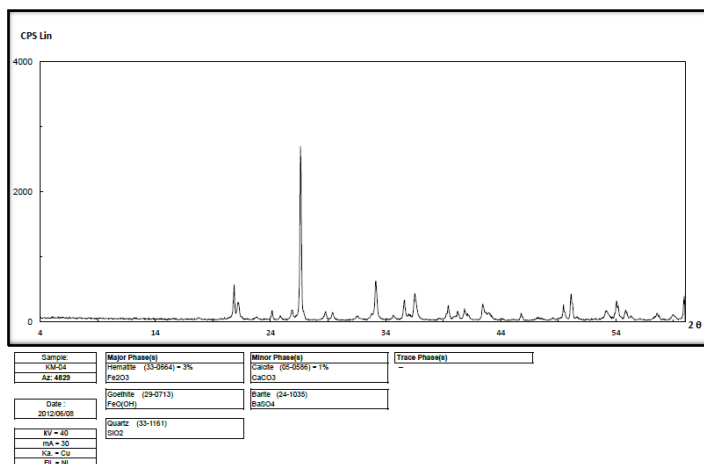
شکل ۴-۵ - دگرسانی سیلیسی با دو نسل کوارتززایی ریز دانه و درشت دانه در مقیاس میکروسکوپی



شکل ۴-۶ - نمونه XRD دگرسانی سیلیسی که دارای کانی کوارتز و به مقدار جزئی پیریت می‌باشد.

۴-۱-۳- دگرسانی اکسید آهنی

دگرسانی اکسید آهن فراگیرترین نوع دگرسانی در محدوده کاوند است و به صورت عدسی و رگه - رگچه‌ای در سراسر منطقه کاوند مشاهده می‌شود. اکسیدهای آهن به صورت کانی‌های اولیژیست، هماتیت، گوتیت، لیمونیت مشاهده می‌شود و به وسیله‌ی کانی‌های کوارتز، باریت و کربنات‌ها همراهی می‌گردند (شکل ۳-۵ الف، ب، ج). به نظر می‌آید که آهن لازم برای تشکیل کانه‌های آهن‌دار توسط سیالات گرمایی به محیط کانی‌سازی آورده شده است و در شرایط مناسب نهشته شده‌اند. داده‌های نمونه-های ارسال شده برای آنالیز XRD تعداد ۸ نمونه دگرسانی اکسید آهن را نشان می‌دهد که به انتخاب یک نمونه آورده شده است که دارای کانی‌های هماتیت، گوتیت و کوارتز می‌باشد که مقداری کلسیت و باریت نیز دارا می‌باشد (شکل ۴-۷).

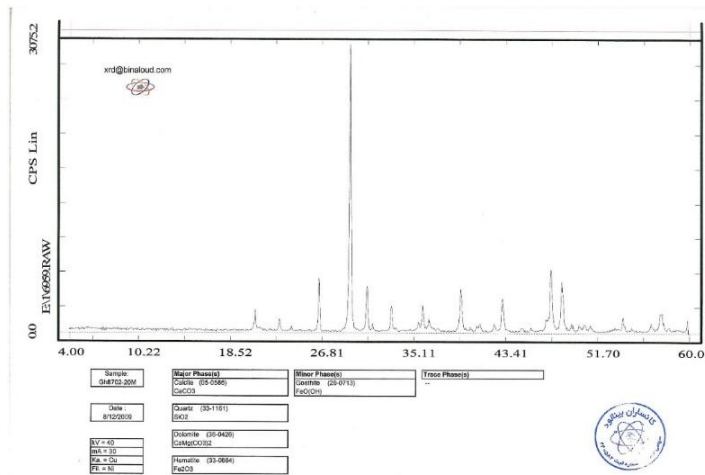


شکل ۴-۷- نمونه XRD دگرسانی اکسید آهن را که دارای کانی‌های هماتیت، گوتیت و کوارتز می‌باشد.

۴-۱-۴- دگرسانی کربناتی شدن

دولومیتی شدن دگرسانی رایج در دمای پایین تا متوسط در سنگ آهکها است. کانیهای مهم این پهنه عبارتند از دولومیت، سرسیت، کوارتز. این دگرسانی در اثر اضافه شدن Mg به سنگهای آهکی و یا اضافه

شدن CO_3^{2-} به سنگ‌های سیلیکاتی تشکیل می‌شود. این دگرسانی در منطقه با وجود دولومیت و کلسیت قابل مشاهده است. در ۳ نمونه XRD این دگرسانی وجود دارد که به انتخاب یک نمونه آورده شده است که دارای کانی‌های کلسیت، کوارتز، دولومیت و هماتیت و به مقدار جزئی گوتیت می‌باشد (شکل ۴-۸).



شکل ۴-۸- نمونه XRD دگرسانی کربناتی که دارای کانی‌های کلسیت، کوارتز، دولومیت و هماتیت می‌باشد.

۴-۱-۵- دگرسانی کلریتی و اپیدوتی

دگرسانی کلریتی در منطقه قابل مشاهده است. این دگرسانی حالت خاصی از پهنه پروپلیتیک است و در شرایطی ایجاد می‌شود که درصد کلریت بالاست (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۴). این دگرسانی در نمونه‌های میکروسکوپی سنگ‌های فرو گابرو و بازالت و اسلیت‌ها دیده می‌شود. وجود بخشی از این دگرسانی مربوط به حضور کانی‌های مافیک از جمله بیوتیت و پیروکسن می‌باشد. کانی‌ها از سطوح رخ و شکستگی‌ها به کلریت تبدیل شده‌اند. این دگرسانی بیشتر با دگرسانی اپیدوتی مشاهده می‌شود. دگرسانی اپیدوتی با گابرو مشاهده می‌شود (شکل ۳-۹ الف، ب). دگرسانی کلریتی با توفهای سازند کهر و مقدار جزئی گابرویی مشاهده می‌شود (شکل ۳-۳ الف، ب و ۳-۹ الف، ب).

۴-۱-۶- دگرسانی سرسیتی (QPS)

آلتراسیون سرسیتیک به نوع فیلیک و در بعضی از ذخایر به دگرسانی کوارتز، سرسیت و پیریت نیز معروف است. دگرسانی سرسیتیک به واسطه حضور کانی‌های سرسیت، کوارتز، پیریت مشخص می‌شود و در شرایط اسیدی رخ می‌دهد. سنگهای آذرین به ویژه نوع غنی از آلومینیوم و سنگهای رسوبی نظیر شیل‌ها و مارن‌ها در صورتی که تحت تأثیر محلولهای اسیدی هیدرولیز شوند کاتیون‌های Mg^{+} ، Ca^{+} ، Na^{+} ، K^{+} ، Fe^{+} ، SiO_4^{-4} آنها توسط محلول حمل می‌گردد و سرسیت، کوارتز و پیریت تشکیل می‌شوند (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۴). زون سرسیتیک در اغلب کانسارهایی که از طریق محلولهای ماگمایی یا گرمابی تشکیل شده‌اند، یافت می‌شود (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۴). دگرسانی سرسیتی در منطقه دارای کانی‌های سرسیت، کوارتز، پیریت و کلریت می‌باشد (شکل ۳-۳ الف، ب).



فصل پنجم

کافی‌شناسی، ساخت و بافت و توالی پارازتزی کافی‌ها



۵-۱- مقدمه

مطالعه کانی‌شناسی ساخت و بافت ماده معدنی و تشخیص دقیق پاراژنز و توالی پاراژنتیکی کانی‌های معدنی و سنگ‌ساز برای بررسی ژنز نهشته‌های کانساری و تعیین روابط بین کانه‌های معدنی و سنگ درونگیر آن‌ها است و از ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین نوع مطالعه بر روی کانسار بوده است. پس از انجام بازدیدهای اولیه، اقدام به جمع‌آوری نمونه و اطلاعات صحرایی از منطقه گردید که از نمونه‌های جمع‌آوری شده تعداد ۱۳ عدد مقطع نازک صیقلی، ۸ عدد مقطع صیقلی و ۸ عدد مقطع نازک تهیه گردید. همچنین تعداد ۱۸ نمونه برای مطالعات XRD انتخاب گردید که در ادامه به نتایج این مطالعات پرداخته می‌شود.

کانه‌زایی در منطقه کاوند، به صورت رگه - رگچه‌ای، پرکننده فضاهای کارستی در کربناتها، عدسی و به ندرت پراکنده ظاهر شده است. ماده معدنی در کانسار، بافت و ساخت گوناگونی را نشان می‌دهد. بعضی از بافتها شکل اولیه خود را حفظ کرده و بیان کننده شرایط تشکیل ماده معدنی است. از آنجای که هر یک از ساخت و بافت‌ها بیان کننده شرایط حاکم بر کانسار است، می‌توان با توجه به نوع ساخت و بافت، اتفاقات رخ داده در حین کانه‌زایی و پس از آن را بیان کرد. در ادامه به معرفی کانی‌شناسی و پس از آن ساخت‌ها و بافت‌های موجود در منطقه می‌پردازیم.

۵-۲- کانی‌شناسی

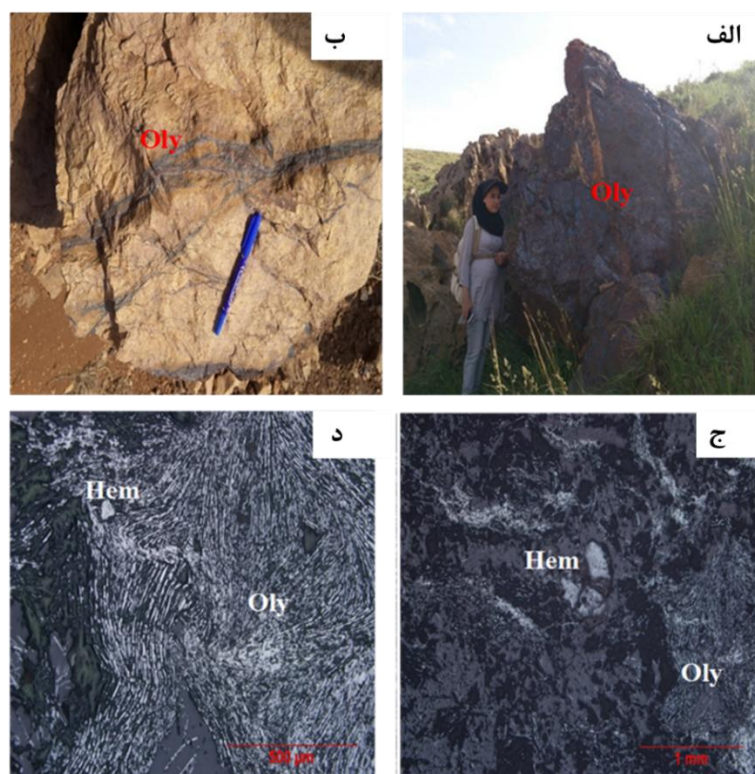
مطالعات کانی‌شناسی بر روی مقاطع نازک، صیقلی و نازک- صیقلی نمونه‌های منطقه و نتایج آزمایش به روش XRD منجر به شناسایی کانی‌های اکسیدی، سولفیدی، سیلیکاتی و کربناتی شده است که به صورت اولیه (هیپوژن) و یا به صورت ثانویه (سوپرژن) تشکیل شده‌اند. این کانی‌ها عبارت‌اند از اولیژیست،

هماتیت، پیریت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، مگنتیت، باریت، کوارتز و طلا می‌باشند. کانه‌های اولیه (مرحله هیپوژن)، کانه‌های ثانویه (مرحله سوپرژن) و کانی‌های باطله کانسار به ترتیب آورده شده است.

۵-۲-۱- کانی‌های اولیه (هیپوژن)

۵-۲-۱-۱- اولیژیست

اولیژیست به عنوان کانه اصلی کانسار بیشترین حجم را به خود اختصاص داده است. این کانه به صورت کاملاً براق با جلای فلزی به راحتی قابل تشخیص است. گسترش مناطق دارای اولیژیست در سنگهای میزبان از حد میلیمتر تا رگه و عدسی‌هایی با ضخامت بیش از ۳ متر تغییر می‌کند (شکل ۵-۱ الف، ب). که دارای ساخت عدسی، رگه، رگچه‌ای، برشی و پرکننده فضاهای کارستی سنگهای کربناته است. کانه اولیژیست در نور PPL، معمولاً رنگ خاکستری روشن دارد و در زیر میکروسکوپ به صورت سوزنی دیده می‌شود (شکل ۵-۱ ج، د). کانه اولیژیست مخصوصاً به صورت رگچه‌ای می‌تواند نشان دهنده فاز پایانی هیدروترمال باشد. علی‌رغم ترکیب شیمیایی مشابه کانی‌های اولیژیست و هماتیت؛ اولیژیست یک نوع خاصی یا پلی‌مورف هماتیت است که به آن هماتیت میکایی می‌گویند. در محدوده معدنی کاوند براساس مجموعه‌های کانایی، کانی‌سازی به انواع اکسیدهای آهن (عمدتاً اولیژیست به همراه هماتیت)، اکسید آهن - باریت - کوارتز، اکسید آهن - باریت - کوارتز - طلا و اکسید آهن - کوارتز - طلا - سولفید تقسیم شده است، بنابراین کانیه‌های همراه اولیژیست در کاوند بسته به موارد ذکر شده متفاوت می‌باشد. توضیحات و تصاویری که در این بخش برای اولیژیست داده شده است موبوط به نمونه‌های است که از مناطق اکسید آهنی انتخاب گردیده است و به همین خاطر اولیژیست به همراه هماتیت تنها کانه‌های کانسار ساز هستند (شکل ۵-۱ ج، د).

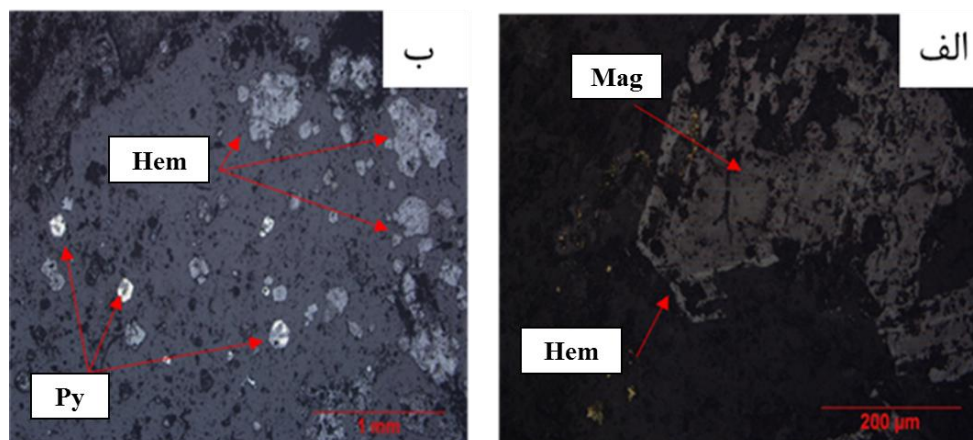


شکل ۵-۱-الف، ب) اولیژیست با ساخت عدسی و رگه و رگچه در سنگهای دولومیتی سازند سلطانیه، ج، د) اولیژیست (Oly) و هماتیت (Hem) در نور PPL، به طوری که اولیژیست درصد حجمی بالایی از نمونه را دربر دارد که به طور موضعی به گوتیت دگرسان شده است.

۵-۲-۱-۲-هماتیت

هماتیت یکی از کانی‌های فراگیر در منطقه کاوند است و در تمامی فرم‌های کانی‌سازی حضور دارد و بسته به انواع کانی‌سازی که در بالا اشاره گردید با کانی‌های دیگر همیافتی دارد. هماتیت می‌تواند بصورت اولیه تحت شرایط فوگاسیته بالای اکسیژن از سیالات غنی از آهن تشکیل گردد. با توجه به گسترش کانه‌زایی آهن (اولیژیست و هماتیت) در منطقه می‌توان نتیجه گرفت که تشکیل کانه‌های آهن در این کانسار در مراحل مختلف و به صورت اولیه (از سیال آهن‌دار) و ثانویه (از هوازدگی مگنتیت و پیریت) شکل گرفته است. در محدوده کاوند همراهی هماتیت با اولیژیست و گوتیت عمومیت دارد (شکل ۵-۳ الف، د، ۵-۱ ج، د، ۵-۷ ب). کانی هماتیت در بعضی نمونه‌ها حاصل جانشینی مگنتیت و پیریت است (شکل ۵-۲ الف،

ب). با توجه به رخداد کانی‌سازی طلا در این محدوده هماتیت به همراه گوتیت از همبودهای مهم کانه طلا می‌باشند.



شکل ۵-۲-الف) کانه مگنتیت که از حاشیه به هماتیت تبدیل شده است ، ب) کانه‌های پراکنده‌ای از پیریت که به هماتیت تبدیل شده است.

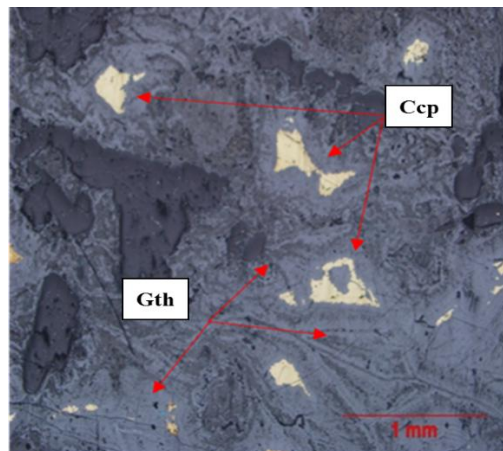
۵-۲-۱-۳- پیریت

فراوان‌ترین کانی سولفیدی در منطقه کاوند، کانی پیریت است. پیریت به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار، با اندازه میکرون تا میلی‌متر تشکیل شده است. کانی پیریت در اثر هوازدگی و دگرسانی به اکسید و هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده است (شکل ۴-۱-الف، ب، ۵-۲-ب). پیریت به صورت پراکنده در واحدهای توفی و شیلی توفی سازند کهر، دولومیت‌های سلطانیه و باروت و نیز در مناطق اصلی کانی‌سازی به ویژه رگه‌های کوارتز - اکسید آهن - سولفید - طلا حضور دارد.

۵-۲-۱-۴- کالکوپیریت

کالکوپیریت در منطقه فراوانی بسیار کمی دارد، و تنها در رگه‌های کوارتز - اکسید آهن - سولفید - طلا مشاهده گردید. رنگ زرد طلایی، آن را از سایر کانی‌ها متمایز می‌نماید. کانی کالکوپیریت با پیریت، طلا و

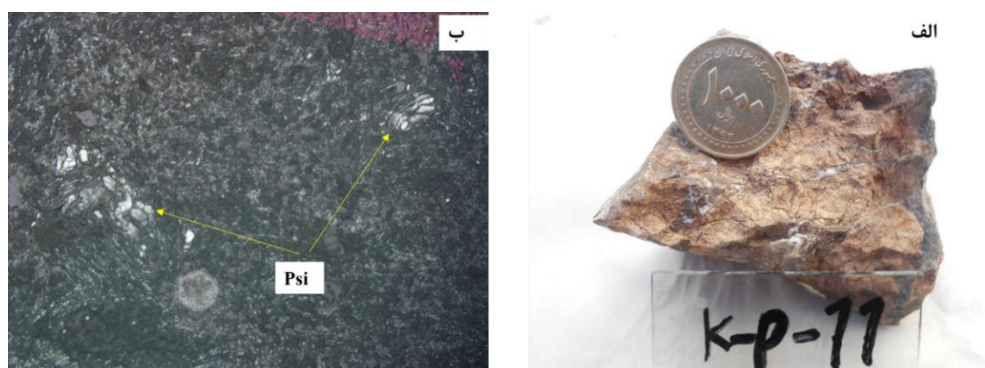
اکسیدهای آهن همیافتی دارند و از حاشیه‌ها به کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، اکسید و هیدرواکسیدهای آهن و مس دار و گوتیت تبدیل شدگی نشان می‌دهد (شکل ۵-۳ و ۵-۷ ب).



شکل ۵-۳- تصویر میکروسکوپی کانی کالکوپیریت که از حواشی به گوتیتی شده و بافت جبهه‌ای نشان می‌دهد.

۵-۱-۲-۵- پسیلوملان

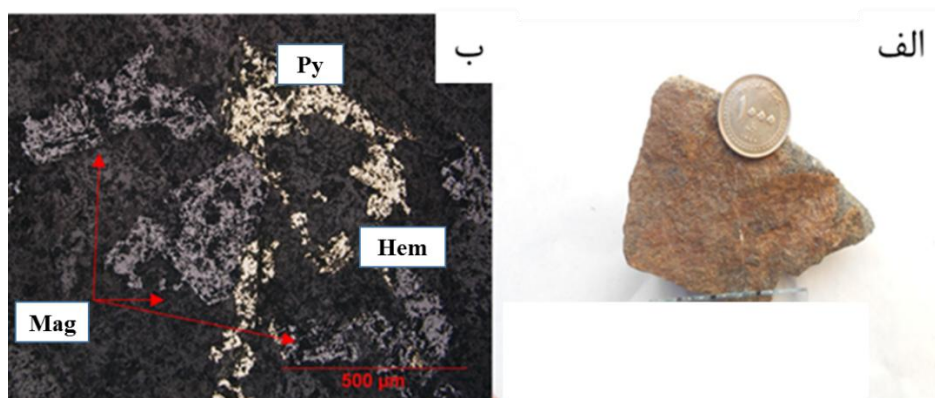
این کانی با رنگ سفید، چند رنگی و ناهمسانگردی قوی در زیر میکروسکوپ پلاریزان انعکاسی قابل تشخیص است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی به صورت پراکنده کانی‌های اولیژیست، هماتیت، گوتیت، لیمونیت و باریت را همراهی می‌کند (شکل ۵-۴ ب). این کانی در رگه‌های اکسید آهن - سیلیس - باریت و اکسید منگنز با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر تا ۲ متر در دولومیت سلطانیه نهشته شده است قابل مشاهده می‌باشد که بیشتر حاصل اکسیداسیون هماتیت، اولیژیست، گوتیت و مگنتیت می‌باشد (شکل ۵-۴ الف).



شکل ۵-۴- الف) نمونه دستی از رگه‌های اکسید آهن - سیلیس - باریت و اکسید منگنز، ب) تصویر میکروسکوپی کانی پسیلوملان (Psi) به صورت پراکنده

۵-۲-۱-۶- مگنتیت

کانه مگنتیت در محدوده کاوند تنها در توده‌های آذرین کوچک و دایک مانند که به داخل دولومیت‌های سازند سلطانیه تزریق شده‌اند مشاهده می‌گردند (شکل ۵-۵ الف). براساس مطالعات میکروسکوپی مگنتیت تا حدود ۱۰ درصد نمونه را تشکیل می‌دهد و به صورت پراکنده کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول را همراهی می‌نماید. این کانه به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل و به ابعاد ۰/۱ تا ۱ میلیمتر وجود دارد و از حاشیه‌ها به هماتیت تبدیل شدگی دارد (شکل ۵-۵ ب). وجود توده‌های غنی از مگنتیت نویدی بر شکل‌گیری سیالات غنی از آهن در کاوند و مناطق همجوار می‌باشد، و تشکیل مناطق غنی از اکسیدهای آهن در این منطقه بی‌ارتباط با توده‌های آذرین آهن‌دار نمی‌باشد. این کانه به رنگ سیاه و خاصیت مغناطیسی خوبی که دارد به راحتی قابل تشخیص است.

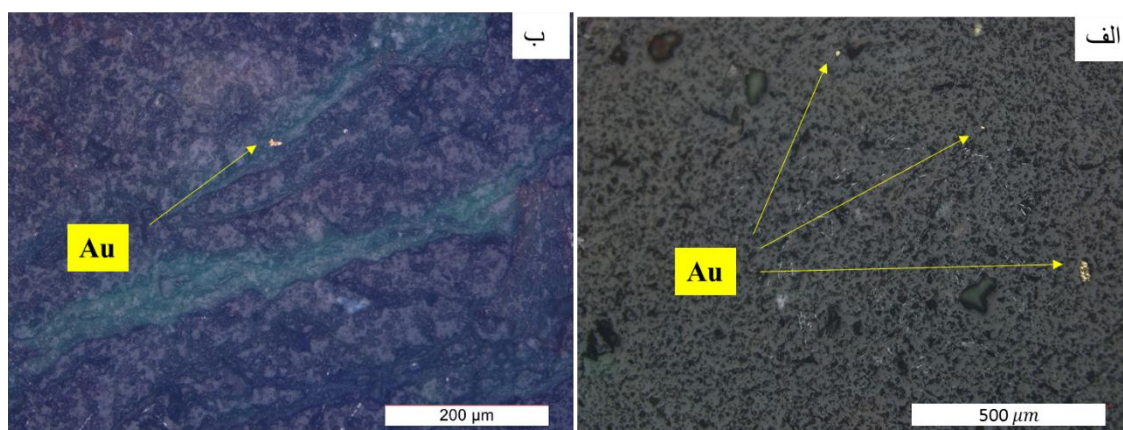


شکل ۵-۵- الف) نمونه دستی از گابرو دیوریت مگنتیت دار ، ب) دانه‌های شکل دار و پراکنده‌ای از مگنتیت (Mag) که از حاشیه به هماتیت (Hem) تبدیل شده است و با پیریت (Py) همراهی می‌شود.

۵-۲-۱-۷- طلا

دانه‌های مشکوک به کانه طلا در محدوده کاوند تنها در نمونه‌های صیقلی KP-07 و KP-11 با استفاده از میکروسکوپ انعکاسی مشاهده گردید (شکل ۵-۶ الف، ب). نمونه KP-07 از رگه‌های اکسید آهن - کوارتز - سولفید و نمونه KP-11 از مناطق اکسید آهن - کوارتز - باریت در دولومیت‌های سازند سلطانیه برای تجزیه نقطه‌ای انتخاب شده‌اند (شکل ۴-۳ و ۴-۴ الف، ب). در نمونه‌های ژئوشیمی KG-23 (معادل KP-11) و KG-03 (معادل KP-07) به ترتیب ۱۴۶۷۴ و ۹۸۴۴ میلی‌گرم در تن طلا اندازه‌گیری شده است. براساس مطالعات میکروسکوپی طلا به صورت دانه‌های ریز در بخش‌های اکسید آهنی (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) نمونه‌ها رویت گردید. علاوه براین، در نمونه KP-07 کوارتز، پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت، اولیژیست، مالاکیت و آزوریت، و در نمونه KP-11 کوارتز، باریت، اولیژیست نیز مشاهده شده است. اگرچه این نمونه‌ها برای تجزیه نقطه‌ای به روش میکروپروپ انتخاب گردیده‌اند ولی به دلیل عدم تشخیص این ذرات توسط کارشناس آزمایشگاه، بر روی آنها آنالیز نشده است بلکه نقاط آنالیز بیشتر روی کانی‌های کوارتز، باریت، کالکوپیریت، هماتیت، اولیژیست متمرکز شده است، که در بخش ریز تجزیه نمونه‌های

کانسنگ به آنها پرداخته شده است. بنابراین داده ریز تجزیه‌ای برای اثبات طلا بودن این دانه‌ها در دست نمی‌باشد و این دانه‌ها نیاز به مطالعه بیشتری دارند.

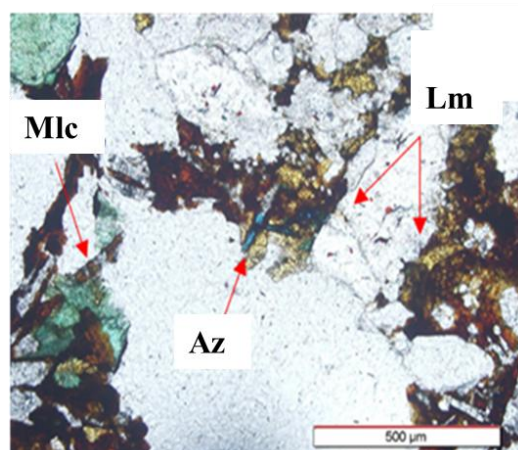


شکل ۵-۶- الف و ب) کانه‌های طلای آزاد در رگه‌های اکسید آهن - کوارتز - باریت - طلا و اکسید آهن - کوارتز - سولفید - طلا داخل سنگ میزبان دولومیت‌های سازند سلطانیه

۵-۲-۲- کانی‌های ثانویه (سوپرژن)

۵-۲-۲-۱- کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت

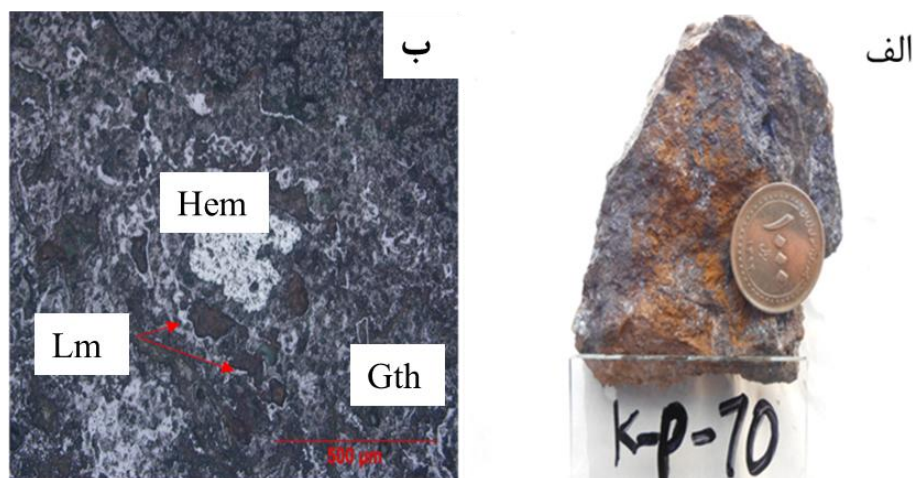
این کانی‌ها در محدوده کاوند گسترش چندانی ندارند و تنها در رگه‌های کوارتز - اکسید آهن - سولفید - طلا مشاهده می‌گردد و حاصل جانشینی کانی کالکوپیریت هستند (شکل ۳-۵ ج). کانی کالکوسیت در مقاطع میکروسکوپی به رنگ سفید خاکستری، مالاکیت به رنگ خاکستری متمایل به سبز و کانی آزوریت به رنگ خاکستری متمایل به آبی در نور موازی مشاهده می‌شود (شکل ۳-۵ و ۷-۵).



شکل ۵-۷- تصویر میکروسکوپی کانه‌های مالاکیت (Mlc)، آزوریت (Az) و مالاکیت (Lm) در رگه‌های اکسید آهن - کوارتز - سولفید - طلا داخل سنگ میزبان دولومیت‌های سازند سلطانیه

۵-۲-۲-۲- گوتیت

گوتیت از کانی‌های هیدروکسید آهن است و در نتیجه هوازدگی و دگرسانی کانی‌های سولفیدی و اکسیدی شکل می‌گیرد. بر اثر پدیده انحلال و اکسیداسیون سطحی، کانی‌های سولفیدی در قسمت‌های سطحی دچار انحلال شده و یون گوگرد و سایر کاتیون‌ها از ترکیب شیمیایی کانی خارج شده و اکسید - هیدروکسیدهای آهن برجای می‌ماند (شکل ۵-۸ الف، ب). گوتیت در محدوده کاوند در شرایط سوپرژن و در نتیجه جانشینی کانی‌های سولفیدی (پیریت و کالکوپیریت) و کانی‌های اکسیدی (مگنتیت، هماتیت و اولیژیست) شکل گرفته و از کانی‌های همبود طلا هم به حساب می‌آید برای اینکه تجزیه‌های ریزکاوند الکترونی در محدوده کاوند که در تحقیق حاضر انجام شده است بالاترین مقدار طلا داشته‌اند (شکل ۵-۶ الف، ب). بسته به نوع کانی‌سازی‌های که در بالا نیز به آنها اشاره گردید گوتیت پاراژن‌های متفاوتی از کانی‌های باریت، کوارتز، هماتیت، اولیژیست، لیمونیت، اکسیدهای منگنز و کانی‌های سولفیدی را دارا می‌باشد (شکل ۵-۸ الف، ب).



شکل ۵-۸- (الف) نمونه دستی دارای کانی گوتیت، (ب) تصویر میکروسکوپی از گوتیت (Gth)، لیمونیت (Lm) و هماتیت (Hem)

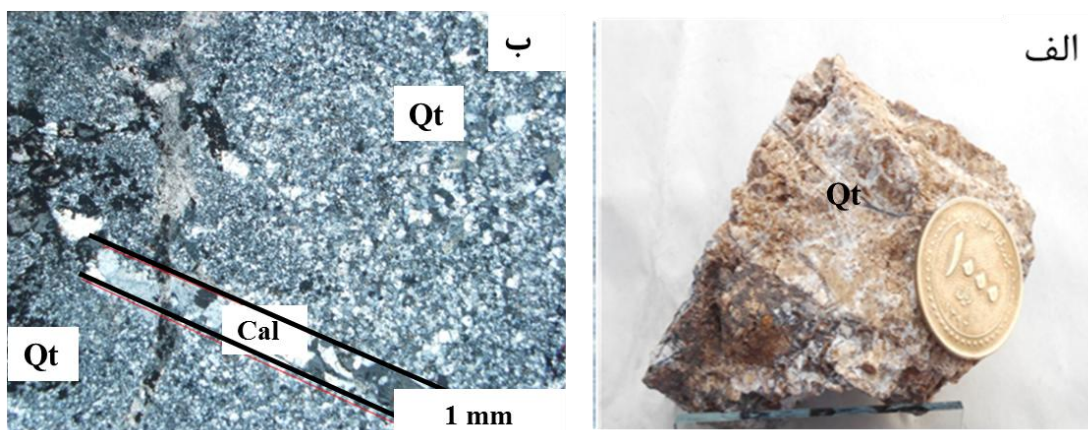
۵-۲-۳- لیمونیت

اکسید آهن آبدار به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای می‌باشد که در قسمت‌های اکسیدان دیده می‌شود. در مقاطع لیمونیت از اکسید کانی‌های هماتیت، کالکوپیریت و پیریت ایجاد شده است (شکل ۵-۸ ب)

۵-۲-۳- کانی‌های باطله

۵-۲-۳-۱- کوارتز

کوارتز به عنوان یک کانی باطله دارای بیشترین فراوانی است و در اکثر انواع کانی‌سازی‌های که در بالا گفته شد حضور دارد و توسط کانی‌های باریت، اکسیدهای آهن و سولفیدها همراهی می‌گردد و یک کانی کلیدی برای اکتشاف طلا در محدوده کاوند به حساب می‌آید. بر پایه مطالعات میکروسکوپی نمونه‌های از رگه‌های کوارتزدار حداقل دو نسل از کوارتزهایی در منطقه مشاهده می‌گردد کوارتزهای نسل اول ریز دانه می‌باشد که توسط رگه‌های از کریستالهای درشت کوارتز قطع شده است. کوارتزهای نسل اول بیشتر با باریت، هماتیت، اولیژنیت و سولفیدها همیافتی دارند کوارتزهای نسل دوم به نوبه خود به وسیله رگه‌های کلسیت و دولومیت قطع می‌شوند (شکل ۴-۲ و ۵-۹ الف، ب).



شکل ۵-۹- الف) سنگ دارای کوارتز و ب) رگه کلسیت که دو نسل کوارتز زایی را قطع کرده است.

۵-۲-۳-۲- باریت

رگه ورگچه‌های باریت به فراوانی در سنگ میزبان دولومیت سلطانیه یافت می‌شود که این رگه و رگچه‌ها از چند میکرون تا ۲۰ سانتی‌متر گسترش دارد. کانه‌زایی طلا بیشتر با کوارتز و باریت همراهی می‌شود و در منطقه کاوند در دو رگه اکسید آهن - کوارتز - باریت - طلادار و اکسید آهن - کوارتز - سولفید طلادار یافت می‌شود. کانی باریت با کانی‌های کوارتز، اکسیدهای آهن (اولیژیست، هماتیت، گوتیت و لیمونیت)، سولفیدها (کالکوپیریت، کالکوسیت)، پیریت و طلا همراهی می‌شود (شکل ۵-۱ ب).

۵-۲-۳-۳- کلسیت و دولومیت

به دلیل گسترش سنگهای کربناتی (به ویژه دولومیت) در کاوند، کربناتی‌شدن از دگرسانی‌های فراگیر می‌باشد و به صورت رگه، رگچه، پرشدگی فضاهای کارست در سنگهای میزبان نمود دارد. کلسیت، دولومیت، آراگونیت و سیدریت از کانی‌های مهم کربناتی در این منطقه هستند ولی کلسیت و دولومیت غالب می‌باشد. کانی‌های کربناتی، کوارتز، باریت و اکسیدهای آهن را همراهی می‌نمایند ولی از نظر بافتی پس از آنها تشکیل شده‌اند. برای اینکه کلسیت‌ها شکل‌های مختلف کانی‌های مذکور را قطع می‌نماید (شکل ۵-۳ الف، ب، ج، ۵-۱، ۵-۵ و ۹-۵).

۵-۳- ساخت و بافت ماده معدنی

۵-۳-۱- ساخت و بافت رگه و رگچه‌ای

در منطقه کاوند ساخت و بافت رگه و رگچه‌ای رخنمون بسیاری دارد. رگه و رگچه‌های اولیژیست، هماتیت، کوارتز، کلسیت و باریت واحدهای سنگی شیل و توفهای شیلی کهر و دولومیت‌های سلطانیه و گاهاً باروت را قطع نموده‌اند. این شکل از کانی‌زایی، گاه در حد یک ساخت و گاه در مقیاس میکروسکوپی دیده می‌شود. ضخامت این رگه‌ها از ۱ میلیمتر تا بیش از ۲ متر تغییر می‌کند و عمدتاً از ساختارهای تکتونیکی مثال درزها و شکستگی‌ها تبعیت می‌کند و بیشتر دارای امتداد شمال شرقی و جنوب غربی هستند. ترکیب کانی شناسی این رگه‌ها بسته به نوع رگه شامل اولیژیست، هماتیت، گوتیت، کوارتز، باریت، سولفیدها، کلسیت، دولومیت و... می‌باشد.

۵-۳-۲- ساخت عدسی

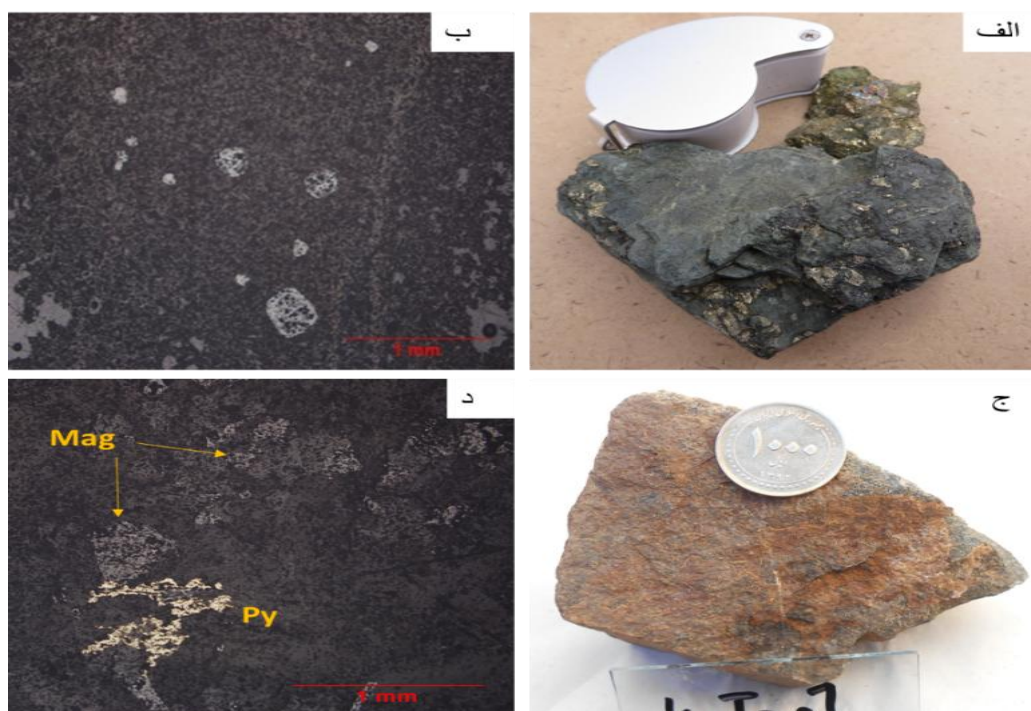
در محدوده کاوند ساخت عدسی شکل بیشتر مربوط به اکسیدهای آهن مثل اولیژیست و هماتیت می‌باشد، به طوری که کانی‌سازی آهن به شکل عدسی‌هایی با ابعاد مختلف از حد چند سانتی‌متر تا چندین ۱۰ متر مشاهده می‌شود و در سنگهای توفی، شیل توفی سازند کهر و دولومیت‌های سلطانیه مشاهده می‌شود. در این شکل از کانی‌سازی سیالهای آهن، بار معدنی خود را در فضاهای خالی کارستها به ویژه در سنگهای کربناتی برجای می‌گذارد (شکل ۵-۱۰ الف، ب).



