

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده علوم زمین
رشته زمین شناسی گرایش زمین شناسی اقتصادی

پایان نامه کارشناسی ارشد

کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار آهن زردکوه، شمال غرب بردسکن،

خراسان رضوی

نگارنده: فاطمه عابدینی مقانکی

استاد راهنما:

دکتر فرج الله فردوست

شهریور ۱۳۹۵

۹۵/۷/۱۱

فرم شماره ۷: صورت جلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات معاونت محترم و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم فاطمه عابدینی هلالگی به شماره دانشجویی ۹۳۰۹۵۰۴ رشته زمین شناسی گرایش اقتصادی تحت عنوان گامی شناسی، ژئوشیمی و ژئو کانساز آهن زردکوه، شمال غرب بردسکن، خراسان رضوی که در تاریخ ۱۳۹۵/۰۶/۱۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه) ناکارآمد استنادهای ناقص دفاع مجدد مرهونه

نوع تحقیق: نظری عملی

- ۱- عالی (۱۹-۲۰)
- ۲- بسیار خوب (۱۸-۱۹)
- ۳- خوب (۱۷-۱۸)
- ۴- قابل قبول (۱۵-۱۶)
- ۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر فرج الله فردوست		
۲- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی رضایی	استادیار	
۳- استاد منتحن اول	دکتر فریدون مونسوند	استادیار	
۴- استاد منتحن دوم	دکتر سمیه علیپور اصل		

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: *محمد لاریجانی*

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تقدیم به

پدر و مادر عزیز و مهربانم

که در سختی ها و دشواری های زندگی همواره باوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده اند.

به خواهران و برادرانم به پاس تشویق ها و دلگرمی هایشان

و به او که بدون حضورش طی این مسیر رویایی من نبود...

تقدیر و تشکر

بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از تمامی عزیزانی که در مراحل مختلف پایان نامه مرا یاری نموده‌اند به جا آورم و از درگاه خداوند متعال توفیق روز افزون یکایک آنان را خواستارم.

در ابتدا از استاد راهنمای دلسوز و بزرگووارم، جناب آقای دکتر فردوست، که بی شک راهنمایی‌های ارزنده، دانش و دلسوزی‌های ایشان سبب به انجام رسیدن این تحقیق شده است و این حقیر در این راه از دانش و راهنمایی‌های ایشان بهره بسیار برده‌ام.

از آقایان دکتر موسیوند و دکتر علیپور که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین از اساتید و کارشناسان محترم دانشکده علوم زمین به خصوص دکتر صادقیان و دکتر جعفرزاده، مهندس میرباقری، خانم‌ها مهندس فارسی و مهندس سعیدی و آقای محمدیان تشکر می‌کنم.

از آقای حمید موسوی نژاد (مالک معدن زردکوه)، مهندس رهبری و خانواده محترم آقای حسین موسوی نژاد که نهایت همکاری و مساعدت را با این حقیر داشته‌اند کمال تشکر را دارم.

از دوستان عزیز و گرامی، آقایان مهندس میلاد صدری و مهدی بازاری و خانم‌ها زهرا موسوی نژاد، ناهیدی-فر، لیلخانی، سمیه صالحی نسب، میترا جهانیان، زینب فضل‌ی مقدم، ندا مرادی، گلشن غفاری و گلشن نقدی پور به خاطر همکاری در طول مراحل تحقیق و همچنین بسیاری از عزیزانی که متأسفانه اینجا امکان تشکر از تک تک ایشان مقدور نیست، تشکر و قدردانی می‌کنم.

فاطمه عابدینی مقانکی

شهریور ۱۳۹۵

تعهدنامه

اینجانب فاطمه عابدینی مقانکی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار آهن زردکوه، شمال غرب بردسکن، خراسان رضوی" تحت راهنمایی دکتر فرج الله فردوست متعهد می‌شوم:

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

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

کانسار آهن زردکوه در استان خراسان رضوی، ۵۰ کیلومتری شمال غرب بردسکن و ۳۱ کیلومتری شمال شرق روستای درونه واقع شده است. از نظر جایگاه زمین‌شناسی بخشی از شمال پهنه ساختاری ایران مرکزی و در منتهی‌الیه جنوب‌غربی زیرپهنه تکنار قرار گرفته است. قدیمی‌ترین واحد رخنمون یافته در منطقه سازند آذرآواری و دگرگون شده تکنار با سن پراکامبرین است. که با مرز گسلی در دو طرف سازند شیمیایی- تخریبی پادها به سن دونین زیرین قرار گرفته است. سازند پادها از: آهک، ماسه‌سنگ، شیل و آهک دولومیتی تشکیل شده است. ماده معدنی در بخش آهک دولومیتی سازند پادها به صورت لایه‌ای و عدسی‌هایی با گسترش جانبی محدود به صورت هم‌شیب و هم‌روند با آن تشکیل شده است. براساس مطالعات میکروسکوپی هماتیت، گوتیت، لیمونیت و به مقدار کمتر مگنتیت کانه‌های اصلی می‌باشند. پیریت و دانه‌های مشکوک به طلا کانه‌های فرعی هستند. باریت، کوارتز، کلسیت، آنکرایت، دولومیت، مسکویت و ژپس باطله‌های کانسار را تشکیل می‌دهند. مهمترین ساخت‌ها شامل: لایه‌ای، عدسی و رگه- رگچه‌ای و مهمترین بافت‌ها شامل: لامینه، پراکنده، حاشیه‌ای، جان‌شینی، تیغه‌ای، شکافه پرکن و کلوفرمی هستند. دگرسانی‌های موجود در منطقه شامل دگرسانی سیلیسی، کربناتی، دولومیتی و اکسیدهای آهن (هماتیتی شدن و لیمونیتی شدن) و سولفاتی شدن می‌باشند. در بررسی نمونه‌ها با روش ARS، قسمت عمده کانی‌های تشکیل دهنده بخش‌های کربناته کلسیت می‌باشد. مطالعات ژئوشیمیایی بر اساس نسبت‌های Al_2O_3 -/ SiO_2 ، V/Ni ، Co/Zn ، تغییرات Cu ، Co و Ni نسبت به تغییرات Mn و Fe و همچنین تغییرات عناصر نادر خاکی از جمله غنی شدگی LREE نسبت به HREE و آنومالی مثبت Eu همگی منشأ گرمایی را برای آهن نشان می‌دهند. در کانسار آهن زردکوه عناصر Al ، Mo ، Ni ، P ، V ، Co ، Ti و Cr رفتاری متفاوت با آهن دارند، به طوری که هر جا آهن افزایش یافته میزان این عناصر کاهش نشان می‌دهد. این در حالی است که عناصری همچون Cu ، Mn ، Sr ، Mg ، As و Ba رفتاری مشابه با آهن دارند که نشان دهنده هم منشأ بودن آنها با آهن می‌باشد. لذا، با توجه به ساخت لایه‌ای، هم‌شیب بودن پیکره‌های کانسنگ با سنگ‌های درونگیر، عدم پیروی از ساختارهای گسلی، ساخت و بافت و نتایج تحلیل‌های ژئوشیمیایی می‌توان گفت کانسار آهن زردکوه یک کانسار برون‌دمی- رسوبی می‌باشد.

کلمات کلیدی: آهن، برون‌دمی- رسوبی، زردکوه، تکنار، بردسکن.

مقالات مستخرج از این پایان نامه:

- ❖ مطالعه پتروگرافی سنگ‌های در برگیرنده کانسار آهن زردکوه، شمال غرب بردسکن، سی و سومین گردهمایی علوم زمین، تهران، اسفند ۱۳۹۳.
- ❖ زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانسار آهن زردکوه (شمال غرب بردسکن، خراسان رضوی)، هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دامغان، ۱۳۹۴.

فهرست مطالب

فصل ۱ کلیات.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه.....	۲
۳-۱- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی.....	۳
۴-۱- اوضاع اجتماعی و معیشتی.....	۴
۵-۱- زمین ریخت شناسی.....	۴
۶-۱- مطالعات و کارهای انجام شده قبلی.....	۶
۷-۱- طرح مسأله و ضرورت انجام تحقیق.....	۱۲
۸-۱- هدف و روش تحقیق.....	۱۲
۱-۸-۱- گردآوری مطالب.....	۱۲
۲-۸-۱- بررسی های صحرایی.....	۱۳
۳-۸-۱- مطالعات آزمایشگاهی.....	۱۳
۹-۱- رده بندی کانسارهای آهن.....	۱۳
فصل ۲ زمین شناسی ناحیه ای.....	۱۵
۱-۲- مقدمه.....	۱۶
۲-۲- ویژگی های عمومی پهنه ساختاری ایران مرکزی.....	۱۷
۳-۲- زیرپهنه تکنار.....	۱۷
۴-۲- چینه شناسی.....	۱۹
۱-۴-۲- پرکامبرین.....	۲۱
۲-۴-۲- پالئوزوئیک.....	۲۱
۱-۲-۴-۲- پرکامبرین پسین - کامبرین پیشین.....	۲۱
۳-۴-۲- مزوزوئیک.....	۲۴
۴-۴-۲- سنوزوئیک.....	۲۵
۵-۲- زمین شناسی ساختمانی.....	۲۶
۶-۲- زمین شناسی اقتصادی.....	۲۸
فصل ۳ زمین شناسی و سنگ شناسی محدوده معدنی.....	۳۱

۳۲	۱-۳-۱- مقدمه
۳۲	۳-۲- چینه شناسی و سنگ شناسی منطقه معدنی
۳۳	۳-۲-۱- پرکامبرین
۳۳	۳-۲-۱-۱- سازند تکنار
۳۴	۳-۲-۱-۲- سازند سلطانیه
۳۴	۳-۲-۲- پالئوزوئیک
۳۴	۳-۲-۲-۱- سازند پادها
۳۵	۳-۲-۲-۲- سازند سبزار
۴۷	۳-۳- محیط رسوبی
۴۹	۳-۴- زمین شناسی ساختمانی
۵۱	فصل ۴ کانه زایی و دگرسانی
۵۲	۴-۱- مقدمه
۵۲	۴-۲- کانه زایی
۵۷	۴-۳- دگرسانی
۵۷	۴-۳-۱- دگرسانی کربناتی شدن و دولومیتی شدن
۵۸	۴-۳-۲- دگرسانی سیلیسی
۵۹	۴-۴- پهنه های هوازده
۵۹	۴-۴-۱- هماتیتی شدن
۶۰	۴-۴-۲- لیمونیتی شدن
۶۱	۴-۴-۳- سولفاتی شدن
۶۳	فصل ۵ کانی شناسی، ساخت و بافت و توالی پاراژنتیک
۶۴	۵-۱- مقدمه
۶۴	۵-۲- کانی شناسی
۶۴	۵-۲-۱- کانه های اصلی
۶۴	۵-۲-۱-۱- هماتیت
۶۶	۵-۲-۱-۲- گوتیت
۶۷	۵-۲-۱-۳- مگنتیت
۶۸	۵-۲-۱-۴- لیمونیت