شکل ۵-۱۰- الف) کانی سازی آهن به شکل عدسی در داخل شیل و شیل های توفی سازند کهر، ب) کانی سازی آهن به شکل عدسی در داخل دولومیت سازند سلطانیه

۵-۳-۳- ساخت و بافت دانه پراکنده

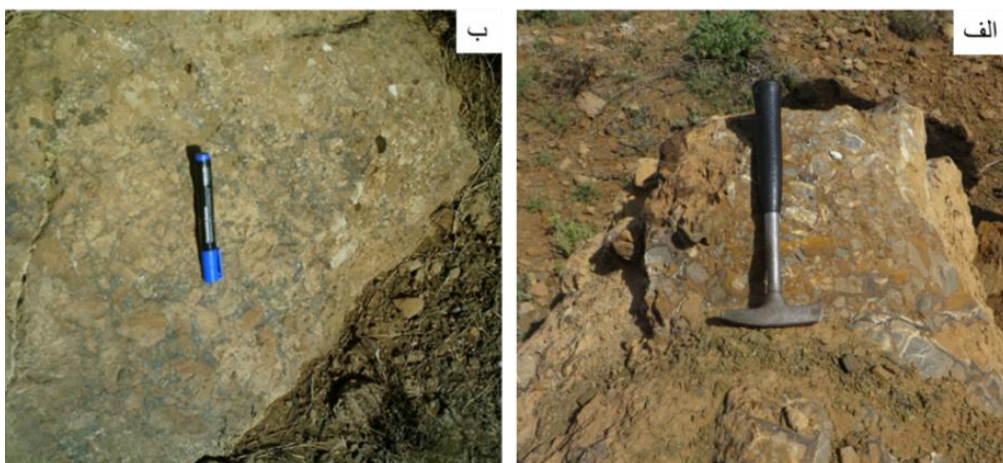
ساخت دانه پراکنده در منطقه کاوند مختص پیریت است که در واحد شیلی کربن دار سازند کهر مشاهده می گردد. اندازه پیریت ها به صورت بلورهای شکل دار و نیمه شکل دار به ابعاد میلیمتری و سانتی متری و به طور پراکنده در این سنگ ها حضور دارند. در نمونه های میکروسکوپی نیز بافت دانه پراکنده ای از پیریت در داخل این سنگ ها حضور دارد. علاوه بر این کانی پیریت در مقیاس میکروسکوپی به صورت دانه پراکنده در سنگ های دولومیتی سلطانیه قابل رویت است و به صورت شکل دار و نیمه شکل دار و به ابعاد کمتر از ۱ میلی متر وجود دارد (شکل ۵-۱۱ الف، ب). اغلب این پیریت ها به هماتیت و گوتیت تبدیل شده و یا در حال تبدیل هستند. کانه مگنتیت هم به صورت دانه پراکنده در سنگ های آذرین گابرو دیوریتی کاوند مشاهده می گردد (شکل ۵-۱۱ ج، د). این بافت نشان دهنده نهشت اولیه ماده معدنی در حین تشکیل سنگ در برگیرنده و همراه با سایر ذرات تشکیل دهنده آن و نیز در مرحله دیاژنز و سنگ شدگی رسوبات تشکیل می شود. در محدوده کاوند بافت دانه پراکنده مگنتیت هم زمان با سایر کانی های سازنده گابرو دیوریتها و پیریت بیشتر در مرحله دیاژنز سنگهای شیلی و کربناتی تشکیل شده است.



شکل ۵-۱۱- الف) کانی‌سازی پراکنده پیریت در شیل‌های کهر، ب) کانی‌سازی پراکنده پیریت که به هماتیت تبدیل شده در مقیاس میکروسکوپی، ج) کانی‌سازی پراکنده مگنتیت در سنگ‌های گابرو، د) کانی‌سازی پراکنده مگنتیت در مقیاس میکروسکوپی

۵-۳-۴- ساخت برشی‌شدن

از دیگر ساخت و بافت موجود در منطقه برشی‌شدن است. برشی‌شدن در صحرا، نمونه‌های دستی و میکروسکوپی مشاهده می‌شود. این پدیده در سنگ‌های میزبان و کانسنگ‌ها قابل رویت می‌باشد و نسبت به ساختارهای عدسی و رگه و رگچه‌ای در درجه سوم اهمیت قرار می‌گیرد. در این ساخت کانی‌های اکسید آهن، باریت، کوارتز و سولفیدها فضای بین قطعات برش را پر کرده‌اند (شکل ۵-۱۲ الف، ب).



شکل ۵-۱۲- الف) ساخت برشی که توسط سیمانی از اکسیدهای آهن (گوتیت و لیمونیت) پر شده است، ب) ساخت برشی که توسط سیمانی از اکسیدهای آهن (اولیژیست و هماتیت) پر شده است.

۵-۳-۵- بافت جانشینی

جانشینی یک کانه توسط کانه یا کانی دیگر، از جمله فرآیندهایی است که طی دگرسانی و هوازدگی بسیاری از سنگ‌ها و کانسنگ‌ها رخ می‌دهد. از جمله بافت‌های جانشینی که به راحتی در کانسار قابل تشخیص هستند می‌توان به جانشینی پیریت و کالکوپیریت توسط اکسیدهای آهن نظیر هماتیت، گوتیت و لیمونیت، جانشینی کالکوپیریت به وسیله کالکوسیت، ملاکیت و آزوریت، جانشینی مگنتیت توسط هماتیت، جانشینی هماتیت و اولیژیست به وسیله گوتیت و لیمونیت اشاره نمود.

۵-۳-۶- ساخت پرکننده فضاهای خالی کارست‌ها

در مراحل پایانی عملکرد سیال، حفرات و فضاهای خالی در اثر گردش سیال با کانه‌زایی‌هایی پر شده است و به طور معمول در منطقه ما توسط اکسیدهای آهن (به ویژه اولیژیست و هماتیت)، باریت، کلسیت، کوارتز پر شده‌اند. لازم به ذکر است که از کانی‌های کانسار ساز و معدنی بیشتر اولیژیست و هماتیت این ساختار را در کاوند نشان می‌دهد. ابعاد این ساختارها از چندین سانتی متر تا چندین ۱۰ متر تغییر می‌کند.

۵-۳-۷- بافت باقیمانده

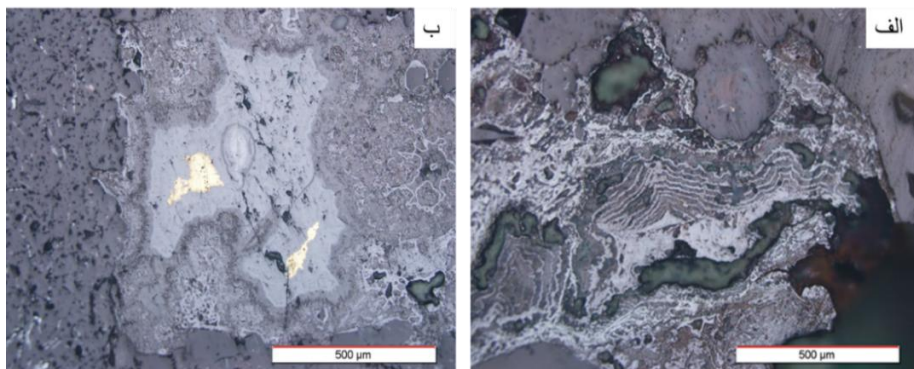
این بافت در نمونه‌های کالکوپیریت و پیریت داری دیده می‌شود که تحت تأثیر فرآیند سوپرژن قرار گرفته و اغلب از حواشی به هیدروکسید و اکسیدهای آهن تبدیل شده و تنها آثاری از کانی‌های اولیه باقی مانده است. شدت این واپاشی گاه تا آن حد است که تنها آثار باقیمانده از پیریت و کالکوپیریت به عنوان بافت باقیمانده برجای مانده است (شکل ۵-۴ و ۵-۳ ب).

۵-۳-۸- بافت جبهه‌ای

بافت بسیار معمولی بوده و در کانه‌هایی که فاقد کلیواژ، شکستگی، مرز دانه‌ای و یا آنکلوزیون باشند دیده می‌شود. در امتداد خطوط سست و ضعیف جانشینی مرزی یا جبهه‌ای روی می‌دهد و در نهایت دانه‌های گرد شده با مرزی صاف و هموار به وجود می‌آورد. فقط یافتن باقیمانده بافتهای قبلی می‌تواند عمل جانشینی را اثبات کند و در غیر این صورت غیر ممکن است (ملک قاسمی، ۱۳۷۸). این بافت در نمونه‌های کالکوپیریت‌داری دیده می‌شود که تنها آثاری از کانی‌های اولیه در آن دیده می‌شود و توسط هیدروکسیدها و اکسیدهای آهن جانشین شده‌اند (شکل ۵-۳).

۵-۳-۹- بافت کلوفر می

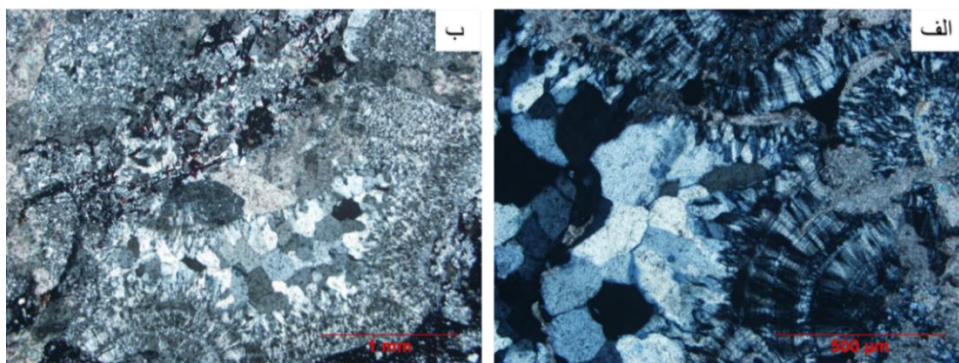
این بافت در کانی‌های کالکوپیریتی وجود دارد که طی فرایند سوپرژن به اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) و کالکوسیت تبدیل شده است (شکل ۵-۱۳ الف، ب).



شکل ۵-۱۳- الف و ب) کانی کالکوپیریت که توسط اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) و کالکوسیت جانشین شده است.

۵-۳-۱۰- بافت اسفرولیتی

بافتی شبیه اوولیتیک بوده و فقط به واسطه عدم وجود ساختمان لایه‌ای و نیز عدم برابری اندازه دانه‌های کروی از آنها متمایز می‌شوند. بعضی از کوارتزها در مقاطع از خود بافت اسفرولیتی نشان می‌دهند (شکل ۵-۱۴ الف، ب).



شکل ۵-۱۴- الف و ب) کوارتزهای که در مقاطع دارای بافت اسفرولیتی می‌باشد.

۵-۴- توالی پاراژنتیک کانی‌ها

توالی پاراژنتیک یا به عبارتی دیگر ترتیب زمانی و مکانی تبلور کانی‌ها و کانه‌های یک کنسار در واقع مرحله شکل‌گیری آن‌ها است. معمولاً این توالی، زمان تفکیک تدریجی کانه‌ها (تشکیل کانه‌های جوان نسبت به پیرترها) و تحت تأثیر قرار گرفتن نهشته‌ها و همچنین شرایط و وضعیتی را که در اثر هر یک از

فازها به وجود می‌آید و در واقع ناآرامی و عدم تعادل ایجاد شده در محیط را نیز توصیف می‌کند. یک توالی پاراژنتیک علاوه بر ژنز کانه‌ها، زمان آغاز ته‌نشست و مدت زمان ته‌نشینی کانی‌های باطله را نیز معلوم می‌کند. از آنجا که هر نهشته معدنی منحصر به فرد است، لذا هیچ روش درست و استانداردی برای درست کردن یک توالی پاراژنتیکی که ترتیب زمانی تبلور کانیها و کانه‌ها را نشان دهد وجود ندارد و این امر به کلی متکی بر نمونه‌های جمع‌آوری شده‌ای می‌باشد که در واقع به تنهایی مشکل‌ترین بخش مطالعات میکروسکوپی است. برای این کار مقاطع نازک صیقل داده شده بسیار مفید می‌باشند، چون آن‌ها قادرند ارتباط درونی کانه‌ها و باطله‌ها و نیز لیتولوژی درونگیرها را نشان بدهند (ملک قاسمی، ۱۳۷۸).

بر اساس بررسی‌های ساخت و بافت کانسار در مقیاس صحرایی، نمونه دستی و مطالعات کانی‌شناسی می‌توان مراحل تکوین کانه‌زایی و تشکیل کانسار کاوند را به ۳ مرحله تقسیم نمود:

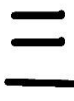
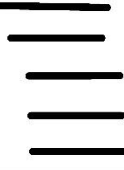
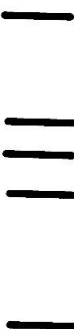
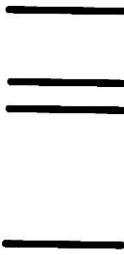
۱- مرحله قبل از کانه‌زایی: در این مرحله کانی‌های سنگ ساز دولومیت و کلسیت تشکیل شده است و کلسیت مقدم بر دولومیت در منطقه بوده است. با نفوذ توده آتشفشانی کانه مگنتیت به صورت پراکنده در سنگهای گابرو حضور دارد.

۲- مرحله هیپوژن: این مرحله خود شامل دو مرحله می‌باشد. در مرحله اول هیپوژن تشکیل رگه‌های کوارتز و باریت که مقدم بر کانه‌زایی هستند رخ داده است. سپس کانه‌های پیریت و کالکوپیریت شکل گرفته است. پیریت‌ها به صورت پراکنده در نمونه‌ها حضور دارد. در مرحله دوم هیپوژن کانه‌های هماتیت و اولیژیست به صورت رگه - رگچه تشکیل شده‌اند.

۳- مرحله هوازدگی و سوپرژن: در این مرحله کانه‌های هماتیت، کالکوسیت، گوتیت، لیمونیت، آزوریت، ملاکیت از جانشینی کالکوپیریت تحت فرآیند هوازدگی و سوپرژن شکل گرفته‌اند و در بعضی از جاها فقد

آثاری از باقیمانده آن وجود دارد. در این قسمت محتمل‌ترین توالی پاراژنزی مربوط به منطقه کاوند ارائه شده است (جدول ۵-۱).

جدول ۵-۱ - توالی پاراژنتیکی کانی‌ها در کانسار کاوند

کانیها	قبل از کانی سازی	هیپوژن		هواز دگی و سوپرژن
		مرحله I	مرحله II	
کلسیت دولومیت کوارتز باریت				
مگنتیت پیریت کالکوپیریت هماتیت اولیژست				
کالکوسیت گوتیت لیمونیت آزوریت مالاکیت				
کانیهای سنگ ساز رگه - رگچه پراکنده پرکننده فضاهای خالی جانشینی عدسی باقیمانده کلوفرمی اسفرولیتی				



فصل ششم

ژئوشی



۶-۱- مقدمه

ژئوشیمی با توزیع و مهاجرت عناصر در درون زمین و در ابعاد زمان و مکان سروکار دارد. داده‌های ژئوشیمیایی به طور قراردادی، به چهار نوع اصلی: عناصر اصلی، عناصر کمیاب، ایزوتوپهای رادیوژنیک و ایزوتوپهای پایدار تقسیم می‌شوند. ۱۰ عنصر که به صورت اکسید در تجزیه شیمیایی عناصر اصلی ذکر می‌شوند عبارتند از P، K، Na، Ca، Mg، Mn، Fe، Al، Ti، Si. ژئوشیمیدانان از داده‌های عناصر اصلی برای سه منظور استفاده می‌کنند: طبقه‌بندی سنگ، تشکیل نمودارهای تغییرات و به عنوان وسیله‌ای برای مقایسه با ترکیبات سنگی که به طور تجربی تعیین شده‌اند که در این صورت شرایط تشکیل نیز مشخص می‌شود. عناصر اصلی اغلب با عناصر کمیاب برای تعیین جایگاه تکتونیکی اصلی سنگهای آذرین و بعضی از سنگهای رسوبی به کار می‌روند. یک عنصر کمیاب عنصری است که غلظت آن در سنگ کمتر از ۰/۱٪ و یا کمتر از ۱۰۰۰ ppm باشد (کریم زاده، ۱۳۸۱).

در پژوهش حاضر برای دستیابی به این اهداف از محیط سنگهای آذرین، رسوبی و کانسنگ‌ها تعدادی نمونه برداشت کرده و با استفاده از روشهای مختلف تجزیه شده است که در زیر به آنها پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که جهت سهولت در کار ژئوشیمی سنگهای میزبان و کانسنگ به صورت جداگانه آورده شده است.

۶-۲- برداشت و آنالیز نمونه‌ها

در چارچوب مطالعه حاضر از رخنمون سنگ‌ها و کانسنگ‌ها تعدادی نمونه برای مطالعات ژئوشیمیایی برداشت شده است (جدول ۶-۱). روش نمونه‌برداری به طور لب‌پری بوده بدین صورت که در هر ایستگاه تعدادی قطعه سنگ سالم و غیر آلتزه به وزن حدودی ۱ کیلوگرم انتخاب شده، به طوری که نمونه انتخابی معرف خوبی برای محل برداشت نمونه در آن قسمت از رخنمون سنگ باشد. نمونه‌ها مراحل آماده

سازی خردایش و نرمایش را پشت سر گذاشته و در نهایت با استفاده از روش تجزیه‌ی XRF، ICP-OES/MS و آذر محک (Fire Assay) تجزیه شده‌اند. در راستای مطالعات ژئوشیمیایی بر روی کانسار کاوند، تعداد ۶ نمونه سنگ (۲ نمونه از دولومیت و ۴ نمونه از سنگهای آذرین) به روشهای XRF و ICP-OES/MS در مرکز فرآوری مواد معدنی ایران آنالیز شده‌اند (جدول ۶-۲ و ۶-۳). تعداد ۲۹ نمونه کانسنگ به روش آذر محک (F.A) و ICP-OES/MS برای طلا، عناصر اصلی و کمیاب در آزمایشگاه مطالعات مواد معدنی زرازا تجزیه شده‌اند (جدول ۶-۴).

جدول ۶-۱- مختصات جغرافیایی و سنگ‌شناسی نمونه‌های سنگ ژئوشیمیایی

Sample	X	Y	Lithology
KT.1	۲۴۴۴۱۲	۴۰۵۷۶۲۰	فروگابرو
KT.2	۲۴۴۵۶۷	۴۰۵۸۳۴۵	آندزیت بازالتی
KT.3	۲۴۴۶۰۵	۴۰۵۸۳۴۰	دولومیت
KT.4	۲۳۸۶۶۳	۴۰۶۱۲۷۶	دولومیت
KT.5	۲۳۸۰۷۶	۴۰۶۰۷۸۶	گابرو
KT.12	۲۳۷۶۱۸	۴۰۵۰۲۹۹	گرانیت

جدول ۶-۲ - مقادیر غلظت اکسید عناصر (٪) در سنگ آذرین و کربناتی با روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF)

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	L.O.I
KT.1	۴۳/۹۲	۱۱/۶۰	۸/۱۳	۳/۶۴	۱۹/۴۹	۰/۹۲	۳/۲۲	۲/۰۱	۲/۴۸	۰/۶۳	۳/۹۵
KT.2	۵۳/۲۷	۱۸/۹۵	۷/۵۱	۰/۰۷۵	۴/۸۶	۰/۴۶	۰/۸۵	۰/۰۷۵	۵/۵۶	۰/۰۷۵	۸/۵۴
KT.3	۲/۵۸	۱/۲۵	۴۰/۹۳	۶/۷۳	۳/۶۷	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۴۴/۸۵
KT.4	۱/۶	۰/۴۶	۳۹/۸۳	۹/۷۷	۲/۹۵	۰/۲۸	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۱۲	۴۴/۹۹
KT.5	۴۷/۰۲	۱۴/۲۷	۱۱/۶۴	۶/۴۴	۱۳/۴۵	۰/۲۰	۱/۷۵	۲/۳۲	۰/۶۹	۰/۳۶	۱/۸۶
KT.12	۷۰/۴۹	۱۳/۱۱	۲/۴۴	۰/۰۷۵	۳/۳۶	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۳/۴۹	۴/۰۷	۰/۸۴	۲/۲۱

جدول ۶-۳ - مقادیر غلظت عناصر اصلی، فرعی و کمیاب (ppm) به روش ICP-OES/MS

Sample	Ag	As	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	La	Mo	Ni	Zr	Zn	Y	V	Sr	Sc	Be	Nd	Sb	Pb
KT.1	۰/۷۵	۱۵	۱۵	۰/۷۵	۵۵	۶۳	۳۷	۴۸	۵۹	۳/۳	۱۱	۱۳۸	۱۲۵	۴۳	۲۳۳	۲۹۹	۲۵	۰/۷۵	۸۴	۱۵	۱۵
KT.2	۰/۷۵	۱۵	۱۵	۰/۷۵	۳۹	۷/۵	۵۵	۷/۵	۲۳	۱/۵	۱۸	۱۰۴	۴۸	۱۱	۵۲	۵۵	۳/۷۵	۰/۷۵	۲۲	۱۵	۱۵
KT.3	۰/۷۵	۱۵	۱۵	۰/۷۵	۱۵	۷/۵	۷/۵	۲۴	۱۵	۱/۵	۷/۵	۷/۵	۱۲	۷/۵	۷/۵	۵۰	۳/۷۵	۰/۷۵	۷/۵	۱۵	۱۵
KT.4	۰/۷۵	۱۵	۱۵	۰/۷۵	۱۵	۷/۵	۱۰	۷/۵	۱۵	۱/۵	۷/۵	۷/۵	۲۲	۷/۵	۱۱	۷۹	۳/۷۵	۰/۷۵	۷/۵	۱۵	۱۵
KT.5	۰/۷۵	۱۵	۱۵	۰/۷۵	۱۵	۵۴	۱۰۴	۱۵	۱۵	۱/۵	۴۷	۲۱	۱۶۱	۲۷	۲۱۳	۳۱۰	۳۷	۰/۷۵	۲۲	۱۵	۱۵
KT.12	۰/۷۵	۱۵	۱۵	۰/۷۵	۸۲	۷/۵	۴۸	۷/۵	۴۶	۳/۵	۷/۵	۷/۵	۶۷	۴۰	۱۷	۵۹	۳/۷۵	۲	۶۵	۱۵	۱۵
qc1	۰/۷۵	۱۵	۱۵	۰/۷۵	۱۵	۷/۵	۱۴	۷/۵	۱۵	۳/۵	۷/۵	۷/۵	۳۲	۷/۵	۱۱	۱۰۲	۳/۷۵	۰/۷۵	۷/۵	۱۵	۱۵

جدول ۴-۶- مقادیر غلظت عناصر اصلی و کمیاب و طلا (ppm) در نمونه‌های کانسنگ به روش آذرمحک (F.A.) و ICP-OES/MS

Sample	KG01	KG02	KG03	KG04	KG05	KG06	KG07	KG08	KG09	KG10	KG11	KG12	KG13	KG14
Au	۳۱۲	۴۲۰	۹۸۴۴	۴۰۲	۲۱۹	۱۵۵	۲۳	۴۳	۱۲۱	۸۹	۳۶	۵۷۱	۲۵۴	۱۸۲۷
Fe	۵۳۱۰	۶۳۶۹۳	۶۵۴۹۶	۴۲۶۷۶	۹۹۸۴۰	۲۴۱۸۶۱	۲۴۷۷۲۷	۲۸۳۸۴۶	۱۳۹۱۷۷	۱۷۶۹۸۴	۱۷۱۳۶۲	۵۳۲۴۴	۱۶۲۰۲۲	۱۵۶۰۸۷
Ag	۰/۲۹	۰/۴۲	۶/۱۸	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۶۴	۰/۵۹	۰/۳۴	۰/۴۸	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۸۴	۰/۴۲
As	۷/۸	۳۰/۷	۱۴۸۶۲	۸۲	۱۲/۴	۱۴/۴	۱۴/۷	۸/۲	۱۳۸/۵	۱۸/۵	۱۴/۶	۲۸/۶	۱۵۱/۶	۶۳/۹
Ba	۷۳۱۳	۴۳۴	۲۰۷	۱۱۵۵	۳۸۲	۱۴۵۵	۱۳۱۳	۹۶	۴۵۵۰	۱۰۷	۱۴۷	۲۴۱	۷۰۸۷	۱۰۰
Bi	۰/۴۲	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۴۵	۱۵/۹	۹۲/۸	۹۰	۱۰۲/۳	۱۴/۵	۳۵/۲	۴۲/۹	۰/۴۷	۲۰	۳۸
Cd	۰/۴۵	۰/۵۴	۴۷/۲۴	۱/۳۵	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۳۱	۱/۱۱	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۸۶	۰/۵۳
Ce	۳۳	۵۰	۶۶	۶۱	۵۳	۴۰	۳۵	۳۰	۳۱	۲۶	۲۳	۲۹	۴۳	۴۹
Co	۰/۷۵	۲۱	۲۳	۲۵	۴۱	۹۰	۹۳	۱۱۰	۴۶	۶۴	۶۲	۲۴	۵۲	۶۰
Cr	۹	۱۰	۲۵	۱۱۲	۲۷	۸۹	۸۳	۱۰۵	۴۱	۵۲	۴۸	۹	۵۶	۵۸
Cu	۲۳	۲۸	۱۲۸۳۱۴	۳۶۲	۳	۳۶	۳۲	۲	۹۰۵	۳	۲	۶	۴۶۵۸	۳۴۹
Li	۲۳	۱۷	۲۰	۳۱	۴	۴	۴	۳	۵	۴	۲	۳	۸	۱۲
Mn	۱۴۹	۱۱۴۱	۴۰۰	۲۶۶۳	۵۰۶۷	۲۷۸۵۳	۲۵۹۴۴	۶۳۳	۱۳۱۵۰	۱۱۴۴	۱۷۲۰	۲۰۷۱	۱۳۰۰	۶۰۶
Mo	۲/۸	۶	۲/۷	۵/۵	۲/۷	۸/۷	۶/۳	۱/۵	۵/۵	۰/۸	۳/۶	۳	۴	۱۰

Ni	۱۰	۹	۱۲	۴۹	۱۱	۲۰	۱۹	۱۴	۱۷	۱۶	۱۲	۱۲	۱۶	۳۲
P	۳۰۵	۲۳۲	۲۲۷۷	۱۹۹۳	۲۸۱	۴۹۸	۴۷۲	۲۹۰	۳۳۰	۲۲۶	۳۰۴	۴۹۹	۱۶۹	۴۸۵

ادامه جدول ۴-۶- مقادیر غلظت عناصر اصلی و کمیاب و طلا (ppm) در نمونه‌های کانسنگ به روش آذرمحک (F.A.) و ICP-OES/MS

Sample	KG01	KG02	KG03	KG04	KG05	KG06	KG07	KG08	KG09	KG10	KG11	KG12	KG13	KG14
Pb	۲۰۸	۳۴	۴۷	۷۵	۲۷	۸۵	۹۵	۱۱۲	۴۸	۵۷	۵۵	۵	۷۲	۱۱۱
S	۲۱۲۱	۲۰۶	۲۶۶۴۳	۶۰۱	۱۰۸	۲۹۵	۲۵۲	۸۳	۲۷۷۵	۹۷	۱۴۷	۱۵۴	۲۵۶۱	۳۳۸
Sb	۱۱/۶	۱۵/۴	۲۳۳۱/۶	۲۹	۰/۸۹	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۸	۹۳/۹	۱/۰۸	۰/۹۴	۱/۰۱	۱/۰۳	۱
Sc	۰/۳۷۵	۰/۶	۲/۱	۰/۸	۱/۷	۰/۶	۰/۵	۲/۴	۰/۶	۰/۶	۰/۳۷۵	۱/۳	۰/۸	۲/۷
Sn	۲/۵	۲/۸	۲/۶	۲/۶	۲/۴	۲/۴	۲/۴	۲/۹	۲/۶	۲/۵	۲/۶	۲/۹	۲/۳	۲/۵
Sr	۱۷۹	۱۱۳	۱۲۷	۶۸	۵۹	۸۶	۱۰۱	۲۵	۱۹۸۱	۱۷۵	۱۶۲	۱۰۴	۷۳۸	۷۹
Te	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۲	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۴۲	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۲۵
Th	۴۳/۶	۶	۵/۳	۱۰/۲	۶	۱۵	۱۴	۶/۸	۲۹/۸	۴/۸	۵	۴	۴۳/۵	۵/۶
Ti	۸۳	۶۴	۸۳	۱۳۰	۹۳	۵۶	۴۷	۵۰	۶۴	۶۶	۳۲	۴۹	۱۱۹	۵۸۴
U	۳/۲	۳	۳/۲	۲/۷	۳/۷	۶/۷	۶/۷	۷/۶	۴/۱	۵/۴	۵/۳	۳	۴/۲	۴/۴
V	۶	۱۴	۱۴	۱۷	۲۰	۴۴	۴۱	۲۶	۲۵	۲۷	۳۷	۵۶	۱۳	۴۴
W	۱/۱۷	۸/۴	۱/۰۳	۱/۲۴	۲۵/۱	۱/۲۴	۱/۱۴	۳۹۵/۲	۱/۱۵	۶۱/۵	۳۶/۳	۱۱/۳	۲۱/۸	۱۱/۱
Y	۱	۳	۶	۱۱	۱۸	۱۶	۱۶	۳	۴	۵	۴	۹	۲	۴

Zn	۱۶	۴۳	۱۳۸۹	۱۰۷	۵۷	۱۲۶	۱۳۴	۱۳۹	۱۷۳	۱۳۹	۷۱	۲۸	۱۳۰	۱۱۷
Zr	۵۷	۲۰۶	۲۰۵	۶۱	۲۵۱	۲۹۴	۲۶۴	۲۹۰	۲۲۴	۲۰۸	۱۹۹	۱۶۴	۲۹۸	۲۹۳

ادامه جدول ۴-۶ - مقادیر غلظت عناصر اصلی و کمیاب و طلا (ppm) در نمونه‌های کانسنگ به روش آذرمحک (F.A.) و ICP-OES/MS

Sample	KG15	KG16	KG17	KG18	KG19	KG20	KG21	KG22	KG23	KG24	KG25	KG26	KG27	KG28	KG29
Au	۱۴	۵۲	۱۰۳	۳۲۳	۶۰	۱۷۱۵	۴۵۸۹	۹۳۵	۱۴۶۷۴	۱۲	۱۰	۱۱	۴۳۷	۳۲	۲۰
Fe	۲۵۴۱۷۳	۲۱۱۶۷۱	۹۸۵۹۳	۱۸۰۳۷۵	۲۹۸۸۸	۱۴۰۵۸۸	۲۱۸۶۳۵	۱۲۱۴۶۱	۱۷۴۴۰۹	۲۴۹۹۱۴	۲۸۴۷۳۴	۲۴۸۹۴۰	۴۷۷۰۸	۲۵۳۴۱۹	۱۲۹۸۶۱
Ag	۰/۳	۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۵	۱/۴۲	۲/۴۱	۰/۸۲	۰/۵۲	۰/۵	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۶۸	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۳۷
As	۸/۷	۱۹/۲	۱۳۴/۴	۱۱۹/۴	۹۵/۶	۲۳۲/۷	۱۷	۷/۷	۱۱/۲	۸/۸	۷/۲	۱۹/۵	۱۰/۴	۱۷/۷	۱۵/۴
Ba	۲۶۴	۴۹۱۷	۴۰۱۳	۹۰۱۴	۲۵۸۵	۳۶۷۷	۱۱۲۰۴	۲۷۷۴	۱۰۱۹۲	۵۸	۱۳۱	۳۵۵۵	۷۴۸	۱۰۹	۲۲۱
Bi	۷۰/۵	۴۹/۲	۱۸/۸	۳۳	۰/۴۳	۹/۸	۵۶/۱	۱۱	۲۴/۴	۵۸	۱۰۹/۱	۸۹/۷	۰/۴۸	۸۱/۶	۲۵/۱
Cd	۰/۲۸	۰/۶۸	۰/۹	۰/۷۶	۰/۳۲	۰/۹۱	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۵۳	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۷۷	۰/۲۷	۰/۳۱
Ce	۲۷	۳۷	۳۴	۳۱	۳۷	۳۰	۱۹	۴۷	۶۴	۱۰۴	۱۲	۱۷	۵۲	۳۱	۵۱
Co	۹۲	۷۵	۴۰	۶۹	۱۱	۴۵	۹۷	۶۰	۸۵	۱۱۱	۱۱۶	۹۴	۲۲	۱۰۱	۵۶
Cr	۸۹	۷۵	۶۲	۷۹	۹	۳۹	۷۴	۴۵	۵۸	۹۷	۱۱۰	۸۸	۹	۹۹	۹۱
Cu	۴	۲۲۷	۵۷	۳۳	۲۳	۳۸۸۶۶	۶۰	۴	۸۶	۴	۳	۱۱۹	۴۵	۳	۴
Li	۴	۱۱	۹	۱۲	۱۶	۱۰	۴	۸	۱۱	۸	۲	۳	۵	۶	۱۲

Mn	۲۱۲	۵۹۹۰	۸۶۰۸	۱۶۳۸۱	۱۸۵۲	۱۴۵۰	۳۰۵۵۸	۱۲۵۵۴	۹۲۳۸	۱۴۲	۱۷	۲۴۵۸۷	۵۸۷۳	۸۳۲	۴۴۲
Mo	۳/۲	۵/۸	۱۳/۸	۶/۶	۲/۴	۶/۴	۰/۸	۰/۸۳	۱/۵	۰/۷۷	۱/۳	۹/۸	۶/۳	۳/۷	۳/۲
Ni	۹	۲۴	۳۰	۵۳	۱۹	۱۹	۳۸	۳۷	۴۱	۱۸	۱۶	۱۱	۱۳	۱۵	۲۵
P	۹۹۹	۱۲۸۱	۵۴۰	۱۰۰۸	۲۸۶	۵۲۹	۳۰۵	۱۳۶۴	۳۹۶	۳۶۶	۳۹۳	۳۲۲	۳۵۹	۶۳۱	۱۱۲۹

ادامه جدول ۴-۶ - مقادیر غلظت عناصر اصلی و کمیاب و طلا (ppm) در نمونه‌های کانسنگ به روش آذرمحک (F.A.) و ICP-OES/MS

Sample	KG15	KG16	KG17	KG18	KG19	KG20	KG21	KG22	KG23	KG24	KG25	KG26	KG27	KG28	KG29
Pb	۹۶	۷۹	۳۷	۷۲	۱۶	۶۸	۹۲	۳۱	۵۰	۹۱	۱۰۹	۹۲	۶	۹۲	۴۴
S	۱۵۵	۱۵۵۸	۱۳۵۰	۲۶۲۰	۴۶۰۸	۱۵۶۰	۲۰۷۷	۵۳۰۳	۲۶۴۳	۶۳	۸۴۷	۳۹۵	۸۳	۱۳۸	۹۰۳
Sb	۰/۹	۱/۰۷	۱۶	۱۳/۴	۱۴/۱	۶/۲	۱	۰/۹۶	۱/۱	۱	۰/۹۱	۲۸/۹	۱/۱۲	۰/۹۳	۱/۰۳
Sc	۰/۳۷۵	۲	۱/۹	۱/۴	۰/۵	۲/۲	۱/۷	۱/۷	۱/۵	۱/۸	۱/۲	۰/۳۷۵	۰/۷	۳/۵	۸/۳
Sn	۲/۶	۲/۷	۲/۶	۲/۴	۲/۶	۲/۴	۲/۳	۲/۶	۲/۶	۲/۸	۲/۶	۲/۵	۲/۸	۳/۹	۳
Sr	۱۳	۱۸۳	۱۲۴	۲۹۱	۳۰۱۹	۸۸	۲۷۶	۳۲۲۲	۲۴۷	۴۸	۹	۱۳۳	۴۶	۶۹	۱۰۹
Te	۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۲	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۳۲	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۳۴	۰/۴	۰/۳۶	۰/۱۷	۰/۳۴	۰/۲۲
Th	۷/۲	۳۲/۴	۲۵	۵۸/۹	۱۷/۸	۲۳/۴	۷۱/۱	۱۹/۹	۶۵/۹	۷/۱	۷	۲۴/۹	۷/۲	۷/۱	۱۱
Ti	۳۸	۲۶۹	۲۳۳	۱۹۷	۷۶	۹۳۲	۵۸	۲۰۵	۲۱۵	۲۵۸	۴۲	۵۶	۷۷	۳۱۵	۱۸۱۶
U	۶/۹	۵/۶	۳/۹	۵	۲/۵	۳/۸	۶/۱	۳/۹	۴/۸	۵/۹	۷/۶	۷/۱	۶۳	۶/۴	۴/۴
V	۱۸	۴۹	۳۴	۵۹	۱۷	۲۶	۱۶	۱۳	۲۵	۳۶	۱۴	۷	۲۳	۳۹	۱۰۴
W	۵۲/۹	۱۹	۱/۲۳	۶	۱/۲۸	۹/۹	۶/۴	۱/۲۳	۵۲/۲	۱۲۷/۷	۳۳/۱	۱/۱۳	۱/۲۹	۲۱۷/۶	۳۳/۷
Y	۲	۱۱	۹	۸	۳	۳	۴۵	۱۰	۱۰	۱۲	۳	۳	۶	۷	۲۰
Zn	۱۱۹	۱۳۱	۶۲	۱۰۵	۱۲	۳۱۱	۱۲۴	۵۱	۷۹	۱۰۵	۱۳۰	۱۴۹	۵۰	۱۱۸	۶۴
Zr	۲۲۲	۱۰۷	۲۱۲	۲۱۰	۲۳۷	۲۳۹	۱۸۸	۳۰۶	۳۲۰	۲۳۷	۲۲۴	۲۱۳	۲۲۳	۲۸۱	۴۱۸

۶-۲-۱- ارزیابی میزان دقت داده‌های ژئوشیمیایی

برای میزان دقت داده‌های ژئوشیمیایی به دلیل محدودیت مالی یک نمونه برای هر روش آنالیز تکرار شده است. به طوری که در آنالیز به روش XRF نمونه تکراری شماره qc1 معادل نمونه‌ی اصلی شماره KT-4 است. در آنالیز نمونه به روش ICP-OES نمونه تکراری شماره qc1 معادل نمونه اصلی شماره KT-4 است و به طور همزمان در آزمایشگاه مربوطه آنالیز شده است. دقت توانایی تکرار با نتایج مشابه است و مبنای سنجش دقت، میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است. با در نظر گرفتن این اصل مقدار درصد خطا با استفاده از نمونه‌های تکراری و فرمول زیر برای روش‌های XRF و ICP محاسبه شده و در جداول زیر داده شده است (جدول ۵-۶ و ۶-۶).

$$e = 2/n \left[\sum |x_i - y_i| / (x_i + y_i) \right] \times 100$$

جدول ۵-۶- مقادیر خطای محاسبه شده برای عناصر مختلف در تجزیه‌ی نمونه‌ها به روش XRF

Sample	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	Fe2O3	P2O3	TiO2	Na2O	K2O	SO3	L.O.I
KT-04	۱/۶	۰/۴۶	۳۹/۸۳	۹/۷۷	۲/۹۵	۰/۲۸	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۱۲	۴۴/۹۹
Qc1	۱/۰۲	۰/۳۷	۳۹/۰۱	۱۰/۷۳	۳/۳۶	۰/۲۴	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۱۹	۴۵/۰۸
درصد خطا	۴۴/۲۷	۲۱/۶۸	۲/۱۶	۹/۳۶	۱۳	۱۵/۳۸	۰	۰	۰	۴۵/۱۶	۱۹

جدول ۶-۶- مقادیر خطای محاسبه شده برای عناصر مختلف در تجزیه‌ی نمونه‌ها به روش ICP-OES

Sample	Ag	As	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	La	Mo	Ni	Pb	Sb	Sc	Sr	V	Y	Zn	Zr	Nd	Be
KT.4	۰/۷۵	۱۵	۱۵	۰/۷۵	۱۵	۷/۵	۱۰	۷/۵	۱۵	۱/۵	۷/۵	۱۵	۱۵	۳/۷۵	۷۹	۱۱	۷/۵	۲۲	۷/۵	۷/۵	۰/۷۵
qc1	۰/۷۵	۱۵	۱۵	۰/۷۵	۱۵	۷/۵	۱۴	۷/۵	۱۵	۳/۵	۷/۵	۱۵	۱۵	۳/۷۵	۱۰۲	۱۱	۷/۵	۳۲	۷/۵	۷/۵	۰/۷۵
درصد خطا	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۳	۰	۰	۸۰	۰	۰	۰	۰	۲۵/۴۱	۰	۰	۳۷	۰	۰	۰

۶-۲-۲- سنسوردگیری

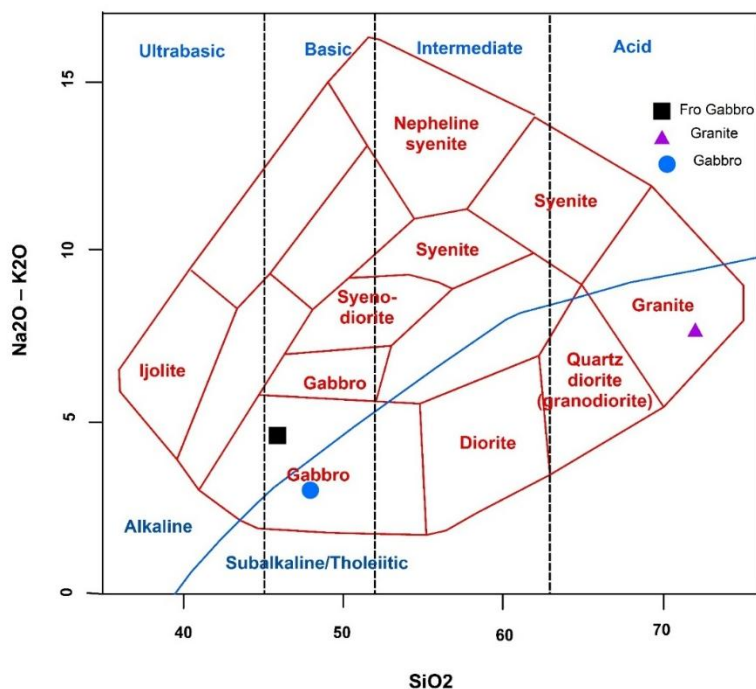
داده‌های سنسورد به داده‌های گفته می‌شود که، به علت بالا بودن حد حساسیت دستگاه‌های اندازه‌گیری، تعدادی از داده‌ها به صورت مقادیر کوچکتر یا بزرگتر از حد حساسیت دستگاه یافت می‌شوند. چنین اعدادی می‌تواند بررسی‌های آماری را مختل کند. زیرا اولاً روش‌های آماری نیاز به مجموعه کاملی از داده‌های غیر سنسورد دارد و ثانیاً در مواردی، نظیر جداسازی زمینه از آنومالی که سنجش‌های نسبی صورت می‌گیرد، داده‌های سنسورد موجب ارزیابی‌های غیر دقیق می‌شود. اگر داده‌های سنسورد تخمین زده شده و جایگزین گردند مقدار زمینه و شدت آنومالی‌ها دقیقتر محاسبه خواهد شد. با بررسی همه جانبه داده‌های سنسورد و روش‌های مختلف جایگزینی آنها، به جای مقادیر کمتر از حد تشخیص، مقدار $\frac{3}{4}$ و برای مقادیر بیشتر از حد تشخیص مقدار $\frac{4}{3}$ حد آن جایگزین گردد. در داده‌های ژئوشیمیایی تحقیق حاضر برخی از عناصر به صورت سنسورد گزارش شده بود و مقدار این عناصر با $\frac{3}{4}$ حد قابل ثبت روش آنالیز برای آن عنصر جایگزین گردید.

۶-۳- ژئوشیمی سنگ‌های منطقه

در منطقه کاوند سنگ‌های موجود در منطقه از نوع سنگ‌های آذرین و رسوبی بودند. سنگ‌های آذرین در این منطقه از نوع گابرو، فروگابرو، گرانیت و بازالت هستند که سنگ‌های گابرو و فروگابرو در سطح رخنمون کوچکی دارند. سنگ‌های رسوبی در این منطقه شامل شیل و دولومیت می‌شود که گسترش زیادی دارند. داده‌های ژئوشیمیایی ابتدا در نرم افزار Excel آماده شده و سپس با استفاده از نرم‌افزار GCDKIT مورد پردازش قرار گرفته است. در زیر به طور جداگانه به بررسی ویژگی آنها می‌پردازیم.

۶-۳-۱- طبقه‌بندی سنگهای آذرین براساس داده‌های عناصر اصلی

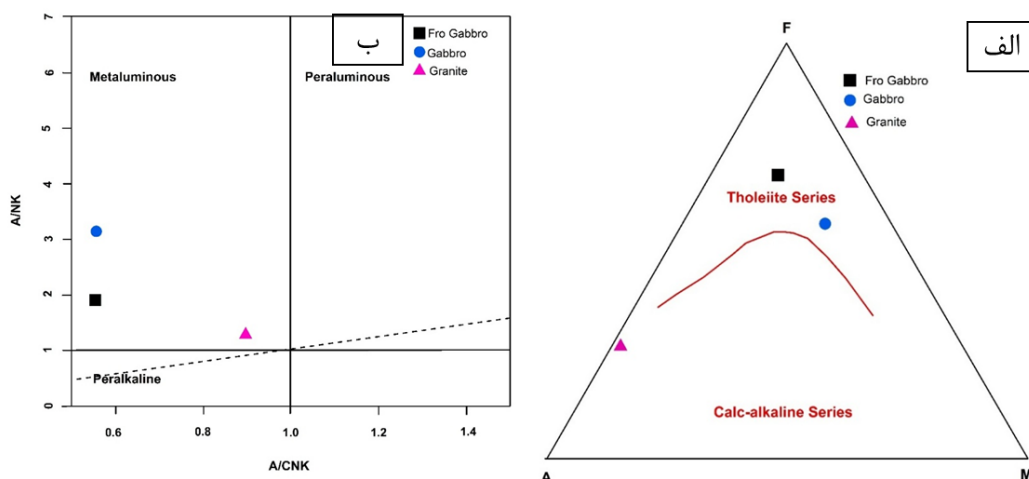
براساس برداشت‌های صحرایی و مطالعه مقاطع نازک، سنگهای آذرین در محدوده مورد مطالعه شامل گابرو، فروگابرو و گرانیت می‌باشد. در این بخش برای نام‌گذاری سنگهای مذکور از داده‌های ژئوشیمیایی نیز استفاده شده است. جهت مطالعات ژئوشیمیایی، برای نامگذاری سنگهای آذرین، از نمودار میزان سیلیس و عناصر قلیایی TAS استفاده شده است (Cox و همکاران، ۱۹۷۹). نمودار TAS، سنگها را بر اساس مقدار سیلیس به اولترابازیک، بازیک، متوسط و اسیدی تقسیم می‌کند و یک منحنی سنگهای آلكالی را از ساب آلكالن جدا می‌کند (کریم زاده، ۱۳۸۱). بر اساس این نمودار، نمونه‌ها در محدوده گابرو، گرانیت، دیوریت جای می‌گیرند. بیشتر نمونه‌ها در محدوده ساب آلكالن قرار می‌گیرند (شکل ۶-۱).



شکل ۶-۱- نمودار میزان سیلیس و عناصر قلیایی TAS (Cox و همکاران، ۱۹۷۹) و که بیشتر نمونه‌ها در محدوده ساب آلكالن قرار می‌گیرند.

۶-۳-۲- تعیین سری ماگمایی

برای تعیین سری ماگمایی نمونه‌ها از نمودار سه تایی AFM از ابروین و باراگا (۱۹۷۱) استفاده شده است ($F=FeO$ ، $M=MgO$ ، $A=Na_2O+K_2O$). این نمودار برای تشخیص روندهای تفریق تولیتی و کالک آلکالن در سریهای ماگمایی ساب آلکالن به کار می‌رود (کریم زاده، ۱۳۸۱). داده‌ها نمایانگر قرارگیری سنگهای گابرویی و دیوریتی در محدوده ماگماهای سری تولیت و نمونه گرانیات در سری کالک آلکالن هستند (شکل ۲-۶ الف). در نمودار تغییرات نسبت‌های ملکولی $(A/NK) Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ در برابر $(A/NK) Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$ در قلمرو سنگهای متآلومین واقع می‌شوند (شکل ۲-۶ ب).

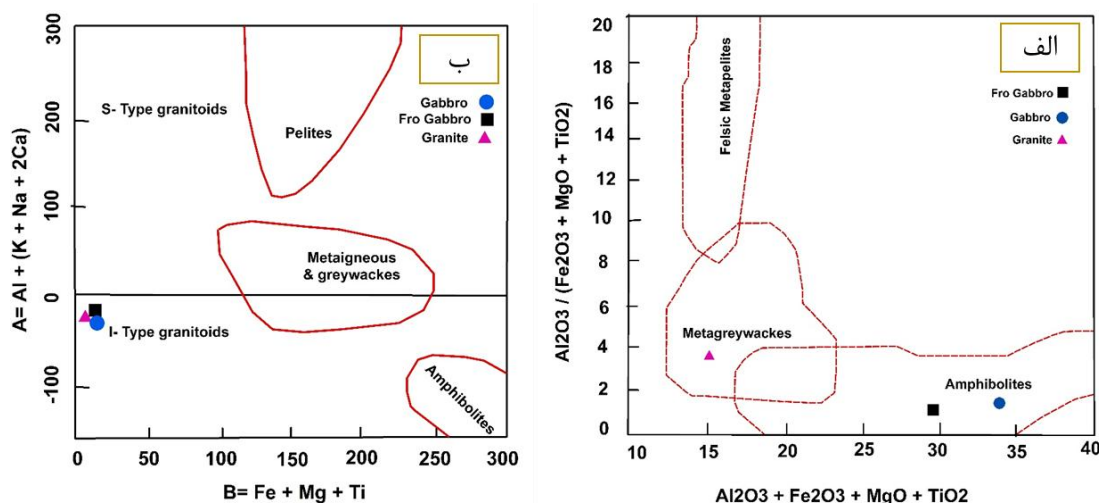


شکل ۲-۶ الف) نمودار سه تایی AFM از ابروین و باراگا (۱۹۷۱) ($F=FeO$ ، $M=MgO$ ، $A=Na_2O+K_2O$) داده‌ها نمایانگر قرارگیری سنگهای گابرویی و دیوریتی در محدوده ماگماهای سری تولیت و نمونه گرانیات در سری کالک آلکالن هستند (ب) نمودار تغییرات نسبت‌های ملکولی $(A/NK) Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ در برابر $(A/NK) Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$ در قلمرو سنگهای متآلومین واقع می‌شوند.

۶-۳-۳- تقسیم‌بندی توده نفوذی بر مبنای موقعیت زمین ساختی

برای تعیین خاستگاه توده‌های گرانیتوئیدی کاوند از نمودارهای $A=AL-(K+Na+2Ca)$ در برابر $B=Fe+Mg+Ti$ (Villaseca et al., 1998) و $Al_2O_3/(Fe_2O_3+MgO+TiO_2)$ در برابر $Al_2O_3+Fe_2O_3+MgO+TiO_2$ (Whalen et al., 1987) استفاده شده است. با توجه به این نمودارها سنگهای گرانیتوئیدی مورد مطالعه از کانی‌های حاوی آهن، منیزیم و تیتان (که به طور معمول بیوتیت، هورنبلند

سبز و پیروکسن می‌باشد) بسیار فقیر هستند که شواهد صحرایی، نمونه دستی و مقاطع نازک این موضوع را اثبات می‌کند. این پدیده امری معروف و متداول است و در سنگهای تشکیل شده به روش آناتکسی به وفور دیده می‌شود (شکل ۳-۶ الف). سنگهای گرانیتی منطقه مورد مطالعه از تبلور مواد مذاب حاصل از ذوب یک منشأ متاگرایوکی (دگرگونی) حاصل شده‌اند. ولی ماگمای مادر سنگهای گابرو و فروگابرو حاصل تبلور بخشی یک ماگمای مافیک بوده که خود این ماگمای مافیک از ذوب سنگهای مادر با ترکیب آمفیبولیت ایجاد شده است (شکل ۳-۶ ب).



شکل ۳-۶- تعیین خاستگاه توده‌های گرانیتوئیدی کاوند الف) از نمودار $A = Al - (K + Na + 2Ca)$ در برابر $B = Fe + Mg + Ti$ (Villaseca et al., 1998)، ب) نمودار $Al_2O_3 / (Fe_2O_3 + MgO + TiO_2)$ در برابر $Al_2O_3 + Fe_2O_3 + MgO + TiO_2$ (Whalen et al., 1987) سنگهای گرانیتی از تبلور مواد مذاب حاصل از ذوب یک منشأ متاگرایوکی (دگرگونی) و گابرو و فروگابرو حاصل تبلور بخشی ذوب سنگهای مادر با ترکیب آمفیبولیت ایجاد شده است

۳-۶-۴- مقایسه ترکیب شیمیایی عناصر فرعی و کمیاب سنگ‌های آذرین با کندریت‌ها و گوشته‌ی اولیه

عناصر فرعی و کمیاب در مطالعات پترولوژیکی و ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین نقش مهمی را ایفا می‌نمایند. مطالعه این عناصر که بر مبنای تغییرات غلظت آن‌ها در سنگ‌ها استوار است می‌تواند روشن‌گر ابهاماتی باشد که مطالعه عناصر اصلی برای حل آن‌ها ناکافی است. تقسیم‌بندی عناصر کمیاب معمولاً بر اساس موقعیت آن‌ها در جدول تناوبی و یا بر اساس طرز رفتار آن‌ها در سیستم ماگمایی صورت می‌گیرد.

توزیع عناصر نادر خاکی در درون سیالات هیدروترمالی (غنی شدگی HREE و یا LREE)، به عواملی از جمله PH، دما و نوع کمپلکس‌های موجود در سیالات بستگی دارد. بطور کلی، عناصر نادر خاکی درون سیستم‌های ژئوسیمیایی خاصی متحرک می‌گردند. انتقال آن‌ها در محلول‌های هیدروترمال عموماً به صورت کمپلکس صورت می‌گیرد. پایداری انواع کمپلکس‌های این عناصر متغییر است و به عواملی از جمله تغییرات دما، فشار، pH و سنگهای دیواره بستگی دارد (لوترموزر، ۱۹۹۲). عناصر نادر خاکی (REE) جزء عناصر با کمترین قابلیت انحلال بوده و در طول فرایندهایی نظیر هوازدگی، دگرگونی درجه پایین و آلتراسیون هیدروترمال نسبتاً غیر متحرک هستند. به عنوان مثال میچارد (۱۹۸۹) نشان داد که سیالات گرمایی که از درون یک سنگ مخزن می‌گذرند حدود ۵۰۰ تا یک میلیون برابر REE کمتری نسبت به آن سنگ دارند و این نشان می‌دهد که فعالیت سیالات گرمایی، اثر زیادی روی ترکیب REE سنگ نمی‌گذارند، مگر آنکه نسبت آب به سنگ خیلی بالا باشد. الگوی عناصر فرعی و کمیاب برای تفسیر تاریخچه تشکیل و ژنز کانسارها کاربرد زیادی دارد (Lottmoser, 1992). معمولاً غلظت عناصر کمیاب خاکی موجود در سنگها نسبت به استاندارد خاصی، که معمولاً متئوریت کندریتی است، نرمالیز می‌شود. دلیل این انتخاب متئوریت‌های کندریتی نیز این است که تصور می‌شود اینگونه متئوریتها نمونه‌هایی از منظومه شمسی هستند که بعد از تشکیل تاکنون نسبتاً تفکیک نشده باقی مانده‌اند. گرچه غلظت‌های عناصر کمیاب خاکی در منظومه شمسی به علت تفاوت در پایداری هسته اتم بسیار متنوع است. عناصر کمیاب خاکی با عدد اتمی زوج پایداتر (و در نتیجه فراوانتر) از عناصر REE با عدد اتمی فرد هستند. بنابراین نرمالیزه کردن نسبت به کندریتها، از دو جنبه دارای اهمیت است: اولاً تغییرات فراوانی عناصر با عدد اتمی زوج و فرد حذف و برطرف می‌شود و ثانیاً هرگونه جدایش و تفکیکی که از عناصر REE نسبت به کندریتها صورت گرفته باشد به آسانی قابل تشخیص است (کریم زاده، ۱۳۸۱). تحرک عناصر کمیاب به وسیله تغییرات کانی‌شناسی که در طی دگرسانی صورت می‌گیرد و ماهیت فاز سیال، کنترل می‌شود. به طور کلی

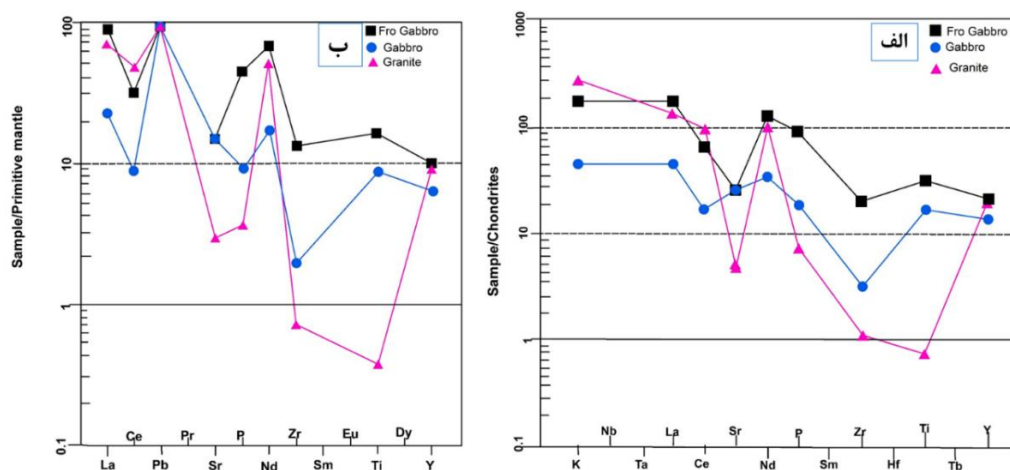
عناصر ناسازگار که متعلق به گروه LFS هستند (Ba و Rb, K, Sr, Cs) متحرک بوده در صورتی که عناصر HFS غیر متحرک هستند. HFS شامل REE, Sc, Y, Th, Zr, Hf, Ti, Nb, Ta و P (پیرس، ۱۹۸۳) هستند. هامفریز (1984, Humphries) نشان داد که رابطه ساده‌ای بین درجه تحرک REE و نوع سنگ یا درجه دگرگونی وجود ندارد و تأیید کرد که مهمترین عوامل کنترل کننده تحرک این عناصر، کانی‌شناسی سنگ و ماهیت فاز سیال است. سیالات غنی از هالوژنها و کربناتها به راحتی می‌توانند REE را متحرک کنند در صورتی که REE در حضور سایر سیالات بسیار مقاوم و پایدار هستند (متحرک نمی‌شوند). یک حالت خاص دیگر از جابجا شدن عناصر کمیاب، مربوط به آب‌زدایی صفحه اقیانوسی فرورانده است که می‌تواند باعث ایجاد ماگمای کالک آلکالن شود. پیرس (۱۹۸۳) معتقد است که در چنین محیط‌هایی عناصر Sr, K, Rb, Ba, Th, Ce, P و Sm ممکن است متحرک شوند. الگوهای REE در یک سنگ آذرین به وسیله شیمی REE منشأ آن سنگ و تعادل بلور - مذاب که در طول تکامل آن سنگ رخ داده، کنترل می‌شود. نمودارهای چند عنصری نسبت به نمودارهای REE دارای مخلوط ناهمگنی از انواع عناصر کمیاب هستند. لذا تعداد پستی و بلندی‌های بیشتری در آنها دیده می‌شود که نشانگر رفتار متفاوت گروه‌های مختلف عناصر کمیاب است. برای مثال عناصر متحرک LIL (Cs, Rb, K, Ba, Sr, Eu) و عناصر کم تحرک (Y, Hf, Zr, Nb, Ta) رفتارهای متفاوتی دارند. غلظت عناصر LIL تابعی از نحوه رفتار فاز سیال است در صورتی که غلظت عناصر HFS به وسیله شیمی سنگ منشأ و فرآیندهای بلور / مذاب که در حین تشکیل سنگ صورت می‌گیرد، کنترل می‌شود. غلظت Zr به وسیله زیرکن، P توسط آپاتیت، Sr به وسیله پلاژیوکلاز و Ti, Nb و Ta توسط ایلمنیت، روتیل و اسفن کنترل می‌شود. عناصر LIL ای که خیلی متحرک هستند ممکن است توسط سیالات کنترل شوند ولی از آنجایی که این عناصر در پوسته قاره‌ای تمرکز یافته‌اند، ممکن است غلظت آنها در ماگما نشانگر آرایش پوسته‌ای باش (کریم زاده، ۱۳۸۱).

برای مطالعه‌ی تغییرات عناصر نادر خاکی در منطقه، تعداد ۴ نمونه از توده نفوذی برداشت شده است که در زیر به بررسی تغییرات آن‌ها پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که این عناصر نسبت به کندریت بهنجار شده‌اند.

اگر الگوی توزیع به هنجار شده‌ی عناصر در نمونه‌های سنگهای آذرین محدوده کاوند به کندریت و گوشته اولیه در نظر بگیریم، سنگهای گابرو و فروگابرو الگوی ژئوشیمیایی مشابهی از عناصر کمیاب را نشان می‌دهند. در حالی که نمونه گرانیات دارای الگوی توزیع متفاوت از سنگهای مافیک می‌باشد. که این مسئله در انطباق با مشاهدات صحرایی و مطالعات مقاطع سنگ شناسی می‌باشد. نمونه داسیت به دلیل اینکه دگرسان شده بود از داده‌ها در داخل گراف‌ها استفاده نشده است. عنصر Ti در سنگهای گابرو و فرو گابرو غنی شدگی دارد، در حالی که این عنصر در گرانیات‌ها تهی شدگی نشان می‌دهد. آنومالی منفی Ti در گرانیات‌ها مشارکت پوسته قاره‌ای را در فرآیند تشکیل گرانیات‌های منطقه نشان می‌دهد. آنومالی مثبت Ti در سنگهای گابرو و فروگابرو بیان از تشکیل آن‌ها از یک ماگمای مافیکی غنی از Ti می‌باشد. غنی شدگی K و تهی شدگی Zr در سنگهای گابرو و فروگابرو منطقه بیانگر یک جایگاه کمانی مرتبط با فرورانش می‌باشد (Wilson, 1989; Kovalenko et al, 2010; Goss, Kay, 2009; Gill, 1981). قاسمی، ۱۳۹۲).

تهی شدگی عنصر Sr در سنگهای گرانیتی به علت تفریق پلاژیوکلاز در طول تبلور ماگمایی است (Rollinson, 1993). ولی سنگهای گابرویی عنصر Sr نسبت به کندریت غنی شدگی دارد و این به دلیل وجود پلاژیوکلاز در ترکیب این سنگها است و عنصر Sr به دلیل اندازه و بار یونی مشابه Ca در ترکیب پلاژیوکلازهای سنگهای مافیک یا بازیک قرار می‌گیرد. آنومالی منفی Ce در سنگهای آذرین منطقه نشان می‌دهد که سنگهای مادر ماگمایی که این سنگها از ذوب آن حاصل شده‌اند طی دگرسانی Ce خود را از دست داده‌اند (شکل ۶-۴ الف، ب). در نمودار بهنجار شده به گوشته اولیه علاوه بر عناصر فوق که همانند

کندريت می‌باشد، عنصر Pb آنومالی مثبت دارد که می‌تواند نشان‌دهنده آلايش پوسته‌ای یا متاسوماتيسم گوشته‌ای باشد (شکل ۴-۶ ب).



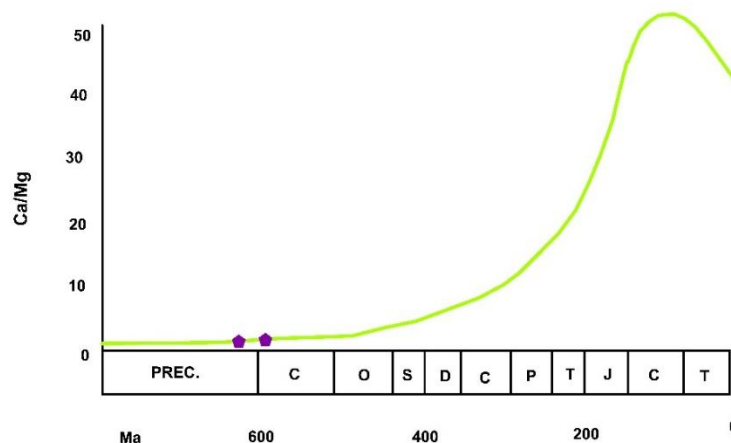
شکل ۴-۶ الف) نمودار عناصر کمیاب بهنجار شده به کندريت (Thompson 1982) برای نمونه‌های سنگ‌های آذرین، ب) نمودار به هنجار شده نسبت به گوشته اولیه (سان و مک دانوف، ۱۹۸۹) برای سنگ‌های توده نفوذی

۴-۶- ژئوشیمی سنگ‌های رسوبي

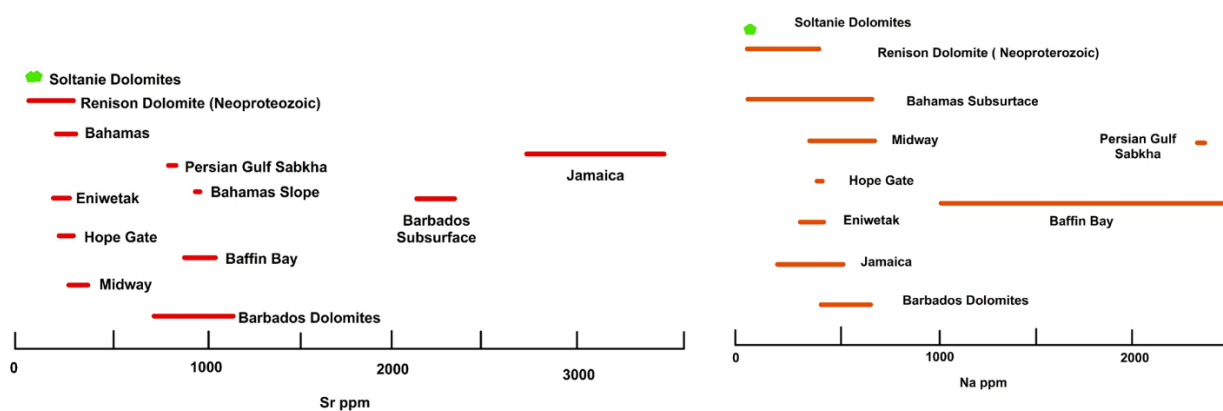
سنگ‌های رسوبي منطقه کاوند در واقع شامل دولومیت‌های سازند سلطانيه می‌باشد. این دولومیت‌ها سنگ میزبان کانه‌سازی طلا، مس، اکسیدهای آهن و باریت می‌باشد. با گسترش زیاد دولومیت در منطقه به دلیل محدودیت مالی فقد ۲ نمونه برای آنالیز برداشته شد. دولومیت‌های منطقه با مطالعات صورت گرفته بر روی آنها تشخیص داده شد که از نوع دولومیکرایت می‌باشند.

امروزه دولومیت‌ها در مقایسه با سنگ‌های آهکی از فراوانی کمتری برخوردار هستند، درحالی‌که در گذشته دولومیت‌ها، یا به دلیل زمان طولانی که برای تشکیل داشته‌اند و یا به علت بالا بودن نسبت Mg/Ca در آب دریا و یا تفاوت در میزان گاز کربنیک (CO₂) اتمسفر، به مراتب گسترده‌تر بوده‌اند (شکل ۵-۶). دولومیت‌های منطقه دارای Sr و Na پایینی می‌باشند. تغییرات Na و Sr در نمونه‌های مورد مطالعه با دولومیت‌های (Renison Dolomite Neoproterozoic) قابل مقایسه هستند (شکل ۶-۶). دولومیتی که جانشین کلسیت می‌شود دارای مقدار Sr پایینی است (Rao, 1996). در فرآیند دولومیتی شدن سنگ‌های

آهکی، عنصر Ca^{2+} توسط Mg^{2+} جانشین می‌گردد و از آنجا که عنصر Sr^{2+} قرابت ژنتیکی و جفت ایزومورفیک Ca^{2+} است بنابراین در طول دولومیتی‌شدن سنگهای آهکی، با کاهش مقدار Ca عنصر Sr هم کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۵-۶- منحنی توزیع دولومیت‌ها در طول فانروزوئیک، نسبت Ca/Mg در سنگ‌های کربناته که دولومیت‌های منطقه در محدوده زمانی پرکامبرین پسین و کامبرین پیشین قرار دارند.



شکل ۶-۶- مقایسه مقادیر Sr و Na در دولومیت‌های سلطانیه با دولومیت‌های پرکامبرین تا عهد حاضر (Rao, 1996).

۶-۵- ژئوشیمی کانسنگ‌های محدوده کاوند

در محدوده کاوند تعداد ۲۹ نمونه کانسنگ برداشت و آنالیز شده است و نتایج آنالیز در جدول ۶-۴ شده است. براساس پردازش‌های که بر روی ۳۲ عنصر صورت گرفته است عناصر اصلی کانساری در این منطقه شامل Au، Cu، Fe، Ba می‌باشد (جدول ۶-۷).

جدول ۶-۷- پارامترهای آماری شامل میانگین، میانه، انحراف معیار، واریانس، مقادیر کمینه و بیشینه در ۲۹ نمونه کانسنگ از منطقه کاوند

Element		Au	Fe	Ba	Cu
N		۲۹	۲۹	۲۹	۲۹
Mean		۱۲۸۶/۳۱	۱۵۷۰۲۴/۵۵	۲۶۹۱/۳۴	۶۰۰۹/۰۷
Median		۱۵۵	۱۶۲۰۲۲	۱۱۵۵	۳۲
Mode		۱۰	۵۳۱۰	۵۸	۳
Std. Deviation		۳۲۳۸/۷۱	۸۳۰۲۷/۴۹	۳۳۳۹/۱۶	۲۴۶۰۴/۵۵
Variance		۱۰۴۸۹۲۱۴	۶۹۰۱۰۳۷۸۴۶	۱۱۴۹۹۸۶	۶۰۵۳۸۳۸۵۰
Skewness		۳/۴۲	-۰/۱۵	۱/۳۲	۴/۷۹
Kurtosis		۱۱/۷۹	-۱/۱۴	-۰/۷۲	۲۳/۸۲
Range		۱۴۶۶۴	۲۷۹۴۲۴	۱۱۱۴۶	۱۲۸۳۱۲
Minimum		۱۰	۵۳۱۰	۵۸	۲
Maximum		۱۴۶۷۴	۲۸۴۷۳۴	۱۱۲۰۴	۱۲۸۳۱۴
Percentiles	25	۳۴	۸۲۰۴۴/۵۰	۱۷۷	۴
	50	۱۵۵	۱۶۲۰۲۲	۱۱۵۵	۳۲
	75	۵۰۴	۲۴۴۷۹۴	۴۲۸۱/۵۰	۱۷۳

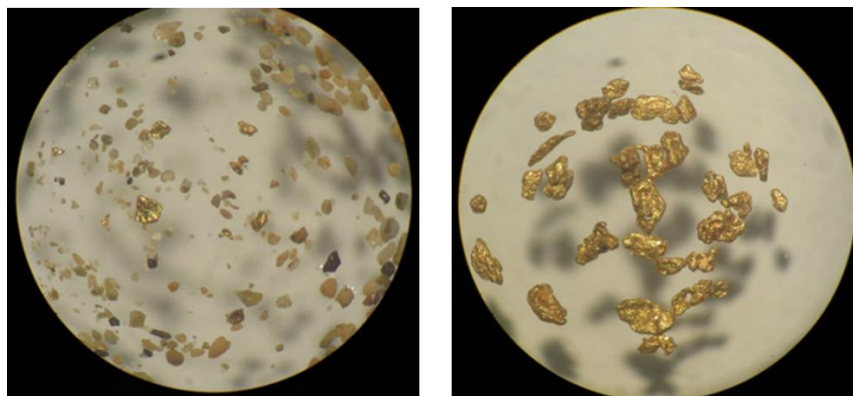
۶-۵-۱- آهن

در شمال روستاهای شاه‌بلاغ و کاوند کانی سازی آهن بصورت هماتیت و اولیژیست در واحد دولومیتی سازند سلطانیه و سازند کهر رخمون دارد. کانی سازی به اشکال نامنظم، رگه‌ای، رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی و عدسی دیده می‌شود که کانسنگهای اولیژیست بصورت روباز بهره برداری می‌شوند.

بررسیهای زمین‌شناسی و معدنی در غالب تحقیق حاضر نشان می‌دهد که کانسنگهای اولیژیست با کانی - سازی طلا، مس و باریت همراه نیستند بلکه منشأ اصلی کانی‌سازی مس و طلا مناطق اکسید آهنی (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) هستند که با سیلیس و باریت همراه می‌باشد. مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط آهن در محدوده کاوند به ترتیب ۵۳۱۰، ۲۸۴۷۳۴ و ۱۵۷۰۲۴ ppm می‌باشد.

۶-۵-۲- طلا

مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط عنصر طلا در ۲۹ نمونه کانسنگ از منطقه کاوند به ترتیب ۱۰، ۱۴۶۷۴ و ۱۲۸۶ ppb می‌باشد. در این میان بیشترین مقدار غلظت طلا مربوط به نمونه‌های KG-23، KG-03، KG-21، KG-14، KG-20، KG-22 است. سنگ منشأ طلا در ناحیه کاوند مناطق اکسید آهن - باریت، اکسید آهن - باریت - کوارتز و اکسید آهن - کوارتز - سولفید می‌باشد. در رسوبات آبراهه‌ای که از کانسنگ‌های مذکور منشأ می‌گیرند تمرکز قابل ملاحظه‌ای از ذرات طلای آزاد مشاهده می‌گردد. در دو نمونه کانی سنگین که از رسوبات بستر آبراهه‌های منطقه برداشت و مطالعه شده است تعداد ۳۴ و ۷ ذره طلا رویت گردید (شکل ۶-۷).



شکل ۶-۷- دو نمونه کانی سنگین که از رسوبات بستر آبراهه‌های منطقه کاوند برداشت و مطالعه شده است تعداد ۳۴ و ۷ ذره طلا رویت گردید.

۶-۵-۳- مس

در منطقه کاوند کانی سازی مس به صورت محلی تنها در رگه های کوارتز - اکسید آهن - سولفید مشاهده می گردد. ابعاد رخنمون رگه ها در سطح در حدود ۳ در ۵ متر می باشد. کانی سازی مس به صورت کالکوپیریت، کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت مشاهده می گردد. مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط عنصر مس به ترتیب ۲، ۱۲۸۳۱۴ و ۶۰۰۹ ppm می باشد. در نمونه های KG-03، KG-20، KG-13، KG-09، KG- به ترتیب ۴، ۱۲۸۳۱۴ و ۶۰۰۹ ppm می باشد. در نمونه های KG-14 دارای بالاترین عیار مس در نمونه های برداشته شده از منطقه می باشند.

۶-۵-۴- باریم

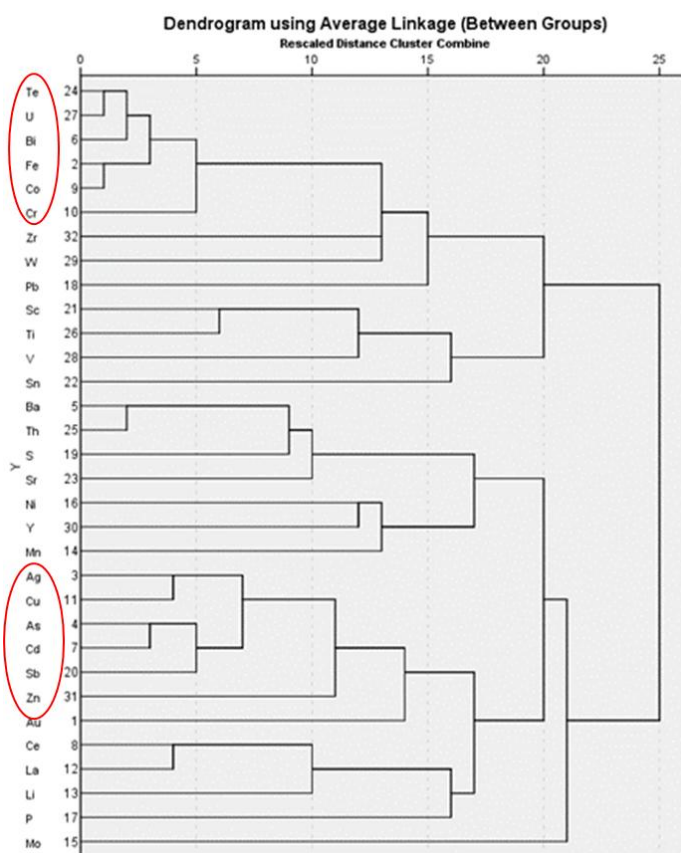
عنصر باریم علاوه بر اینکه از نظر معدنی مهم است یک عنصر کلیدی برای اکتشاف کانسارهای عناصر دیگر هم مهم می باشد. در محدوده کاوند باریت کانی همیافت اکسیدهای آهن، سولفیدهای مس، طلا و کوارتز می باشد. باریت به اشکال رگه، رگچه ای و پرکنده فضاهای خالی مشاهده می شوند. عیار باریت در نمونه های KG-21، KG-23، KG-18، KG-01، KG-13، KG-16 بالا می باشد. مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط عنصر باریم به ترتیب ۵۸، ۱۱۲۰۴ و ۲۶۹۱ ppm می باشد. بر پایه مشاهدات صحرایی تمرکز اقتصادی از باریت در منطقه وجود ندارد بنابراین باریت از باطله های کانسنگ های هماتیت، طلا و مس می باشد.