۶۸	..... ۵-۱-۲-۵ پیریت
۶۹	..... ۵-۱-۲-۶ طلا
۶۹	..... ۵-۲-۲-۲ کانی های باطله
۷۰	..... ۵-۱-۲-۲-۱ کلسیت
۷۰	..... ۵-۲-۲-۲-۲ دولومیت و آنکریت
۷۱	..... ۵-۳-۲-۲-۳ باریت
۷۳	..... ۵-۴-۲-۲-۴ کوارتز
۷۴	..... ۵-۵-۲-۲-۵ ژیپس
۷۴	..... ۵-۶-۲-۲-۶ مسکویت
۷۵	..... ۵-۳-۳ ساخت و بافت
۷۵	..... ۵-۱-۳-۳ ساخت لایه ای
۷۵	..... ۵-۲-۳-۳ ساخت برشی
۷۶	..... ۵-۳-۳-۳ ساخت رگه- رگچه ای
۷۷	..... ۵-۴-۳-۳ ساخت انحلالی
۷۷	..... ۵-۴-۴ بافت
۷۷	..... ۵-۱-۴-۴ بافت لامینه
۷۸	..... ۵-۲-۴-۴ بافت دانه پراکنده
۷۹	..... ۵-۳-۴-۴ بافت پرکننده فضای خالی
۷۹	..... ۵-۴-۴-۴ بافت جانشینی
۸۰	..... ۵-۱-۴-۴-۴ بافت جانشینی شبکه ای
۸۰	..... ۵-۲-۴-۴-۴ بافت جانشینی برجای مانده
۸۰	..... ۵-۳-۴-۴-۴ بافت جعبه ای
۸۱	..... ۵-۴-۴-۴-۴ مارتیتیزاسیون
۸۱	..... ۵-۵-۴-۴ بافت کلوفرمی
۸۲	..... ۵-۵-۵ توالی پاراژنتیک
۸۲	..... ۵-۱-۵-۵ مراحل تشکیل و تکوین کانسار آهن زردکوه
۸۵	..... فصل ۶ ژئوشیمی
۸۶	..... ۶-۱-۱ مقدمه

- ۸۶ ۲-۶ ژئوشیمی آهن.....
- ۹۰ ۳-۶ روش کار.....
- ۹۱ ۱-۳-۶ تمایز محیط تکتونیکی با استفاده از داده های ژئوشیمیایی.....
- ۹۲ ۴-۶ بررسی تغییرات عناصر Mg , Na, Sr, Fe, Mn در سنگ آهک های منطقه کانسار زردکوه.....
- ۹۵ ۵-۶ ژئوشیمی کانسنگ.....
- ۹۵ ۱-۵-۶ نسبت SiO_2/Al_2O_3
- ۹۶ ۲-۵-۶ نمودار دو تایی V/Ni.....
- ۹۷ ۳-۵-۶ نمودار $Fe-Mn-(Ni+Co+Cu)*10$
- ۹۸ ۴-۵-۶ نسبت Co/Zn.....
- ۹۹ ۶-۶ عناصر نادر خاکی (REEs).....
- ۱۰۰ ۱-۶-۶ الگوی عناصر نادر خاکی در کانسار آهن زردکوه.....
- ۱۰۱ ۷-۶ ستون های لیتوژئوشیمیایی و بررسی تغییرات عناصر.....
- ۱۰۵ فصل ۷ الگوی تشکیل کانسار آهن زردکوه.....
- ۱۰۶ ۱-۷ مقدمه.....
- ۱۰۶ ۲-۷ برخی از شواهد حاصل از مطالعات در کانسار آهن زردکوه.....
- ۱۰۶ ۱-۲-۷ محیط تکتونیکی.....
- ۱۰۷ ۲-۲-۷ محیط زمین شناسی ته نشست.....
- ۱۰۷ ۳-۲-۷ سنگ میزبان و سنگ های همراه.....
- ۱۰۷ ۴-۲-۷ شکل هندسی، ساخت و بافت.....
- ۱۰۷ ۵-۲-۷ کانی شناسی.....
- ۱۰۹ ۶-۲-۷ دگرسانی.....
- ۱۰۹ ۷-۲-۷ شواهد ژئوشیمیایی.....
- ۱۰۹ ۳-۷ ارائه مدل ژنتیکی کانسار آهن زردکوه.....
- ۱۰۹ ۱-۳-۷ منشأ عناصر کانه ساز.....
- ۱۱۰ ۲-۳-۷ منشأ سیال کانه ساز.....
- ۱۱۰ ۳-۳-۷ مدل ژنتیکی و نحوه تشکیل کانسار آهن زردکوه.....
- ۱۱۲ ۴-۷ مقایسه کانسار آهن زردکوه با کانسارهای شاخص ایران و جهان.....

- ۱۱۲-۷-۴-۱- مقایسه کانسار آهن زردکوه با برخی از کانسارهای شاخص آهن در ایران..... ۱۱۲
- ۱۱۲-۷-۴-۱- کانسار آهن اجت آباد..... ۱۱۲
- ۱۱۲-۷-۴-۲- کانسار آهن شمس آباد..... ۱۱۲
- ۱۱۳-۷-۴-۳- کانسار آهن هتسک..... ۱۱۳
- ۱۱۴-۷-۴-۴- کانسار آهن میرجان..... ۱۱۴
- ۱۱۶-۷-۴-۲- مقایسه با کانسارهای شاخص آهن در دنیا..... ۱۱۶
- ۱۱۶-۷-۴-۲-۱- کانسار آهن Svartliden در سوئد..... ۱۱۶
- ۱۱۶-۷-۴-۲-۲- کانسار آهن رسوبی El Bahariya در مصر..... ۱۱۶
- ۱۱۷-۷-۴-۳- کانسار آهن Yuanjiacun و Jingtieshan در چین..... ۱۱۷
- ۱۱۸-۷-۵- مقایسه کانسار آهن زردکوه با تیپ های آهن نواری و آهن رسوبی..... ۱۱۸
- ۱۲۰-۷-۶- پیشنهادات اکتشافی و علمی..... ۱۲۰

فهرست شکل ها و جداول

فصل اول: کلیات

- شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به کانسار آهن زردکوه، بردسکن ۳
- شکل ۱-۲: بخشی از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ کاشمر..... ۵
- شکل ۱-۳: تصویر صحرایی از زمین ریخت شناسی منطقه..... ۶
- شکل ۱-۴: نمایی از وضعیت توپوگرافی منطقه بر روی تصویر ماهواره ای..... ۶
- شکل ۱-۵: نمودار شماتیک فرآیندهای زمین شناسی در تشکیل آهن..... ۱۴

فصل دوم: زمین شناسی ناحیه ای

- شکل ۱-۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پهنه بندی ساختاری-رسوبی..... ۱۶
- شکل ۲-۲: موقعیت محدوده مورد مطالعه در پهنه تکنار..... ۱۹
- شکل ۲-۳: موقعیت کانسار آهن زردکوه بر روی بخشی از نقشه بردسکن..... ۲۰
- شکل ۲-۴: سازند سلطانیه که با مرز گسلی بر روی سازند تکنار..... ۲۲
- شکل ۲-۵: قرار گرفتن سازند پاها با مرز گسلی در کنار سازند تکنار..... ۲۳
- شکل ۲-۶: گسل درونه در نزدیکی منطقه مورد مطالعه..... ۲۷

فصل سوم: زمین شناسی و سنگ شناسی محدوده معدنی

- شکل ۳-۱: نقشه زمین شناسی محدوده معدنی..... ۳۳
- شکل ۳-۲: بخشی از سازند سلطانیه با مرز گسلی در بالای سازند سبزار..... ۳۴
- شکل ۳-۳: نمایی از سازند پاها ۳۵
- شکل ۳-۴: ستون چینه شناسی واحدهای سنگی محدوده معدنی..... ۳۶
- شکل ۳-۵: تصویر از واحد اول سازند پاها با نوارهای چرتی..... ۳۷
- شکل ۳-۶: کوارتز ثانویه و رشد مجدد کلسیت ب: رگه کوارتزی به همراه اکسیدهای آهن..... ۳۸

- شکل ۳-۷: تناوبی از شیل و ماسه سنگ واحد دوم ب: رنگ قرمز و ورنی شدن ماسه سنگ ها..... ۳۹
- شکل ۳-۸: پیریت با بلورهای چند وجهی ب: تجهیزات معدنی برای استخراج سیلیس ۳۹
- شکل ۳-۹: رخنمونی از کوارتزآرنایت و دانه های پیریت اکسید شده..... ۴۱
- شکل ۳-۱۰: تصویر نمونه دستی از ماسه سنگ های واحد دوم..... ۴۲
- شکل ۳-۱۱: موقعیت نمونه های ماسه سنگی در نمودار سه متغیره..... ۴۲
- شکل ۳-۱۲: نمایی از بخش آهکی، واحد دوم..... ۴۳
- شکل ۳-۱۳: تصویر میکروسکوپی از بخش آهکی واحد دوم..... ۴۴
- شکل ۳-۱۴: تصویر صحرایی از واحد سوم..... ۴۴
- شکل ۳-۱۵: واحد سوم ۴۵
- شکل ۳-۱۶: در نور عبوری تبلور مجدد کلسیت در شکاف های موجود در میزبان کربناته..... ۴۶
- شکل ۳-۱۷: رگه- رگچه های اکسید آهن در آهک بلورین..... ۴۷
- شکل ۳-۱۸: نقشه تکتونیکی شرق- مرکز ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی آن..... ۴۹
- شکل ۳-۱۹: نقشه گسل های محدوده مورد مطالعه..... ۵۰
- شکل ۳-۲۰: عملکرد گسل ها باعث جابه جایی افق های کانه دار..... ۵۰
- شکل ۳-۲۱: تصویر صحرایی از گسل های عرضی که باعث جابه جایی افق کانه دار شدند..... ۵۰
- فصل چهارم: کانه زایی و دگرسانی**
- شکل ۴-۱: نمایی شماتیک از ژئومتری ماده معدنی و موقعیت آن نسبت به واحدهای دیگر..... ۵۳
- شکل ۴-۲: لایه آهن دار در میزبان کربناته و عدسی های آهن در میزبان کربناته..... ۵۴
- شکل ۴-۳: تناوب لامینه های هماتیت و باریت..... ۵۵
- شکل ۴-۴: رگه- رگچه های هماتیت و الیژیست..... ۵۶
- شکل ۴-۵: لایه نازک از اکسیدهای آهن ۵۷
- شکل ۴-۶: فضای بین قطعات برشی به وسیله کلسیت پر شده است..... ۵۸
- شکل ۴-۷: پر شدن فضای خالی به وسیله سیلیس در میزبان کربناته..... ۵۹
- شکل ۴-۸: آغشتگی به هماتیت در میزبان کربناته..... ۶۰
- شکل ۴-۹: لیمونیتی شدن میزبان کربناته در کانسار آهن زردکوه..... ۶۰
- شکل ۴-۱۰: تشکیل بلورهای ژیپس در سنگ آهک ها (واحد سوم)..... ۶۱
- فصل پنجم: کانی شناسی، ساخت و بافت و توالی پاراژنتیک**
- شکل ۵-۱: تصویر نمایی از رخنمون ماده معدنی..... ۶۵
- شکل ۵-۲: تصویر نمونه دستی از رگه- رگچه های الیژیست..... ۶۶
- شکل ۵-۳: گوتیت با بافت داربستی و هماتیت در حال تبدیل شدن به گوتیت ۶۷
- شکل ۵-۴: مگنتیت به صورت پراکنده..... ۶۸
- شکل ۵-۵: پیریت به صورت نیمه شکل دار دانه پراکنده ۶۹
- شکل ۵-۶: ذرات طلا همراه با اکسیدهای آهن در میزبان کربناته..... ۶۹
- شکل ۵-۷: تبلور مجدد کلسیت درون فضاهای خالی سنگ میزبان در اثر فرآیند دیاژنز..... ۷۰
- شکل ۵-۸: دولومیت به صورت لوزی شکل و کوارتز به صورت پرکننده فضای خالی ۷۱
- شکل ۵-۹: باریت به صورت رگه- رگچه ای در میزبان کربناته..... ۷۲
- شکل ۵-۱۰: تصویر صحرایی از هم رشدی باریت با اکسیدهای..... ۷۲
- شکل ۵-۱۱: نمودار حاصل از آنالیز پراش اشعه ایکس که نشان دهنده حضور کوارتز..... ۷۳
- شکل ۵-۱۲: بلورهای ژیپس به صورت رشته ای بر روی سطوح شکستگی در میزبان کربناته..... ۷۴