۶-۶- آنالیز خوشه ای عناصر

آنالیز خوشه ای یکی از تحلیل های آماری چند متغیره است که برای گروه بندی عناصری که ارتباط ژئوشیمیایی ذاتی در یک جامعه آماری دارند استفاده می گردد. این روش همانند دیگر روش های آماری

چند متغیره از داده‌های نرمال استاندارد بهره می‌گیرد. در محدوده کاوند از لگاریتم داده‌های ژئوشیمی ۲۹ نمونه کانسنگ برای ترسیم نمودار ساختار درختی استفاده شده‌است. بر مبنای تحلیل خوشه‌ای عناصر در منطقه مورد مطالعه در دو گروه اصلی A (Te, U, Bi, Fe, Co, Cr, Zr, W, Pb, Sc, Ti, V, Sn) و B (Ba, Th, S, Sr, Ni, Y, Mn, Ag, Cu, As, Cd, Zn, Au, Ce, La, Li, P, Mo) قرار می‌گیرند. گروه A به دو زیر گروه A₁ که شامل عناصر Pb, W, Zr, Cr, Co, Fe, Bi, U, Te و A₂ که شامل عناصر V, Ti, Sc می‌باشد تقسیم شده است. گروه B به زیر گروه B₁ (Ba, Th, S, Sr, Ni, Y, Mn) و B₂ (Cu, Ag, As, Cd, Zn, Au, Ce, La, Li, P, Mo) تقسیم شده است (شکل ۶-۸). مسئله مهمی که در تحلیل خوشه‌ای داده‌های ژئوشیمی کاوند به دست می‌آید این است که عنصر آهن به همراه عناصر وانادیم، تیتانیوم، اسکاندیوم، کروم و کبالت در گروه A در حالی که طلا همراه با عناصر مس، آرسنیک، نقره، سرب، کادمیم، آنتیموان و باریم در گروه B قرار گرفته‌اند. جدایی عنصر آهن از عناصر مس، طلا و باریم جای بحث دارد برای اینکه بر پایه مشاهدات صحرایی و مطالعات کانی‌شناسی اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) همیافتی خوبی با کانی‌های عناصر نامبرده دارد ولی ذکر این نکته مهم است که حجم قابل توجهی از کانی سازی آهن در محدوده کاوند به صورت اولیژیست است که دارای کمترین مقادیر غلظت عناصر طلا، مس و باریم دارند. از آنجا که وسعت و حجم کانسنگ‌های اولیژیست قابل توجه است و تعداد نمونه‌های برداشت شده از این کانسنگ‌ها زیاد است لذا نتایج تحلیل آماری چند متغیره از کانی سازی اولیژیست در منطقه تأثیر پذیرفته و عنصر آهن در یک خوشه جدا از عناصر مس، طلا و باریم قرار گرفته است. اگر در این تحلیل آماری از نمونه‌های کانسنگ‌های اولیژیست صرف‌نظر گردد مطمئناً عنصر آهن از پارائنه‌های مهم عناصر طلا، مس و باریم به حساب می‌آید. همیافتی ژئوشیمیایی عناصر طلا، مس، آرسنیک، نقره، سرب، کادمیم، آنتیموان و باریم در نمودار درختی حاضر هم مهم می‌باشد. چنین همیافتی

عنصری بیان از رخداد کانی‌سازی تیپ گرمابی (به احتمال زیاد اپی‌ترمال) در منطقه کاوند می‌باشد. برای اینکه این پاراژنز عنصری دارای بیشترین مشابهت با کانسارهای طلای تیپ اپی‌ترمال می‌باشند.



شکل ۶-۸- نمودار آنالیز خوشه‌ای صورت گرفته بر روی نتایج آنالیز نمونه‌های محدوده کاوند

۶-۷- آنالیز مؤلفه‌های اصلی

۶-۷-۱- تجزیه عاملی (آنالیز فاکتوری)

یکی از مسائل پیچیده و مهم در اکتشافات ژئوشیمیایی بررسی همزمان عناصر مورد مطالعه است. یکی از روشها در این زمینه تجزیه و تحلیل فاکتوری است. این روش دو مزیت بسیار شاخص دارد:

۱- کاهش ابعاد داده‌ها

۲- بیان ارتباط موجود بین عناصر گوناگون

نقش تجزیه و تحلیل فاکتوری به خصوص با تعداد زیاد عناصر مورد بررسی و تعداد زیاد نمونه‌ها بیش از پیش نمایان می‌شود، به طوری که فهم و درک تغییرپذیری داده‌ها را بسیار ساده‌تر می‌کند. تجزیه و تحلیل فاکتوری بر تحلیل مولفه‌های اصلی استوار است. این روش تکنیکی برای پیدا کردن ترکیب خطی از متغیرهای اولیه‌ای است که تشکیل یک دستگاه محور مختصات جدید بدهند. این ترکیبات خطی را مؤلفه‌های اصلی می‌نامند. تجزیه و تحلیل فاکتوری در مراحل زیر انجام می‌گیرد:

- محاسبه ضرایب همبستگی

- استخراج عاملها که شامل تعیین تعداد و روش محاسبه عاملها است.

- محاسبه امتیاز هر عامل برای تک تک نمونه‌ها

این روش همانند دیگر روش‌های آماری چند متغیره از داده‌های نرمال استاندارد بهره می‌گیرد. نتایج حاصل از آنالیز فاکتوری با استفاده از لگاریتم داده‌های خام در جدول ۶-۴ آورده شده است.

۶-۷-۲- جدول مشارکت‌ها

این جدول نشان دهنده برآورد اولیه عامل‌ها و بیانگر میزان مشارکت عناصر در این روش است. همانطور که مشاهده می‌شود اکثر عناصر مشارکت بالایی در تحلیل آماری حاضر دارند. با توجه به جدول مذکور میزان مشارکت همه عناصر بالای ۰/۶ است و بنابراین فاکتورهایی که این عناصر در شکل‌گیری آنها نقش دارند از اعتبار بالایی برخوردارند (جدول ۶-۸).

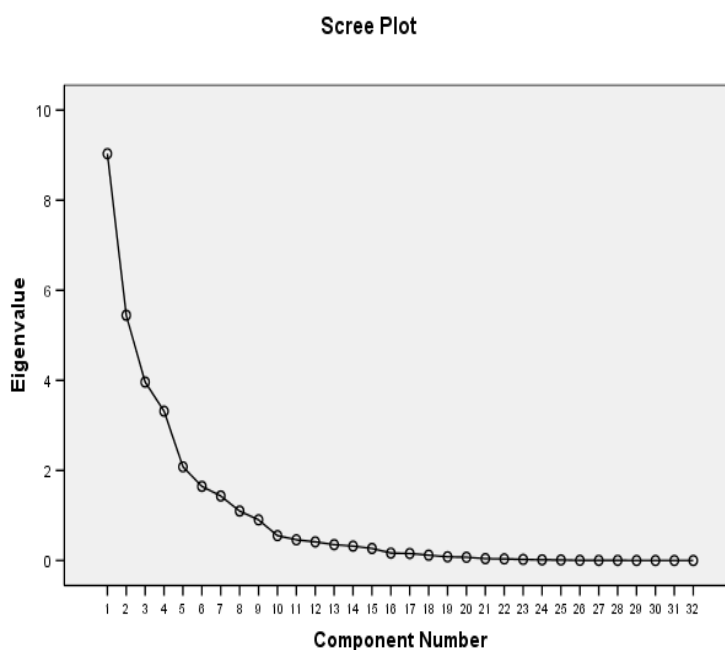
جدول ۶-۸ - میزان مشارکت هر یک از متغیرها در آنالیز فاکتوری

	Au	Fe	Ag	As	Ba	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cu
Extractio	۰/۶۸	۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۱
	Sb	Sc	Sn	Sr	Te	Th	Ti	U	La	Li	Mn
Extractio	۰/۸۰	۰/۸۶	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۶	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۹۰
	P	Pb	S	Y	Ni	Mo	V	W	Zn	Zr	

Extractio	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۸۷	۰/۸۱	۰/۹۵	۰/۷۵	۰/۸۲	۰/۹۵	۰/۷۹	
-----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--

۶-۷-۳- تحلیل نتایج تجزیه فاکتوری

در تجزیه فاکتوری به تعداد متغیرها (عناصر) مقدار فاکتوری محاسبه می‌گردد ولی در این میان تعدادی از این فاکتورها به عنوان فاکتورهای معتبر برای تجزیه و تحلیل آماری استفاده می‌گردد. جدایش فاکتورهای معتبر بر اساس روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد، که به طور متداول به کار می‌رود رسم منحنی صخره-ای می‌باشد. در این نمودار فاکتورهای که دارای مقادیر ویژه بالای یک می‌باشد به عنوان فاکتورهای معتبر برای تجزیه و تحلیل فاکتوری به کار گرفته می‌شوند. بر اساس نمودار صخره‌ای شکل ۶-۹ تعداد ۸ فاکتور مهم در محدوده کاوند جدا شده است.



شکل ۶-۹- نمودار صخره‌ای جهت جدایش فاکتورهای معتبر آنالیز فاکتوری

در تجزیه عاملی از مقادیر مولفه‌های چرخش یافته برای تحلیل نتایج در هر فاکتور استفاده می‌گردد، چون مقادیر چرخش یافته بهتر از مولفه‌های خام ارتباط زایشی عناصر را در جامعه مورد مطالعه نشان می‌دهند. مقادیر مولفه‌های چرخش یافته برای ۲۹ نمونه کانسنگ در محدوده کاوند در جدول ۶-۹ ارائه شده است. در جدول مقادیر مولفه‌های چرخش یافته، اساس انتخاب عناصر غنی شده و تهی شده در هر فاکتور عدد ± 0.5 می‌باشد، بدین ترتیب که مقادیر بالای 0.5 بیانگر عناصر دارای غنی شدگی و مقادیر کمتر از -0.5 بیانگر عناصر دارای تهی شدگی در هر فاکتور می‌باشد. در مولفه ۱ آهن بیشترین غنی شدگی را دارد و بوسیله عناصر بیسموت، تنگستن و وانادیم همراهی می‌شود. حضور آهن در مولفه ۱ بیان از گسترش کانی‌سازی‌های این عنصر در منطقه کاوند دارد، شواهد صحرایی هم موید این موضوع است به طوری که اولیژیست بخش قابل توجهی از محدوده معدنی را در بر می‌گیرد. در مولفه ۲ طلا با عناصر نقره، آرسنیک، آنتیموان، روی، کادمیوم، مس، باریم و گوگرد همیافتی دارد و از نظر گسترش در درجه دوم اهمیت قرار می‌گیرد. بر اساس مشاهدات صحرایی و مطالعات مینرالوگرافی چنین همیافتی عنصری با وجود کانی-سازی‌های اکسید آهن - کوارتز - سولفید تایید می‌گردد و بیانگر رخداد کانی سازی گرمابی (به احتمال زیاد اپی‌ترمال) می‌باشد. مولفه‌های ۳ تا ۸ از نظر کانی سازی زیاد مهم نیستند (جدول ۶-۹). تحلیل آماری داده‌های ژئوشیمیایی ثابت می‌کند که طلا و اولیژیست محصول دو رخداد کانی‌سازی متفاوت در منطقه کاوند هستند. پاراژنز عنصری در مولفه ۲ نقش فرایند هیدروترمالی را در کانی‌سازی طلا، هماتیت، باریت و مس در منطقه نشان می‌دهد. در حالی که اولیژیست‌ها محصول دگرسانی گرمابی کانسنگ‌های اکسید آهن قبلی می‌باشد.

جدول ۶-۹- مقادیر مولفه‌های چرخش یافته در فاکتورهای ۸ گانه به روش تجزیه عاملی

	1	2	3	4	5	6	7	8
Au	-۰/۲۹۷	۰/۴۸۵	۰/۳۷۶	۰/۱۰۲	۰/۲۱۹	-۰/۱۷۰	-۰/۱۲۰	-۰/۲۷۷
Fe	۰/۹۶۳	-۰/۰۱۲	-۰/۰۶۲	۰/۱۰۹	-۰/۰۲۲	-۰/۱۰۷	-۰/۰۶۲	-۰/۰۰۶
Ag	۰/۰۸۲	۰/۹۱۸	۰/۱۵۷	-۰/۰۱۴	۰/۰۱۵	-۰/۰۹۲	-۰/۰۷۰	-۰/۰۶۹
Ba	-۰/۱۵۱	۰/۱۰۴	۰/۹۲۱	-۰/۱۱۷	-۰/۰۷۷	۰/۰۶۵	-۰/۰۰۲	۰/۱۳۴
Bi	۰/۹۱۸	-۰/۲۲۹	۰/۰۶۲	۰/۱۰۱	-۰/۱۳۵	۰/۱۴۵	-۰/۰۸۲	۰/۰۲۲
Cd	-۰/۲۴۰	۰/۸۹۸	-۰/۰۴۹	۰/۰۲۰	۰/۱۸۰	۰/۰۴۳	۰/۱۸۵	۰/۰۲۴
Ce	-۰/۲۹۷	۰/۱۳۲	-۰/۰۶۴	۰/۳۱۰	۰/۸۱۵	-۰/۰۱۲	-۰/۰۸۷	-۰/۰۰۶
Cu	-۰/۱۱۳	۰/۸۵۹	۰/۲۸۳	۰/۰۴۲	۰/۰۸۹	۰/۱۳۶	-۰/۱۰۶	۰/۲۱۲
Mn	۰/۱۸۴	-۰/۰۰۸	۰/۶۶۷	-۰/۲۱۱	۰/۱۹۵	-۰/۴۹۴	۰/۰۶۷	۰/۳۰۳
Mo	-۰/۰۸۰	۰/۱۹۲	۰/۰۷۴	۰/۰۲۳	-۰/۰۵۴	-۰/۰۱۳	۰/۰۱۹	۰/۹۵۱
Pb	۰/۴۴۸	۰/۰۳۵	۰/۱۰۶	-۰/۰۳۰	-۰/۰۵۵	۰/۸۲۰	۰/۰۵۴	-۰/۰۱۶
S	-۰/۲۳۷	۰/۵۸۸	۰/۶۰۱	۰/۱۶۷	-۰/۱۸۵	۰/۰۸۸	۰/۱۹۸	-۰/۲۰۷
Sb	-۰/۳۷۱	۰/۷۲۹	۰/۰۶۵	-۰/۱۷۹	-۰/۰۰۹	۰/۱۰۰	۰/۳۵۸	۰/۱۴۵
Sn	-۰/۰۸۷	-۰/۲۴۳	-۰/۴۹۸	۰/۴۷۷	-۰/۱۱۰	-۰/۱۵۸	۰/۲۷۱	-۰/۰۸۲
Sr	-۰/۳۱۲	۰/۱۲۵	۰/۶۶۵	۰/۰۷۰	-۰/۰۹۸	-۰/۲۷۷	-۰/۰۹۵	-۰/۱۲۸

Ti	-۰/۰۱۷	۰/۰۷۹	۰/۱۵۶	۰/۸۹۳	۰/۲۰۱	۰/۱۴۵	۰/۰۰۳	۰/۱۳۸
V	۰/۳۱۷	-۰/۱۹۳	-۰/۱۴۰	۰/۵۵۱	۰/۲۱۲	-۰/۳۶۸	۰/۱۲۴	۰/۳۰۸
W	۰/۴۱۲	-۰/۳۰۹	-۰/۴۶۷	۰/۳۶۲	-۰/۰۰۳	۰/۱۷۵	-۰/۲۶۷	-۰/۳۳۷
Zn	۰/۵۹۰	۰/۷۴۰	-۰/۱۴۹	-۰/۰۰۴	۰/۰۹۵	۰/۱۲۱	۰/۱۰۶	-۰/۰۱۲
Zr	۰/۵۰۰	۰/۰۵۱	-۰/۰۶۳	-۰/۳۸۰	-۰/۰۵۷	-۰/۴۳۹	-۰/۴۴۲	-۰/۰۷۴

۶-۸- شیمی کانی‌ها براساس روش میکروپروپ الکترونی (EPMA)

اساس تجزیه میکروپروپ الکترونی بسیار شبیه به فلورسانس پرتو X است با این تفاوت که به جای باریکه پرتو X، نمونه به وسیله‌ی باریکه‌ای از الکترون‌ها برانگیخته می‌شود. پرتوهای X ثانویه مطابق با طول موجشان تجزیه شده و بخش قله‌ای آن نسبت به یک استاندارد شمرده شده و شدت آنها به غلظت تبدیل می‌شود و تصحیحات مناسبی نیز برای زمینه اعمال می‌شود (Long, 1967). تجزیه‌ی میکروپروپ الکترونی پراش - انرژی از یک طیف انرژی به ازای شدت (به جای طول موج به ازای شدت) استفاده می‌کند و تعیین همزمان عناصر مورد نظر را ممکن می‌سازد. این روش تجزیه، بسیار سریعتر است اما دقت کمتری نسبت به روش طول موج دارد. تجزیه میکروپروپ الکترونی اساساً برای تجزیه‌ی عناصر اصلی کانی به کار می‌رود، گرچه این روش برای تجزیه‌ی عناصر اصلی موجود در نمونه‌های سنگی ذوب شده نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. میکروپروپ الکترونی در اصل ابزاری برای تجزیه‌ی عناصر کمیاب نیست. مزیت اصلی آن این است که دارای قدرت تفکیک مکانی بسیار خوبی بوده و معمولاً یک باریکه الکترونی با قطر ۲ - ۱ میکرومتر در آن به کار می‌رود. این بدان معنی است که نمونه‌های بی‌نهایت ریز نیز می‌توانند تجزیه شوند (کریم زاده، ۱۳۸۱). در میکروسکوپ نوری شاید بتوان با تغییر انحنای (تعقر و تحدب) سطح عدسی‌ها و تعداد آنها بزرگنمایی تصاویر را به هر مقدار زیاد کرد اما به علت بلند بودن طول موج نور،

عملاً تصاویر در بزرگنمایی‌های بالای ۲۰۰۰ برابر وضوح خود را از دست می‌دهند. منظور از وضوح، کمترین فاصله بین دو نقطه است که بتوان آن‌ها را با دیدن از هم تفکیک کرد. اساس کار EPMA بمباران الکترونی حجم بسیار کوچکی از نمونه توسط یک تفنگ الکترونی با انرژی بین ۵ تا ۳۰ کیلو الکترون ولت و اندازه‌گیری میزان فتون‌های X-Ray ساطع شده توسط نمونه می‌باشد. از آنجایی که طول موج X-Ray ساطع شده، مشخصه عنصر معینی می‌باشد، ترکیب نمونه به سادگی توسط ثبت اسپکترومهای WDS شناسایی می‌گردد. میکروپروپ روشی تمام کیفی و تمام کمی است که قادر است بدون تخریب نمونه، از حجم بسیار کوچکی (در حد میلی‌متر) از نمونه با حساسیت حدود ppm مورد آنالیز قرار بگیرد. این دستگاه را می‌توان در مقایسه با دیگر میکرو آنالیزها به عنوان دستگاهی که قادر است آنالیز با دقت و صحت بالاتری ارائه دهد، معرفی نمود. همچنین تمام عناصر جدول تناوبی از Be تا U قابل اندازه‌گیری می‌باشند.

۶-۸-۱- هدف و ضرورت انجام مطالعه

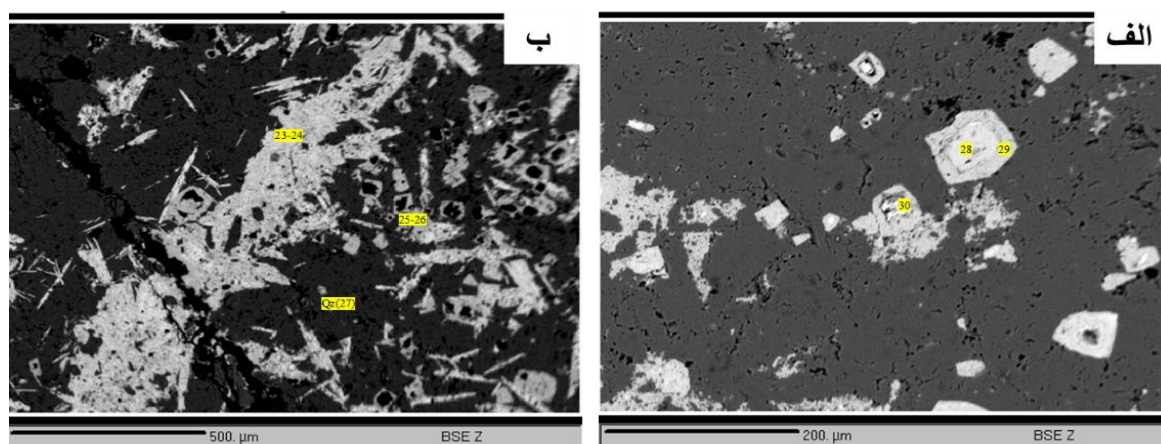
هدف اصلی در استفاده از روش میکروپروپ الکترونی در تجزیه شیمیایی نمونه‌های کانسنگ محدوده کاوند شناسایی کانی‌های مجهول، میانبارها و تغییرات ترکیب شیمیایی در ساختار کانی‌ها می‌باشد. انتخاب نمونه‌ها برای مطالعات ریز تجزیه‌ای پس از بررسی‌های مقاطع نازک، نازک صیقلی و صیقلی و ژئوشیمی ترکیب کلی نمونه‌های کانسنگ صورت گرفته است، و بر پایه نتایج این مطالعات نمونه‌های شماره‌های KP-02، KP-06، KP-07، KP-03، KP-11، KP-12 برای این منظور در نظر گرفته شده‌اند. این نمونه‌ها از مناطق مستعد کانی‌سازی اکسید آهن - کوارتز - طلا - سولفید انتخاب شده‌اند. ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های مذکور ابتدا به روش نوری شناسایی شده و در این بخش بر روی کانی‌های سازنده هر نمونه تعدادی نقطه به روش پروپ تجزیه شده است که در ادامه به تفسیر این نتایج پرداخته می‌شود.

۶-۸-۲- نتایج تجزیه نمونه‌ها به روش میکروپروپ الکترونی

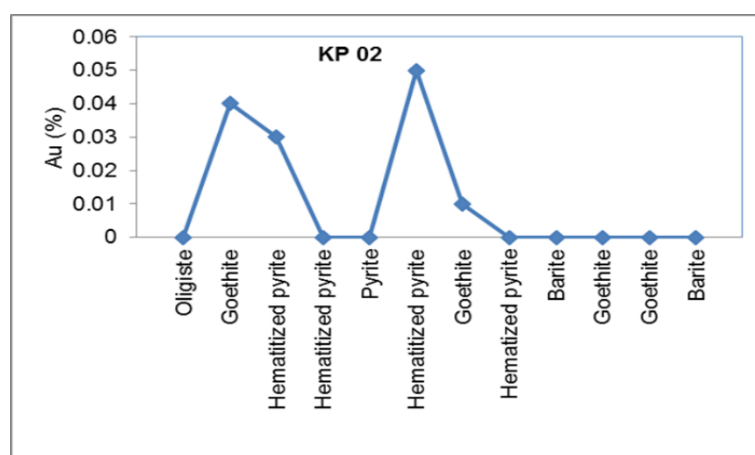
برای تشخیص ترکیب شیمیایی و شناسایی کانی‌های موجود در مقاطع KP-02، KP-03، KP-07، KP-11 به کمک دستگاه الکترون میکروپروپ مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت که نتایج این ۴ نمونه در زیر به صورت جداگانه توضیح داده می‌شود.

نمونه KP-02

نمونه KP-02 از کانسنگ اکسید آهن - باریت - کوارتز منطقه انتخاب گردیده است که به مالاکیت هم آغستگی نشان می‌دهد. مطالعات میکروسکوپی بر روی مقاطع صیقلی و نازک صیقلی این نمونه به شناسایی کانی‌های کوارتز، باریت و کانه‌های اولیژیست، هماتیت، پیریت و گوتیت منجر شد. نتایج تجزیه نقطه‌ای بر روی کانی‌های تشکیل‌دهنده این نمونه در جدول ۶-۱۰ ارائه شده است. در این نمونه نقاط آنالیز بر روی کانی‌های اولیژیست، گوتیت، پیریت هماتیت شده، پیریت، باریت انتخاب شده است. بررسی نتایج آنالیز این نمونه نشان می‌دهد که عناصر Ba، Fe و Si فراوانی زیادی دارد که کانه‌های تمرکز دهنده Fe پیریت هماتیتی شده، گوتیت و اولیژیست، کانی تمرکز دهنده Ba، باریت و کانی تمرکز دهنده Si، کوارتز می‌باشد (جدول ۶-۱۰). از آنجا که طلا یکی از عناصر مهم در منطقه کاوند می‌باشد، بررسی مقدار طلا در کانی‌های مختلف اکسیدهای آهن مثل گوتیت و پیریت‌های هماتیتی شده دارای بیشترین تمرکز طلا می‌باشند (شکل ۶-۱۱).



شکل ۶-۱۰- نقاط پروپ بر روی نمونه Kp-02

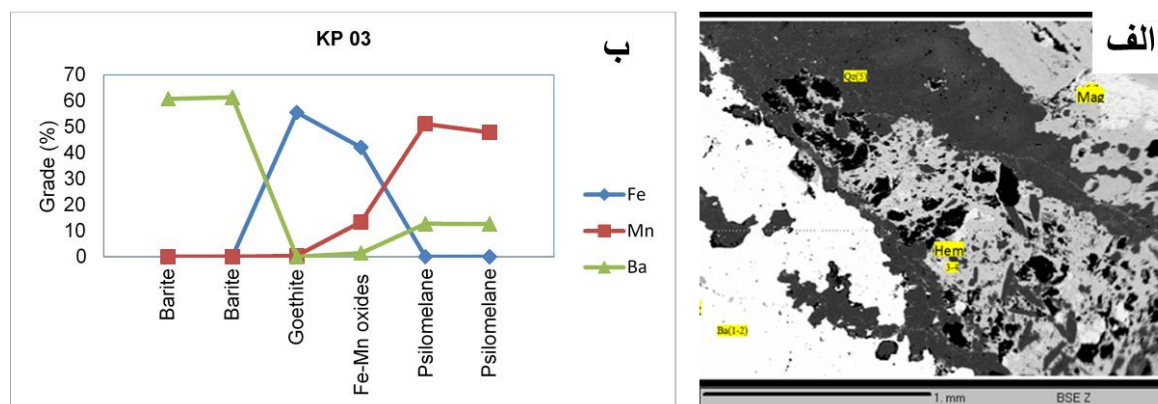


شکل ۶-۱۱- نمودار تغییرات مقدار طلا در کانه‌های مختلف در نمونه Kp-02

نمونه KP-03

نمونه KP-03 دارای قطعات سیلیسی، اکسید آهن و باریت است. در تجزیه شیمیایی کلی مقادیر Au ۲۵۴ میلی‌گرم در تن، Fe ۱۶٪، Ag ۱ ppm، Ba ۷۰۸۷ ppm و Cu ۴۶۵۸ ppm گزارش شده است و معادل نمونه ژئوشیمیایی KG-20 می‌باشد. در مطالعات میکروسکوپی مقطع نازک صیقلی این نمونه کانی کوارتز، باریت و کانه‌های هماتیت، گوتیت، لیمونیت و مگنتیت مشاهده گردید. بررسی نتایج ژئوشیمیایی به روش

پروپ کاملاً در انطباق با روش کانی‌شناسی نوری بوده است. نتایج تجزیه نقطه‌ای بر روی کانی‌های سازنده این نمونه در جدول ۶-۱۱ آورده شده است. نتایج آنالیز مقادیر مقدار آهن، منگنز و باریم در کانی‌های نمونه را نشان می‌دهد. طبق نتایج به دست آمده منجر به شناسایی کانی‌های باریت، گوتیت، اکسیدهای Fe-Mn و پسیلوملان شده است (جدول ۶-۱۱). به طوری که از نمونه پیداست، گوتیت، اکسیدهای آهن و منگنز دارای بیشترین مقدار Fe هستند. در حالی که پسیلوملان دارای بیشترین مقدار منگنز می‌باشد و باریت دارای بیشترین مقدار Ba است (شکل ۶-۱۲ ب). بر مبنای نتایج مطالعات میکروسکوپی نقاط شماره ۱ و ۲ بر روی کانی باریت، شماره ۳ و ۴ بر روی کانی هماتیت، شماره ۵ بر روی کانی کوارتز و شماره ۶ و ۷ بر روی کانی مگنتیت انتخاب شده است (شکل ۶-۱۲ الف).

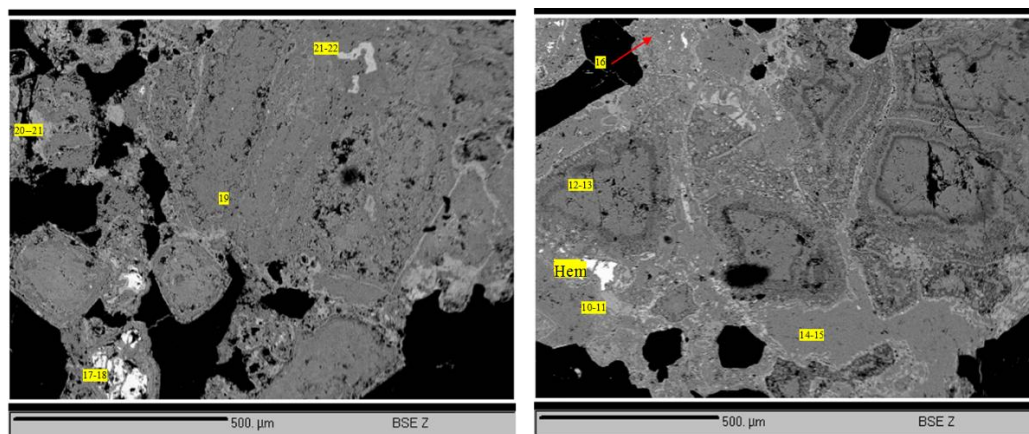


شکل ۶-۱۲- الف) نقاط پروپ بر روی نمونه Kp-03، ب) نمودار تغییرات مقدار باریم، منگنز و آهن در کانه‌های مختلف در نمونه Kp-03

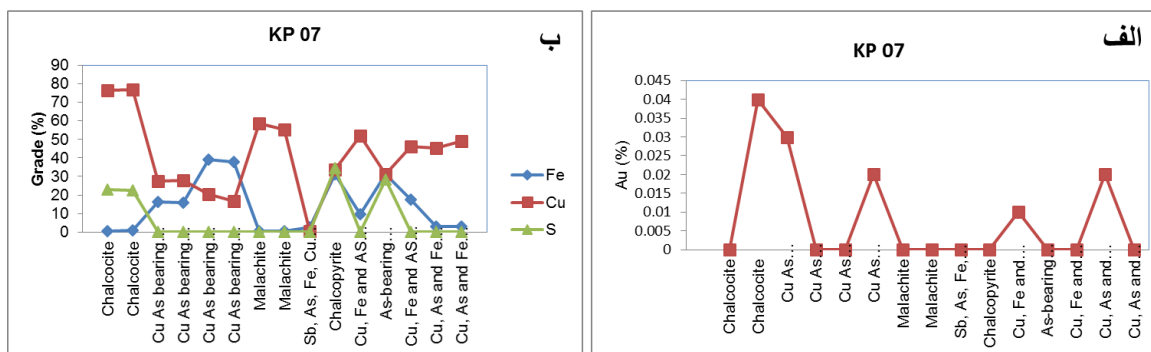
نمونه KP-07

نمونه KP-07 معادل نمونه KG-03 می‌باشد. در تجزیه شیمیایی کلی مقدار Au این نمونه ۹۸۴۴ میلی‌گرم در تن و مقدار Fe ۶/۵٪، Ag ۶ ppm، As ۱۴۸۶۲ ppm، Ba ۲۰۷ ppm و Cu ۱۲/۸۳٪ بوده است. برپایه مطالعات مقاطع نوری کانی‌های کوارتز، اکسیدهای آهن (اولیژیست، هماتیت، گوتیت و لیمونیت)، پیریت، کالکوپیریت، مالاکیت و آزوریت و طلا (?) در این نمونه گزارش شده است. نتایج تجزیه نقطه‌ای بر روی کانی‌های سازنده این نمونه در جدول ۶-۱۲ آورده شده است، به طوری که عناصر Fe، Cu

، Sb، S و As از درصد قابل توجهی در این نمونه برخوردار می‌باشد. تفسیر نتایج پر کاملاً در انطباق با کانی‌شناسی به روش نوری بوده است. در این نمونه به روش نوری کانی‌های مشکوک به طلا شناسایی گردید و علی‌رغم انتخاب این نمونه برای تجزیه به روش پروپ بر روی این نقطه‌های مشکوک آنالیز نقطه-ای انجام نشده است (شکل ۶-۱۳). بررسی مقدار طلا در نقطه‌های آنالیز شده نشان می‌دهد که کانی‌های مثل کالکوسیت، هیدروکسیدهای Cu-Fe-As دارای بیشترین مقدار طلا می‌باشد (شکل ۶-۱۴ الف). مقدار مس در نقاطی که روی کالکوسیت، مالاکیت، کانی‌های حاوی Cu-Fe-As و کالکوپیریت بالا است. مقدار Fe در جاهایی که نقاط بر روی کانی‌های دارای Cu-Fe-As، کالکوپیریت بالا می‌باشد (شکل ۶-۱۴ ب).



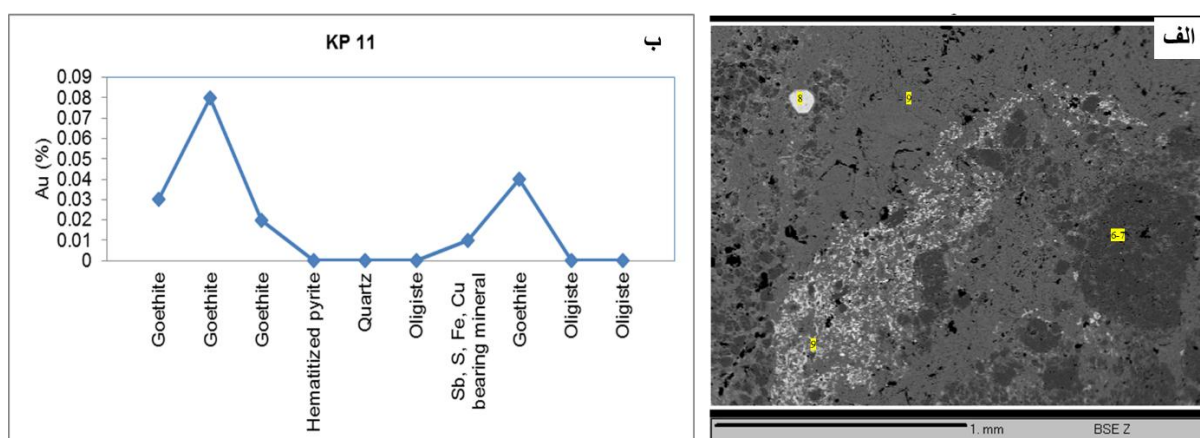
شکل ۶-۱۳ - نقاط پروپ انجام شده بر روی نمونه Kp-07



شکل ۶-۱۴ - الف) نمودار تغییرات مقدار طلا در کانی‌های مختلف در نمونه Kp-07، ب) نمودار تغییرات مقدار S، مس و آهن در کانه‌های مختلف در نمونه Kp-07

نمونه KP-11

نمونه KP-11 معادل نمونه ژئوشیمیایی KG-23 می‌باشد. در تجزیه‌ی شیمیایی کلی مقدار Au این نمونه ۱۴۶۷۴ میلی‌گرم در تن و مقدار Fe ۱۷٪، Ag ۰/۵ ppm، Ba ۱۰۱۹۲ ppm و Cu ۸۶ ppm بوده است. نمونه دستی KP-11 به صورت فاز برشی و دارای اکسیدهای آهن، کلسیت، سیلیس و باریت می‌باشد. مطالعات میکروسکوپی بر روی مقاطع نازک صیقلی این نمونه کانی‌های سیلیس، باریت کلسیت و کانه‌های اولیژیست، گوتیت، لیمونیت و پیریت‌های هماتیته شده مشاهده گردید. در این نمونه به روش نوری کانی‌های مشکوک به طلا شناسایی گردید و علی‌رغم انتخاب این نمونه برای تجزیه به روش پروپ بر روی این نقطه‌های مشکوک آنالیز نقطه‌ای انجام نشده است. نتایج تجزیه نقطه‌ای بر روی کانی‌های سازنده این نمونه در جدول ۶-۱۳ آورده شده است، به طوری که عنصر Fe از درصد قابل توجهی در این نمونه برخوردار می‌باشد. تفسیر نتایج پر کاملاً در انطباق با کانی‌شناسی به روش نوری بوده است. طبق نتایج بدست آمده منجر به شناسایی کانی‌های گوتیت، پیریت‌های هماتیته شده، کوارتز، اولیژیست و کانی‌های حاوی As-Fe-Cu شده است (شکل ۶-۱۵ الف). طبق نمودار مقدار تغییرات طلا در کانی‌های مختلف نمونه نشان می‌دهد که گوتیت‌های دارای بیشترین مقدار طلا می‌باشد (شکل ۶-۱۵ ب).



شکل ۶-۱۵- الف) نقاط پروپ انجام شده بر روی نمونه Kp-11، ب) نمودار تغییرات طلا بر روی کانی‌های مختلف نمونه Kp-11

جدول ۶-۱۰- نتایج آنالیز EPMA بر روی نمونه Kp-02 (برحسب ppm) که منجر به شناسایی کانی‌ها شده است.

Point.No	Mineral	Fe	Cu	S	Ti	Mn	Ni	Co	Zn	As	Ag	Sb	Te	Ba	Au	Pb	Bi	Total
23	Oligiste	۶۹/۸۹	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰/۰۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۵	۰/۰۱	۷۰/۰۷
24	Goethite	۶۷/۶۶	۰	۰/۰۴	۰	۰/۰۴	۰/۰۱	۰	۰/۰۳	۰/۱۵	۰	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰	۶۸/۰۲
25	Hematitized pyrite	۵۳/۹۴	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۴	۰/۰۲	۰	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۱	۵۴/۱۳
26	Hematitized pyrite	۵۸	۰/۰۱	۰/۱	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۴	۰	۰	۰/۰۳	۵۸/۲۴
27	Pyrite	۴۶/۵۴	۰/۰۱	۵۳/۸۲	۰/۰۱	۰	۰/۱	۰	۰	۰/۰۴	۰	۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۰	۰	۰	۱۰۰/۵۶
28	Hematitized pyrite	۴۸/۷۴	۰	۰/۶۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲/۰۷	۰/۰۵	۰	۰	۵۱/۵۳
29	Goethite	۴/۴۴	۰	۱۰/۴۶	۰/۰۲	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۹/۳۹	۰/۰۱	۰	۰/۳۱	۶۴/۸۳
30	Hematitized pyrite	۶۱/۴۴	۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰	۰	۰/۰۷	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۳	۰	۶۱/۶۵
31	Barite	۰/۲۵	۰	۱۱/۲	۰/۱۹	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۶۱/۲۱	۰	۰	۰/۴۵	۷۳/۳۳
32	Goethite	۵۶/۴۶	۰/۴۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۰	۰	۰	۰/۰۲	۰	۰/۰۴	۰	۵۷/۰۴
33	Goethite	۵۵/۸۴	۰/۱۱	۰/۰۲	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰/۰۷	۰/۰۲	۵۶/۰۸
34	Barite	۰/۰۷	۰	۱۱/۲۱	۰/۲۲	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰/۱	۰	۰	۰	۶۲/۱۴	۰	۰	۰/۳۳	۷۴/۰۸

جدول ۶-۱۱- نتایج آنالیز EPMA بر روی نمونه Kp-03 (برحسب ppm) که منجر به شناسایی کانی‌ها شده است.

Point.No	Mineral	Fe	Cu	S	Ti	Mn	Ni	Co	Zn	As	Ag	Sb	Te	Ba	Au	Pb	Bi	Total
1	Barite	.	.	۱۲/۷۲	۰/۱۹	.	۰/۰۳	.	.	۰/۰۴	.	.	.	۶۰/۷۸	.	.	۰/۴۱	۷۴/۱۷
2	Barite	.	.	۱۲/۳۳	۰/۲۲	.	۰/۰۳	۰/۰۲	.	۰/۰۳	.	.	.	۶۱/۳۹	.	.	۰/۳۵	۷۴/۳۷
3	Goethite	۵۵/۵۸	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۴۲	.	.	.	۴/۳۱	.	.	۰/۰۱	۰/۰۳	.	.	۰/۰۳	۶۰/۴۱
4	Fe-Mn oxides	۴۲/۱۵	.	۰/۰۵	.	۱۳/۳۵	۰/۰۱	.	.	.	۰/۰۱	.	.	۱/۴	.	۰/۰۳	۰/۰۴	۵۷/۰۴
6	Psilomelane	.	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۵۱/۰۹	۰/۰۲	.	.	.	.	.	.	۱۲/۷۴	.	.	۰/۱۴	۶۴/۱۱
7	Pesilomelan	.	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۴	۴۷/۸۳	۰/۰۱	.	.	.	.	.	.	۱۲/۶۳	.	.	۰/۱۳	۶۰/۶۹

جدول ۶-۱۲- نتایج آنالیز EPMA بر روی نمونه (برحسب ppm) که منجر به شناسایی کانی ها شده است.

Point.No	Mineral	Fe	Cu	S	Ti	Mn	Ni	Co	Zn	As	Ag	Sb	Te	Ba	Au	Pb	Bi	Total
8	Chalcocite	۰/۴۷	۷۶/۶۸	۲۲/۷۵	.	.	۰/۰۱	.	.	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۱	.	.	.	۰/۰۱	۱۰۰/۲
9	Chalcocite	۰/۸	۷۶/۹۷	۲۲/۴۷	.	.	.	.	.	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۰۴	.	.	۰/۰۴	.	.	۱۰۰/۵۵
10	Cu As bearing iron oxide	۱۶/۳۴	۲۷/۶۶	۰/۰۹	.	.	.	.	.	۲۳/۲۷	۰/۰۱	۰/۰۶	.	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۶	.	۶۷/۵۷
11	Cu As bearing iron oxide	۱۵/۸۷	۲۸/۰۴	۰/۱۷	.	.	۰/۰۱	.	.	۲۶/۸۷	۰/۰۱	۰/۰۴	.	.	.	۰/۰۱	۰/۰۶	۷۱/۰۸
12	Cu As bearing iron oxide	۳۹/۰۶	۲۰/۲۴	۰/۰۷	.	.	.	.	.	۵/۳۷	.	۰/۱۹	.	۰/۰۴	.	۰/۰۲	۰/۰۱	۶۵
13	Cu As bearing iron oxide	۳۷/۷۸	۱۶/۵۹	۰/۰۷	.	.	.	.	.	۶/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۷	.	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۶	۶۰/۸۸
14	Malachite	۰/۵۳	۵۸/۵۵	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	.	.	۰/۹۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۱	.	.	۰/۰۱	.	۶۰/۲
15	Malachite	۰/۵۱	۵۵/۳۳	۰/۰۴	.	.	.	.	.	۰/۸۹	.	.	.	.	.	۰/۰۵	.	۵۶/۸۲
16	Sb, As, Fe, Cu bearing mineral	۲/۵۹	۰/۵۲	۰/۰۶	.	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	.	۲/۳۹	۰/۰۴	۵۸/۲۳	.	۰/۱۲	.	۰/۰۶	.	۶۴/۰۸
17	Chalcopyrite	۳۱/۳۷	۳۳/۶۶	۳۴/۶۷	.	.	.	.	.	.	۰/۱۲	.	.	.	.	.	.	۹۹/۸۲
18	Cu, Fe and As bearing mineral	۹/۶۷	۵۱/۸۷	۰/۰۳	.	۰/۰۱	۰/۰۱	.	.	۱/۴۶	.	۰/۰۶	.	.	۰/۰۱	.	.	۶۳/۱۲
19	As- bearing chalcopyrite	۳۱/۰۹	۳۱/۲۹	۲۸/۴۳	.	.	۰/۰۱	.	.	۷/۹۱	۰/۰۳	۲/۱۵	.	۰/۰۱	.	.	.	۱۰۰/۹۲
20	Cu, Fe and As bearing mineral	۱۷/۶۹	۴۶/۰۷	۰/۰۶	.	.	.	.	.	۲/۶۴	۰/۰۲	۰/۰۷	.	۰/۰۳	.	.	.	۶۶/۵۸
21	Cu, As and Fe bearing mineral	۳/۰۸	۴۵/۲۱	۰/۰۸	.	.	۰/۰۱	.	.	۲۴/۶۴	۰/۰۲	۰/۰۲	.	.	۰/۰۲	.	۰/۰۵	۷۳/۱۳
22	Cu, As and Fe bearing mineral	۲/۸۵	۴۸/۸۸	۰/۰۹	.	۰/۰۱	۰/۰۱	.	.	۲۶/۴۵	۰/۰۲	.	.	.	.	.	۰/۰۳	۷۸/۴۳

جدول ۶-۱۳- نتایج آنالیز EPMA بر روی نمونه (برحسب ppm) که منجر به شناسایی کانی ها شده است.

Point.No	Mineral	Fe	Cu	S	Ni	Si	Zn	As	Ag	Sb	Te	Au	Pb	Bi	Total
1	Goethite	۴۶/۷۱	۰	۰/۰۴	۰/۱۹	۱/۶	۰	۰	۰/۰۲	۰	۰	۰/۰۳	۰	۰	۴۸/۵۹
2	Goethite	۴۶/۱	۰	۰/۰۵	۰/۱۵	۱/۶۱	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰/۰۸	۰	۰/۰۳	۴۸/۰۴
5	Goethite	۵۳/۸۴	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۲	۲/۱۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۲	۵۶/۲۷
8	Hematitized pyrite	۵۷/۶۷	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۴	۱/۴۸	۰	۰/۳۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۹/۶۲
10	Quartz	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰/۰۲	۵۴/۹۱	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰	۵۴/۹۹
11	Oligiste	۶۳/۱۵	۰	۰/۰۳	۰/۰۴	۱/۲۵	۰	۰	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰	۶۴/۴۹
12	Sb, S, Fe, Cu bearing mineral	۰/۹۳	۰/۰۵	۵/۴	۰/۰۱	۰/۰۵	۰	۰/۱	۰/۰۳	۵۴/۲۵	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۶۰/۸۴
14	Goethite	۶۰/۳۲	۰	۰/۰۲	۰	۰/۰۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۴	۰	۰	۶۰/۴۵
15	Oligiste	۵۷/۷۲	۰	۰/۰۲	۰	۰/۰۷	۰/۰۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۳	۵۷/۸۹
16	Oligiste	۶۹/۷۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰/۱۴	۰/۰۵		۰	۰	۰/۱	۰	۷۰/۰۳

۶-۸-۳- تجزیه‌ی شیمیایی ذرات طلا از بخش تغلیظ یافته‌ی نمونه‌های کانی سنگین

به طور کلی به کانی‌هایی که وزن مخصوص آنها بالاتر از وزن مخصوص بروموفرم (2.89 g/cm^3) است، کانی سنگین گفته می‌شود. این کانی‌ها در ترکیب سنگ‌های مختلف در حد کانی‌های فرعی وجود دارند، اما در اثر هوازدگی و فرسایش سنگ‌های مادر، در محیط‌های ثانویه مانند رسوبات بستر رودخانه‌ها، ساحل دریاها، ماسه‌های بادی، رسوبات یخچالی و... تجمع پیدا کرده و عیار آنها در حد کانسارهای اقتصادی افزایش می‌یابد. کانی‌های سنگین دامنه وسیعی از کانیهای فلزی و غیرفلزی مانند طلا، نقره، سینابر، الماس، پلاتین، ایلمنیت، روتیل، کاسیتريت، زیرکن، مونازیت و... را شامل می‌شوند. علاوه بر اهمیت اقتصادی کانی‌های سنگین، در پی‌جویی و اکتشاف کانسارها هم از این کانیها استفاده می‌شود. همچنین از مطالعه نمونه‌های کانی‌های سنگین می‌توان در بسیاری از مسائل زمین‌شناسی، مانند مطالعات تکتونیکی، جغرافیایی دیرینه و حوضه‌های رسوبی، مطالعه مسیرهای رودخانه‌ای قدیمی، ارتباط چینه‌شناختی و انطباق لایه‌ها استفاده کرد. جدایش کانی‌های سنگین مانند زیرکن و مونازیت، همچنین برای مطالعات ژئوکرونولوژی و سن‌سنجی رادیواکتیو سنگها اهمیت دارد.

در محدوده‌ی اکتشافی کاوند از نمونه‌های کانی سنگین برای ردیابی سنگ منشأ طلا و عناصر همراه و همچنین ذرات طلای آزاد از رسوبات آبراهه‌ای جدا گردیده و برای تجزیه شیمیایی به روش ریزکاو الکترونی (EPMA) استفاده شده است. برای جداسازی ذرات طلا از نمونه‌های کانی سنگین به ترتیب مراحل زیر انجام شده است:

۶-۸-۳-۱- برداشت نمونه‌های کانی سنگین

برای برداشت نمونه‌های کانی سنگین از رسوبات آبرفتی محدوده کاوند، دو آبراهه انتخاب گردید. بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی و کانی سنگین گزارش ۱/۲۵۰۰۰ ژئوشیمیایی کاوند این دو آبراهه دارای بیشترین عیار طلا بوده‌اند. در هر ایستگاه نمونه برداری، دو جزء نمونه به فواصل ۱۰ تا ۲۰ متری جمعاً به حجم ۱۰ لیتر و از عمق بین ۱۰ تا ۴۰ سانتی متری از محل‌هایی که در آنجا:

- عیار کانی‌های سنگین بهینه باشد.

- رسوبات شن و ماسه‌ای به حد کافی ضخیم باشد.

- مقدار گل رسوبات حداقل باشد برداشت شدند.

۶-۸-۳-۲- آماده سازی نمونه‌های کانی سنگین

آماده سازی نمونه‌های کانی سنگین بر اساس مراحل زیر انجام می‌شود:

الف- شستشوی نمونه‌ها:

هدف از این مرحله تغلیظ کانیهای سنگین مثل طلا و... می‌باشد. در این مرحله هر نمونه به ترتیب سرند توسط الک ۱۰ مش، گل‌شویی و لاوک شویی را پشت سر می‌گذارد. انجام این عملیات سبب می‌شود که رس، سیلت و کانی‌های سبک از نمونه حذف شده و کانی‌های سنگین تغلیظ یابند.

ب- برموفرم‌گیری نمونه‌های کانی سنگین:

بعد از لاوک شویی و خشک کردن هر نمونه نوبت به مرحله برموفرم‌گیری می‌رسد که به هدف جداسازی کانی‌های سبک از سنگین انجام می‌گیرد در این مرحله آن بخش از ذرات سبک که در نتیجه‌ی لاوک شویی حذف نشده‌اند از بخش کانی‌های سنگین جدا می‌شوند.

ج- جدایش مغناطیسی کانی‌ها:

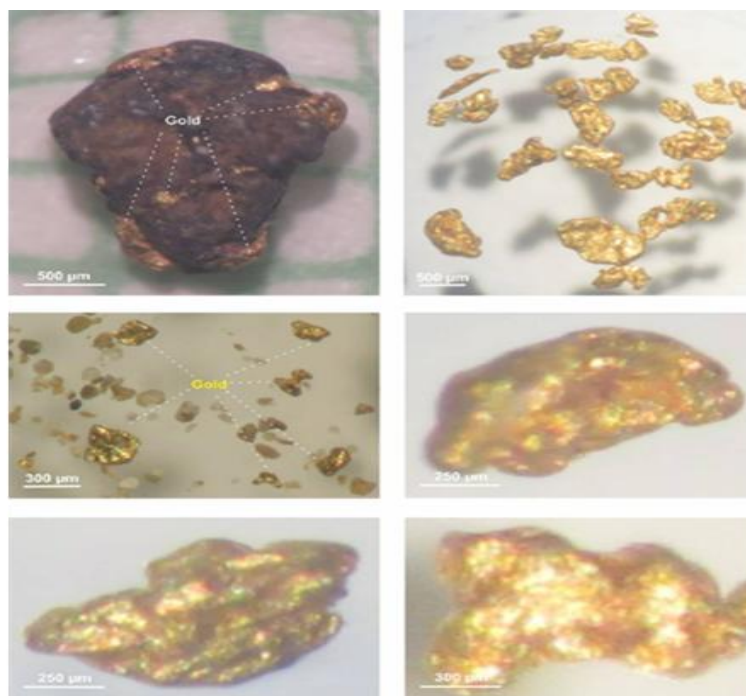
این کار به وسیله آهنرباهای ویژه انجام می‌شود. کانی‌های سنگین از نظر خاصیت مغناطیسی به ۳ گروه تقسیم می‌شوند:

- کانی‌های فرومغناطیس: کانی‌هایی که خود خاصیت مغناطیسی دارند مانند مگنتیت و پیروتیت
- کانی‌های پارامغناطیس (کانی‌های دارای خاصیت مغناطیسی متوسط): مانند گارنت، هماتیت، پیروکسن، آمفیبول، ایلمینت، اپیدوت، بیوتیت و...
- کانیهای دیامغناطیس NM: کانی‌هایی هستند که خاصیت مغناطیسی ندارند مانند طلا، زیرکن، باریت، آپاتیت، روتیل و...

۶-۸-۳-۳- مطالعه نمونه‌های کانی سنگین

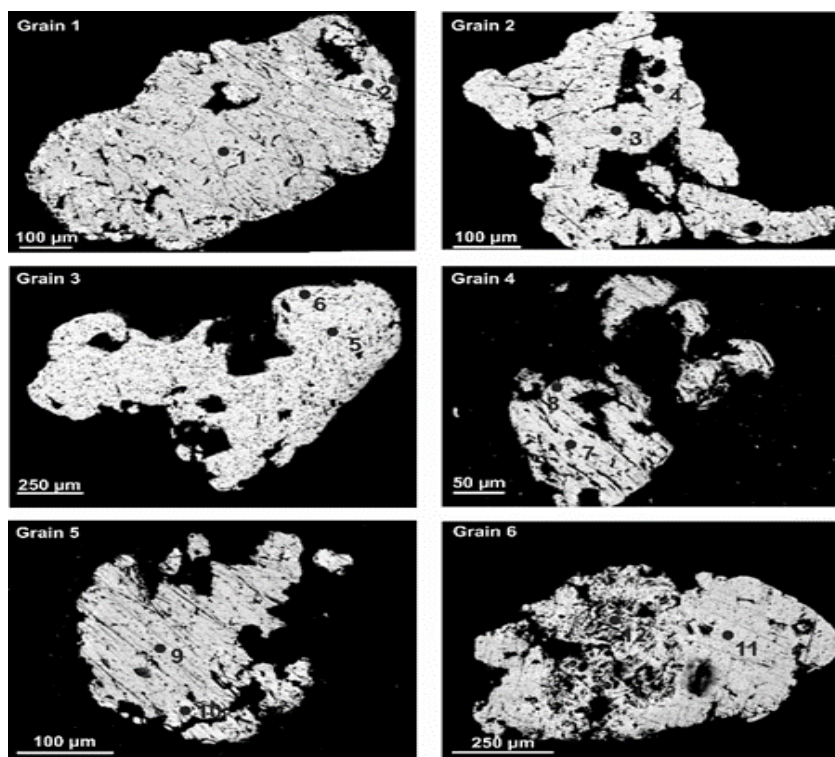
در این مرحله هر گروه از کانی‌های سنگین بصورت جداگانه توسط میکروسکوپ بینوکولار مورد مطالعه قرار گیرد. مقدار کیفی کانی‌ها در میکروسکوپ با شناسایی و شمارش تعداد ذرات کانی‌ها تعیین می‌شود و در نهایت مقدار حدودی هر کانی در نمونه برآورد می‌گردد. در محدوده اکتشافی کاوند، هر دو نمونه کانی سنگین مراحل فوق را پشت سر گذاشته و در نهایت ذرات طلا از سایر اجزای رسوبات آبراهه‌ای جدا شده است. ذرات طلای مشاهده شده دارای اشکال لامپی، اسفنجی و صفحه‌ای، از نظر گردش‌دگی زاویه‌دار، نیمه زاویه‌دار و نیمه گرد شده و اندازه آنها از حدود ۱۰۰ میکرون تا بیش از ۱ میلی‌متر تغییر می‌کند (شکل ۶-۱۶)، به نظر می‌آید که در محیط منشأ طلا توسط اکسیدهای آهن به ویژه هماتیت میزبانی می‌شود و تصویر شکل ۶-۱۶ گویای این مسئله است. در مرحله بعد مقاطع صیقلی از ذرات طلا تهیه شده و در آزمایشگاه میکروپروپ مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (ایمیدرو) بر روی ۶ ذره طلا تجزیه

شیمیایی انجام شده است موقعیت نقاط میکروپروپ بر روی هر یک از ذرات طلا در شکل نشان داده شده است (جدول ۶-۱۴ و شکل ۶-۱۷).



شکل ۶-۱۶- ذرات طلای مشاهده شده دارای اشکال لامپی، اسفنجی و صفحه‌ای، از نظر گردش‌دگی زاویه‌دار، نیمه زاویه‌دار و نیمه گرد شده و اندازه آنها از حدود ۱۰۰ میکرون تا بیش از ۱ میلی‌متر تغییر می‌کند و در محیط منشأ طلا توسط اکسیدهای آهن به ویژه هماتیت میزبانی می‌شود.

بررسی داده‌های ژئوشیمیایی جدول ۶-۱۴ نشان می‌دهد که سه عنصر طلا، نقره و مس مهم‌تر از بقیه‌ی عناصر می‌باشد. به همین خاطر پارامترهای آماری این سه عنصر در ۶ ذره‌ی طلا از آبرفت‌های منطقه کاوند در جدول ۶-۱۵ آورده شده است. تحلیل داده‌های ژئوشیمی ثابت می‌کند که مقادیر غلظت این عناصر در حاشیه و هسته ذرات طلا تغییر می‌کند. برای مثال متوسط مقدار طلا از ۸۲/۱۶ درصد در هسته‌ی ذرات تا ۸۵/۳۶ درصد در حاشیه‌ی ذرات تغییر می‌کند. متوسط مقدار نقره از ۱۵/۳۲ درصد در هسته‌ی ذرات تا ۹/۳۰ درصد در حاشیه‌ی ذرات تغییر می‌کند (شکل ۶-۱۸). دلیل این تغییرات به این خاطر است که در حین هوازدگی و فرسایش ذرات نقره از حاشیه‌ی ذرات شسته شده و مقدار طلا زیاد می‌گردد.



شکل ۶-۱۷- موقعیت نقاط میکروپروپ بر روی هر یک از ذرات طلا نشان داده شده است.

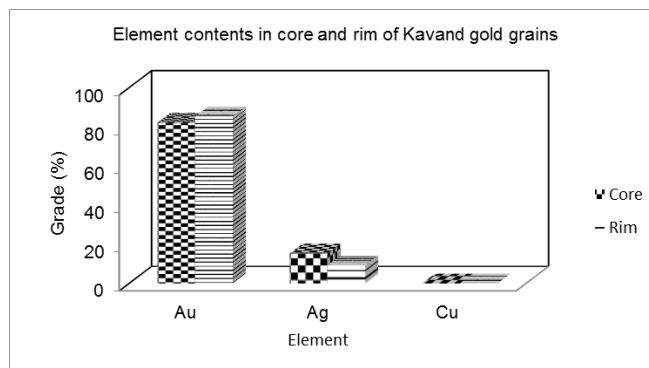
جدول ۶-۱۴- نتایج تجزیه نقطه‌ای تعداد ۶ دانه طلا از تغلیظ یافته‌های رسوبات آبراهه‌ای منطقه کاوند به روش ریزکاوالکترونی (WDS)، غلظت عناصر بر حسب درصد وزنی است.

Grain No.	Point No.	Fe	Mg	Ti	Mn	Ni	Al	Si	S	Co	Cu	Zn	Ba
Grain 1	1 core	0.01	0	0	0	0	0	0.07	0.07	0	0.01	0	0
	2 rim	0	0.03	0.01	0	0	0	0.06	0.06	0	0.08	0	0.02
Grain 2	3 core	0	0.02	0.01	0	0.03	0.01	0.1	0.02	0	0.02	0.05	0
	4 rim	0	0	0	0	0	0.02	0.11	0.04	0	0.1	0.05	0
Grain 3	5 core	0.07	0	0	0	0	0.01	1.44	0.03	0	0.06	0	0
	6 rim	0.04	0.02	0.01	0	0	0.04	13.41	0.07	0	0.08	0	0
Grain 4	7 core	0	0	0	0.01	0	0.02	0.07	0.03	0.01	0.01	0	0
	8 rim	0.06	0	0	0	0.02	0.03	0.18	0.05	0	0.02	0	0.02
Grain 5	9 core	0	0.02	0	0.01	0.02	0.05	0.29	0.12	0	0.03	0	0.01
	10 rim	0.02	0	0.01	0.01	0	0	0.08	0.03	0	0.02	0.06	0
Grain 6	11 core	0	0.03	0	0.01	0	0.07	0.04	0.03	0	0.01	0	0
	12 rim	0.07	0.01	0.02	0	0	0.03	2.25	0.07	0.01	0.02	0	0

ادامه جدول ۶-۱۴- نتایج تجزیه نقطه‌ای تعداد ۶ دانه طلا از تغلیظ یافته‌های رسوبات آبراهه‌ای منطقه کاوند به روش ریزکاوالکترونی (WDS)، غلظت عناصر بر حسب درصد وزنی است.

Grain No.	Point No.	As	Mo	Ag	Cd	Sb	Te	Au	Hg	Pb	Bi	Total	Fineness Values
Grain 1	1 core	0	0	23.82	0	0	0.04	76	0	0.02	0	100.03	761
	2 rim	0	0	19.89	0.14	0	0.04	78.92	0	0.01	0	99.26	799
Grain 2	3 core	0	0	14.73	0	0	0.03	85.64	0	0	0	100.64	853
	4 rim	0	0	9.06	0	0	0	89.47	0	0	0	98.75	908
Grain 3	5 core	0.01	0.01	2.29	0.05	0	0	94.17	0	0	0	98.14	976
	6 rim	0	0	1.16	0.01	0.02	0	78.94	0	0.06	0	93.86	986
Grain 4	7 core	0	0.02	7.66	0.04	0	0	84.21	0	0	0	92.08	953
	8 rim	0.01	0	4.41	0.03	0.02	0	89.75	0	0	0	94.58	917
Grain 5	9 core	0	0.04	17.85	0.09	0.03	0	78.83	0	0	0	97.36	908
	10 rim	0	0	12.34	0.02	0	0	87.26	0	0.02	0	99.85	744
Grain 6	11 core	0	0.06	25.55	0.08	0	0.05	74.13	0.13	0	0	100.18	815
	12 rim	0	0	8.94	0	0.01	0	87.8	0	0	0	99.23	876

درجه خلوص ذرات طلا با استفاده از فرمول $(Au+Au/Ag)*1000$ برای هر یک از دانه‌های طلا محاسبه شده است (جدول ۶-۱۴) و این شاخص بیانگر درجه خلوص و فاصله‌ی حمل شده‌ی ذرات از سنگهای مادر می‌باشد. مقدار ۱۰۰۰ برای این شاخص بیانگر طلای خالص و مقدار ۰ بیانگر نقره‌ی خالص می‌باشد. علاوه بر این مقادیر متغیر این شاخص برای مثال از ۴۰۰ تا ۹۰۰ بیانگر این است که طلا از منابع مختلف منشأ گرفته‌اند ولی اگر مقادیر این شاخص به هم نزدیک باشد بیانگر این است که از منبع واحد منشأ گرفته‌اند (Higgins, 2012). مقدار این شاخص برای ذرات طلای کاوند در رسوبات آبراهه‌ای ۷۴۴-۹۸۶ تغییر می‌کنند و بیانگر خلوص بالای ذرات طلا در کاوند می‌باشد. درجه خلوص ذرات طلا کاوند تغییرپذیری زیادی ندارد و این نشان می‌دهد که از سنگهای واحدی منشأ گرفته‌اند و ذرات از سنگ منشأ خود زیاد فاصله نگرفته‌اند (Higgins, 2012).



شکل ۶-۱۸- نمودار ستونی توزیع طلا، نقره و مس در مرکز و حاشیه دانه‌های طلای کاوند

جدول ۶-۱۵- پارامترهای آماری نتایج تجزیه نقطه ای دانه‌های طلای کاوند به روش ریزکاوالکترونی

Element	Count	Mean	Min	Max	StdDev
Zoned – core					
Au (%)	6	82.16	74.13	84.21	7.40
Ag (%)	6	15.32	2.29	25.55	9.08
Cu (%)	6	0.02	0.01	0.03	0.02
Zoned – rim					
Au (%)	6	85.36	78.92	89.75	5.07
Ag (%)	6	9.30	1.16	19.89	6.51
Cu (%)	6	0.05	0.02	0.10	0.04

در جدول ۶-۱۶ ترکیب شیمیایی ذرات طلا از تیپهای کانی سازی مختلف آورده شده است. مقایسه ترکیب شیمیایی ذرات طلای کاوند با طلاهای تیپهای مختلف نزدیکی و مشابهت آنها را با طلاهای تیپ اپی‌ترمال نشان می‌دهد. در کانسارهای طلای اپی‌ترمال مقدار طلا بیش از ۷۰٪، مقدار نقره بیش از ۵٪ و مقدار مس کمتر از ۱٪ می‌باشند. ترکیب شیمیایی دانه‌های طلای منطقه کاوند با طلاهایی که از کانسارهای مختلف منشأ می‌گیرند مورد مقایسه قرار گرفته است (Townley et al, 2003). در نتیجه نشان می‌دهد که کانی‌سازی در منطقه کاوند از نوع اپی‌ترمال می‌باشد.

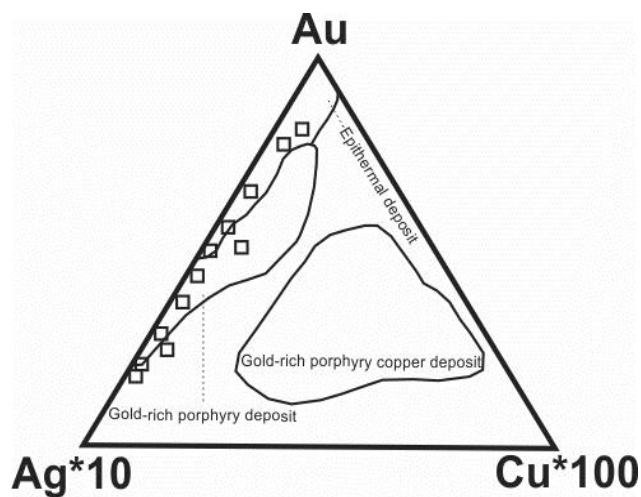
جدول ۶-۱۶- مقایسه ترکیب شیمیایی دانه‌های طلای منطقه کاوند با طلاهایی که از کانسارهای مختلف منشأ می‌گیرند.

Deposit type	Epithermal gold deposit	Porphyry gold deposit	Porphyry copper-gold deposit	Kavand gold, Zanzan
Copper (Cu)	Low in copper (usually < 0.1 wt. %)	0.0 - 0.2 wt. %	0.3 - 0.8 wt. %	0.01 - 0.1 wt. % (0.04 wt. % in average)
Silver (Ag)	High in silver (over than 5.0 wt. %)	Higher in silver (over than 5.0 wt. %)	Low in silver (usually < 5 wt. %)	1.16 - 25.55 wt. % (12.31 wt. % in average)
Gold (Au)	High in gold (over than 70 wt. %)	1.5 - 8 wt. %	1 - 6.0 wt. %	74.13 - 94.17 wt. % (83.76 wt. % in average)

نمودار سه‌گانه $Au - (Ag \times 10) - (Cu \times 100)$ به سه بخش طلای اپی‌ترمال، پورفیری غنی از طلا و مس

پورفیری غنی از طلا تقسیم می‌شود (Palacios et al. 2001, Townley et al. 2003). نمونه‌های طلای ما

بیشتر در بخش طلای اپی‌ترمال و کانسار پورفیری غنی از طلا قرار می‌گیرد (شکل ۶-۱۹).



شکل ۶-۱۹- نمودار سه‌گانه $Au - (Ag \times 10) - (Cu \times 100)$ (Palacios et al. 2001, Townley et al. 2003)



فصل هفتم
مطالعه سیالات درگیر



۷-۱- مقدمه

در بعضی از بلورها در هنگام تبلور، سیالاتی در فضاهای میکروسکوپی بین سطوح بلوری آنها به تله می افتد که به نام میانبارهای سیال شناخته می شوند. در واقع میانبارهای سیال به مجموع فضاهای ایجاد شده در بلورها و محتوای درونی آنها گفته می شود. میانبارهای سیال از جمله نشانه های منحصر به فردی هستند که با توجه به عدم تغییر در طی میلیون ها سال به دلیل محبوس بودن در یک فضای محدود، می توانند درجه حرارت، شوری سیالات، ترکیب شیمیایی و فشار حاکم بر محیط را به درستی بیان نمایند. هرچند می توان با استفاده از روش های دیگری مانند بررسی پرازنز کانه ها و مطالعه ساخت و بافت آنها، تا حدودی به درجه حرارت و ترکیب محلول های کانی ساز پی برد، ولی هیچ کدام از این روش ها دقت و سرعت روش مطالعه میانبارهای سیال را ندارد. با توجه به این که در بسیاری از کانی های آذرین، رسوبی، دگرگونی و حتی شهاب سنگها نیز میانبارهای سیال مشاهده می شود لذا اهمیت استفاده از آنها برای شناخت شرایط حاکم بر محیط های رسوبگذاری (از نظر درجه حرارت و شوری)، دگرگونی (از نظر فشار و درجه حرارت) و آذرین (از نظر ترکیب شیمیایی ماگما، فشار و حرارت حاکم بر محیط تشکیل کانی ها) کاملاً روشن و واضح است (حاج علیلو، ۱۳۸۷). تا به حال بلورهای کامل در طبیعت شناسایی نشده اند و باور بر این است که رشد بلورهای ایده آل و بدون عیب و نقص، حتی تحت شدیدترین شرایط آزمایشگاهی، غیر ممکن است. نقص های بلوری از نقص های نقطه ای در مقیاس اتمی تا نقص های بزرگ مقیاس متغیر می باشند. این نقص ها به صورت مایعات، گازها و جامدات در داخل کانی ها به دام می افتند و با مطالعه ای این فازهای به دام افتاده، می توان کلید ارزشمندی در زمینه درک فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی که در رشد بلورها دخیل هستند، به دست آورد (شفرد و همکاران، ۱۹۸۵). واژه سیال تأکیدی بر سیال بودن در هنگام گیر افتادن دارد و نه الزاماً سیال ماندن پس از گیر افتادن، بنابراین انکلوژیون هایی که در حال حاضر شیشه و یا بلور هستند به عنوان سیال درگیر محسوب می شوند (بودنار، ۲۰۰۳). سیالات درگیر

موجود در کانی‌ها، بخش‌هایی از مایعات، گازها و مذاب‌های به دام افتاده‌ای هستند که بلور از آنها رشد کرده است (شفرد و همکاران، ۱۹۸۵). مطالعه سیالات درگیر، داده‌های ارزشمندی از درک مسائل گذشته زمین‌شناسی از جمله دما، فشار، شوری، چگالی، ترکیب سیالات کانسارساز و همچنین ترکیب سیالاتی که تشکیل دهنده سنگ‌ها و کانی‌ها بوده و یا طی فرآیندهای بعدی از داخل آنها عبور کرده‌اند را فراهم می‌کند (رودر، ۱۹۸۴). ده کانی اصلی که در آنها انکلوژیون‌ها به طور رایج گزارش شده‌اند شامل کوارتز، فلوریت، هالیت، کلسیت، آپاتیت، دولومیت، اسفالریت، باریت، توپاز و کاسیتريت می‌باشند. این کانی‌ها تقریباً شامل فراوان‌ترین کانی‌های شفاف و کانی‌های باطله همراه کانسارهای گرمابی هستند (Roedder, 1979). سیالات درگیر هم در کانی‌های کدر و هم در کانی‌های شفاف تشکیل می‌شوند. مهم‌ترین ویژگی کانی‌هایی که سیالات درگیر به خوبی در آنها قابل مشاهده است، شفاف بودن و غیر رنگین بودن آنها است که این از اساسی‌ترین لازمه‌های هر مطالعه‌ی نوری روی سیالات درگیر می‌باشد (شفرد و همکاران، ۱۹۸۵). اکثر سیالات درگیر کوچکتر از ۱۰۰ میکرون هستند. محدوده‌ی اندازه‌ی معمول سیالات درگیر در مطالعه‌ی میکروسکوپی، بین ۲۰-۲ میکرون می‌باشد، اما اطلاعات سیالات درگیر که اندازه آنها کمتر از ۴ میکرون می‌باشد فاقد ارزش است (شفرد و همکاران، ۱۹۸۵). از لحاظ ژنتیکی، سیالات درگیر به سه دسته تقسیم می‌شوند: ۱- سیالات درگیر اولیه (Primary) که در زمان رشد و تشکیل بلور میزبان تشکیل شده‌اند. ۲- سیالات درگیر ثانویه (Secondary) که بعد از تشکیل و رشد بلور میزبان تشکیل می‌شوند. ۳- سیالات درگیر ثانویه‌ی کاذب (Pseudosecondary) که ضمن مرحله‌ای از رشد بلور در شکستگی‌های موجود در بلور تشکیل و در مراحل بعدی رشد پوشیده می‌شوند (رودر، ۱۹۸۴؛ بودنار، ۱۹۸۵). مطالعه میانبار سیال اطلاعاتی را درباره خواص فیزیکی و شیمیایی سیال گرمابی (درجه حرارت، شوری، چگالی و شیمی سیال) که کانی از آن شکل گرفته، بدست می‌دهد. براساس این اطلاعات می‌توان عمق تشکیل، فشار حاکم بر سیستم و در نهایت تیپ کانی‌سازی را شناسایی نمود. در محدوده

اکتشافی کاوند هم تعدادی نمونه برای مطالعه میانبار سیال انتخاب گردید و در آزمایشگاه سیال درگیر شرکت ایمیدرو کار شده است که در ادامه به توضیح آنها پرداخته می‌شود.

۷-۲- نمونه برداری و آماده سازی نمونه‌ها

برای تکمیل مطالعات زمین‌شناسی و پتروژنز کانسار کاوند، بر پایه نتایج مطالعات سنگ‌شناسی، کانی-شناسی و ژئوشیمیایی تعداد ۵ نمونه انتخاب شده و از آنها مقاطع دوبر صیقلی (Doubly Polished Thin Section) تهیه گردید (جدول ۷-۱). مطالعات ترمومتری سیالات درگیر در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام گرفته است. اگرچه در این مطالعه تأکید بر انتخاب باریت و کوارتز برای مطالعه میانبارهای سیال بوده است ولی در آزمایشگاه ایمیدرو از کانی کوارتز و کلسیت برای مطالعه سیالات درگیر استفاده شده است. مهمترین کاربرد سیالات درگیر در این تحقیق برای تعیین دما، تغییرات شوری، محاسبه چگالی سیال کانه‌ساز و ژنز کانسار در منطقه کاوند می‌باشد. اندازه‌گیری پارامترهای دمایی در این آزمایشگاه به کمک Stage:THMS600 با مدل Linkam که بر روی میکروسکوپ ZEISS نصب است صورت گرفت، دامنه حرارتی دستگاه 196- تا 600+ 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. کالبراسیون Stage در گرمایش با دقت ± 0.6 درجه بوده که با نیترات سزیم (Cesium nitrate) و با نقطه ذوب 414 درجه صورت پذیرفت و در انجماد با دقت ± 0.2 درجه و با ماده استاندارد ان-هگزان (n-Hexane) با نقطه ذوب 94.3- درجه سانتی‌گراد انجام گرفت.

۷-۳- پتروگرافی سیالات درگیر

شناسای روابط پتروگرافی اولین و مهمترین بخش مطالعه سیالات درگیر می‌باشد. مطالعه سیالات درگیر اولین گام در مطالعه سیالات درگیر بوده و اطلاعات مفید و ارزشمندی از شرایط به دام افتادن سیالات درگیر و تشکیل بلور از این مطالعات حاصل می‌شود. شکل سیالات درگیر تا حدودی به وسیله ساختمان بلوری کانسنگ میزبان کنترل می‌شود. در مطالعه پتروگرافی، مشخصات نوری از قبیل شکل و اندازه سیالات درگیر، رده‌بندی ژنتیکی (اولیه، ثانویه، ثانویه کاذب)، محتویات سیالات درگیر ($L+V+S$)، نسبت V/L ، نوع کانی دختر (با توجه به شکل کریستالی و مورفولوژی ظاهری)، تعیین نوع سیالات و پدیده‌های تغییر سیالات درگیر بعد از به دام افتادن مانند تراوش و دم بریدگی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برخی پدیده‌ها مانند Necking down و Leakage باعث می‌شوند تا داده‌ها و نتایج میانبارهای سیال قابل اعتماد نگردد لذا از مطالعه حرارت‌سنجی آن‌ها صرف‌نظر شده است. مطالعات پتروگرافی میانبارها با بزرگنمایی‌های ۵۰۰ و ۸۰۰ انجام گرفته است. سیالات درگیر ممکن است، شکل کامل بلور منفی را به خود بگیرند و یا کاملاً شکل نامنظم داشته باشند (Shelton and McMenemy, 2004). به‌طور کلی از لحاظ شکل ظاهری، میانبارهای سیال در نمونه‌های کوارتز بیشتر به اشکال چند وجهی نامنظم، کشیده و در نمونه کلسیت بی‌شکل مشاهده می‌شوند. به‌طور کلی، فراوانی میانبارها در نمونه‌ها تقریباً فراوان بوده و در دو نمونه K-P-2 و K-P-15 میانبارهای مناسب جهت مطالعات میکروترمومتری یافت نشد. میانبارهای سیال در مقاطع مورد مطالعه برطبق معیارهای (Roedder ۱۹۸۴) و (Shepherd ۱۹۸۵) به اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب طبقه‌بندی شده‌اند. سیالات درگیر ثانویه کاذب (A) در طی پرشدگی شکستگی‌ها اما قبل از اتمام رشد بلور میزبان تشکیل می‌شوند. سیالات درگیر ثانویه (B)، طی پرشدگی شکستگی‌ها بعد از رشد بلور میزبان تشکیل می‌شوند. این سیالات، معمولاً حاشیه بلورهای میزبان را قطع می‌کنند سیالات درگیر اولیه (C) در حین رشد بلور میزبان تشکیل شده و معمولاً به صورت سیالات منفرد یا گروه‌های سه بعدی،

موازی با سطح رشد بلوری و یا به صورت تصادفی در داخل کانی میزبان مشاهده می‌شوند (Wilkinson, 2001). سیال به دام افتاده در درون بلورها، در ابتدا به صورت فاز یکنواخت و همگن است ولی به تدریج و با سرد شدن سیال، فازهای مختلفی از آن تشکیل می‌گردد. مهمترین فازهایی که در درون میانبارها مشاهده می‌شود شامل فاز مایع (Liquid phase) به صورت آب و دی‌اکسیدکربن، فاز جامد (Solid Phase) شامل کانی‌های مختلف فلزی و غیر فلزی و فاز گازی (Vapor) است (حاج علیلو، ۱۳۸۷). به منظور رده‌بندی سیالات درگیر از نظر منشأ و نیز نوع آنها بر مبنای محتوای سیال و یا به عبارتی ترکیب فازهای مشاهده شده در دمای اتاق، از روش شفرد و همکاران (۱۹۸۵) استفاده شده است. سیالات درگیر براساس ترکیب سیال و تعداد فازهای موجود در دمای اتاق تقسیم بندی می‌شوند (شکل ۷-۱). براساس مطالعات پتروگرافی، میانبارهای اولیه و ثانویه در نمونه مشاهده گردید که در عکس‌ها نیز به خوبی قابل تشخیص هستند.