- شکل ۵-۱۳: ماده معدنی با ساخت لایه‌ای هم‌شیب و هم‌رند با واحد آهک دولومیتی..... ۷۵
- شکل ۵-۱۴: برشی شدن در میزبان کربناته..... ۷۶
- شکل ۵-۱۵: رگه- رگچه‌های الیژیست و هماتیت ۷۷
- شکل ۵-۱۶: تصویری از ساخت انحلالی ۷۷
- شکل ۵-۱۷: تناوبی از لامینه‌های هماتیت و باریت..... ۷۸
- شکل ۵-۱۸: تصویر صحرایی از هماتیت و باریت به صورت پراکنده..... ۷۹
- شکل ۵-۱۹: تشکیل گوتیت در حاشیه شکستگی‌ها ۷۹
- شکل ۵-۲۰: دانه‌های پیریت در حال تبدیل شدن به گوتیت ۸۰
- شکل ۵-۲۱: بافت تیغه‌ای که در مجموع بافت جعبه‌ای را به وجود آورده اند..... ۸۱
- شکل ۵-۲۲: تصویر میکروسکوپی مارتیتی شدن یا جانشینی هماتیت به جای مگنتیت ۸۱
- شکل ۵-۲۳: تصویر میکروسکوپی از هماتیت و گوتیت با بافت کلوفرمی ۸۲

فصل ششم: ژئوشیمی

- شکل ۶-۱: نمودار EH-Ph و محدوده پایداری ترکیبات مختلف آهن..... ۸۸
- شکل ۶-۲: نمودار محدوده های پایداری ترکیبات آهن..... ۸۹
- شکل ۶-۳: نمودار مثلی کروم برگ..... ۹۱
- شکل ۶-۴: نمودار دو متغییره باتیا..... ۹۲
- شکل ۶-۵: نمودار تغییرات منیزیم در مقابل استرانسیوم..... ۹۳
- شکل ۶-۶: نمودار تغییرات منیزیم در مقابل سدیم..... ۹۴
- شکل ۶-۷: نمودار دوتایی SiO_2/ Al_2O_3 ۹۶
- شکل ۶-۸: نمودار دوتایی V/Ni..... ۹۶
- شکل ۶-۹: نمودار $Fe-Mn-(Ni+Co+Cu)*10$ ۹۸
- شکل ۶-۱۰: نمودار عناصر نادر خاکی ۱۰۱

فصل هفتم: نتیجه گیری

- شکل ۷-۱: مدل شماتیکی از الگوی تشکیل کانسار آهن زردکوه..... ۱۱۱

فهرست جدول ها

- جدول ۵-۱: توالی پاراژنتیکی در کانسار آهن زردکوه..... ۸۴
- جدول ۶-۱: برخی خواص فیزیکی و شیمیایی آهن..... ۸۷
- جدول ۶-۲: میانگین فراوانی آهن در سنگ‌های مختلف..... ۸۸
- جدول ۶-۸: نوع نمونه ها و مختصات جغرافیایی آنها در کانسار آهن زردکوه..... ۹۰
- جدول ۶-۹: نمودار تغییرات عناصر مختلف در طول مقطع لیتولوژیکی واحدهای دوم و سوم..... ۱۰۲
- جدول ۷-۱: مقایسه کانسار آهن زردکوه با برخی از کانسارهای آتشفشانی - رسوبی، برون‌دمی ایران..... ۱۱۵
- جدول ۷-۲: مقایسه کانسار آهن زردکوه با برخی از کانسارهای جهان..... ۱۱۹

فصل ۱

کلیات

۱-۱- مقدمه

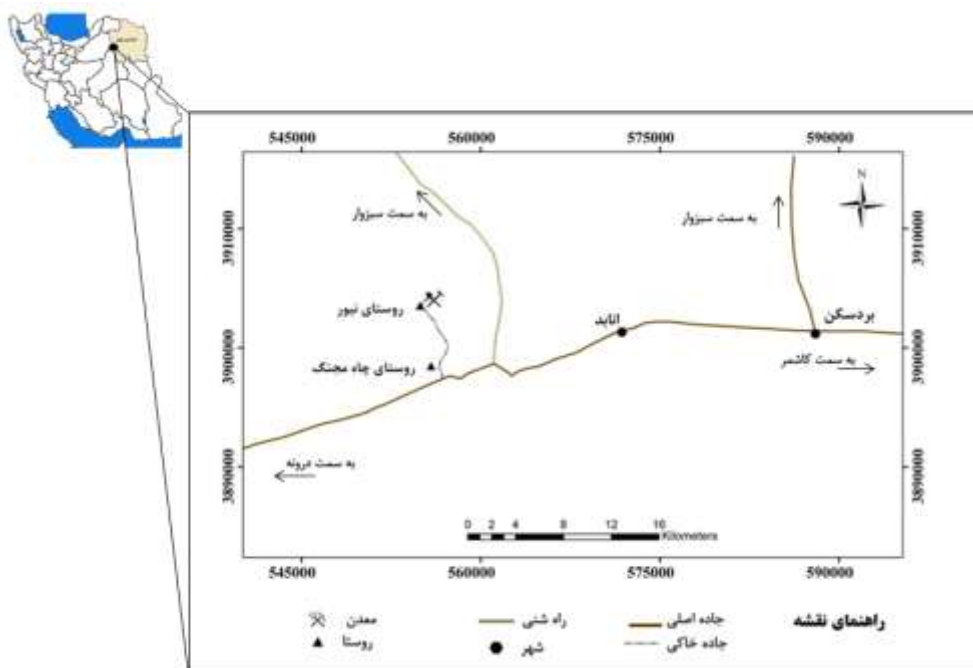
با توجه به رشد روز افزون جمعیت جهان و همچنین پیشرفت و توسعه صنعت در جوامع امروزی و در نتیجه افزایش تقاضا، مطالعه و شناسایی مواد معدنی موجود در کشور دارای اهمیت خاصی می-باشد. آهن به عنوان ماده اولیه تولید فولاد به شمار می-رود و با توجه به اهمیت فولاد در بازار جهانی و نیاز کشور به این ماده، پی-جویی و اکتشاف کانسارهای آهن از اهمیت خاصی برخوردار است.

سرزمین ایران به واسطه قرارگیری بر روی کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا و فعالیت‌های ماگمایی، دگرگونی و محیط رسوبی مناسب، دارای پتانسیل معدنی خوبی برای آهن می-باشد. زیرپهنه تکنار، که محدوده مورد مطالعه در منتهی‌الیه جنوب‌غربی آن می-باشد، در حد فاصل بین دو گسل تکنار(ریوش) در شمال و گسل درونه در جنوب قرار گرفته است. با توجه به اینکه منطقه مورد نظر دارای پتانسیل-های معدنی فراوانی، از جمله کانسار آهن زردکوه که تاکنون مطالعه دقیق زمین‌شناسی اقتصادی بر روی آن انجام نشده است، لذا موضوع این تحقیق به آن اختصاص یافت.

هدف از این تحقیق مطالعه کانی‌شناسی، ژئوشیمی و نحوه تشکیل کانسار آهن زردکوه می-باشد که پس از بازدیدهای مکرر صحرایی و برداشت نمونه‌های مناسب از واحدهای مختلف کانسار و سنگ درونگیر با استفاده از روش‌های میکروسکوپی و آنالیزهای شیمیایی مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج در قالب این نوشتار ارائه می‌شود.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه

کانسار آهن زردکوه در استان خراسان رضوی، ۵۰ کیلومتری شمال‌غرب بردسکن و ۳۱ کیلومتری شمال‌شرق روستای درونه، در مختصات جغرافیایی "۴۴/۶' ۵۹° ۵۷ طول شرقی و "۲۶' ۵۸/۹° ۳۵ عرض شمالی واقع شده است. ارتباط با این محدوده از کیلومتر ۲۵ جاده درونه- بردسکن، سپس گردش به شمال و پیمودن جاده خاکی به طول ۶ کیلومتر میسر می‌باشد(شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به کانسار آهن زردکوه، بردسکن.

۱-۳- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی

منطقه مورد مطالعه کوهستانی بوده، ولی آب و هوای آن به دلیل قرارگیری در حاشیه کویر بزرگ، گرم و خشک است. هوای آن در زمستان معتدل و بقیه فصول سال، به ویژه اواسط بهار و تابستان گرم است. بیشینه دمای این ناحیه در تابستان بیش از ۴۵ و کمترین آن در زمستان ۵- درجه سانتی گراد است. به طوری که امکان فعالیت معدن کاری در تمام فصول سال وجود دارد.

اندازه بارندگی به طور متوسط کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر در سال است اما در سال‌های اخیر این میزان به ۱۲۸ میلی‌متر در سال کاهش یافته و به دلیل گرمای بیش از حد هوا و کاهش بارندگی خسارات زیادی به محصولات کشاورزی، باغی و بخش دام وارد شده و بسیاری از چشمه‌ها و چاه‌های منطقه خشک شده است. منطقه به دلیل داشتن آب و هوای گرم و خشک پوشیده از گیاهان بیابانی و نیمه بیابانی با تراکم کم از جمله: گل زرد، بومادران، کاکوتی، جودوسر، زیره، کلپوره، گون و ... می-باشد. علاوه بر گونه‌های ذکر شده گیاهی انواعی از گونه‌های درختی نیز روئیده‌اند که می‌توان از

مهمترین آنها؛ زرشک، بیدکوهی، بادام وحشی و درخت بنه را نام برد که به صورت پراکنده در درز و شکاف صخره‌ها روییده‌اند.