شکل ظاهری	نوع فازها	تعداد فازها	نوع سیال درگیر
	Liquid (L)	Monophase	Type I
	Liquid >50% (L) + vapour <50% (V)	two-phase	Type II
	vapour >50% (V) + liquid <50% (L)	two-phase	Type III
	Vapour only (V)	Monophase	Type IV
	Liquid □ vapour + solids (S) < 50%	Multiphase	Type V
	Immiscible Liquids L1 + L2 □ Vapour (V)	immiscible liquid	Type VI

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

جدول ۷-۱- مشخصات و عیار عناصر Au, Cu, Ba, Fe موجود در نمونه‌های سیالات درگیر

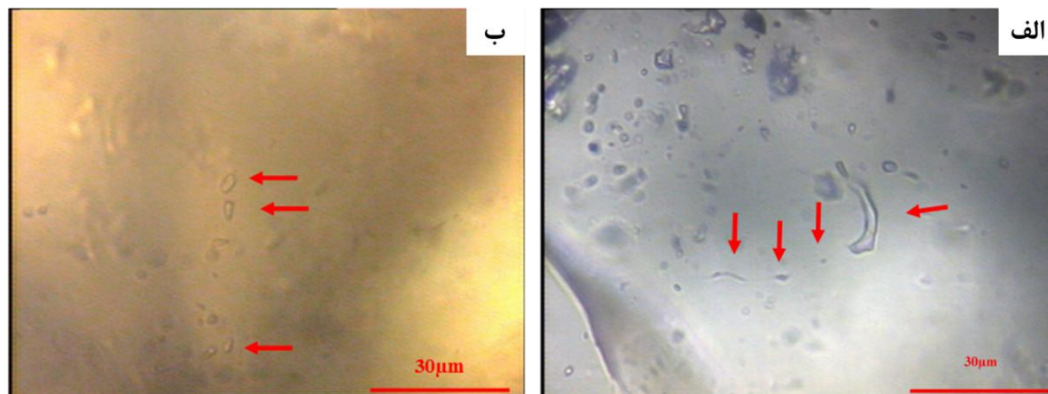
ردیف	شماره نمونه	X	Y	مشخصات کانه‌ها در نمونه‌ها	Fe(%)	Ba(ppm)	Cu(%)	Au(ppm)
۱	Kp-5	۲۴۳۸۹۷	۴۰۵۸۲۸۷	کوارتز - باریت - کلسیت - اولیژیست - هماتیت - گوتیت - لیمونیت - کالکوپیریت	۱۴	۳۶۷۷	۳/۹	۱/۷۲
۲	Kp-7	۲۴۱۰۸۷	۴۰۵۹۷۴۵	کوارتز - کالکوپیریت پیریت - هماتیت - اولیژیست - گوتیت - لیمونیت - مالاکیت - آزوریت - کریزوکولا - کوولیت	۶/۵	۲۰۷	۱۲/۸	۹/۸۵
۳	Kp-11	۲۳۸۶۸۳	۴۰۶۱۱۲۲	اولیژیست - هماتیت - گوتیت - لیمونیت - پیریت - پیرولوزیت - کوارتز	۱۷/۵	۱۰۱۹۲	۰/۰۰۸۶	۱۴/۷

۷-۳-۱- پدیده باریک شدگی

در داخل این نمونه KP-05 پدیده باریک شدگی دیده شده است. در اثر انقباض ناشی از سرد شدن بلورها و یا کشیدگی حاصل از نیروهای تکتونیکی پدیده باریک شدگی اتفاق می‌افتد. پدیده باریک شدگی می‌تواند در اثر یخ زدگی شدید محتوای داخلی میانبارها نیز صورت بگیرد. اگر قبل از انجام عمل باریک شدگی، جدایش فازهای درون میانبار صورت بگیرد در آن صورت چون ترکیب میانبارهای بعدی تشکیل شده همان ترکیب میانبارهای اولیه نیست لذا این گونه میانبارها هیچ کاربردی برای مطالعات میانبارهای سیال ندارند ولی اگر ابتدا عمل باریک شدگی اتفاق بیفتد و پس از آن فازهای داخلی میانبارها از همدیگر جدا شود با توجه به همگن بودن محتوای داخلی میانبار، پس از جدا شدن آنها، می‌توان از این گونه میانبارها برای مطالعات بعدی استفاده نمود. توصیه شده است (رودر، ۱۹۸۴) برای اطمینان بیشتر، در صورت مشاهده علائم باریک شدگی در میانبارها از مطالعه آنها پرهیز گردد. اگر پدیده باریک شدگی به صورت کامل انجام نشده باشد ممکن است بتوان زائده‌هایی از میانبارها را مشاهده نمود. اگر این پدیده کامل شده باشد احتمال دارد هیچ گونه آثاری در آن مشاهده نگردد (حاج علیلو، ۱۳۸۷). باریک شدگی در این نمونه هم کامل شده است و هیچ گونه آثاری در آن مشاهده نمی‌شود (شکل ۷-۲ الف).

۷-۳-۲- سیالات درگیر تک فاز (آبگین) (L) نوع I

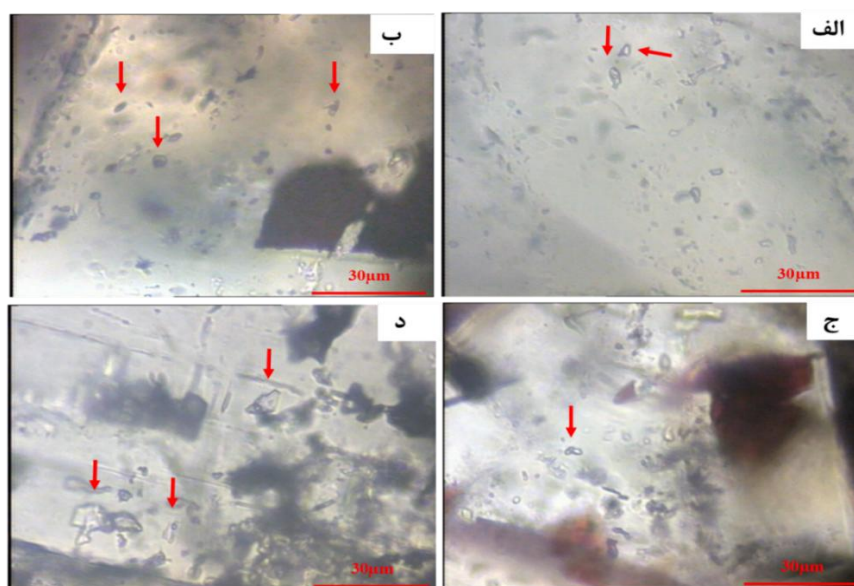
این نوع سیالات، شامل سیالات درگیر تک فاز غنی از H_2O هستند که دارای فراوانی کمی در نمونه-های مطالعه شده می‌باشند. بطور کلی، این نوع سیالات درگیر در نمونه KP-07 که کانی میزبان آن کوارتز می‌باشد مشاهده شده است (شکل ۷-۲ ب).



شکل ۷-۲- الف) پدیده باریک‌شدگی (Necking down) در کوارتز نمونه Kp-05 ب) میانبارهای تک فاز مایع در کوارتز نمونه Kp-07

۷-۳-۳- سیالات درگیر دوفازی (آبگین+گاز) (L+V) نوع II

سیالات درگیر نوع II شامل سیالات درگیر دوفازی L+V به اشکال بیضوی، میله ای و یا نامنظم از خود نشان داده است. این میانبارها نسبت به انواع دیگر فراوان تر مشاهده شده است (شکل ۷-۳ الف، ب، ج، د). این سیالات به صورت دوفازی بوده یا به عبارت دیگر متشکل از مایع آبگین و حباب بخار هستند. سیالات درگیر نوع II دارای منشأ اولیه هستند.



شکل ۷-۳- میانبارهای دو فازی (L+V) الف) در کوارتز نمونه Kp-05، ب) در کوارتز نمونه Kp-07، ج) در کوارتز نمونه Kp-07، د) در کلسیت نمونه Kp-11

۷-۴- مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر

بررسی میکروترمومتری عبارت از مطالعه غیر مخرب مقطع مورد نظر برای تعیین دمای ذوب اولیه (Tm2-Ice)، دمای نهایی ذوب قطعه یخ (TM2-Ice)، دمای همگن شدن، میزان شوری و ترکیب سیالاتی که کانی میزبان از آن‌ها ساخته شده است، توسط عملیات سرد کردن و گرم کردن انجام می‌پذیرد. هدف از این کار پی‌بردن به میزان املاح یا اصطلاحاً درجه شوری محلول می‌باشد. جهت انجام این عملیات، ابتدا سیال درگیر را تا دمای ۱۱۰- سانتی‌گراد سرد می‌کنیم تا سیال کاملاً منجمد شود. سپس با یک روند آهسته، حرارت دمای اتاق حاوی نمونه را افزایش می‌دهیم. پس از مدتی، سیال از حالت جامد خارج شده و یخ شروع به ذوب شدن می‌نماید. اولین قطره مایعی که ظاهر می‌شود یا به عبارت دیگر، اولین دمای ذوبی که در آن یخ به آب تبدیل می‌شود، دمای یوتکتیک (TE) نامیده می‌شود و مقدار آن با نوع کاتیون‌های حل شده در مایع ارتباط دارد. با ادامه گرم کردن، بلورهای یخ بیشتر ذوب می‌شوند تا جایی که آخرین بلور یخ نیز از بین برود. دمای که در آن آخرین بلور یخ ذوب می‌شود، دمای ذوب نهایی یخ

(Timice) اطلاق می‌شود. بر حسب این دما، میزان شوری سیال بدست می‌آید. تعیین میزان شوری برای دماهای ذوب یخ بالاتر از 21°C به طور مستقیم با استفاده از نمودارها و جداولی که توسط بودنار (۲۰۰۳) ارائه شده است، قابل اندازه‌گیری است. هدف از حرارت دادن سیالات درگیر، همگن کردن فازهای تشکیل دهنده یک سیال درگیر می‌باشد. دمای همگن شدن، یعنی دمای که تمامی فازهای جامد و مایع نمونه به صورت محلولی همگن درآید. این دما معرف حداقل درجه حرارت تشکیل کانسار خواهد بود. میانبارهای موجود در نمونه‌ها در دمای اتاق شامل انواع دو فاز غنی از مایع متشکل از مایع آبگین + حباب بخار (Liquid rich) و تک فازهای مایع و گاز است. میانبارهای دو فاز غنی از مایع متشکل از مایع آبگین و حباب بخار هستند، حباب بخار حدود ۲۰ الی ۳۰ درصد حجم میانبار را اشغال کرده است در واقع درجه پرتشدگی این نوع از میانبارها در حدود ۷۰ الی ۸۰ درصد است. فراوانی این میانبارها در نمونه‌ها زیاد بوده و به اشکال چند وجهی نامنظم و کشیده مشاهده می‌شوند. شوری این تیپ در محدوده ۰/۶ الی ۵/۸۶ درصد وزنی نمک طعام است. همگن شدن نیز در بازه دمایی ۱۰۶ تا ۴۰۳ درجه سانتی‌گراد رخ داده است. در میانبارهای مورد مطالعه، همگن شدن فاز بخار به فاز مایع رخ داد (V+L-L)، و هیچ‌گونه همگن شدن به فاز بخار در نمونه‌ها مشاهده نگردید. میانبارهای چند فاز و دو فاز غنی از گاز در نمونه‌ها مشاهده نشد. برای مطالعات حرارت‌سنجی ابتدا عملیات سرمایش (Freezing) و سپس گرمایش (Heating) بر روی میانبارهای دوفازی است: انجماد نهایی میانبارها در محدوده دمایی ۹۰- تا ۱۰۰- درجه صورت گرفت، تا عمل انجماد کلیه فازها صورت گیرد. سپس دما را بالا برده تا اولین نقطه ذوب یخ (Te) آشکار شود که این دما نشان‌دهنده املاح موجود در نمونه است در نمونه مورد مطالعه نقطه یوتکتیک (Te) تعیین شده، مطابق با سیستم $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ است. با ادامه افزایش دما، یخ‌های موجود در میانبار ذوب شده تا جایی که با ذوب آخرین بلور یخ، (یا Timice) مقدار شوری بر حسب درصد وزنی NaCl به دست می‌آید. سپس با رسیدن به دمای اتاق، عملیات گرمایش را شروع کرده و تا جایی این افزایش دما

ادامه پیدا می‌کند که حباب بخار موجود در میانبار همگن شود که به آن دمای همگن شدن (یا T_h) می‌گویند که نشان‌دهنده حداقل دمای تشکیل کانی است. نتایج به دست آمده از عمل سرمایش زیاد است، اما اساساً عبارت است از: تعیین ترکیب و چگالی سیال. برای سیستم‌های آبگین آب و نمک، مطالعات سرمایش بهترین روش برای تعیین شوری سیالات درگیر است، زیرا کاهش نقطه انجماد آب خالص دارای رابطه‌ای مستقیم با نمک موجود در محلول است. این امر با اندازه‌گیری دمای ذوب نهایی یخ در هنگام حرارت دادن مجدد میانبارهایی که قبلاً منجمد شده‌اند، قابل حصول است. به دلیل دشواری تشخیص نوع نمک در سیال درگیر، معمولاً دمای ذوب یخ را به صورت معادل وزنی نمک طعام گزارش می‌کنند. در مورد سیالات درگیر مورد مطالعه، به علت عدم حضور بلور نمک به صورت فاز جامد نمی‌توان از دمای انحلال فاز جامد به منظور تعیین شوری استفاده نمود؛ لذا از معادله زیر که برای سیستم‌های دو فازه فاقد بلور نمک ارائه شده، استفاده شده است (Hall et al., 1988). در این تحقیق میزان شوری به صورت درصد وزنی نمک طعام ($\text{wt\% NaCl}$) و از طریق دمای ذوب آخرین قطعه یخ (T_m) با استفاده از این معادله محاسبه شده است. در سیالات دوفازی، با سرد کردن سیال درگیر، حباب گازی ناپدید می‌شود و مایع داخل یخ می‌بندد و تمام فضا را اشغال می‌کند. سپس برای پیدا کردن دمای ذوب اولیه و نهایی، حرارت را افزایش می‌دهند. دمایی که یخ شروع به ذوب می‌کند عنوان دمای ذوب اولیه یا درجه‌ی شروع ذوب ثبت می‌گردد. با استفاده از این دما ترکیب اولیه مایع مشخص می‌شود. با افزایش دما، درجه‌ی ذوب نهایی یخ یا درجه حرارت ذوب کامل بدست می‌آید که با استفاده از این دما، می‌توان میزان شوری مایع را بدست آورد.

۷-۴-۱- کوارتز

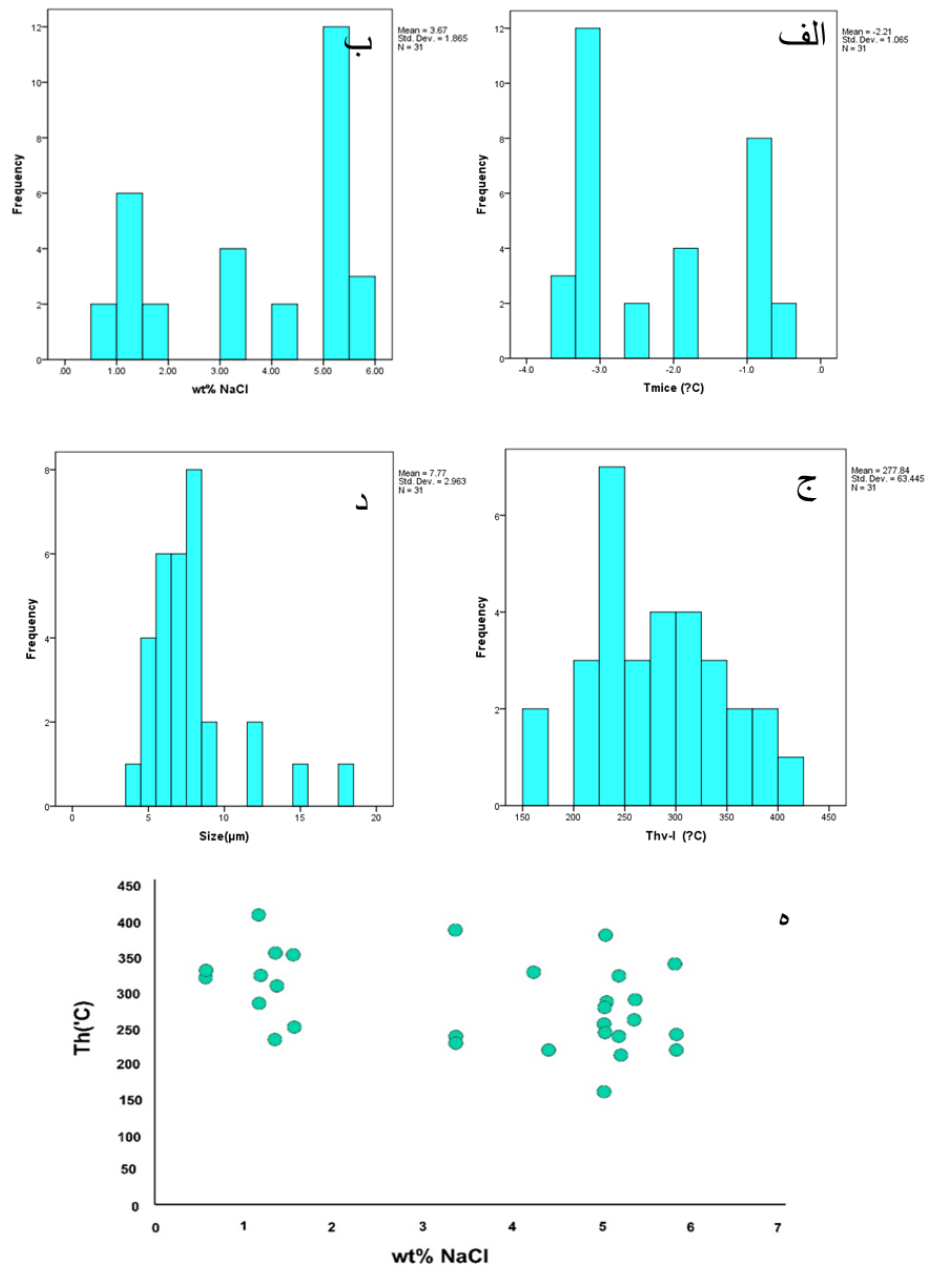
تعداد ۳۱ سیال درگیر اولیه دوفازی غنی از مایع در اندازه‌های متفاوت از کوارتز در نمونه‌های Kp-07 و Kp-05 مطالعه شده است (جدول ۲-۷ و ۳-۷). این سیالات به صورت دوفازی بوده یا به عبارت دیگر متشکل از مایع آبگین و حباب بخار هستند. این میانبارها نسبت به انواع دیگر فراوانتر بوده و به اشکال بلور منفی و کشیده مشاهده می‌شوند. دمای ذوب اولیه در اکثر سیالات اندازه گیری شده در محدوده ۲۱- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دمای ذوب نهایی ($T_{mice} (^{\circ}C)$) این سیالات از حدود ۰/۵- تا ۳/۵- در حال تغییر می‌باشد. از نظر فراوانی بیشترین تعداد آن‌ها در محدوده ۳- تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد و متوسط دمای ذوب نهایی ($T_{mice} (^{\circ}C)$) ۲/۲۱- می‌باشد (شکل ۴-۷ الف). شوری سیالات دوفازی مربوط به کوارتز غالباً در محدوده بین ۰/۶ wt%NaCl تا ۵/۸۶ قرار دارد و از نظر فراوانی بیشترین تعداد مربوط به درجات شوری wt%NaCl بین ۵ تا ۵/۵ درصد است و متوسط آن ۳/۶۷ wt%NaCl می‌باشد (شکل ۴-۷ ب). دمای همگن شدن ($Thv-1$) سیالات مطالعه شده در محدوده ۱۶۰ تا ۴۰۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و متوسط آن ۲۷۷/۸۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۴-۷ ج). اندازه سیالات درگیر در کانی کوارتز از ۴ تا ۱۸ میکرومتر است که فراوانترین اندازه سیالات درگیر از ۵ تا ۸ میکرومتر و متوسط اندازه سیالات درگیر ۷/۷۷ میکرومتر می‌باشد (شکل ۴-۷ د). در زیر رابطه بین دمای همگن شدن به شوری نمایش داده شده است و به دو بخش تقسیم شده است (شکل ۴-۷ ه).

جدول ۷-۲ - داده‌های سیالات درگیر در کانی کوارتز نمونه Kp-07

n	Size(μm)	Type	Origin	Te (°C)	Tmice (°C)	wt% NaCl	Thv-I (°C)	Shape	Host mineral
1	8	L+V	Primary	در محدوده -21 درجه سانتیگراد	-3	5.07	285	میانبارها به اشکال چند وجهی نامنظم و کشیده مشاهده می شوند.	Quartz
2	8	L+V			-3.5	5.86	338		
3	6	L+V			-3.5	5.86	214.		
4	7	L+V			-3	5.07	255.		
5	12	L+V			-3.1	5.23	208.		
6	6	L+V			-3.2	5.39	261.		
7	6	L+V			-3	5.07	240.		
8	7	L+V			-2	3.39	385.		
9	8	L+V			-3	5.07	380.		
10	5	L+V			-0.5	0.6	330.		
11	7	L+V			-0.5	0.6	319.		
12	8	L+V			-3.5	5.86	239.		
13	6	L+V			-3.2	5.39	287.		
14	15	L+V			-3	5.07	280.		
15	8	L+V			-3.1	5.23	235.		
16	8	L+V			-2.6	4.41	212.		
17	8	L+V			-2	3.39	225.		
18	18	L+V			-3	5.07	160.		
19	6	L+V			-3	5.07	160.		

جدول ۷-۳ - داده‌های سیالات درگیر در کانی کوارتز نمونه Kp-05

n	Size(μm)	Type	Origin	Te (°C)	Tmice (°C)	wt% NaCl	Thv-I (°C)	Shape	Host mineral
1	7	L+V	Primary	در محدوده -21 درجه سانتیگراد	-2.5	4.24	326	میانبارها به اشکال کشیده و چند وجهی نامنظم مشاهده می شوند.	Quartz
2	5	L+V			-2	3.39	233		
3	12	L+V			-1	1.57	350.		
4	9	L+V			-0.9	1.38	354.		
5	7	L+V			-0.8	1.19	403.		
6	7	L+V			-0.9	1.38	305.		
7	5	L+V			-0.8	1.19	320.		
8	5	L+V			-0.8	1.19	281.		
9	4	L+V			-0.9	1.38	230.		
10	6	L+V			-2	3.39	226.		
11	8	L+V			-3.1	5.23	322.		
12	9	L+V			-1	1.57	250.		



شکل ۴-۷ - الف - نمودار فراوانی آخرین نقطه ذوب یخ، ب - نمودار فراوانی شوری سیالات، ج - نمودار فراوانی دمای همگن شدن، د - نمودار فراوانی سایز سیالات درگیر، ه - نسبت دمای همگن شدن در برابر شوری برای کانی کوارتز

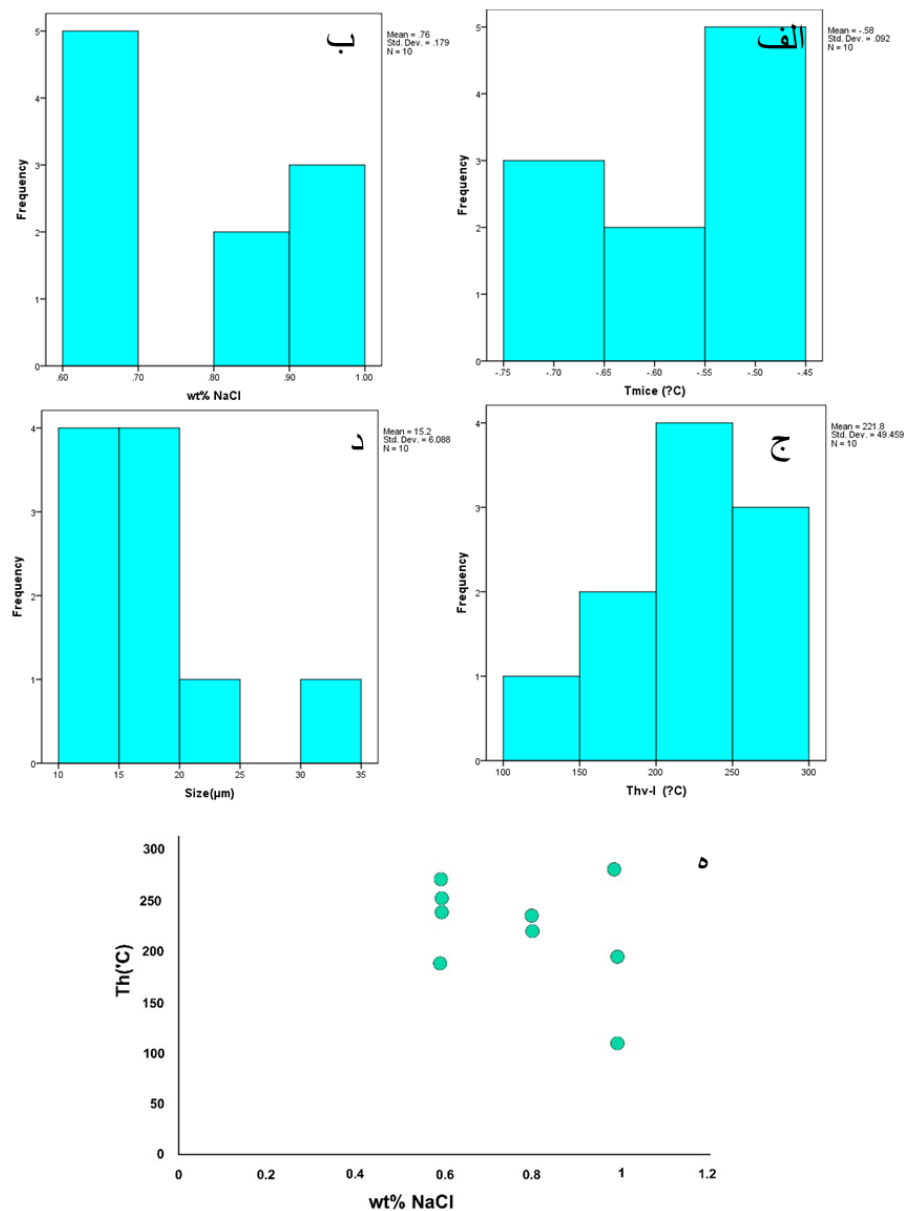
۷-۴-۲ - کلسیت

برای نمونه کلسیت در نمونه Kp-11، ۱۰ سیال درگیر از سیالات اولیه و دوفازی استفاده شده است که داده‌های این اندازه‌گیری‌ها در ادامه آمده است (جدول ۴-۷). طی اندازه‌گیری‌ها دمای ذوب اولیه‌ی یخ

(Te) در سیالات درگیر در کانی کلسیت در محدوده ۲۱- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دمای آخرین نقطه ذوب یخ ($T_{mice} (^{\circ}C)$) بین ۰/۵- تا ۰/۷- درجه سانتی‌گراد است که بیشترین فراوانی را در ۰/۴۵- تا ۰/۵۵- نشان می‌دهد و متوسط دمای آخرین نقطه ذوب یخ ($T_{mice} (^{\circ}C)$) ۰/۵۸- می‌باشد (شکل ۵-۷ الف). شوری سیالات wt%NaCl در بین ۰/۶ تا ۰/۹۹ در تغییر است و بیشترین فراوانی در ۰/۶ دیده می‌شود و متوسط شوری سیالات wt%NaCl ۰/۷۶ می‌باشد (شکل ۵-۷ ب). در طی اندازه‌گیری‌های انجام شده دمای همگن شدن بین ۱۰۶ تا ۲۸۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که فراوانی دمای همگن شدن در محدوده ۲۰۰ تا ۲۵۰ بیشتر است و متوسط دمای همگن شدن ۲۲۱/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۵-۷ ج). اندازه سیالات درگیر از ۱۰ تا ۳۰ میکرومتر در کانی کلسیت دشته می‌شود که بیشترین فراوانی در اندازه ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر است و متوسط اندازه سیالات درگیر ۱۵/۲ می‌باشد (شکل ۵-۷ د). در زیر رابطه بین دمای همگن شدن به شوری نمایش داده شده است (شکل ۵-۷ ه).

جدول ۴-۷- داده‌های سیالات درگیر در کانی کلسیت نمونه Kp-11

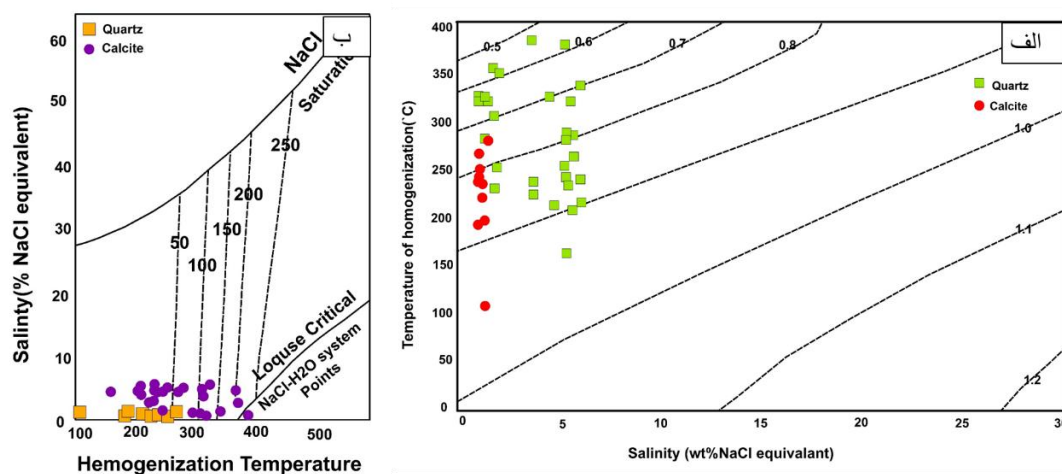
n	Size(μm)	Type	Origin	Te ($^{\circ}C$)	Tmice ($^{\circ}C$)	wt% NaCl	Thv-I ($^{\circ}C$)	Shape	Host mineral
1	10	L+V	Primary	در محدوده ۲۱- درجه سانتی‌گراد	-0.5	0.6	240	میانبارها به اشکال بی شکل و کشیده مشاهده می‌شوند.	Calcite
2	12	L+V			-0.6	0.8	220		
3	30	L+V			-0.5	0.6	236.		
4	15	L+V			-0.5	0.6	265.		
5	20	L+V			-0.5	0.6	250.		
6	10	L+V			-0.7	0.99	281.		
7	10	L+V			-0.6	0.8	235.		
8	15	L+V			-0.7	0.99	106.		
9	15	L+V			-0.7	0.99	195.		
10	15	L+V			-0.5	0.6	190.		



شکل ۵-۷- الف) نمودار فراوانی آخرین نقطه ذوب یخ، ب) نمودار فراوانی شوری سیالات، ج) نمودار فراوانی دمای همگن شدن، د) نمودار فراوانی سایز سیالات درگیر، ه) نسبت دمای همگن شدن در برابر شوری برای کانی کلسیت.

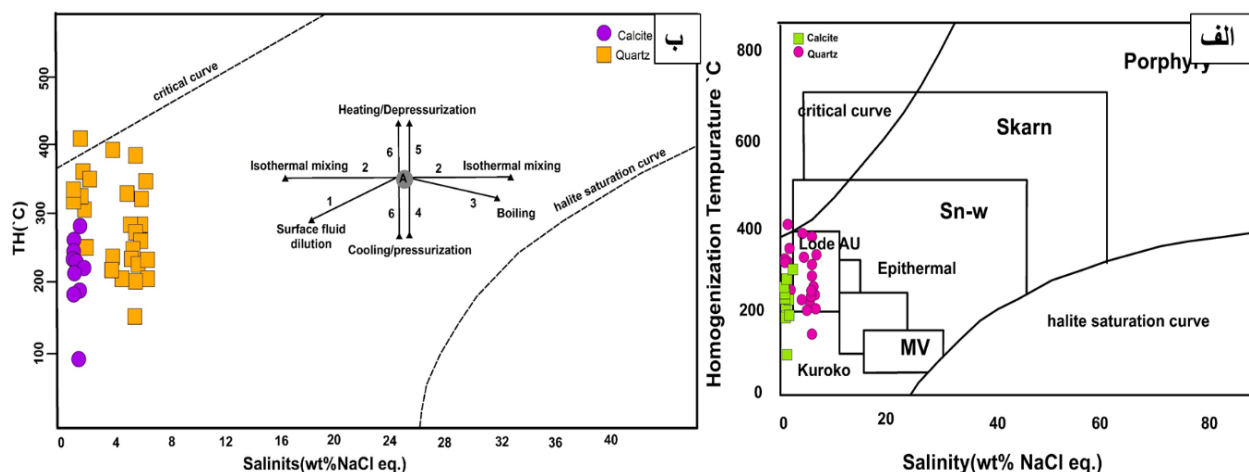
براساس میانبرهای سیال درگیر کلسیت کانی تأخیری گرمایی است و با کانی‌سازی اصلی همزاد نمی‌باشد. بنابراین اطلاعات بدست آمده از کانی کلسیت قابل تعمیم به کانی‌سازی می و طلا نمی‌باشد، در صورتی که کوارتز از کانی‌های همزاد کانی‌های مس، باریت و طلا می‌باشد بنابراین ویژگی تشکیل کانسار را می‌-

توان براساس شواهد میکروترمومتری کارتز تحلیل نمود. براساس نمودارهای ارائه شده بر پایه شوری و دمای همگن شدن، چگالی سیالات موثر در سیستم‌های کانه‌زایی را می‌توان تعیین نمود (Bodnar, 1983)، چگالی سیالات درگیر نمونه‌های بررسی شده در کانسار کاوند از لحاظ دمایی و شوری در محدوده چگالی کمتر از ۱ (۰/۵ - ۱) قرار می‌گیرند (شکل ۶-۷ الف). با استفاده از نمودار درجه حرارت همگن شدن سیالات درگیر و میزان شوری می‌توان فشار را محاسبه نمود و میزان فشار نیز برای سیالات درگیر کانسار کاوند در محدوده کمتر از ۲۰۰ اتمسفر است (شکل ۶-۷ ب).



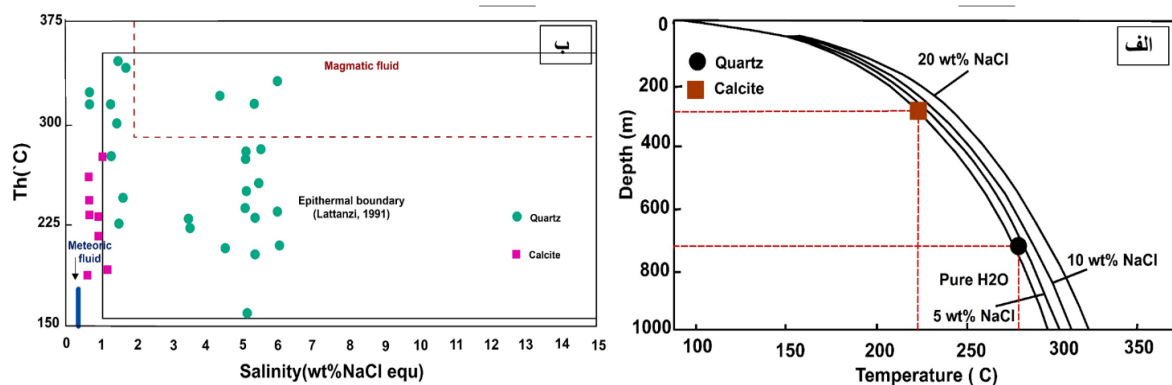
شکل ۶-۷ الف) نمودار تعیین چگالی سیالات درگیر بر حسب دمای همگن شدن و شوری در منطقه کاوند، برگرفته از نمودار تعیین چگالی (Bodnar, 1983). ب) تعیین فشار بخار براساس دمای همگن شدن و میزان شوری

مطالعات سیالات دگیر نشان می‌دهد میزان شوری بین ۰/۶ تا ۵/۸۶ درصد وزنی NaCl و دمای همگن شدن (Th) ۱۰۶ تا ۴۰۳ درجه سانتی‌گراد بوده است. با توجه به نمودار تعیین تیپ کانه‌زایی براساس شوری و دمای همگن شدن ویلکسون (Wilkosons, 2001)، محل قرارگیری سیال‌های درگیر در محدوده کانسار اپی‌ترمال می‌باشد (شکل ۷-۷ الف). با توجه به این که اطلاعات پیاده شده در نمودار دارای روند خطی و در امتداد محور عمودی است لذا می‌توان استنباط نمود که این سیال درگیر نشان دهنده اختلاط سیال گرمابی و آبهای جوی می‌باشد (شکل ۷-۷ ب).



شکل ۷-۷ الف) نمودار تعیین تیپ کانه‌زایی براساس شوری و دمای همگن شدن (Wilkinson, 2001). نمونه‌های مورد مطالعه از لحاظ دمایی و شوری در محدوده کانسارهای اپی‌ترمال قرار می‌گیرند. ب) نمودار مربوط به درجه همگن شدن در مقابل درصد وزنی کلرو سدیم برای نشان دادن تغییرات احتمالی میانبارهای سیال پس از تشکیل و در هنگام عمل گرمایش (شفرد و همکاران، ۱۹۸۵).

در نمودار عمق - دما و شوری نمونه‌های سیالات درگیر، نمونه‌های کوارتز با میانگین درجه حرارت ۲۷۷/۸۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین شوری ۳/۶۷ wt% NaCl، عمق بیش از ۷۰۰ متری را نشان می‌دهد که جوشش رخ نداده است (شکل ۷-۸ الف). در نمودار شوری - Th نمونه‌های سیالات درگیر در نمونه‌های کوارتز و کلسیت تکاملی از سیالات گرمایی در منطقه کاوند را نشان می‌دهد. این روند نشان دهنده هیپوترمال ترکیبی از آب ماگمایی و جوی است (شکل ۷-۸ ب).



شکل ۷-۸- الف) نمودار عمق - دما و شوری نمونه‌های سیالات درگیر در نمونه‌های کوارتز بر حسب میانگین شوری و دما، عمق بیشتر از ۷۰۰ متری را نشان می‌دهد که جوشش رخ نداده است، ب) در نمودار شوری - Th نمونه‌های سیالات درگیر در نمونه‌های کوارتز و کلسیت تکاملی از سیالات گرمایی در منطقه کاوند را نشان می‌دهد.



فصل هشتم

نتیجه‌گیری، الگوی تشکیل، تیپ‌کانه‌زایی و پیشنهادات
اکتشافی



۸-۱- مقدمه

در این فصل با تکیه بر داده‌های حاصل از مطالعات صحرایی، آزمایشگاهی و میکروسکوپی، آنالیزهای ژئوشیمیایی و مطالعات دفتری صورت گرفته، ابتدا به ارائه الگو و مدل تشکیل برای نوع کانه‌زایی منطقه کاوند و مقایسه آن با تیپ‌های کانه‌زایی مشابه در جهان پرداخته و در آخر هم پیشنهاداتی جهت کارهای اکتشافی و تحقیقات تکمیلی بعدی ارائه گردیده است. در ابتدا اشاره مختصری به شواهد زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی میزبان، محیط تکتونیکی، دگرسانی، ژئوشیمی سنگ و کانسنگ، سیال درگیر و... داشته و سپس موارد ذکر شده با نتایج کارهای انجام شده مشابه در ایران و جهان مقایسه می‌شود. در پایان با توجه به این مطالعات کلیدهای اکتشافی ارائه گردیده است.

۸-۲- زمین‌شناسی منطقه

منطقه کاوند از لحاظ زمین‌ساختی بخشی از پهنه ایران مرکزی بوده و در زیرپهنه سلطانیه واقع است (شکل ۱-۲). در این منطقه سازندها از قدیم به جدید به صورت، شیل و ماسه سنگ اسیلتی سبز - خاکستری سازند کهر، دولومیت و شیل سازند سلطانیه، شیل، ماسه سنگ و دولومیت سازند باروت، گرانیت پرکامبرین، توده و دایک‌های گابرودیوریتی و دیوریتی ترشیاری رخمون دارند (شکل ۱-۳). سازندهای کهر، سلطانیه و باروت میزبان اکسیدهای آهن، طلا و مس هستند، ولی کانی‌سازی‌ها بیشتر در دولومیت بخش پایینی سلطانیه متمرکز است. در منطقه مورد مطالعه، کانی‌سازی بوسیله فعالیت‌های گرمابی توده‌های نفوذی ترشیری (احتمالاً میوسن) و ساختارهای تکتونیکی با روند شمال غربی - جنوب شرقی کنترل می‌شود. بخش عمده‌ای از رخمون اکسیدهای آهن و سیلیس در داخل دولومیت‌ها در امتداد شکستگی‌ها جای گرفته‌اند. مرز مناطق کانی‌سازی با سنگهای دولومیتی به صورت گسلی است به طوری که آینه‌های گسلی را به وضوح در مرز دولومیت و سنگ آهن می‌توان مشاهده کرد. به نظر می‌رسد

رگه‌های سیلیسی و باریتی که با کانی‌سازی ضعیف مس همراه است در داخل ترکیبات عموماً اکسیدهای آهن تزریق شده است.

۸-۳- ویژگی‌های بافتی و ژئوشیمیایی سنگ میزبان

با توجه به شواهد صحرایی، مطالعات میکروسکوپی و ژئوشیمیایی دولومیت منطقه از نوع دولومیکرایت است. این نوع دولومیت‌ها بلورهای ریز و بی‌شکل دارند، اندازه بلورها در این دولومیت‌ها کمتر از ۱۰ میکرون تا ۱۰۰ میکرون در تغییر است. بلورهای دولومیت اکثراً بی‌شکل و تعداد کمی از آنها به صورت نیمه شکل دارند. این نوع دولومیت‌ها بر اساس تقسیم‌بندی گرگ و سیبلی (۱۹۸۷) از نوع دولومیت‌های صفحه‌ای و دمای پائین می‌باشند. با توجه به اختصاصات ارائه شده در بالا، به نظر می‌رسد که این نوع دولومیت تحت شرایط سطحی، دمای پایین و در محیط‌های سوپراتایدال تا قسمت بالایی اینترتایدال تشکیل شده‌اند (گرگ و سیبلی، ۱۹۸۷؛ گرگ و شلتون، ۱۹۹۰). دولومیت‌ها تحت شرایط گوناگون و در دمایی بین ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد (دولومیت هیدروترمالی) تا ۲ درجه سانتی‌گراد (دولومیت‌های آب سرد) تشکیل می‌شوند (Zenger et al., 1980; Machel and Mountjoy, 1986; Shukla and Baker, 1988; Purser et al., 1994; Flood and Chivas, 1995; Adabi, 2002). که دولومیت‌های منطقه کاوند طبق مطالعات صورت گرفته از نوع دولومیت‌های آب سرد می‌باشد. دولومیت‌های منطقه دارای Sr و Na پایینی می‌باشند. تغییرات Na و Sr در نمونه‌های مورد مطالعه با دولومیت‌های Renison Dolomite (Neoproterozoic) قابل مقایسه هستند. دولومیتی که جانشین کلسیت می‌شود دارای مقدار Sr پایینی است (Rao, 1996). در فرآیند دولومیتی شدن سنگهای آهکی، عنصر Ca^{2+} توسط Mg^{2+} جانشین می‌گردد و از آنجا که عنصر Sr^{2+} قرابت ژنتیکی و جفت ایزومورفیک Ca^{2+} است بنابراین در طول دولومیتی-شدن سنگهای آهکی، با کاهش مقدار Ca عنصر Sr هم کاهش پیدا می‌کند.

۸-۴- کانی‌زایی

منطقه معدنی کاوند از لحاظ زمین‌شناسی، بخشی از پهنه ایران مرکزی بوده که میزبان فعالیت‌های ماگمایی از پرکامبرین تا ترشیری می‌باشد. این منطقه با توجه به وجود پتانسیل‌های متعددی همچون آهن، طلا، منگنز، سرب و روی و باریم دارای اهمیت اکتشافی بالایی است. آنچه که از لحاظ زمین‌شناسی اقتصادی در این محدوده حائز اهمیت است، عملکرد فعالیت‌های ماگمایی می‌باشد که موجب نهشت سیالات کانه‌دار در فضاها و ناشی از زونهای خرد شده گسلها، چین خوردگی‌ها و حفرات سنگهای کربناته شده و غیر از تشکیل معادن آهن که برخی از آنها فعال می‌باشند (نظیر حسین آباد، شاه بلاغی)، سیستمهای کانه‌دار فلزی از جمله طلا - مس - منگنز و غیره را تشکیل داده است. کانه‌زایی در این منطقه در ارتباط با پهنه‌های گسلی و نفوذ سیال گرمابی مرتبط با مراحل انتهایی توده‌ی نفوذی اسیدی می‌باشد. از کانه‌زایی‌های مهم در این زون می‌توان به کانه‌زایی آهن، مس و طلا اشاره کرد. شکل‌گیری این کانسارها مربوط به صعود سیال‌های گرمابی حاوی مواد معدنی در امتداد مناطق گسلی و ته‌نشینی مواد معدنی در امتداد این مناطق است. در منطقه کاوند کانه‌زایی به صورت رگه - رگچه، عدسی، برشی، پراکنده و ساختار پرکننده فضاها و خالی کارستهای کربناته‌ها مشاهده می‌شود. کانه‌های اصلی در منطقه اولیژیست و هماتیت است. سولفیدهای این منطقه را عمدتاً پیریت تشکیل می‌دهد و میزان کالکوپیریت کمتر است. پیریت بیشتر به صورت بلورهای ریز تا درشت و دانه پراکنده و رگه‌ای دیده می‌شود. از دیگر کانه‌های این منطقه می‌توان به لیمونیت و گوتیت اشاره کرد که در منطقه یافت می‌شود. ملاکیت و آزوریت در رگه‌های سیلیسی - اکسید آهنی منطقه دیده می‌شود. کانه‌های مگنتیت به میزان خیلی کمی در بعضی از نمونه‌ها دیده می‌شود. کانه‌زایی طلا بیشتر با اکسیدهای آهن، باریت، سولفید و کوارتز در دولومیت سلطانیه همراه است. طبق مطالعات انجام شده کانی‌های اولیه شامل اولیژیست، هماتیت، پیریت،

کالکوپیریت، مگنتیت و طلا و کانی‌های ثانویه شامل کالکوسیت، آزوریت، مالاکیت، گوتیت و لیمونیت می‌باشد. کوارتز، کلسیت، کلریت، باریت و سرسیت هم کانی‌های باطله در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

۸-۵- دگرسانی

ورود توده نفوذی به درون واحدها و صعود سیالهای ماگمایی، منجر به رخداد دگرسانی و کانی‌زایی در توده نفوذی و سنگ‌های میزبان گردیده است. براساس مطالعات صحرایی، میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD، بر روی تعدادی از نمونه‌های برداشت شده از منطقه، به طور عمده دگرسانی‌ها مربوط به دگرسانی سیلیسی، اکسیدهای آهن، کلریتی، آرژلیتی، سرسیتی، کربناتی و اپیدوتی را نشان می‌دهد. بعضی از این دگرسانی‌ها در منطقه وسیعت زیادی دارند و بعضی دیگر در نمونه‌های دستی و میکروسکوپی قابل مشاهده هستند.

۸-۶- ساخت و بافت

براساس مطالعات صحرایی، ساخت‌های مشاهده شده شامل ساخت‌های عدسی، برشی، پرکننده فضاهای خالی سنگ‌های کربناته و رگه - رگچه‌ای است. مطالعات میکروسکوپی بافت‌های از جمله برشی، رگه-رگچه‌ای، دانه پراکنده، کلوفرمی، باقیمانده، جبهه‌ای، اسفرولیتی و جانشینی را تأیید می‌کنند.

۸-۷- ژئوشیمی

در منطقه کاوند سنگ‌های موجود در منطقه از نوع سنگ‌های آذرین و رسوبی بودند. سنگ‌های آذرین در این منطقه از نوع گابرو، فروگابرو، گرانیت و بازالت هستند که در این میان سنگ‌های گابرو و فروگابرو در سطح رخنمون کوچکی دارند. سنگ‌های رسوبی در این منطقه شامل شیل و دولومیت می‌شود که گسترش زیادی دارند. نامگذاری سنگ‌ها با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی نیز وجود چنین سنگ‌های را در منطقه تأیید می‌نماید. سنگ‌های گرانیتوئیدی مورد مطالعه از کانی‌های حاوی آهن، منیزیم و تیتان (که به طور

معمول بیوتیت، هورنبلند سبز و پیروکسن می‌باشد) بسیار فقیر هستند که شواهد صحرایی، نمونه دستی و مقاطع نازک این موضوع را اثبات می‌کند. این پدیده امری معروف و متداول است و در سنگهای تشکیل شده به روش آناتکسی به وفور دیده می‌شود. سنگهای گرانیتی منطقه مورد مطالعه از تبلور مواد مذاب حاصل از ذوب یک منشأ متاگریوکی (دگرگونی) حاصل شده‌اند. ولی ماگمای مادر سنگهای گابرو و فرو-گابرو حاصل تبلور بخشی یک ماگمای مافیک بوده که خود این ماگمای مافیک از ذوب سنگهای مادر با ترکیب آمفیبولیت ایجاد شده است. عناصر مهم کانساری در منطقه کاوند شامل Cu ، Fe ، Ba و می-باشد که عیارهای آنها مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط عنصر طلا در ۲۹ نمونه کانسنگ از منطقه کاوند به ترتیب ۱۰، ۱۴۶۷۴ و ۱۲۸۶ ppb، عنصر باریم به ترتیب ۵۸، ۱۱۲۰۴ و ۲۶۹۱ ppm، عنصر مس به ترتیب ۲، ۱۲۸۳۱۴ و ۶۰۰۹ ppm، آهن در محدوده کاوند به ترتیب ۵۳۱۰، ۲۸۴۷۳۴ و ۱۵۷۰۲۴ ppm می-باشد.

۸-۸- مطالعات سیالات درگیر

براساس مطالعات پتروگرافی، میانبارهای تک فازی مایع و دو فازی (L+V) اولیه و ثانویه در نمونه مشاهده گردید. اندازه‌گیرهای میکروترمومتریک بر روی میانبارهای سیال دو فازی مایع + بخار (غنی از مایع) اولیه موجود در کانی‌های کوارتز و کلسیت صورت گرفته است. این مطالعات بیانگر درجه شوری برابر $0.6 \text{ wt\%NaCl}$ تا 5.86 و متوسط $3/67 \text{ wt\%NaCl}$ برای کانی کوارتز و درجه شوری $0/6 \text{ wt\%NaCl}$ تا $0/99$ و متوسط $0/7 \text{ wt\%NaCl}$ برای کانی کلسیت می‌باشد. دمای همگن شدن (Thv-1)، محدوده ۱۶۰ تا ۴۰۳ درجه سانتی‌گراد برای کوارتز و محدوده‌ای بین ۱۰۶ تا ۲۸۱ درجه سانتی‌گراد برای کانی کلسیت می‌باشد. چگالی سیالات درگیر در کانسار کاوند در محدوده چگالی کمتر از $1 (0/5 - 1)$ و میزان فشار در دامنه ۵۰ تا ۲۰۰ اتمسفر می‌باشد. محل قرارگیری سیال‌های درگیر در محدوده کانسار اپی‌ترمال می-باشد (شکل ۷-۷ الف) و سیالات درگیر تکاملی از سیالات گرمابی در منطقه کاوند را نشان می‌دهد (شکل

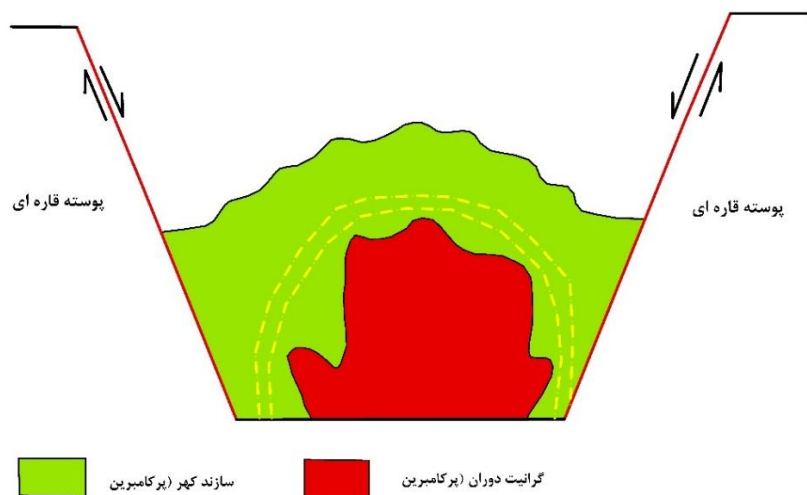
۷-۱۱ ب). این روند با ترکیب سیال ماگمایی و آبهای جوی سازگار است و عمقی بیش از ۷۰۰ متر را نشان می‌دهد که جوشش در آن رخ نداده است.

۸-۹- الگوی تشکیل کانی سازی Fe – Cu – Au کاوند

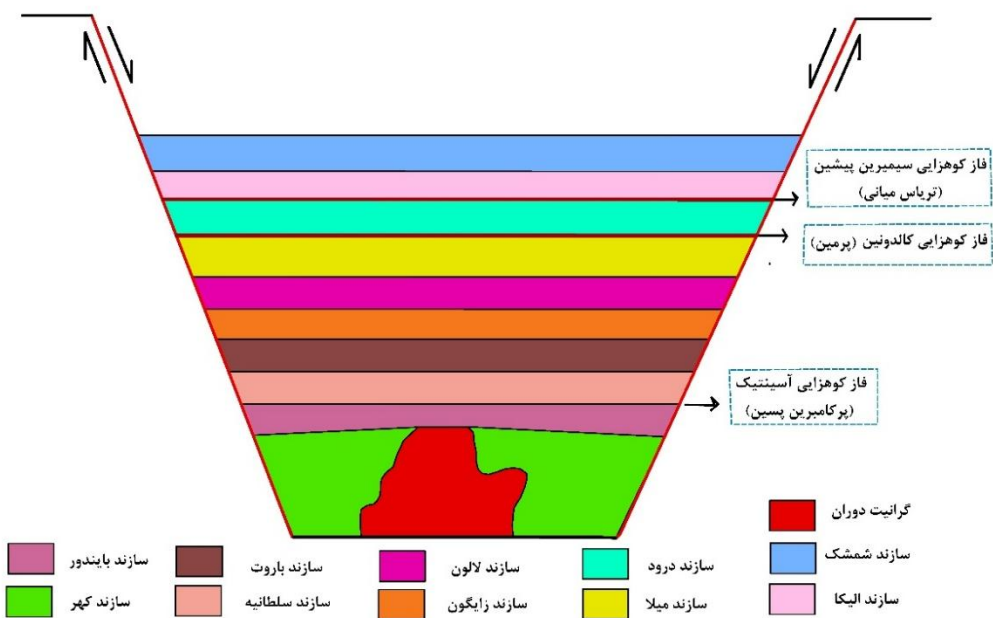
منطقه کاوند بخشی از ایران مرکزی است و قدیمی‌ترین سازندهای زمین‌شناسی منصوب به پرکامبرین بالایی می‌باشد. تحولات زمین‌شناسی و تکتونیکی در این منطقه از پرکامبرین تا عهد حاضر به صورت زیر می‌باشد.

- ابتدا نهشته‌های شیل، اسلیت، کوارتزیت، توف سازند کهر در یک حوضه پلاتفرمی (حوضه کششی) درون قاره‌ای شکل می‌گیرند. توده نفوذی گرانیتی دوران به درون این مجموعه تزریق می‌شوند. نفوذ این توده سبب دگرگونی همبری و چین خوردگی این واحدهای سنگی کهر می‌شود که نمودی از رخداد فاز کوهزایی آسینتیک در منطقه می‌باشد (شکل ۸-۱)
- در مرحله بعد به ترتیب نهشته‌های پرکامبرین پسین کامبرین زیرین شامل ماسه سنگی و شیلی سازند بایندر، دولومیت و شیل سازند سلطانیه، شیل رسی و سیلتی سازند زایگون، ماسه سنگ-های سازند لالون و سازند کربناته میلا با مرز ناپیوسته بر روی سازند کهر و گرانیت دوران قرار گرفته‌اند.
- از اردوئیسین تا پرمین نبود چینه‌ای در منطقه وجود دارد بطوری که نهشته‌های پرمین درود با دگرشیبی فرسایشی بر روی سازندهای پرکامبرین- کامبرین قرار می‌گیرد، که احتمالاً پیامد فاز کوهزایی کالدونین در ایران است.

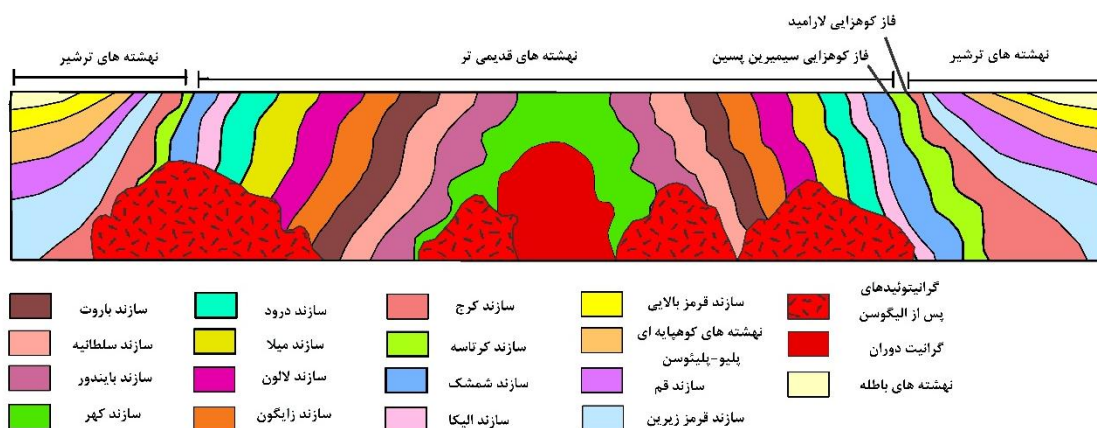
- جایگیری نهشته‌های کربناته تریاس پایینی و میانی (سازند الیکا) و نهشته‌های سازند شمشک تریاس بالایی - ژوراسیک با یک مرز ناهم‌ساز بر روی واحدهای کهن‌تر بیانگر یک فاز فرسایشی قوی در زمان تریاس است و با فاز کوهزایی سیمیرین پیشین مرتبط می‌باشد (شایان ذکر است که سازند الیکا گسترش آنچنانی در منطقه برخوردار نمی‌باشد) (شکل ۸-۲).
- جایگیری نهشته‌های کرتاسه و رخداد فاز کوهزایی سیمیرین پسین که با ناپیوستگی رسوبی در فاصله‌های ژوراسیک بالایی و کرتاسه پایینی.
- رخداد فاز کوهزایی لارامید که به صورت ناپیوستگی میان نهشته‌های ترشیر بر روی سازندهای کهن‌تر در زیر پهنه سلطانیه نمایان است.
- جایگیری نهشته‌های سازند آتشفشانی - رسوبی معادل سازند کرج شامل تناوبی از شیل، توف، گدازه با یک قاعده کنگلومرایی به سن ائوسن بر روی سازندهای قدیمی‌تر قرار می‌گیرد.
- نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی به درون مجموعه‌های آواری - آتشفشانی ائوسن و قدیمی‌تر بیانگر رخداد کوهزایی پیرنه در منطقه است.
- جایگیری نهشته‌های کنگلومرایی - ماسه سنگی - کربناته (سازند قرمز زیرین)، سازند آهکی دریایی (سازند قم) و نهشته‌های ضخیم آواری - مارن و ماسه سنگ همراه با لایه‌های گچ (سازند قرمز بالایی) که به طور ناپیوسته بر روی سازندهای ائوسن یا کهن‌تر قرار دارد و نشان‌دهنده حرکات تکتونیکی آلپ پایانی در منطقه است.
- نهشته‌های کوهپایه‌ای پلیو- پلیستوسن با سطح فرسایشی صاف که در محیط کم ژرفای دریاچه‌ای لب شور پدیدار شده و در آخر نهشته‌های باطله بر روی آن قرار می‌گیرد (شکل ۸-۳).



شکل ۸-۱- ابتدا نهشته‌های سازند کهر در یک حوضه پلاتفرمی (حوضه کششی) درون قاره‌ای شکل می‌گیرند و سپس توده نفوذی گرانیتی دوران به درون این سازند تزریق می‌شوند که سبب دگرگونی همبری و چین خوردگی این واحدهای سنگی کهر می‌شود که نمودی از رخداد فاز کوهزایی آسینتیک در منطقه می‌باشد



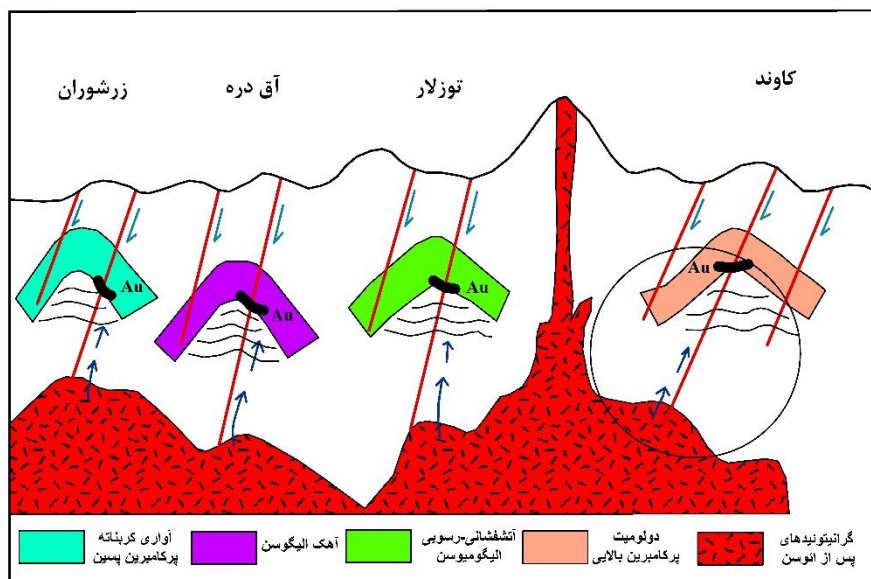
شکل ۸-۲- نهشته‌های پرکامبرین پسین شامل سازند بایندر، سازند سلطانیه، سازند زایگون، سازند لالون و سازند کربناته میلا با مرز ناپیوسته بر روی سازند کهر و گرانیت دوران قرار گرفته‌اند. نهشته‌های پرمین درود با دگرشیمی فرسایشی بر روی سازندهای پرکامبرین-کامبرین (فاز کوهزایی کالدونین)، جایگیری نهشته‌های کربناته تریاس پایینی و میانی (سازند الیکا) و نهشته‌های سازند شمشک تریاس بالایی - ژوراسیک با یک مرز ناهم‌ساز بر روی واحدهای کهن‌تر بیانگر یک فاز فرسایشی قوی در زمان تریاس است (فاز کوهزایی سیمیرین پیشین) قرار می‌گیرد.



شکل ۸-۳- رخداد فاز کوهزایی لارامید که به صورت ناپیوستگی میان تهشته‌های ترشیر با نهمینده‌های کرتاسه و سازندهای قدیمی‌تر نمایان است. نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی به درون مجموعه‌های ترشیر (پالئوژن) و سازندهای قدیمی‌تر (رخداد کوهزایی پیرنه) در زمان پس از الیگوسن.

در منطقه مورد مطالعه و مناطق همجوار (محور تکاب - زنجان) از الیگوسن به بعد توده‌های نفوذی با ترکیب گابرو دیوریت، دیوریت پورفیری، کوارتز پورفیری، گرانیت و گرانو دیوریت در سازندهای قدیمی‌تر نفوذ کرده‌اند ولی بررسی اطلاعات و یافته‌های موجود نشان می‌دهد که توده‌های نفوذی پس از میوسن در تشکیل کانی سازی‌های محور تکاب - زنجان در تشکیل کانسارهای طلای آق‌دره، زرشوران، توزلار و کاوند موثر بوده‌اند (شکل ۸-۴). سیالات ماگمایی حاصل از آنها به سمت بالا حرکت کرده و آبهای جوی که از طریق گسل‌ها و شکستگیها به آنها اضافه شده و تحت تأثیر حرارت آزاد شده از اتاقک ماگمایی تشکیل چرخه آبگرم را می‌دهند. سیالات گرمایی که بدین ترتیب ایجاد می‌گردند ضمن عبور از سنگ‌های مسیر خود (عمدتاً سازندهای زمین‌شناسی قدیمی‌تر مثل سازند کهر) عناصر طلا، مس، جیوه، آنتیموان و ... را از آنها شستشو داده و وارد ترکیب سیال می‌نماید. طلا در محلولهای گرمایی در حرارت پایین بیشتر به صورت کمپلکس‌های بی‌سولفید حمل می‌شوند و کمپلکس‌های کلر نقش مهمی در انتقال طلا ندارند. آرسنیک، جیوه و آنتیموان در محلولهای اپی‌ترمال بیشتر به صورت کمپلکس‌های بی‌سولفید حمل شده،

اما مس، نقره، سرب و روی اکثراً به صورت کمپلکس‌های کلر در محلول حمل می‌شوند. ضمن بالا آمدن محلول بدلیل کاهش فشار ایستایی و برخورد سیال گرمابی فلزدار با سنگهای کربناتی (سنگ آهک مرمری شده چالداغ، دولومیت سلطانیه، سنگ آهکهای الیگوسن و ..) به تدریج گازهای CO_2 ، H_2S و HCl شروع به ظاهر شدن در محلول می‌کنند. عمقی که گازها شروع به ظاهر شدن می‌کنند تابع غلظت گازها و مقدار املاح محلول است. ظهور گازهای CO_2 ، H_2S موجب افزایش PH محلول و در نتیجه باعث ناپایداری کمپلکس‌های کلر گردیده و سرب، روی و نقره به صورت سولفید برجای گذاشته خواهند شد. شرایط اساسی در ناپایداری کمپلکس‌های بی‌سولفید طلا را می‌توان کاهش سریع H_2S محلول، کاهش درجه حرارت، افزایش pH و اکسیداسیون نام برد.



شکل ۸-۴- نقش توده‌های نفوذی پس از الیگوسن (میوسن؟) در تشکیل کانی‌سازی‌های طلای اپی‌ترمال در محور تکاب - زنجان. همانطور که از شکل پیداست کانی‌سازی‌های طلای زرشوران، آق دره، توزلار و کاوند طی مکانیسم واحد شکل گرفته اند ولی سنگ میزبان آنها متفاوت می‌باشد.

۸-۱۰- مقایسه کانی‌سازی کاوند با برخی از تیپ‌های کانی‌سازی طلا

در این بخش کانسار کاوند از لحاظ برخی ویژگی‌ها مانند محیط زمین‌ساختی، سنگ میزبان، سن، نوع توده‌های نفوذی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی، دگرسانی ژئوشیمیایی، میزان عیار طلا، مس و آهن، ویژگی میانبارهای سیال و... با پاره‌ای از تیپ‌های کانی‌سازی معروف طلا مقایسه شده است. اگرچه شباهت‌هایی میان کانی‌سازی کاوند با کانسارهای تیپ IOCG، اسکارن‌های کلسیمی و Cloncurry از برخی جهات (مانند سنگ میزبان، ساخت و بافت، کانی‌های باطله و کانی‌سازی توسط گسل‌ها کنترل می‌شوند ولی دارای تفاوت‌هایی در محیط تکتونیکی، دگرسانی، عناصر همراه و ردیاب کانی‌سازی هستند) وجود دارند ولی در این میان بیشترین شباهت (دارای محیط‌های کشتی مرتبط با فروانش، سنگ میزبان کربناتی، دگرسانی، شکل کانی‌سازی، کانی‌های باطله، ساخت و بافت، فلزات همراه کانی‌سازی، کنترل کانه‌زایی توسط گسل‌ها و چین خوردگی‌ها کنترل می‌شود، درجه حرارت متوسط و شوری کم و عمق کمتر از ۲ کیلومتر) را با کانسارهای طلای اپی‌ترمال با سنگ میزبان رسوبی (کربناتی) دارد (جدول ۸-۱).

۸-۱۱- مقایسه کانسار کاوند با برخی از تیپ‌های کانی‌سازی طلا در ایران و جهان

کانسار کاوند از لحاظ محیط زمین‌ساختی، سنگ میزبان، سن، نوع توده‌های نفوذی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی، دگرسانی و میزان عیار طلا، مس و آهن، با یکسری از کانسارهای طلای ایران و جهان مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۸-۲). براساس مقایسه کانسار کاوند با برخی کانسارهای طلای ایران و جهان، این کانه‌زایی بیشترین شباهت و نزدیکی آن را با طلای اپی‌ترمال آق دره و تا حدودی زرشوران در ایران و بیشترین شباهت را به طلای نوادا در جهان (از لحاظ محیط تکتونیکی، سنگ میزبان کربناته، دگرسانی و شکل کانی‌زایی، کانه‌های کانسار، کانی‌های باطله، ساخت و بافت کانی‌سازی، عناصر همراه تشکیل کانی‌زایی در امتداد گسل‌ها شباهت زیادی دارند) نشان می‌دهد.

جدول ۸-۱- مقایسه کانسار کاوند با انواع تیپ‌های کانسار طلا

نام کانسار	کاوند	طلاي تیپ ابي ترمال با سنگ ميزبان رسوبي	طلاي تیپ Cloncurry	طلاي تیپ IOCG
جنس سنگ ميزبان کانی‌سازی	سنگهای دولومیتی سلطانیه	سنگ ميزبان کربناتی	سنگ دولومیت	متنوع و از سنگهای رسوبي تا سنگهای آتشفشانی درونی مایک تا فلسیک و حتی دگرگونی مثل شیست و گنیس‌ها
سن سنگ ميزبان	پرکامبرین بالایی	در تمام سنین	در تمام سنین	در تمام سنین
محیط تکتونیکی	محیط‌های کششی مرتبط با زونهای فرورانش و کششی بعد از تصادم	محیط‌های کششی مرتبط با زونهای فرورانش	کراتون‌های آتلانتیک (کراتون آرکنن)	حوضه‌های کششی پشت کمر بند زون فرورانش، ریف‌ت درون قاره‌ای، نقاط داغ قاره‌ای و حوضه کششی بعد از تصادم قاره‌ای
دگرسانی‌های همراه کانی‌سازی	سیلیسی، اکسید آهنی، آرژیلیتی، سربستی، کربناتی، اپیدوتی	سیلیسی، رسی، اکسید آهنی، پروپیلیتیک	پتاسیک	سدیک، پتاسیک، کلریت، سربست، کربنات
شکل کانی‌سازی	رگه-رگچه، برشی شدن، عدسی، پراکنده و ساختار پرکننده فضاهای خالی کارستهای کربناتها	رگه-رگچه، برشی شدن، پراکنده و دودکشی مانند	رگه-رگچه، افشان، اسراتاباند، برشی	برشی، رگه - رگچه‌ای، افشان، توده‌ای
کانه‌های کانسار	اولیژیست، هماتیت، پیریت، کالکوپیریت، طلا، آزوریت، مالاکیت، گوتیت، لیمونیت	طلاي طاعیعی، پیریت، آرسنوپیریت، رالگار، اکسیدهای آهن، اریمننت	هماتیت، طلا، پیریت، مگنتیت، بورنیت، کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت، آپاتیت	اکسیدهای آهن، اسپیکولاریت، مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت، طلا، سولفوسالت
کانی‌های باطله	کوارتز، کلسیت، دولومیت، کلریت، سربست، باریت	کوارتز، کلسیت، دولومیت، باریت، کانی‌های رسی	کرینات، کوارتز، باریت	کلسیت، کوارتز، سربست، باریت
ساخت و بافت کانی‌سازی	رگه-رگچه، عدسی، برشی، دانه پراکنده، کلوفرمی، باقیمانده، اسفرولیتی، جبهه ای، جانشینی	انتشاری، رگچه‌ای، جانشینی،	رگچه، پراکنده، جانشینی	پراکنده، رگه-رگچه، برشی، بافت نواری موجی تا رشته‌ای نامنظم
عناصر معرف (اصلی) و ردیاب (نشانه) کانی‌سازی	Au, Fe, Cu, Ba, Sb, As, Hg, Zn, Pb, Ag	Au, Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, Sb, As, Hg, Tl, Ag	Cu, Au, Ag, Bi, Co, W	Cu, Au, Ag, REE, Bi, Co, Nb, F, Ti
عبار عناصر Au.Cu.Fe	Fe 157024.55 ppm, Au 1286.31ppm, Cu 6009.07 ppm	Au 1-13.4 gr/t	Au 0.2-12.5 ppm, Cu 1.28%	Fe >20%, Cu 1.6%, Au 0.6 ppm
نقش کنترل کننده‌های چینه-شناسی و ساختاری در تشکیل کانی‌سازی	در ارتباط با پهنه‌های گسلی، چین خوردگی‌ها و حفرات سنگهای کربناته شده	کنترل کننده قوی ساختاری کانه‌زایی به وسیله-ی گسلها و چین خوردگی‌ها، توده‌های نفوذی و واحدهای چینه شناسی	توسط گسل‌های شرقی-غربی زون ميزبان برشی شده	بیشتر کانسارها در امتداد مناطق ساختاری اصلی و به موازات روندهای ساختاری کشیدگی دارند
همراهی کانی‌سازی با توده‌های آذرین (ماگماتیسم)	توده‌های گرانیت، فرو گابرو، کابرو و داسیت	توده‌های نفوذی فلسیک	توسط ماگمای کالک آلکان	همراه با ماگماتیسم فلسیک نوع I و A، ماگماهای آلکان و کربنات
درجه حرارت و شوری سیال کانه‌ساز	403-160 °C 3.67 wt%NaCl	200-300 °C		290-380 °C (>200 °C) 1-50 wt% NaCl
منابع	تحقیق حاضر	ایوانز (۱۹۹۷) و گیلبرت و پارک (۱۹۹۷) Berger and Bagby (1991)	Gandhi, 2003, 2004a	Williams et al (2005), MD Barton University of Arizona (2014)

ادامه جدول ۸-۱- مقایسه کانسار کاوند با انواع تیپ‌های کانسار طلا

نام کانسار	طلاي تیپ ابي ترمال HS	طلاي تیپ ابي ترمال LS	طلاي تیپ کوهزایی	اسکارن آهن کلسیمی
جنس سنگ میزبان کانی‌سازی	به میزبانی طیف گسترده‌ای از سنگهای آتشفشانی و نفوذی (دایک از تونالیت - دیوریتی)	به میزبانی طیف گسترده‌ای از سنگهای آتشفشانی و نفوذی (دایک از تونالیت - دیوریتی)	سنگهای دگرگونی تغییر شکل (سنگهای رخساره شیست سبز)، سنگهای مافیک و اولترامافیک آتشفشانی، سنگهای نفوذی، گری وکها	
سن سنگ میزبان	در تمام سنین	در تمام سنین	در تمام سنین	در تمام سنین
محیط تکتونیکی	کمان آتشفشانی اقیانوسی، کمان قاره‌ای، گسترش پشت کمان (قاره‌ای)	کمان آتشفشانی اقیانوسی، کمان قاره‌ای، گسترش پشت کمان (قاره‌ای)	در طول فشاری فرآیند تغییر شکل در حاشیه صفحات همگرا در بهم پیوستگی و برخورد کوهزایی	جزیره قوسی اقیانوسی، حاشیه قاره‌ای گسیخته
دگرسانی‌های همراه کانی‌سازی	آرژیلیک پیشرفته، کلریتی، سرسییتی، آلونیت و پروپلیتیک در سطح عمیق‌تر	سررسییتی، آرژیلیک متوسط، کلریتی، آدولاریا	سیلیسی، پروپلیتیک، آرژیلیتیک، سررسییتی	سیلیکات سدیم
شکل کانی‌سازی	توده‌ای، رگه‌ای، استوک‌ورک، برشی	توده‌ای، رگه‌ای، استوک‌ورک، برشی	رگه‌ای، برشی	
کانه‌های کانسار	پیریت، انارژیت، طلا، تلورید، کوولیت، تتراهدریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، آلونیت، کانولینیت، پیروفلیت، دیاسپور، ایلیت	پیریت، طلا، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، تتراهدریت، آرسنوپیریت، اسمکتیت، آدولاریا، ایلیت	آرسنوپیریت در سنگهای رسوبی، پیریت، پیرویت در سنگهای آذرین، طلا، کالکوپیریت، همتایت، گالن، اسفالریت	مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت، پیرویت
کانی‌های باطله	کوارتز، باریت، سولفور	کوارتز، کربنات، کلسیت، باریت، فلوئوریت	کوارتز، کربنات، آلپیت، کلریت، شلیت، تورمالین و میکای سفید	-
ساخت و بافت کانی‌سازی	استوک‌ورک، پراکنده، جانشینی	استوک‌ورک، رگه‌ای، جانشینی، پراکنده، پراکنده فضاهای خالی	پراکنده، نواری، پراکنده فضاهای خالی	
عناصر معرف (اصلی) و ردیاب (نشانه) کانی‌سازی	Cu, Au, As, (Ag, Pb)	Au, Ag (Zn, Pb, Cu)	Au, B, Bi, Hg, Sb, Te, Au, W, Cu, Pb, Zn	Fe, Cu, Co, Au
عیار عناصر Au.Cu.Fe	Cu 0.5-3 %		Au 5-30 gr/t	Fe 47%
نقش کنترل کننده‌های چینه-شناسی و ساختاری در تشکیل کانی‌سازی	کنترل ساختاری توسط سیستم گسل‌های منطقه	کنترل ساختاری توسط سیستم گسل‌های منطقه	کنترل ساختاری کانی‌سازی در مقیاس‌های مختلف وجود دارد لولای محور چین در توالی مجرای توریدیتی، گسل شکننده در پهنه-های برشی با حرکات معکوس و مورب لغز	
همراهی کانی‌سازی با توده‌های آذرین (ماگماتیسیم)	سنگهای ولکانیک آندزیت - ریوداسیت	سنگهای ولکانیک آندزیت - ریوداسیت - ریولیت	توده‌های نفوذی گابرو تا سینیت، دیوریت، همراه با دیاپاز، سنگهای آتشفشانی همراه بازالت	
درجه حرارت و شوری سیال کانه‌ساز	دمای زیر 200-300°C	دمای زیر 200-300°C	شوری کم تا خنثی درجه حرارت 200-250 °C	

اینودی و همکاران، ۱۹۸۱	Groves et al. (1998)	Corbett,2002	Corbett,2002	منابع
------------------------	----------------------	--------------	--------------	-------