۱-۴- اوضاع اجتماعی و معیشتی

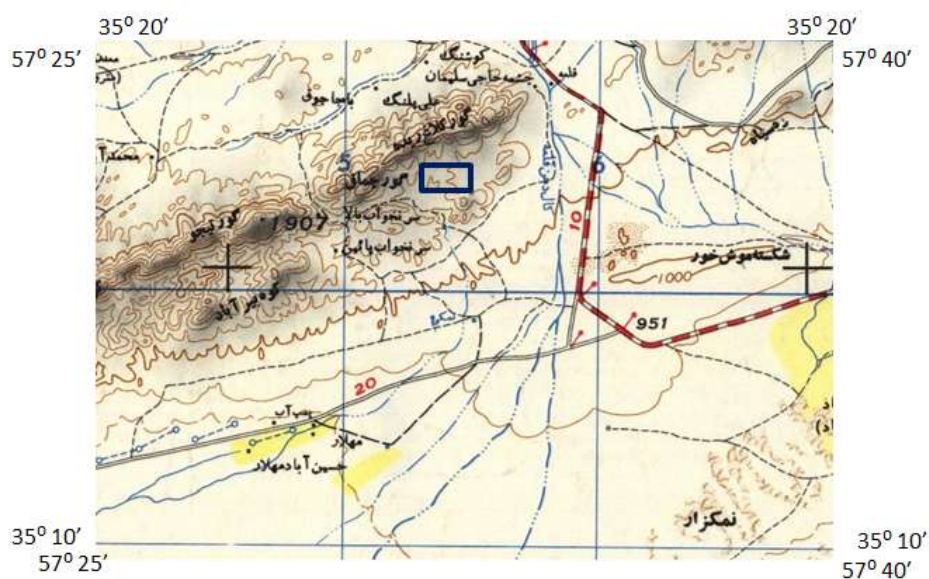
مردم این منطقه فارس زبان با گویش محلی، مسلمان و پیرو مذهب شیعه جعفری هستند. کشاورزی و دامداری از مشاغل اصلی مردم محسوب می‌شود، اما با توجه به خشکسالی در سال‌های اخیر، شرایط دامپروری و کشاورزی مناسب نبوده بنابراین شرایط نیروی کار در معدن با قیمت مناسب وجود دارد. همچنین بخشی از جمعیت روستاها نیز به شهرهای اطراف مهاجرت کرده‌اند. محصولات کشاورزی در این منطقه شامل: گندم، جو، پنبه، زیره (به صورت فصلی)، زعفران، انگور، انار و انجیر است.

از جمله امکانات رفاهی این منطقه می‌توان به: خانه بهداشت، دبستان، مدرسه راهنمایی و پاسگاه اشاره کرد، همچنین اکثر روستاها به نیروی برق دسترسی داشته و آب آشامیدنی روستاها از طریق لوله‌کشی از چشمه‌ها، قنات و چاه‌های پیرامون و سد خاکی دهن قلعه تأمین می‌شود. لازم به ذکر است که این منطقه از نظر آب زیرزمینی وضع مناسبی ندارد، آبی که از چاه‌های اطراف پمپاژ می‌شود، حاوی املاح و فاقد کیفیت مطلوب است.

۱-۵- زمین ریخت شناسی

چهره برجسته ژئوتکتونیک این منطقه گسل درونه با روند شمال شرقی- جنوب غربی است که منطقه را به دو بخش مجزا و متفاوت تقسیم کرده است. آن بخش از منطقه که بالای گسل درونه قرار گرفته کوهستانی و بخش جنوبی گسل یاد شده به جز تپه ماهورهای جنوب شرقی آن فرونشستی است با بلندای میانگین ۸۵۰ متر از سطح دریا که در سطوحی گسترده، انباشته‌های کواترنری ریخت-هایی چون پادگانه‌های آبرفتی، مخروط‌افکنه‌ها، کفه‌های رسی و نمکی را تشکیل می‌دهد. در این

منطقه به دلیل عملکرد گسل‌های تراستی واحدها با سن‌های متفاوت در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. مرتفع‌ترین نقطه در منطقه کوه گورتیجو با ارتفاع ۱۹۰۷ متر و پست‌ترین نقطه در بخش جنوبی گسل درونه ۸۵۰ متر ارتفاع دارد. سیستم‌های آبراهه‌ای در ارتفاعات دندریتی و در دشت‌ها به صورت موازی است. رودخانه دائمی در این منطقه وجود ندارد تنها کال^۱ دهن قلعه با جهت جریان شمالی- جنوبی در فصل‌های بارش، سد خاکی دهن قلعه در غرب محدوده مورد مطالعه را پرآب می‌کند. روند رشته ارتفاعات منطقه شمال‌شرق- جنوب‌غرب است. محدوده مورد مطالعه (کانسار آهن زردکوه) در بخش کوهستانی و در ارتفاعات کوه زرد در میان نهشته‌های رسوبی کربناته و آواری قرار دارد (شکل‌های ۱-۲، ۱-۳ و ۱-۴).



شکل ۱-۲: بخشی از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر (سازمان جغرافیایی کشور، ۱۳۸۳) که مورفولوژی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. موقعیت کانسار آهن زردکوه درون کادر آبی.

۱ - کال به زبان محلی رودخانه است.



شکل ۱-۳: تصویر صحرایی از زمین ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه (دید به سمت غرب).



شکل ۱-۴: نمایی از وضعیت توپوگرافی منطقه بر روی تصویر ماهواره‌ای، محل کانسار آهن زردکوه در قسمت کوهستانی و شمال گسل درونه می‌باشد (گسل امتداد لغز درونه به طور تقریبی مشخص شده است).

۱-۶- مطالعات و کارهای انجام شده قبلی

به دلیل جایگاه خاص زمین‌شناسی و معدنی، منطقه درونه و همچنین گسل معروف درونه، مطالعات زمین‌شناسی و معدنی زیادی در منطقه انجام گرفته است که به برخی از مهمترین آنها اشاره می‌شود:

مطالعات انجام شده در منطقه در چهار دسته زیر قرار می‌گیرند: (۱) - نقشه‌های زمین‌شناسی (۲) -

گزارشات اکتشافی (۳) - پایان نامه (۴) - مقالات

(۱) - نقشه‌های زمین‌شناسی:

- افتخار نژاد و همکاران (۱۹۷۶)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر را تهیه نمودند.

- شهرابی و همکاران (۱۳۸۵)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن را ارائه نمودند.

(۲) - گزارشات اکتشافی:

- بازن و هوبنر (۱۹۶۹)، در گزارش کنسارهای مس در ایران مرکزی که برای سازمان زمین‌شناسی ایران تهیه کرده‌اند، زمین‌شناسی اطراف کنسار تکنار را بررسی کرده و سنگ میزبان منطقه معدنی تکنار را اکثراً کلریت شیست و به مقدار کمتر شیست توفی دانسته‌اند.

- مولر و والتر (۱۹۸۳)، در گزارش شماره ۵۱ سازمان زمین‌شناسی کشور، طی مقاله‌ای به زمین‌شناسی پرکامبرین - پالئوزوییک پهنه تکنار پرداخته‌اند و بر اساس خصوصیات لیتولوژیکی، سازند تکنار را به سه بخش فوقانی، میانی و زیرین تقسیم کرده‌اند.

- لیندنبورگ و جاکوبس هاگن (۱۹۸۳)، زمین‌شناسی پس از پالئوزوییک پهنه تکنار و نواحی مجاور را در گزارش سازمان زمین‌شناسی ایران ارائه داده‌اند. بر طبق نظر این زمین‌شناسان در پنجره فرسایشی تکنار، رسوبات ژوراسیک فوقانی تا کرتاسه تحتانی به صورت دگرشیب بر روی پالئوزوییک قرار می‌گیرند و سه واحد ژئوتکتونیک در ناحیه کاشمر جدا کرده‌اند: پهنه تکنار، پهنه سبزوار و پهنه لوت.

- اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای که طی سال‌های ۱۹۹۲-۱۹۹۵ توسط پیمان کار چینی (شرکت جیانگ سی) و زیر نظر کارشناسان سازمان زمین‌شناسی کشور، از گرمسار تا تربت حیدریه را تحت پوشش قرار داد.

- گزارش مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی کانسار پلی متال تکنار توسط باباخانی و همکاران در سال ۱۳۷۸ منتشر شده است. در این گزارش آمده است که کانی‌سازی در کانسار تکنار به صورت استراتاباند و در بخش فوقانی سازند تکنار در واحدهای اسلیتی و فیلیتی به صورت عدسی‌های موازی با لایه‌بندی انجام شده است. کانی‌سازی اولیه به صورت سین‌ژنتیک و هم‌زمان با نهشته شدن سازند تکنار در ارتباط با اگزالاتیوهای زیردریایی بوده و کانی‌سازی به صورت ثانویه شامل نفوذ محلول‌های گرمابی بعدی و کانی‌سازی در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها می‌باشد.

- شرکت اسپاس جم (۱۳۸۷)، آنالیز ژئوشیمیایی بر روی ۳۱ نمونه جمع‌آوری شده، از دو منطقه سرنخواب بالا و سرنخواب پایین انجام داده است که نتایج آنالیزها بر روی ۵۲ عنصر نشان داد که آنومال‌های مشاهده شده در منطقه از نظر سرب، روی، نقره، منگنز و عناصر ردیاب طلا نظیر جیوه، آرسنیک و آنتیموان غنی بوده و بالا بودن سرب و روی در سنگ میزبان کربناته همراه با منگنز گویای کانی‌سازی سرب و روی در اعماق می‌باشد.

- گزارش اکتشاف طلا در منطقه شمال بردسکن (۱۳۸۸)، به وسیله سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده است، با توجه به نتایج به دست آمده کانی‌سازی‌های موجود در محدوده اکتشافی ارزش اقتصادی چندانی نداشته و ادامه عملیات اکتشافی در آن پیشنهاد نمی‌گردد.

- گزارش نهایی اکتشاف عمومی آهن طلا دار بردسکن در سال (۱۳۹۰)، توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارائه شده است. با توجه به عیار طلا در نمونه‌ها، میزان طلا دارای اهمیت نقطه‌ای بوده و فاقد ارزش اقتصادی است.

۳- پایان‌نامه‌ها

- همام (۱۳۷۱)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود تحت عنوان "پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی و دگرگونی منطقه تکنار- سربرج، شمال غرب کاشمر"، بیان می‌کند که سازند تکنار مجموعه‌ای از

سنگ‌های آتشفشانی ریولیتی، ریوداسیتی، داسیتی و آتشفشانی- رسوبی می‌باشد و سازندهای پالئوزویک در پهنه تکنار متحمل دگرگونی دما پایین شده‌اند و زمان دگرگونی سازند تکنار را تریاس اعلام می‌کند.

- سپاهی‌گرو (۱۳۷۱)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان "پترولوژی گرانیتوئیدهای منطقه تکنار، سربرج (شمال غرب کاشمر)"، تنها به مطالعه پترولوژی گرانیتوئیدهای منطقه تکنار- سربرج پرداخته است. در این پایان‌نامه اشاره شده است که کمپلکس پلوتونیک تکنار در سنگ‌های دگرگونی دما پایین سازند تکنار نفوذ کرده است و به توده‌های کمپلکس از نوع پرآلومین و متآلومین اشاره کرده است.

- بررسی ارتباط ژنتیک کانسارهای مس منطقه بردسکن، استان خراسان رضوی"، عنوان رساله دکتری فرانک فیضی در سال ۱۳۸۱ بوده است. در این رساله کانسارهای دهنه سیاه، چشمه گز، زنگالو و اندیس چشمه زلزله در پهنه سبزوار و کانسار سنگ دستاس در پهنه تکنار بررسی شده است.

- آزاده ملک‌زاده سفارودی در سال ۱۳۸۲ در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان "پتروگرافی، مینرالوگرافی و ژئوشیمی کانسارهای پلی متال تکنار ۱ و ۲"، پتروگرافی، مینرالوگرافی و ژئوشیمی کانسار تکنار ۱ و ۲ را مطالعه نموده و کانسار تکنار را ماسیوسولفید غنی از مگنتیت معرفی نموده است.

- روحبخش (۱۳۸۹)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان "مطالعات زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی محدوده اکتشافی دهن‌قلعه"، به مطالعه این محدوده اکتشافی پرداخته است. بر اساس مطالعات صحرایی و بررسی‌های پتروگرافی و مینرالوگرافی، دو سیستم کانی‌سازی در منطقه شناسایی شد: ۱- سیستم مرتبط با کانی‌سازی ماسیو سولفید تکنار ۲- سیستم کانی‌سازی مرتبط با توده‌های گرانیتوئیدی. نتیجه نمونه برداری‌های آبراهه‌ای نشان داد که قسمت‌های مرکزی و حاشیه شرقی محدوده مطالعاتی دارای بیشترین میزان عناصر طلا، نقره، مس، سرب و روی می‌باشد.

- حیدر پور (۱۳۹۲)، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان " منشأ کانی سازی آهن در منطقه شمال کبودان (بردسکن)"، بیان می کند که کانه زایی منطقه مورد مطالعه یک تیپ جدید از کانسارهای ماسیوسولفید می باشد که به عنوان کانسار ماسیوسولفید پلی متال غنی از مگنتیت معرفی می شود.

- توکلی فریمانی (۱۳۹۲)، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان "زمین شناسی، کانی سازی، ژئوشیمی و تفسیر اطلاعات ژئوفیزیکی در منطقه سرنخواب، شمال غرب بردسکن"، این منطقه را مورد بررسی قرار داده است. بر اساس این مطالعه کانی سازی آهن در منطقه هیدروترمال و تحت تأثیر گسل ها می باشد و آنومالی سرب و روی نیز در منطقه دیده می شود.

(۴) - مقالات

- امینی و همکاران (۱۳۸۱)، در مقاله " پترولوژی و ژئوشیمی توده های ماگمایی جنوب بردسکن"، این سنگ ها را عمدتاً در رده سنگ های مونزوگرانیته، گرانودیوریت، کوارتز مونوپهنهیت و گرانیته قرار داده است و این سنگ ها از نظر نوع جزء سنگ های گرانیته تیپ I و به لحاظ تکتونیکی از نوع گرانیته های قوس آتشفشانی هستند.

- احمدی و همکاران (۱۳۸۴)، در مقاله "بررسی منشأ ژئوشیمی و اهمیت اکتشاف مس و طلا در کانسار تکنار (بردسکن)"، میزان طلا در منطقه را بسیار پایین و ارزیابی اقتصادی مس و طلا در منطقه را مستلزم مطالعات بیشتری می دانند.

- کریم پور و همکاران (۱۳۸۹)، مقاله ای با عنوان "سنگ شناسی توده های نفوذی منطقه معدنی تکنار، بردسکن (کاشمر)"، را در مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران به چاپ رسانده اند در این مقاله بر اساس آثار دگرگونی ناحیه ای، توده های نفوذی به دو دسته تقسیم شدند: ۱- توده های واسط تا اواخر پالئوزویک ۲- توده های پس از پالئوزویک.

- روحبخش (۱۳۸۹)، مقاله‌ای با عنوان " بررسی زمین‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمی در گستره پی-جویی دهن‌قلعه، شمال‌غرب بردسکن"، را در مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی به چاپ رسانده، در این مقاله بر اساس بررسی‌های صحرایی، سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی، دو سیستم کانی‌سازی در منطقه شناسایی شدند: ۱- سیستم وابسته به کانی‌سازی ماسیوسولفید تکنار ۲- سیستم کانی‌سازی وابسته به توده‌های گرانیتوئیدی.

- منظمی باقرزاده (۱۳۹۰)، در مقاله‌ای تحت عنوان "مطالعه پتروگرافی و آلتراسیون‌های کمپلکس گرانیتوئیدی بخش مرکزی پهنه تکنار، جهت تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و پهنه‌های دگرسانی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای"، آلتراسیون‌های پروپیلیتیک، اپیدوتیک را در محدوده‌ی سنگ‌های مافیک، حدواسط و گرانیتوئیدی قرار داد و همچنین آلتراسیون‌های آرژلیک، سرستیک و سیلیسی را در محدوده نشان و واحدهای سنگی را به انواع گرانیت، سینوگرانیت، بیوتیت‌گرانیت، گرانودیوریت، بیوتیت گرانودیوریت، دیوریت- گابرو تفکیک کرده است.

- حمامی پور و همکاران، (۱۳۹۳)، در مقاله " زمین‌شناسی و ژئوشیمی کانسار طلای سه‌بندون، شمال بردسکن"، بیان می‌کنند که کانسار طلای سه‌بندون، اولین کانسار اپی‌ترمال از نوع سولفیداسیون متوسط است که در کمربند افیولیتی ایران تشکیل شده است.

- ایمان پور و همکاران، (۱۳۹۴)، در مقاله‌ای با عنوان " ژئوشیمی و ژنز هماتیت در کانسار آهن ده-زمان، جنوب‌غرب بردسکن"، بیان می‌کنند که رسوب سوپرژن آهن در محیط دریایی و مشابه با کانسارهای آهن نواری می‌باشد، و با استفاده از روش تجزیه ریز پردازنده الکترونی بر روی کانسنگ هماتی، کانسار آهن ده‌زمان را در ارتباط با رسوب آهن در محیط ساحل و با فاصله از منشأ در نظر گرفته‌اند.

لازم به ذکر است که هیچ‌گونه مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی و اکتشافی در محدوده آهن زردکوه صورت نگرفته است و این تحقیق به عنوان اولین مطالعه در محدوده کانسار آهن زردکوه ارائه می-

گردد.

۷-۱- طرح مسأله و ضرورت انجام تحقیق

کانسار آهن زردکوه داخل مجموعه رسوبی شامل آهنک، شیل، ماسه‌سنگ و آهنک دولومیتی قرار گرفته و در حال حاضر مورد بهره برداری قرار می‌گیرد، گذشته از مطالعات زمین‌شناسی ناحیه‌ای تنها یک گزارش طرح اکتشاف در مورد کانسار تهیه شده است، با توجه به اینکه هیچ گونه مطالعه زمین‌شناسی اقتصادی بر روی کانسار آهن زردکوه صورت نگرفته است، بنابراین به نظر می‌رسد که مطالعه دقیق به ویژه از نظر کانی‌شناسی، ساخت و بافت، چگونگی تشکیل، ژئوشیمی و ارائه مدل تشکیل برای این ذخیره، بتواند به عنوان الگو و راهنما در شناسایی و اکتشاف ذخایر مشابه در منطقه مؤثر باشد. لذا در این تحقیق: کانی‌های تشکیل دهنده کانسار، ساخت و بافت‌های ماده معدنی بررسی و ویژگی‌های ژئوشیمیایی کانسار، مکانیزم تشکیل کانسار، تیپ کانه‌زایی، کنترل کننده‌های کانه‌زایی، فرم و شکل کانی‌سازی و نحوه قرارگیری کانسنگ نسبت به سنگ درونگیر مورد مطالعه قرار گرفت و در نهایت کلیدهای اکتشافی جهت پی جویی کانه‌زایی‌های مشابه احتمالی ارائه گردید.

۸-۱- هدف و روش تحقیق

ابتدا کلیه اطلاعات پایه شامل نقشه و گزارشات موجود جمع آوری و پس از بررسی، ضرورت مطالعه مشخص و روش‌های مطالعه اتخاذ گردید، این روش‌ها را می‌توان به سه دسته: گردآوری مطالب، برداشت‌های صحرائی و بررسی‌های آزمایشگاهی تقسیم کرد.

۸-۱-۱- گردآوری مطالب

- اطلاعات مربوط به منطقه مورد مطالعه از طریق نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر و ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه توپوگرافی و گزارش‌های زمین‌شناسی تهیه و مورد بررسی قرار گرفته است.

- کتب، مقالات و گزارش‌های مرتبط با موضوع و منطقه جمع آوری و مورد مطالعه قرار گرفتند.

۱-۸-۲- بررسی‌های صحرایی

- آشنایی با زمین‌شناسی عمومی منطقه معدنی و نمونه برداری پراکنده از محدوده معدنی جهت کسب اطلاعات از موقعیت کانی‌سازی و بافت‌های مختلف کانه و سنگ میزبان.

- انتخاب پروفیل‌های چینه‌شناسی و نمونه‌برداری منظم لیتوژئوشیمیایی در امتداد پروفیل‌ها جهت مطالعه کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانه و سنگ میزبان و انجام آنالیز ژئوشیمیایی.

۱-۸-۳- مطالعات آزمایشگاهی

- تهیه و مطالعه تعداد ۶۵ مقطع صیقلی، نازک- صیقلی و نازک جهت بررسی کانی‌شناسی، بافت کانه و سنگ درونگیر، همچنین برای تشخیص دقیق کلسیت از دولومیت از روش رنگ آمیزی Alizarin Red Solution (ARS) استفاده شد.

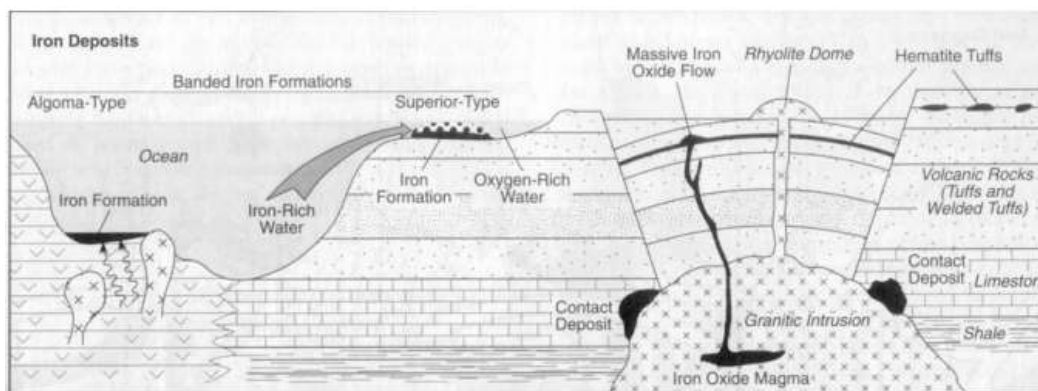
- آنالیز ۲۸ نمونه از کانسنگ و سنگ درونگیر به روش‌های ICP-MS, ICP-OES, XRD, XRF جهت تعیین مقادیر عناصر اصلی، فرعی و نادر خاکی و استفاده از نتایج آنها جهت تعبیر و تفسیر ژئوشیمیایی و تعیین منشأ کانسار.