جدول ۸-۲- مقایسه کانسار طلای کاوند با مثالهای از کانسارهای طلای ایران

نام کانسار	کاوند	زون متالوژنی بستان آباد- میانه	طلا-نقره (مس) توزلار	طلای زرشوران
تیپ کانسار		(IOCG)	(طلای اپی‌ترمال سولفید بالا)	اپی‌ترمال با سنگ میزبان رسوبی
جنس سنگ میزبان کانی‌سازی	سنگهای دولومیتی سلطانیه	آلکالی گرانیته نوع A و دایک‌های بایمدال (ریولیتی و دیابازی)	پیروکلاست‌ها و لایه‌های از ترکیب آندزیت تا تراکیت و توده-های نفوذی میکرودیوریتی (استوک‌ها)	توسط زون کربناته - آواری و شیل‌های سیاه
سن سنگ میزبان	پرکامبرین بالایی	انوسن	الیگومیوسن	پرکامبرین فوقانی
محیط تکنونیکی	محیط‌های کششی مرتبط با زونهای فرورانش و کششی بعد از تصادم	حوضه‌های کششی پشت کمربند زون فرورانش، ریف‌های درون قاره‌ای، نقاط داغ قاره‌ای و حوضه کششی بعد از تصادم قاره‌ای	مرتبط با کمان در حوضه‌های کم ژرفا درون قاره‌ای در هنگام مراحل کششی همراه با بالا آمدگی و پیش از برخورد	-
دگرسانی‌های همراه کانی‌سازی	سیلیسی، هماتیته، آرژیلیته، سرسیتی، کربناتی، اپیدوتی	سدیک، پتاسیک، کلریت، سرسیتی، کربناتی	پرویلیتیک، آرژیلیک، فیلیک، سرسیتی، آرژیلیک پیشرفته، سیلیسی شدن	سیلیسی شدن و آرژیلیک
شکل کانی‌سازی	رگه-رگچه، برشی شدن، عدسی، پراکنده و ساختار پرکننده فضاهای خالی کارستهای کربناته	برشی، رگه -رگچه، توده‌ای، افشان	رگه‌ای، توده‌ای، برشی	به صورت پراکنده یا تمرکز در شکستگی‌ها، رگه-رگچه، عدسی،
کانه‌های کانسار	اولیژیست، هماتیت، پیریت، کالکوپیریت، طلا، آزوریت، مالاکیته، گوتیت، لیمونیت	کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیته، آزوریت، کریزوکولار، هماتیت، اولیژیست، طلا	پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و کمتر انارژیت، اسفالریت، کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت، تتراهدريت، گالن، طلا	طلا، اریپمنت، رالگار، استینیت، آرسنوپیریت، پیریت، اکسیدهای آهن
کانی‌های باطله	کوارتز، کلسیت، دولومیت، کلریت، سرسیت، باریت	کلیستی و گاهی کوارتز	باریت، کلسیت، کوارتز	کوارتز، باریت، فلوتوریت، کلسیت
ساخت و بافت کانی‌سازی	رگه-رگچه، عدسی، برشی، دانه پراکنده، کلوفرمی، باقیمانده، اسفرولیتی، جانشینی	رگه-رگچه، پرکننده فضاهای خالی، برشی، جانشینی	رگه-رگچه، دانه پراکنده، برشی، پرکننده فضاهای خالی، جانشینی	رگه-رگچه، پرکننده فضاهای خالی، پراکنده، جانشینی
عناصر معرف و ردیاب کانی‌سازی	Au, Fe, Cu, Ba, Sb, As, Hg, Zn, Pb, Ag	U, Li, K, Mo, Rb, W, P, Ba, REE	Cu, Sb, Mo, Pb, Ag, Te	As, Sb, Hg, Tl, Au
عبار عناصر Au, Cu, Fe	Fe 157024.55 ppm, Au 1286.31 ppb, Cu 6009.07 ppm	Au 0.01-10 gr/t و Fe >20% Cu 2-8 %	Au 2.2 gr/t, Cu 0.3 %	Au 10 ppm
نقش کنترل کننده چینه‌شناسی و ساختاری در کانی‌سازی	در ارتباط با پهنه‌های گسلی، چین خوردگی‌ها و حفرات سنگهای کربناته شده	زون‌های کانه‌دار از سیستم گسلی، شکستگی‌ها و زون برشی، خردشدگی در واحدهای ولکانیکی و گرانیته تشکیل شده است	کانه‌زایی در یک مجموعه آتشفشانی - نیمه آتشفشانی در ارتباط با گسل‌ها و شکستگی‌های کششی	-
همراهی کانی‌سازی با توده‌های آذرین (ماگماتیسم)	توده‌های گرانیته، فرو گابرو، کابرو و داسیت	گرانیتوئیدهای سری A و I و یا استوک‌های آلکان - کربنات و دایک‌های مافیک و فلسیک	کانه‌زایی در یک مجموعه آتشفشانی - نیمه آتشفشانی کالک آلکان با تمایل به آلکان	-
درجه حرارت و شوری سیال کانه‌ساز	403-160 °C, 3.67 wt% NaCl	-	211-310 °C, 0.3—8 wt% NaCl	-
منابع	تحقیق حاضر	سهرابی و رضایی، ۱۳۹۴	حیدری و همکاران (۱۳۹۳)، Heidari et al. (2014)	Asadi et al.(2000); Mehrabi et al (2003)

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

ادامه جدول ۸-۲- مقایسه کانسار طلای کاوند با مثالهای از کانسارهای طلای ایران

نام کانسار	کاوند	کانسار گلوچه (شمال زنجان)	کانسار آق‌دره	کانسار طلای کوه‌زر تربت حیدریه
تیپ کانسار		ایبی‌ترمال سولفیداسیون متوسط	طلای ایبی‌ترمال	(IOG)
جنس سنگ میزبان کانی‌سازی	سنگهای دولومیتی سلطانیه	سنگهای آتشفشانی، آتشفشانی - تخریبی و نیمه نفوذی با ترکیب بازیک تا حدواسط متشکل از آندزیت، آندزیت - بازالت، تراکی آندزیت	سنگ آهک (کربناته)	سنگهای آتشفشانی و نفوذی اسیدی تا حدواسط
سن سنگ میزبان	پرکامبرین بالایی	الوسن	میوسن	ترشیاری زیرین
محیط تکتونیکی	محیط‌های کشتی مرتبط با زونهای فرورانش و کشتی بعد از تصادم	سنگهای آتشفشانی حاشیه قاره‌ها و محیط‌های فرورانش	بخشی از کمان آتشفشانی سنوزوئیک ارومیه - دختر	ماگماتیسم در حاشیه‌ی قاره‌ها یا زون فرورانش
دگرسانی‌های همراه کانی‌سازی	سیلیسی، هماتی، آرژیلیتی، سریسیتی، کربناتی، اپیدوتی	فیلیک، آرژیلیک حدواسط، سیلیسی شدن	Decalcification، سیلیسی شدن، کربناتی شدن، آرژیلیک	سیلیسی شدن
شکل کانی‌سازی	رگه-رگچه، برشی شدن، عدسی، پراکنده و ساختار پرکننده فضاهای خالی کارستهای کربناتها	رگه - رگچه‌ای، برشی	رگه - رگچه‌ای توده‌ای	رگه‌ای، داربستی، برش‌های گرمایی
کانه‌های کانسار	اولیوئست، هماتیت، پیریت، کالکوپیریت، طلا، آزوریت، مالاکیت، گوتیت، لیمونیت	گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت، طلا	پیریت، آرسنوپیریت، رآلگار، اورپیمنت، Cinnabar، طلا	اسپیکولاریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پیریت، بورنیت، پیروتیت، آرسنوپیریت
کانی‌های باطله	کوارتز، کلسیت، دولومیت، کلریت، سرسیت، باریت	کوارتز	باریت، کوارتز	کوارتز، کلسیت، کلریت، کربنات آهن‌دار
ساخت و بافت کانی‌سازی	رگه-رگچه، عدسی، برشی، دانه پراکنده، کلوفرمی، باقیمانده، اسفرولیتی، جانشینی	نواری، برشی، رگه - رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی	رگه - رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، جانشینی، پراکنده	بافت شانه‌ای، لایه‌ای، برشی، رگه - رگچه‌ای، جانشینی
عناصر معرف و ردیاب کانی‌سازی	Au, Fe, Cu, Ba, Sb, As, Hg, Z, Pb, Ag	Cd, Cu, Pb, Bi, Zn, Au, As, Sb	As, Sb, Hg, Te, Se, Th, Ba, Zn, Ag, Cd, Bi, Pb, Cu	Au, Ag, Pb, Zn, Ba, W, Fe, Bi
عبار عناصر Au, Cu, Fe	Fe 157024.55 ppm, Au 1286.31 ppb Cu 6009.07 ppm	Cu 0.6%, Au 0.15 ppm	Au 3.7-24.5 gr/t, Fe 0.66-26.8 %, Cu 0.04- 0.53 %	Au 3.02 gr/t, Cu 1.2%, Fe 8.8-23/3 %
نقش کنترل‌کننده‌های چینه-شناسی و ساختاری در کانی‌سازی	در ارتباط با پهنه‌های گسلی، چین خوردگی‌ها و حفرات سنگهای کربناته شده	در اثر حرکات زمین‌ساختی اواخر الیگوسن، نهشته‌های الوسن دچار چین‌خوردگی و گسلش شده و کانی‌سازی با نفوذ توده‌های	گسلهای عمیق، گسل رانش پروگزیمال، گسل عادی و مورب لغز	کانی‌سازی در زون‌های گسلی در راستای لغزشی در درون سنگهای آتشفشانی و نفوذی
همراهی کانی‌سازی با توده‌های آذرین (ماگماتیسم)	توده‌های گرانیت، فرو گابرو، کابرو و داسیت	چرخه ماگماتیسم البرز از سنگهای آذرین نفوذی، نیمه نفوذی و آذرآواری از قبیل گدازه‌های بازالتی، آندزیتی، داسیتی، ریولیتی و توف و نفوذی‌های نیمه عمیق میزبان کانی‌سازی	-	موزونیت تا سینوگرانیت
درجه حرارت و شوری سیال کانه-ساز	403-160 °C 3.67 wt% NaCl	223-287 °C 6.5-17 wt% NaCl	-	295-335 °C

منابع	تحقیق حاضر	مهرابی و همکاران (۱۳۹۳)	Daliran (2008)	مظلومی و همکاران (۱۳۸۷)
-------	------------	-------------------------	----------------	-------------------------

جدول ۸-۳- مقایسه کانسار طلای کاوند با مثالهای از کانسارهای طلای جهان

نام کانسار	کاوند	کانسارهای نوع کارلین (نوادا)	Wernecke Breccias, Yukon Canada	کانسار Guelb Moghrein Cu-A
تیپ کانسار		ایپی‌ترمال با سنگ میزبان رسوبی	(IOCG) غیرماگمایی	IOCG
جنس سنگ میزبان کانی‌سازی	سنگهای دولومیتی سلطانیه	سنگ آهک و ماسه سنگهای کربناته	متاسندستون، سیلستون، سنگ آهک	در پیکره متاکربنات (سنگ کربنات رسوبی)
سن سنگ میزبان	پرکامبرین بالایی	سیلورین - دونین	۱۷۱۰ میلیون سال پیش	اواخر آرکئن
محیط تکتونیکی	محیط‌های کششی مرتبط با زونهای فرورانش و کششی بعد از تصادم	ریفت حاشیه قاره	ریفت فاره‌ای	در کمربند قدیمی و رانش Mauritani در امتداد حاشیه غربی کراتون غرب آفریقا در طول کوهزایی Variscan
دگرسانی‌های همراه کانی‌سازی	سیلیسی، هماتی، آرژیلیتی، سریسیتی، کربناتی، اپیدوتی	Decarbonatization, آرژیلیکی، سیلیسی شدن	رخساره شیست سبز متامورفیسم	سدیک و سدیک-پتاسیک
شکل کانی‌سازی	رگه-رگچه، برشی شدن، عدسی، پراکنده و ساختار پرکننده فضاهای خالی کارستهای کربناتها	برشی، رگه - رگچه‌ای	رگه‌ای، برشی، پراکنده	عدسی، برشی، رگه‌ای
کانه‌های کانسار	اولیژیست، هماتیت، پیریت، کالکوپیریت، طلا، آزوریت، مالاکیت، گوتیت، لیمونیت	پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، مارکاسیت، اکسیدهای آهن، رئالگار، استیپنیت، اورپیمنت	پیریت، کالکوپیریت، هماتیت، مگنتیت، آنکرایت	کالکوپیریت، پیریت، آرسنوپیریت، مگنتیت، پیروتیت، طلا، بورنیت، گرافیت، الکتروم، سیدریت
کانی‌های باطله	کوارتز، کلسیت، دولومیت، کلریت، سرسیت، باریت	کلسیت، کوارتز، سریسیت	کلسیت، باریت، دولومیت، سیدریت، کلریت	کربنات، کوارتز، کلسیت
ساخت و بافت کانی‌سازی	رگه-رگچه، عدسی، برشی، دانه پراکنده، کلوفرمی، باقیمانده، اسفرولیتی، جانشینی	پرکننده فضاهای خالی، رگه - رگچه، جانشینی	رگه - رگچه، برشی، پرکننده فضاهای خالی	برشی، دیسیمنه، جانشینی، رگه - رگچه
عناصر معرف و ردیاب کانی‌سازی	Sb, As, Hg, Zn, Pb, Ag Au, Fe, Cu, Ba	As, Sb, Hg, Tl, Te, Cu, Pb, Mo, Zn, Mn, Bi, Ni, Cu, Ag	U, Co, Mo	Ag, Bi, Co, REE, Ni
عیار عناصر Au.Cu.Fe	Fe 157024.55 ppm, Au 1286.31 ppb, Cu 6009.07 ppm	-	-	Au 2.2 gr/t, Cu 2.17 %
نقش کنترل‌کننده‌های چینه‌شناسی و ساختاری در کانی‌سازی	در ارتباط با پهنه‌های گسلی، چین خوردگی‌ها و حفرات سنگهای کربناته شده	گسل عادی	گسل‌ها، زون برشی، محور چین	در طول گسل‌ها و شکستگی‌ها و گودال‌ها (توسط ساختارهای گسلش با روند ENE)
همراهی کانی‌سازی با توده‌های آذرین (ماگماتیسم)	توده‌های گرانیت، فرو گابرو، کابرو و داسیت	-	-	سنگهای آتشفشانی آندزیتی دگرگونی، ریولیت، توفها، آگلومرا و متاپلیت
درجه حرارت و شوری سیال کانه‌ساز	403-160 °C 3.67 wt%NaCl	180-240 °C 2-3 wt% NaCl	۳۵۰-۱۸۵ °C ۴۲-۲۴ wt% NaCl	-

Kirschbaum and Hitzman (2016)	Hunt et al (2007)	Cline et al ,(2005)	تحقیق حاضر	منابع
-------------------------------	-------------------	---------------------	------------	-------

۸-۱۲- نتیجه‌گیری

مطالعات زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، میانپارهای سیال و ... در منطقه‌ی اکتشافی کاوند منجر به نتایجی شده است که در ادامه به آنها اشاره می‌گردد. سازندهای کهر، سلطانیه و باروت میزبان اکسیدهای آهن، طلا و مس هستند، ولی کانی‌سازی‌ها بیشتر در دولومیت‌های بخش پایینی سلطانیه متمرکز می‌باشد این دولومیت‌ها از نوع دولومیکرایت هستند. شواهد صحرایی، سنگ‌شناسی ژئوشیمیایی وجود توده‌های گرانیتی، گابرو و فرو گابرو را نشان می‌دهد. گرانیت‌ها از نظر سنی منسوب به پرکامبرین پسین و سنگ والد آن سنگهای متاگنیوکی، درحالی که توده‌های گابرویی و فروگابرو دارای سن پس از الیگوسن و سنگ والد آنها آمفیبولیت می‌باشد. کانی‌سازی در منطقه کاوند به انواع اکسید آهن (عمدتاً اولیژیست)، اکسید آهن-کوارتز - باریت، اکسید آهن-کوارتز-باریت-طلا و اکسید آهن-کوارتز-طلا-مس قابل تفکیک است. در این منطقه کانه‌زایی به صورت رگه - رگچه، عدسی، برشی، پراکنده و پرکننده فضاهای خالی کارستهای کربناتها مشاهده می‌شود. کانی‌های اولیه کانسار شامل پیریت، کالکوپیریت، طلا، اولیژیست، هماتیت و کانی‌های ثانویه شامل آزوریت، مالاکیت، کالکوسیت، گوتیت و لیمونیت می‌باشد. کوارتز، باریت، کلسیت، کلریت و سرسیت کانی‌های باطله به حساب می‌آیند. تجزیه شیمیایی نقطه‌ای (به روش میکروپروپ الکترونی) در انطباق با نتایج کانی‌شناسی نوری بوده و در این میان کانی‌های گوتیت، پیریت‌های هماتیت شده و هیدروکسیدهای آهن، مس و آرسنیک دارای بیشترین مقدار طلا می‌باشد. تجزیه شیمیایی نقطه‌ای دانه‌های طلا از رسوبات بستر آبراهه‌ای نشان می‌دهد که در این دانه‌ها مقادیر عناصر طلا، نقره و مس نسبت به بقیه عناصر قابل توجه است. مقایسه‌ی ترکیب شیمیایی ذرات طلا با آنهایی که از تیپ‌های مختلف کانی‌سازی طلا مشابهت طلای کاوند را با انواع اپی‌ترمال ثابت می‌کند. در سنگهای محدوده کانسار کاوند دگرسانی‌های سیلیسی، اکسید آهنی، کلریتی، آرژیلیتی، سرسیتی، کربناتی و اپیدوتی مشاهده می‌گردد. ساخت‌های کانی‌سازی شامل عدسی،

برشی و رگه - رگچه‌ای و پرکننده فضاهای کارستی کربناتها است، و بافت‌ها عبارت از برشی، رگه- رگچه‌ای، دانه پراکنده، کلوفرمی، باقیمانده، جبهه‌ای، اسفرولیتی و جانیشینی می‌باشد. داده‌های ژئوشیمی کانسنگ عناصر آهن، طلا، مس را در حد مقادیر کانساری نشان می‌دهد. مقادیر بیشینه آهن، طلا و مس در نمونه‌های کانسنگ به ترتیب ۲۸/۴۷٪، ۱۴/۶۷ ppm، ۱۲/۸۳٪ است. تحلیل‌های آماری چند متغیره بیشترین همبستگی طلا را با عناصر نقره، آرسنیک، کادمیوم، مس، روی، آنتیموان، گوگرد، باریم، منگنز نشان می‌دهد. چنین همیافتی عنصری دارای بیشترین مشابهت کانی‌سازی اپی‌ترمال می‌باشد. در بررسی- های ژئوشیمیایی فاکتوری همبستگی طلا با آهن منفی است این در حالی است که شواهد صحرایی و تجزیه‌های نقطه‌ای همیافتی طلا را با گوتیت و هماتیت نشان می‌دهد. دلیل همبستگی منفی این دو عنصر به این خاطر است که در منطقه کاوند بیشترین گسترش آهن به صورت اولیژیست است و مقادیر بسیار پایینی از طلا برخوردار می‌باشد حجم قابل توجه اولیژیست تحلیل‌های آماری چند متغیره را تحت تأثیر قرار داده و به عنوان مولفه غالب ظاهر گشته است. مطالعات میانبارهای سیال بر روی کانی‌های کوارتز و کلسیت به ترتیب متوسط درجه حرارت ۲۷۷/۸۴ و ۲۲۱/۸ درجه سانتی‌گراد و متوسط شوری wt%NaCl ۳/۶۷ و ۰/۷۶. با توجه به اینکه کلسیت نسبت به کوارتز یک فاز تأخیری گرمایی است بنابراین ویژگی‌های چگالی، فشار و عمق سیال کانه ساز بر اساس درجه حرارت و شوری میانبارهای سیال کوارتز محاسبه گردیده است. میانبارهای سیال منطقه نشان دهنده چگالی کمتر از ۱ (۱-۰/۵)، میزان فشار کمتر از ۲۰۰ اتمسفر و عمق بیش از ۷۰۰ متر می‌باشد، محل قرارگیری سیال‌های درگیر در محدوده کانسار اپی‌ترمال و تکاملی از سیال‌های گرمابی در منطقه کاوند می‌باشد. کانی‌سازی طلا و عناصر همراه در منطقه کاوند و مناطق همجوار در محور تکاب - زنجان به وسیله کنترل کننده‌های چینه‌شناسی، ساختمانی و نفوذ توده‌های آذرین در ارتباط می‌باشد. در این میان نقش سازندهای آتشفشانی - رسوبی پرکامبرین پسین سنگهای گرانیتوئیدی و گسل‌های با روند شمال غرب - جنوب شرق برجسته می‌باشد.

مقایسه ویژگی‌های کانسار کاوند با تیپ‌های مختلف کانی‌سازی طلا، مشابهت آن را با کانسارهای اپی‌ترمال با سنگ میزبان رسوبی (کربناتی) نشان می‌دهد. مقایسه کانسار کاوند با برخی کانسارهای طلای ایران و جهان بیشترین شباهت و نزدیکی آن را با طلای اپی‌ترمال آق دره و تا حدودی زرشوران نشان می‌دهد. نتایج تحقیق حاضر کانی‌سازی اکسید آهن، طلا و مس کاوند را کانی‌سازی اپی‌ترمال با سنگ میزبان رسوبی معرفی می‌نماید.

۸-۱۳- پیشنهاد اکتشافی و تحقیقاتی

- انجام مطالعات ایزوتوپی در کانسار کاوند
- انجام مطالعات تکمیلی بر روی کانه‌زایی‌های طلا - مس - آهن در منطقه کاوند
- استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی هوایی و زمینی مناسب مانند مغناطیس سنجی و ثقل سنجی، در کنار داده‌های زمین‌شناسی جهت شناسایی توده‌های نفوذی و پیکره‌های معدنی در منطقه کاوند
- با توجه به نقش گسل‌ها در کانه‌زایی و محل عبور سیالات کانه‌دار بیشتر بررسی شود و مورد توجه قرار بگیرد
- تهیه نقشه دگرسانی از منطقه کاوند
- حفر ترانشه‌های اکتشافی عمود بر امتداد مناطق کانی‌سازی. برداشت زمین‌شناسی و ترسیم نیمرخ زمین‌شناسی ترانشه‌ها
- نمونه برداری معدنی از رخنمون سنگ، کانسنگ‌ها و امتداد ترانشه‌های اکتشافی به هدف انجام تجزیه‌های شیمیایی و ترسیم نیمرخ تغییرات عناصر در طول ترانشه‌ها

- تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی سطحی، داده‌های زمین‌شناسی، معدنی و ژئوشیمیایی ترانسه‌های اکتشافی و آنومالی‌های ژئوفیزیکی و انتخاب مکان‌های مناسب برای حفر گمانه‌های اکتشافی آزمایشی
- ترسیم نیمرخ‌های زمین‌شناسی، معدنی و تغییرات عیار عناصر در امتداد گمانه‌های اکتشافی
- انجام مطالعات میانبارها سیال بر روی نمونه کانسنگ از ترانسه‌های اکتشافی و مغزه‌های حفاری به منظور ارزیابی درجه حرارت، شوری، چگالی سیال کانده ساز، تخمین عمق تشکیل کانی‌سازی و غیره



منابع



منابع

- آدابی م.ح، ژئوشیمی رسوبی، انتشارات آراین زمین، ۱۳۸۳، ۴۷۵ص.
- حاج علیلو ب، ۱۳۸۷، ژئوترمومتری میانبارهای سیال، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۰۹ ص.
- حیدری م، قادری م، کوهستانی ج، حسینی م، ۱۳۹۳، کانسار طلا- نقره (مس) اپی ترمال توزلار، مرتبط با توده نفوذی نیمه عمیق محیط کشتی درون کمانی، در شمال باختر ماه‌نشان، علوم زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، صفحه ۳۲۹-۳۴۸.
- سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۸۶، تهیه نقشه های اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در ورقه ی ۱:۱۰۰۰۰۰.
- سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۸۹، پی‌جویی به روش اکتشافات ژئوشیمیایی در ورقه ی ۱:۲۵۰۰۰.
- سازمان صنعت، معدن و تجارت استان زنجان، ۱۳۹۲، طرح تهیه نقشه ۱:۵۰۰۰ کاوند گزارش پیشرفت کار عملیات اکتشافی انجام شد.
- قاسمی ح،، برهمند م،، ۱۳۹۲، "پترولوژی و ژئوشیمی سنگ های آذرین موجود در سازند قرمز زیرین، منطقه گرمسار"، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال هفتم، شماره بیست و ششم، صفحات ۱۷-۳۲.
- کریم‌پور م.ح، ملک زاده آ، حیدریان م.ر، ۱۳۸۴، اکتشاف ذخایر معدنی مدلهای زمین شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی، دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ شماره ۴۵۳.

-
- مظلومی ع.ر، کریم‌پور م.ح، رسا ا.، رحیمی ب.، وثوقی عابدینی . م، ۱۳۸۷، کانسار طلای کوه‌زر تربیت حیدریه، مدل جدیدی از کانی‌سازی طلا ، انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال شانزدهم، شماره ۳، پاییز ۸۷، صفحه ۳۶۳-۳۷۶
 - یعقوب پور، ع. م.، ۱۳۸۳، اصول زمین شناسی ذخایر معدنی.
 - ملک قاسمی، ف، ۱۳۷۸، اصول مینرالوگرافی، انتشارات دانشگاه تبریز، شماره ۳۹۵، ۳۴۵ ص.
 - مهربانی ب.، چقانه ن.، طالع فاضل ا.، ۱۳۹۳، بررسی کانی سازی اپی ترمال سولفیداسیون متوسط آنومالی ۴ کانسار گلوچه (شمال زنجان)، براساس خصوصیات کانه نگاری، دگرسانی و ژئوشیمی سیال کانه ساز، مجله زمین‌شناسی اقتصادی ، شماره ۱، صفحه ۱ تا ۲۲
 - رولینسون. ه، ترجمه کریم زاده ثمرین. ع، ۱۳۸۱، کاربرد داده های ژئوشیمیایی (ارزیابی ، نمایش، تفسیر) دانشگاه تبریز ، چاپ و انتشارات دانشگاه تبریز ۴۴۲
 - Asadi .H.H, Voncken .J.H.L, Kuhnel .R.A, Hale .M, 2000, Petrography, mineralogy and geochemistry of the zarshuran Carlin-like gold deposit, northwest Iran, pp 656-671.
 - Berger, B.R., and Bagby, W.C., 1991, The geology and origin of Carlin-type gold deposits, in Foster, R.P., ed., Gold Metallogeny and Exploration: Glasgow, Blackie and Son, Ltd., p. 210-248.
 - Bodnar, R., 1983, A metod of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and P-V-T-X properties of inclusion fluid, Econ. Geol, 78, p. 535-542.
 - Bodnar R.J.2003. Introduction to Fluid Inclusions. In 1. Samso, A. Anderson & D. Marshall, eds. Fluid Inclusions Analysis & Interpretation. Mineral. Assoc. Canada, Short Course 32, 1-8.
 - Cline J.s, A.H. Hofstera, J. L. Muntean, R. M. Tosdal, K.A. Hickey, 2005, carlin – Type Gold Deposits in Nevada: Critical Geologic Characteristics and Viable Models,

-
- Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology 100th Anniversary Volume pp. 451- 484.
- Corbett, G., 2002, Epithermal Gold for Explorationists, AIG Jurnal – Applied Geoscientific preactice and research.
 - Cox K. G., Bell J.D. and Pankhurst R.J., 1979, The interpretation of igneous rocks. George, Allen ad Unwin, London
 - Daliran .F, 2008, The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran—hydrothermal alteration and mineralization, pp. 383-404.
 - Evans, A.M., 1997, An introduction to economic geology and its environmental impact, Oxford: Blackwell, 364 p
 - Evans, A.M., 1997. An introduction to economic geology and its environmental impacts. Black well science
 - Flood, P.G., and Chivas, A.R., 1995. Origin of massive dolomite , Leg 143, Hole 866A, Resolution Guyot, Mid-Pacific Mountains: in Winterer, E.L., Sager, W.W., Firth, J.V., and Sinton, J.M.(eds.), Proc. ODP, Sci. Result, v. 143, p.161-170.
 - Gandhi, S.S., 2003, An overview of the Fe oxide-Cu-Au deposits and related deposit types: CIM Montreal 2003 Mining Industry Conference and Exhibition, Canadian Institute of Mining, Technical Paper, CD-ROM.
 - Gandhi, S.S., 2004a, Magmatic-hydrothermal Fe oxide±Cu±Au deposits: classification for a digital database and an overview of selected districts: IAVCEI General Assembly 2004, Pucón, Chile, CD-ROM, Abstracts01a_pt_169.
 - Gill, J.B., 1981, Orogenic Andesites and Plate Tectonics, Mineral and rocks Berlin, Heidelberg, New York, Springer, Vol: 16, p:390.
 - Goss, A.R., 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.
 - Gregg, J.M., and Sibley, D.F., 1984. Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture reply: Jour. Sed. Petrology, v. 59, p. 59 – 74.

-
- Gregg, J.M., and Shelton, K.L., 1990. Dolomitization and dolomite neomorphism in the back reef facies of the Bonnetterre and Davies formations (Cambrian), southeastern missouri: Jour. Sed. Petrology, v. 60, p. 549 – 562
 - Groves .D.J, Goldfarb .R.J , Gebre-Mariam .M, Hagemann .S.G, Robert .F, 1998, Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types, Ore Geology Reviews 13 , 7-27.
 - Guilbert. J. M. and Park C. F. J., 1997. “The geology of ore deposits”: Freeman, W. H. and company .pp. 985 .
 - Hall, D. L., Sterner, S. M. and Bodnar, R. J. (1988) Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions. London. Economic Geology, 83, 197-202.
 - Heydari .M, Daliran .F, Paquette J.L, Gasquet .D, 2014, Geology, timing, and genesis of the high sulfidation Au (-Cu) deposit of Touzlar, NW Iran
 - Humphries S,E., 1984. The mobility of the rare earth elements in the crust. In: Henderson P. (ed.), Rare earth element geochemistry. Elsevier, Amsterdam, pp. 315 – 341.
 - Hunt .J.A, Baker T., Thorkelson D.J., 2007, A Review of Iron Oxide Copper-Gold Deposits, with Focus on the Wernecke Breccias, Yukon, Canada, as an Example of a Non-Magmatic End Member and Implications for IOCG Genesis and Classification, Exploration and Mining Geology, Vol. 16, Nos. 3–4, p. 209–232
 - Irvine T.N. and Baragar W.R.A., 1971, A guid to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci., 8, 523 – 548.
 - Kirschbaum M.J., Hitzman .M.W, 2016, GUELBOGHREIN: AN UNUSUAL CARBONATE-HOSTED IRON OXIDE COPPER-GOLD DEPOSIT IN MAURITANIA, NORTHWEST AFRICA, Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology, v. 111, pp. 763–770.
 - 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.
- Lentz. D., 1998, “Petrogenetic evolution of felsic volcanic sequences associated with Phanerozoic volcanic- hosted massive sulphide systems: the role of extensional geodynamics” *OreGeology Reviews* 12, pp 289–327.
 - Long J.V.P., 1997, Electron probe microanalysis. In: Zussman J.(ed), *Physical methods in determination mineralogy*. Academic Press , New York. pp .215- 260
 - Lottermoser, B., 1992. Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes. *Ore Geology Reviews*, 7(1), 25-41
 - Machel, H.G., and Mountjoy , E.W.,1986. Chemistry and environments of dolomitization: *Earth Sci. Rev.*,v.23, p.175-222.
 - Mehrabi .B, Yardley .B.W.D, Komninue .A, 2003, MODELLING THE As-Au ASSOCIATION IN HYDROTHERMAL GOLD MINERALIZATION: EXAMPLE OF ZARSHURAN DEPOSIT, NW IRAN, *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 14(1): 37-52 (2003) National Center For Scientific Research, ISSN 1016-1104
 - Michard A., 1989, Rare earth element systematics in hydrothermal fluids. *Geochim . Cosmochim. Acta*, 53, 745 – 750.
 - Palacios, C. & Herail, G. et al. 2001. The composition of gold in the Cerro Casale gold-rich porphyry deposit, Maricunga belt, northern Chile. *Canadian Mineralogist*, 39, 907–915.
 - Pearce J.A., 1983 Role of the sub – continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. in : Hawkesworth C.J. and Norry M.J.(eds.), *Continental basalts and mantle xenoliths . shiva , nathwich* , pp. 230 – 249
 - Purser, B., Tucker, M. and Zenger, D., 1994.*Dolomites: Int. Assoc. Sed. Spec. Publ.*,v. 21, 451p.
 - Poulsen, K.H., and Hannington, M.D., 1996, Volcanic-associated massive sulphide gold, in *Geology of Canadian Mineral Deposit Types*, R.O. Eckstrand, W.D. Sinclair, and R.I. Thorpe, eds.; Geological Survey of Canada, *Geology of Canada*, no. 8, p. 183-196.

-
- Rao, C.P., 1996. Modern Carbonates, tropical, temperate, polar: introduction to sedimentology and geochemistry: Arts of Tasmania, 206 p.
 - Roedder E. (1979) "Fluid inclusions as samples of ore fluids" In H.L. Barenes (ed.) Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. 2nd edn., Wiley Interscience. New York. 684-738.
 - Roedder, E., 1984. "Fluid inclusions. Mineralogical Society of America". Reviews in mineralogy, 12, pp. 1-644.
 - Richards J. P., Wilkinson .D, Ullrich .T, 2006, Geology of the Sari Gunay Epithermal Gold Deposit, Northwest Iran, Economic Geology BULLETIN OF THE SOCIETY OF ECONOMIC GEOLOGISTS, 1455-1496
 - Rollinson, H. R., 1993 .Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical, 351 p.
 - Sibley, D.F., and Gregg, J.M., 1987. Kinetics of dolomite rock texture: Jour. Sed. Petrology, v. 57, p. 967 – 975
 - Shepherd, T.J. Rankin, A.H., and Alderton, D.H.M., 1985. A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Blackie, Glasgow.
 - Shukla, v., and Baker, P.A., 1988. Sedimentology and Geochemistry of Dolostones: Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ. No. 43, 266p.
 - Taylor H.P. and Sheppard S.M.F. (1986) "Igneous rocks: I. Processes of isotope fractionation and isotope systematic" Reviews in Mineralogy. 16- 227.
 - Thompson R. N., 1982, British Tertiary volcanic province. Scott . J. Geol., 18, 49 – 107.
 - Townley, B.K., Herail, G., Maksaev, V., Palacios, C., de Parseval, P., Sepulveda, F., Orellana, R., Rivas, P. and Ulloa, C. (2003). Gold grain morphology and composition as an exploration tool: application to gold. exploration in covered areas. Geochemistry, Exploration, Environment, Analysis, 3, p. 29-38.
 - Villaseca, C., Barbero, L. & Herreros, V., 1998- A re- examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts, Earth Sciences, 89: 113-119.

-
- Whalen, J. B., Currie, K. L. & Chappelle, B. W., 1987- A-type granite: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis, *Contrib. Mineral. Petrol* 95: 407 – 419.
 - Williams J.P, Mark D. Barton, David A. Johnson, L. Fontbote, A. Haller, Geordie Mark, Nicholas H.S. Oliver, R. Marschik ,2005, Iron Oxide Copper – Gold Deposits: Geology, Space – Time Distribution, and possible Modes of origin , Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology* 100th Anniversary Volume pp. 371-405.
 - Wilkinson, J., 2001. “Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits”. *Lithos* 55, pp. 229-272.
 - Wilson, M. 1989: *Igneous petrogenesis a global tectonic approach*. Department of earth Science, University of leeds. 466pp.
 - Zenger, D.H. Dunham, J.B., and Ethington, R.L., 1980. *Concepts and Models of Dolomitization: Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ.*, v. 28, 32p.

Abstract

Kavand ore deposit is located in 35 km southwest of Zanzan and the Soltanieh subzone. The Kahar, Doran granite, Bander, Soltanieh, Barute, Zaygon and Lalun Formations with late Precambrian - Early Cambrian age outcropped in this area. There are small bodies of gabbro and ferrogabbro within Kahar, Soltanieh and Barute Formations. These formations host iron oxides, gold and copper, but mineralization is concentrated in the lower part of dolomite of Soltanieh F. The dolomites are cold water dolomiticrites, and based on the Ca/Mg ratio and Na and Sr values lie in the late Precambrian- early Cambrian age. Granites are related to the late Precambrian and their parent rocks are metagraywacke, while the gabbro and ferrogabbro are post Oligocene and their parent rocks are amphibolite. Mineralization in the Kavand region dividing: iron oxides (mainly oligiste), iron oxide - quartz - barite, iron oxide - quartz - barite - gold and iron oxide - quartz - gold - copper types. The primary ore mineral including pyrite, chalcopyrite, gold, hematite, oligiste and secondary types are chalcocite, azurite, malachite, goethite and limonite. Quartz, barite, calcite, dolomite, chlorite and sericite are gangue minerals. In this area are observed siliceous, iron oxide, argillic, sericitic, carbonate, chloritic and epidotic alterations. The main structure of mineralization are lenticular, breccia, vein-veinlets and carbonate-open spaces filling, and ore textures are breccia, vein-veinlets, disseminated, colloform, relic, frontal, spherulitic and replacement. Based on ore geochemical data, the contents of Fe, Au and Cu are high, and the maximum amounts of Fe, Au and Cu in the ore samples are 28.47%, 14.67 ppm, 12.83%, respectively. Multivariate statistical analyses display that high correlation of Au with Ag, As, Cd, Cu, Zn, Sb, S, Ba and Mn. There is a negative correlation between Au and Fe in factor analysis results, while field observations and microprobe analysis show that association of gold with goethite and hematite. The reason for the negative correlation of Au and Fe is that the main iron mineralization is as oligiste. The value of Au is very low in oligiste mineral, but huge occurrences of oligiste effect the results of multivariate analyses and Fe is prevail in component 1 without Au. The chemical analysis of minerals by electron microprobe method coincide with optical mineralogy, and among goethite, oxidized pyrite and Fe, Cu and As-bearing hydroxides have the highest Au content. Chemical analysis of gold grains from pan-concentrated stream sediments indicate that Au and Ag values are

considerable in gold grains composition. The Comparison of gold composition with those of various types gold mineralization demonstrate similarity of Kavand gold with epithermal system. Fluid inclusions studies on quartz and calcite display that average temperature of 274.84 and 21.28 °C, and average salinity 3.67 and 0.76 wt% NaCl, respectively. Because of calcite is a late hydrothermal mineral relative to quartz, hence density, pressure and depth of ore-forming fluids are estimated based on the temperature and salinity of quartz fluid inclusions. The ore-bearing fluid density is less than 1 (0.5-1), pressure less than 200 atmospheres and depth of mineralization is about 700 meters. Gold and associated elements mineralization in the Kavand and adjacent areas in the Takab-Zanjan region controlled by stratigraphy, structure and intrusive bodies. In this regard, the role of late Precambrian volcanic-sedimentary Formations, Tertiary granitoides rocks and faults with NW-SE trend are prominent. Comparing the characteristics of study area with various types gold mineralization in Iran and world demonstrate the most similarity and proximity of Kavand ore mineralization whit sedimentary rock (carbonate)-hosted epithermal system.

Keywords: gold, iron oxide, carbonate rock-hosted, epithermal, Kavand, Zanjan



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Economic Geology

Mineralogy, geochemistry and genesis of iron oxides-gold-copper mineralization in The Kavand area, West-South west of Zanzan

By:

Nadia partak

Supervisor:

Masood alipour asl

July 2017