نتایج حاصل از این مراحل با مطالعه کتاب‌های مرجع، مقالات و نیز استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری از جمله Excel, Arc GIS, Google earth و Gcd kit دسته‌بندی، پردازش و تلفیق گردیده و در نگارش پایان‌نامه به کار رفته است.

۱-۹- رده بندی کانسارهای آهن

تقسیم‌بندی‌های مختلفی برای کانسارهای آهن ارائه شده است، از جمله این تقسیم‌بندی‌ها که بر اساس محیط تشکیل کانسارها می‌باشد می‌توان به تقسیم بندی (Kesler, 1994) اشاره کرد.

بر اساس این تقسیم‌بندی کانسارهای آهن در ۳ دسته: ۱- ماگمایی ۲- گرمایی ۳- رسوبی قرار می‌گیرند شکل (۱-۵) شرایط مختلف زمین‌شناسی در تشکیل کانسارهای مختلف آهن را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵: نمودار شماتیک فرآیندهای زمین‌شناسی که به تشکیل کانسارهای آهن منجر می‌شود (Kessler, 1994).

تقسیم‌بندی‌های گوناگون دیگری نیز ارائه و تیپ‌های گوناگون جدیدی معرفی شده‌اند که وجه مشترک این کانسارها وجود مگنتیت و هماتیت به عنوان کانه اصلی یا فرعی است. برخی از این تیپ کانسارها عبارتند از:

کانسارهای آهن اسکارنی، کانسارهای ماگمایی، کانسارهای آتشفشانی- رسوبی، کربناتیت‌های آهن‌دار، سنگ‌آهن (Iron stone)، لاتریت‌های آهن‌دار، کانسارهای آهن باتلاقی و کانسارهای آهن پلاستی، سازندهای آهن نواری، کانسارهای اکسید آهن-مس-طلا (اورانیوم ± عناصر نادرخاکی) تیپ

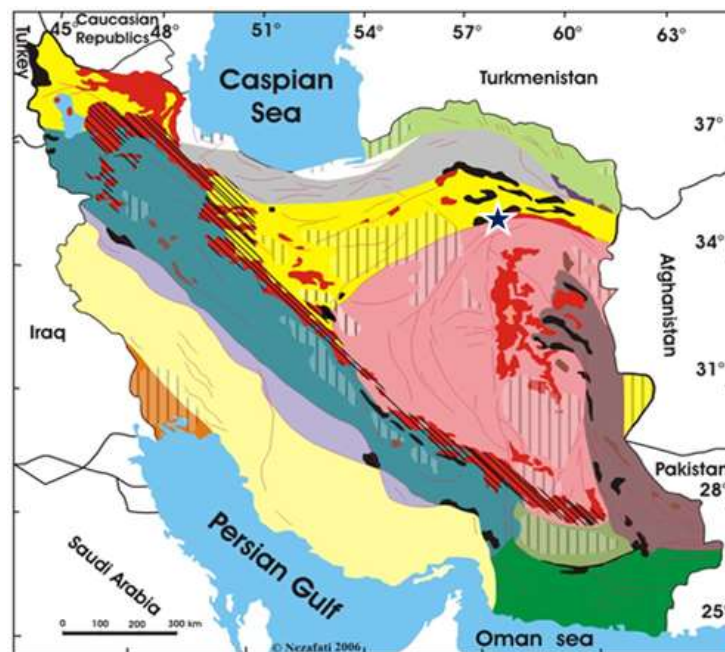
.IOCG

فصل ۲

زمین‌شناسی ناحیه ای

۲-۱- مقدمه

محدوده کانسار آهن زردکوه، در حاشیه شمالی پهنه ساختاری ایران مرکزی، در منتهی‌الیه جنوب غرب زیر پهنه تکنار واقع شده است (شکل ۲-۱). در این فصل به شرح مختصری از پهنه ایران مرکزی و زیر پهنه تکنار پرداخته و همچنین چینه‌نگاری، ماگماتیسم، زمین‌شناسی ساختمانی، تکتونیک و زمین‌شناسی اقتصادی در مقیاس ناحیه‌ای بر اساس ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن را بیان خواهیم کرد.



شکل ۲-۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پهنه بندی ساختاری - رسوبی ایران با علامت * (آقناباتی، ۱۳۸۳).

۲-۲- ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری ایران مرکزی

پهنه ایران مرکزی بزرگترین و قدیمی‌ترین پهنه ساختاری- رسوبی ایران است که به شکل مثلث از شمال به رشته کوه‌های البرز و از جنوب و غرب به پهنه سنندج- سیرجان و از شرق به بلوک لوت محدود می‌شود (درویش زاده، ۱۳۸۱). در این پهنه علاوه بر وجود سنگ‌هایی با سن پرکامبرین پسین تا کواترنر، فازهای گوناگون کوهزایی، ماگماتیسم و دگرگونی نیز رخ داده است (قربانی، ۱۳۸۶). خرد قاره ایران مرکزی با زمین درزهای افیولیتی سیستان، نائین، بافت، گسل درونه و افیولیت‌های کاشمر- سبزوار احاطه شده و توسط گسل‌های طویلی که به سمت غرب خمیدگی دارند و از نوع امتداد لغز راستگردند، به بلوک لوت، فرازمین شتری، فرونشست طبس، فرازمین کلمرد، بلوک پشت‌بادام، فروافتادگی بیاضه- بردسیر و بلوک یزد قابل تقسیم می‌باشد به باور اشتوکلین (۱۹۶۸)، پس از سخت شدن پی سنگ پرکامبرین، این بخش در زمان پالئوزویک ویژگی‌های سکویی داشته و در زمان مزوزوئیک و سنوزوئیک به منطقه‌ای پر تحرک و پویا تبدیل شده است. با وجود این، باید گفت که الگوی ساختاری حاکم بر این خرد قاره از نوع بلوک‌های جدا شده با گسل‌های عمده است که هر یک ویژگی جداگانه دارند و پویایی آن در همه جا یکسان نیست (آقاناتی، ۱۳۸۳).

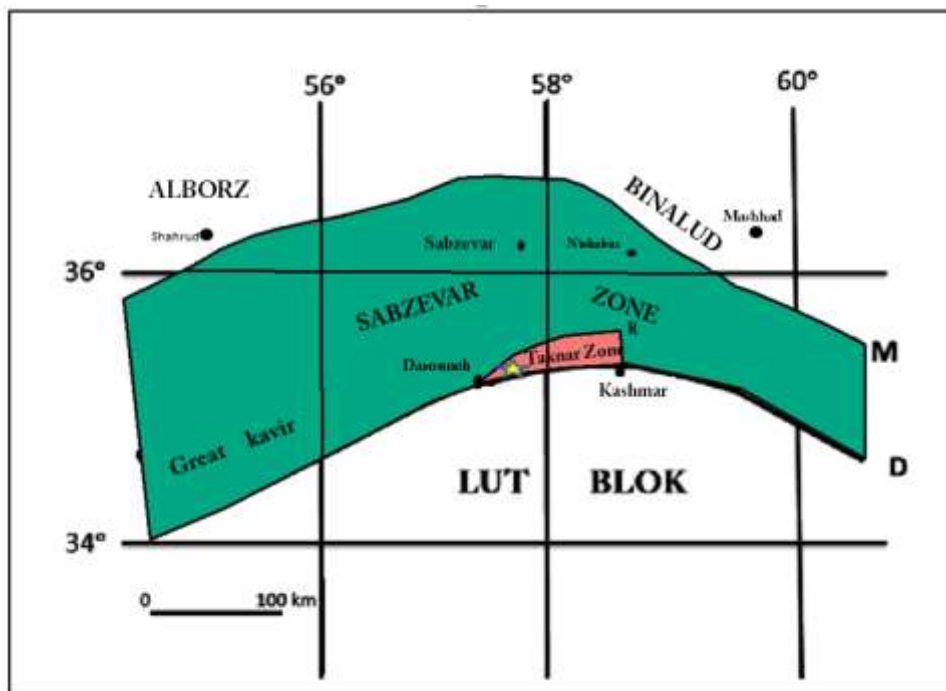
۲-۳- زیرپهنه تکنار

کمر بند آتشفشانی- پلوتونیک شمال گسل درونه که محدوده کانسار آهن زردکوه را شامل می‌شود توسط لیندنبرگ و جاکوبس هاگن (۱۹۸۳) به عنوان زیرپهنه تکنار معرفی گردیده است. این زیرپهنه در حد فاصل بین دو گسل تکنار (ریوش) در شمال و گسل درونه در جنوب واقع شده است. انتهای غربی گسل تکنار در حوالی روستای درونه با گسل درونه ترکیب شده و ضمن مشخص کردن حد غربی، شکل مثلث گونه‌ای را به تکنار داده است، به علت جنبش‌های تکتونیکی سنوزوئیک (به ویژه ترشیر) که باعث در هم ریختگی سیستم گسلی تکنار در قسمت شرقی و تنوع سنگ‌شناختی و کانی‌شناسی زیادی در آن شده، حد شرقی زیرپهنه تکنار مبهم بوده و رودخانه شش طراز (حد فاصل

بردسکن و خلیل آباد) به عنوان حد شرقی زیرپهنه تکنار در نظر گرفته شده است.

به طور کلی پنجره فرسایشی تکنار شامل سنگ‌های پالئوزوئیک است که به صورت یک ساختمان هورست در پی سنگ ایران مرکزی قرار دارد. مولر و والتر (۱۹۸۳)، معتقدند که دگرگونی و اولین چین خوردگی تکتونیکی پرکامبرین و پالئوزوئیک در پنجره تکتونیکی تکنار، در سیمیرین پیشین رخ داده است سپس در ترشیاری پنجره فرسایشی تکنار به صورت یک بالا آمدگی گوه‌ای شکل میان گسل تکنار و گسل درونه شکل گرفته است. این پهنه بالا آمده شامل سنگ‌های پرکامبرین-پالئوزوئیک ایران مرکزی با پوششی از واحدهای مزوزوئیک-سنوزوئیک است که با طول بیش از ۸۵ کیلومتر و عرض حداکثر ۱۰ کیلومتر در جهت غرب-جنوب غرب، شرق-شمال شرق قرار گرفته است. هسته این پنجره فرسایشی از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی سازند تکنار تشکیل شده است. روی این تشکیلات را یک توالی از رسوبات آواری اینفراکامبرین؟ تا پرمین که در محیط کم عمق نهشته شده‌اند می‌پوشاند. زیرپهنه تکنار از نظر رخساره‌ای و ساختاری اساساً با واحدهای سنگی زیرپهنه سبزوار در شمال و بلوک لوت در جنوب متفاوت است. این امر بیانگر آن است که جایگاه اصلی آن در مکان دیگری بوده و تحت تأثیر حرکات تکتونیکی بالا آمده و در موقعیت فعلی قرار گرفته است. همچنین وجود بقایای پوسته‌های قدیم اقیانوسی در زیرپهنه سبزوار خصوصاً به صورت نواری در مرز زیرپهنه سبزوار و زیرپهنه تکنار حاکی از بسته شدن اقیانوس در این محل است. بسته شدن اقیانوس مذکور بی ارتباط با حرکات خرد قاره ایران مرکزی نبوده است و پنجره فرسایشی تکنار نیز به عنوان شمالی-ترین بیرون زدگی خرد قاره ایران مرکزی محسوب می‌شود.

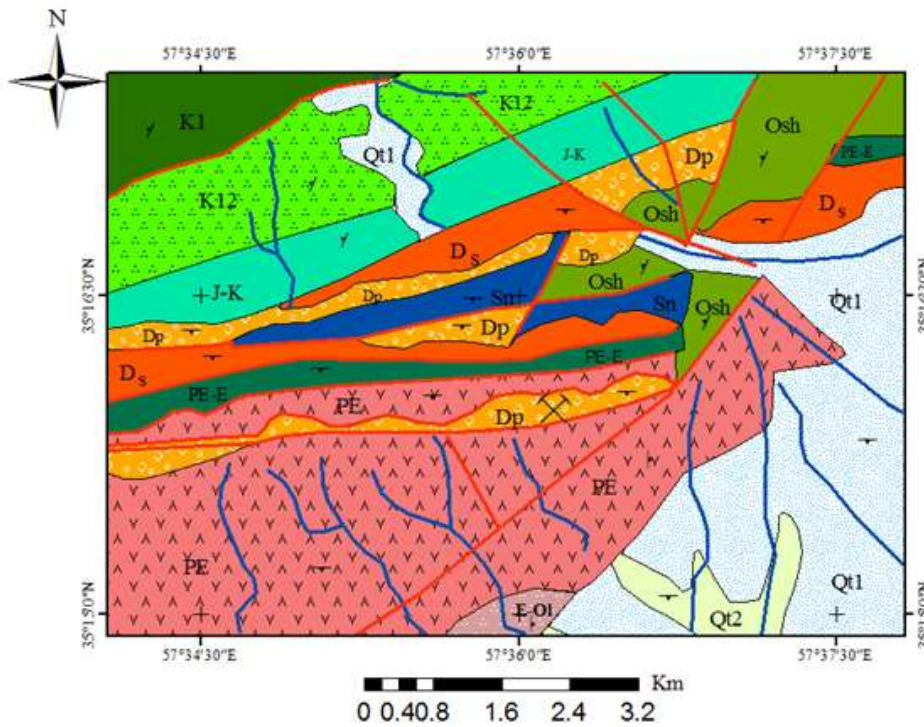
لیندنبرگ و جاکوبس هاگن (۱۹۸۳)، سه واحد تکتونیکی متفاوت و وابسته به پهنه ایران مرکزی را در ناحیه کاشمر معرفی کرده‌اند که عبارتند از: پهنه سبزوار، بلوک لوت و پهنه تکنار (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲: موقعیت محدوده مورد مطالعه با علامت ★ در پهنه تنکار به همراه گسل‌های اصلی: D- گسل درونه M- گسل میامی R- گسل ریوش (لیندنبرگ و همکاران، ۱۹۸۳، با پاره ای تغییرات).

۴-۲- چینه‌شناسی

منطقه مورد مطالعه بخشی از برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن (م، شهرانی و همکاران، ۱۳۶۳) می‌باشد. در این ناحیه واحدهای سنگی رخنمون یافته محدوده سنی پرکامبرین تا رسوبات عهد حاضر را در بر می‌گیرند. شکل (۲-۳) بخشی از نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای بردسکن را نشان می‌دهد. بر اساس این نقشه واحدهای رخنمون یافته، محدوده سنی پرکامبرین تا رسوبات عهد حاضر را با مرزهای ناپیوسته و گسلی در بر می‌گیرد. در ادامه به شرح مختصری از چینه‌شناسی و لیتولوژی واحدهای مختلف از قدیم به جدید می‌پردازیم:



Legend

QUATERNARY	Qt2	Yong terraces and gravel fan
	Qt1	Old terraces partly as old fan deposit, semi - consolidated conglomerate.
EOCENEN	E-OL	Conglomerate, coars sandstone whit minor marly beds.
CRETACEOUS	K12	Limestone, gray to dark- grey weathered, thick bedded, orbitolina bearing
	K1	Conglomerate and sandstone
JURASSIC	J-K	Detrital limestone and calpionella limestone
DEVONIAN	Ds	Dolomite, grey and black
	Dp	Alternation of quartzitic sandstone with dolomite and quartzitic alternation
SILURIAN	Sn	Limestone, dolomite, quartzite, coral limestone
ORDOVICIUM	Osh	Limestone, red-brownish sandy limestone, marlstone and dolomite, grey and black, recrystallized, fossiliferous.
CAMBRIAN	PE-E	Metarhyolite, rhyodacite
PROT.	PE	Green schist, tuffaceous shale, slightly metamorphosed

SYMBOLS

- fault
- river
- Zard Kuhe deposit
- STRIKE & DIPES

شکل ۲-۳: موقعیت کانسار آهن زردکوه با علامت (×) بر روی بخشی از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ بردسکن (شهرابی و همکاران،

۱۳۸۵).

۲-۴-۱- پرکامبرین

سازند تکنار PE

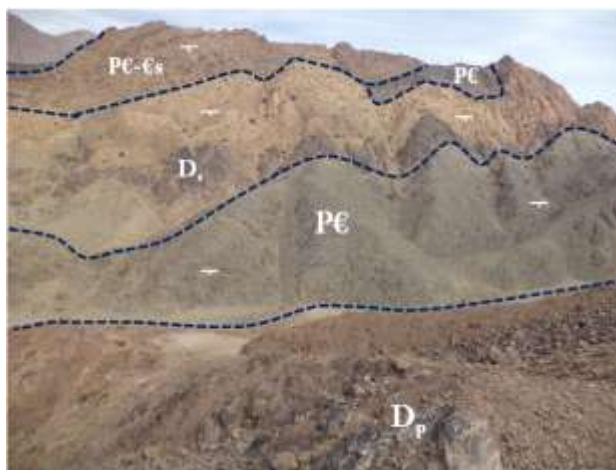
سازند تکنار شامل توالی ضخیمی از سنگ‌های شیستی، توفی، شیست‌های سبز و ماسه سنگ-های کوارتزیتی است که دگرگونی خفیفی در حد رخساره زیر شیست سبز را تحمل نموده‌اند. در این توالی ریوداسیت‌ها و ریولیت‌های دگرگون شده به صورت توده‌ای نیز وجود دارند. از ویژگی‌های مهم این سازند همبری آن با دو توده نفوذی است: یکی توده نفوذی دیرینه پرکامبرین؛ از جنس گرانیت، گرانوفیرو گرانیتوئید هم ارز گرانیت دوران، و دیگری گرانیتی که زمان نفوذ آن ائوسن - الیگوسن تعیین شده است. این سازند در محدوده ورقه بردسکن در بعضی نقاط مانند جنوب کوه‌های کلاغ‌پر، کوه‌زرد (منطقه مورد مطالعه) و قرچماق، دارای همبری گسلی با واحدهای پالئوزوئیک (دولومیت‌های چرت‌دار منسوب به معادل سازند سلطانیه و سازندهای پادها، بهرام، سیبزار) می‌باشد که تاکیدی بر سن (پرکامبرین) آن منطقه است.

۲-۴-۲- پالئوزوئیک

۲-۴-۱- پرکامبرین پسین - کامبرین پیشین

سازند سلطانیه PE-€s

سازند سلطانیه در منطقه بردسکن رخنمون چندان گسترده‌ای ندارد و محدود به چند برونزد در جنوب کوه‌های کلاغ‌پر، کوه‌زرد، قرچماق، کوه‌برجک و شمال روستای برجک هستند. در این برونزدها با ضخامتی در حدود ۲۰۰-۳۰۰ متر از دولومیت‌هایی با رنگ سطح هوازده خاکستری سیاه و رنگ اصلی زرد خاکستری، به صورت توده‌ای به شدت متبلور تشکیل شده است، این واحد سنگ چینه‌ای به صورت دگرشیبی گسلی روی سازند تکنار و ... قرار می‌گیرد (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴: سازند سلطانیه (PE-Cs) که با مرز گسلی بر روی سازند تکنار (PE) قرار گرفته است. سببزار (D_s)

پادها (D_p) (دید به سمت شمال شرق).

اردوئیسین:

- سازند شیرگشت Osh

از نظر لیتولوژی شامل سنگ آهک‌های ماسه‌دار قرمز-قهوه‌ای رنگ، مارن‌های سبز-خاکستری است که در بخش آهکی آن فسیل‌های خوب حفظ نشده‌ای از تریلوبیت و بازوپایانی چون Billingsella را می‌توان یافت. این سازند همبری گسله با سازندهای تکنار و سلطانیه دارد.

سیلورین:

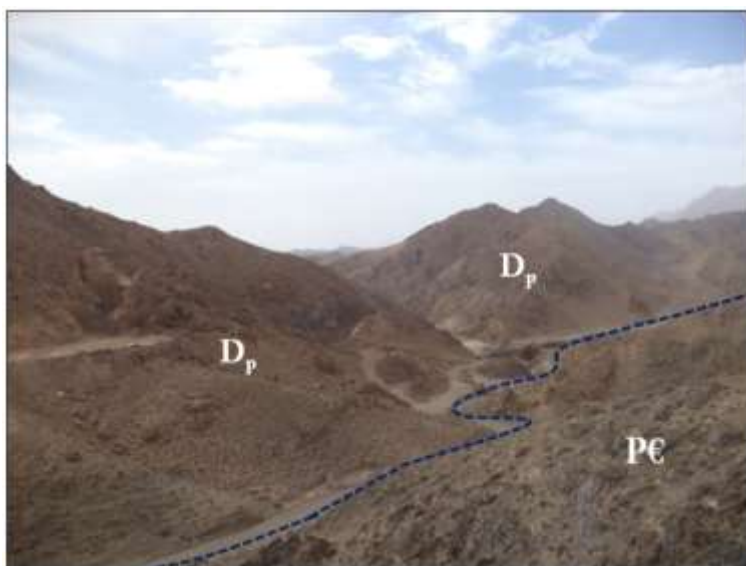
- سازند نیور S_n

در محدوده برگه بردسکن، سازند نیور دارای رخنمون‌های محدودی است که همبری آن با سازندهای مجاور اغلب گسله است. لیتولوژی این سازند شامل تناوبی از شیل و ماسه‌سنگ همراه با میان لایه‌هایی از آهک‌های قرمز رنگ فسیل‌دار است.

دونین:

- سازند پادها D_p

در گستره نقشه بردسکن به دلیل نبود توالی کامل سازندهای پالئوزوئیک، سنگها و سازندهای این زمان اغلب با واسطه گسل و یا با دگرشیبی روی سازند تکنار جای دارند. در رشته کوههای زرد-کوه، قرچماق و کلاغپر رخنمونهای پراکنده‌ای از این سازندها به صورت تنها و یا همراه با سازندهای دیگر وجود دارند. در کوهزرد جنوبی (شرق روستای سرنخواب پایین) یکی از سازندهایی که به واسطه گسلی با سازند تکنار همبری دارند سازند پادها است. این سازند با همبری گسلی روی سازند تکنار قرار دارد که خود نیز با واسطه همبری گسلی توسط گنگومرای واحد پیش‌رونده ژوراسیک بالایی-کرتاسه پایین (J_3K_1) پوشانده می‌شود. در برگه بردسکن رخنمونهای این سازند از جنس کوارتزیت سفید رنگ است که دارای لایه‌بندی‌های متوسط یا ضخیم بوده و در قسمت‌های زیرین توده‌ای است. این سازند در ناحیه مورد مطالعه از دولومیت، شیل، ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک تشکیل شده است که سازند تکنار به صورت گسله مرز بالا و پایینی این سازند را در بر گرفته است (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵: قرارگرفتن سازند پادها (D_p) با مرز گسلی در کنار سازند تکنار (PE) (دید به سمت جنوب غرب).

- سازند سبزار (دولومیت سبزار) D_s

در کوه‌های کلاغ‌پر، زردکوه و قرچماق برونزدهای متعددی از این دولومیت‌ها دیده می‌شود که به دلیل مقاوم بودن در مقابل فرسایش، کمتر تحت تأثیر فرسایش قرار گرفته‌اند. به همین جهت اغلب به تنهایی روی سازندهای کهن‌تر به ویژه سازند تکنار جای گرفته‌اند بنابراین در بسیاری موارد تشخیص آنها بسیار دشوار است، اما همین دولومیت‌ها به طرف شرق این رشته کوه (کوه‌زرد) در جاهایی با سازندهای پادها و بهرام دارای همبری هستند.

۲-۴-۳- مزوزوئیک

-سازند ژوراسیک بالایی- کرتاسه پیشین J_3-K_1

در بخش شمال غربی گستره برگه بردسکن و در کوه‌های کلاغ‌پر و کوه‌زرد توالی رسوبی از نوع رخساره‌های دریایی وجود دارد که شامل کنگلومرای قاعده‌ای با دانه‌هایی از سازندهای کهن‌تر چون کوارتزیت‌های سازند پادها، آهک‌های بهرام و دولومیت‌های سازند سبزار و غیره، که با همبری دگرشیب روی سازندهای قدیمی‌تر از خود قرار گرفته که به صورت تناوبی از لایه‌های شیلی با میان لایه‌هایی از آهک دنبال می‌شود. بر پایه وجود ریز فسیل‌هایی چون *Calpionella sp.* و *Radiolaria* سن ژوراسیک بالایی- کرتاسه زیرین به آنها داده شده است.

-واحد کنگلومرا - ماسه سنگ K_1^{cs}

این واحد با ناپیوستگی هم‌شیب روی ژوراسیک بالایی- کرتاسه پایینی قرار گرفته و از کنگلومرای قرمز رنگ و لایه‌های ماسه‌سنگی دانه درشت با لایه‌بندی‌های متوسط تا ضخیم تشکیل شده است.

۲-۴-۴- سنوزوئیک

-کنگلومرای ائوسن- الیگوسن^c E-OL

این واحد شامل تناوبی از کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های دانه درشت، به رنگ قهوه‌ای روشن تا زرد قهوه‌ای است و با لایه‌بندی ضخیم و همبری دگرشیب روی واحدهای کهن‌تر جای می‌گیرد.

-پادگانه‌های آبرفتی کهن¹¹ Q¹¹

این پادگانه‌ها از کنگلومرای سخت نشده یا نیمه سخت نشده و ماسه‌سنگ‌های دانه درشت تشکیل شده‌اند که در سیمانی از جنس رس قرار گرفته و به طور افقی روی سازندهای کهن‌تر جای دارند. این پادگانه‌ها، بیشتر، دارای لبه‌های بریده و پرتگاهی هستند و بیشتر در کوه‌پایه‌هایی مانند جنوب کوه‌زرد، و همچنین جنوب گسل درونه در جاده بردسکن- درونه، کوه‌پایه‌های کوه‌های آغل گفتار و ... رخنمون دارند.

-آبرفت‌های قدیمی‌تر¹² Q¹²

این انباشته‌ها مخلوطی از قلوه‌های درشت و ریز آبرفتی دامنه کوه‌ها تا دشت را تشکیل داده‌اند که در دو سمت شمالی و جنوبی کال شور گسترش دارند. در بخش جنوبی، این آبرفت‌ها دارای شیب ملایم به سوی شمال و در بخش شمالی با شیب توپوگرافی ملایم به سمت جنوب توسعه دارند. نقاطی از این آبرفت‌ها نیز زیر پوشش کشت و کار و زمین‌های زراعی هستند.

-آبرفت‌های جوان و مخروط‌های افکنه^{al} Q^{al}

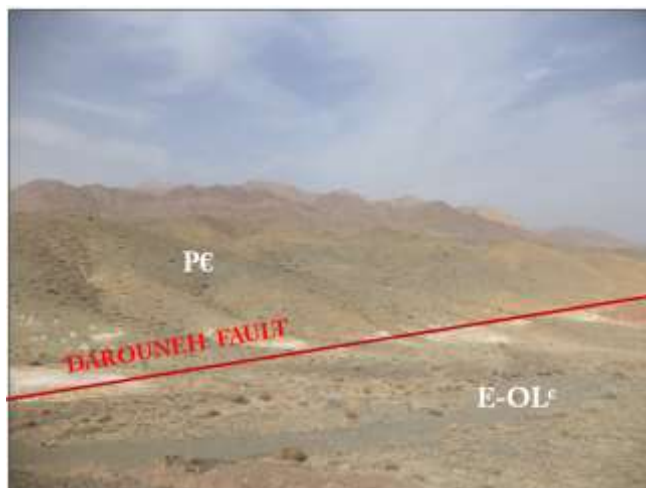
این آبرفت‌ها که اغلب به شکل مخروط افکنه هستند از مصالح درشت‌تری نسبت به آبرفت‌های کهن‌تر برخوردارند و بیشتر از قلوه‌سنگ، ریگ و شن و ماسه و سیلت و رس تشکیل شده‌اند.

۲-۵- زمین شناسی ساختمانی

گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه از مقیاس‌های بزرگ و ناحیه‌ای تا مقیاس‌های کوچک (حتی در نمونه دستی) قابل تشخیص هستند. در منطقه مورد مطالعه دو گسل اصلی و همچنین گسل‌های فرعی زیادی دیده می‌شوند. گسل‌های اصلی عمده‌ترین ساختار مشاهده شده هستند که هر کدام از آنها شامل مجموعه‌ای از گسل‌های تقریباً موازی هستند، شرح هر یک از گسل‌های اصلی و فرعی ذیلاً ارائه می‌شود:

الف- گسل‌های اصلی:

- **گسل درونه:** گسل درونه که نام خود را از روستای کوچک درونه در غرب بردسکن گرفته است، مرز شمالی کویر ایران مرکزی و مرز جنوبی نوار کاشمر- درونه را مشخص می‌کند و بین زیرپهنه تکنار در شمال و بلوک لوت در جنوب قرار گرفته است. این گسل یکی از مشخص‌ترین گسل‌های ایران می‌باشد که از شمال نائین تا اطراف درونه، امتداد شمال شرقی- جنوب غربی داشته و از درونه به سمت شرق، تقریباً شرقی- غربی می‌شود و بقیه آن به سمت افغانستان، به سمت جنوب متمایل شده است. گسل درونه شیب زیادی داشته و دارای حرکات پیچیده‌ای می‌باشد. مولر و والتز (۱۹۸۳) به امتداد لغز و چپ گرد بودن این گسل اشاره کرده‌اند (۲-۶). در محدوده کانسار آهن زردکوه چندین گسل به موازات گسل درونه عمل کرده و واحدهای مختلف با سن‌های متفاوت، از جمله تکنار و پادها را کنار هم قرار داده‌اند.



شکل ۲-۶: قرار گرفتن سازند تکنار (PE) و کنگلومرای ائوسن - الیگوسن (E-OL) در کنار هم در اثر عملکرد گسل درونه در نزدیکی منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شمال شرق).

-گسل تکنار: این گسل نام خود را از کانسار مس تکنار یا روستای ریوش گرفته است. در غرب روستای درونه به گسل درونه متصل می‌گردد و حد غربی زیرپهنه تکنار را مشخص می‌کند که امتداد شمال شرق - جنوب غرب دارد. مرز بین پهنه سبزوار در شمال و زیرپهنه تکنار در جنوب است و امروزه غیر فعال می‌باشد. مولر و والتر (۱۹۸۳)، به امتداد لغز و راستگرد بودن و شهرابی و همکاران (۱۳۸۵) به حالت رورانده تراستی و راست گرد بودن این گسل اشاره کرده‌اند.

ب- گسل‌های فرعی:

بعضی از این گسل‌ها در مطالعات فتوژئولوژی بر روی عکس‌های هوایی منطقه شناسایی شده‌اند که در مطالعات صحرایی هم، شواهد گسلی وجود آنها را تأیید می‌کند. گسل‌های فرعی در منطقه مورد مطالعه شامل گسل‌های زیر هستند:

-گسل‌های موازی با گسل اصلی (گسل‌های طولی): موازی با روند لایه‌ها و سبب رانده شدن طبقات قدیمی بر روی طبقات جدید شده‌اند. بیشتر گسل‌ها در منطقه از این نوع بوده که از نوع تراستی و هم امتداد با گسل درونه هستند، نمونه این گسل‌ها، گسل بین سازند تکنار و پادها.

-گسل‌های عرضی: از نوع امتدادلغز هستند و دارای سه روند، شمالی- جنوبی، شمال شرقی- جنوب غربی و شمال غربی- جنوب شرقی هستند. این گسل‌ها علاوه بر ایجاد جابه‌جایی در طبقات، کنترل کننده آبراهه‌ها و دره‌های منطقه نیز می‌باشند، از همه گسل‌ها جوانتر هستند و در آنها کانی‌سازی دیده نمی‌شود.

۲-۶- زمین‌شناسی اقتصادی

در این قسمت به بررسی برخی آثار و فعالیت معدن‌کاری در منطقه می‌پردازیم:

-معدن مس تکنار:

کانسار مس تکنار در ۲۲ کیلومتری شمال غرب بردسکن قرار دارد. مطالعات پیشین در این منطقه به وسیله واله و بازن، رزاق منش (۱۹۶۸) و بازن و هوبنر (۱۹۶۹) صورت گرفته است. بر اساس این مطالعات سنگ‌های منطقه معدنی متشکل از کلریت شیست و سنگ‌های دگرگون شده داسیتی و لاتیتی است. کانی‌سازی به طور عمده در ارتباط با شیست‌ها است و به وسیله گسیختگی‌هایی قطع می‌شود. دو افق کانی‌سازی تکنار با حالت چینه‌کران تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی قرار گرفته و کانی‌های اصلی ذخیره عبارتند از: کالکوپیریت، اسفالریت، گالن به علاوه مقدار کمی کانی‌های طلا، انارژیت و تتراهدریت. به اعتقاد رزاق منش (۱۹۶۸)، کانسار تکنار از نوع انباشته‌های رسوبی سولفیدی با منشأ آتشفشانی می‌باشد.

-معدن مس چشمه‌گز (نسیم):

کانسار مس چشمه‌گز (نسیم)، در فاصله ۳۲۵ کیلومتری جنوب غرب مشهد و ۵۰ کیلومتری شمال غرب بردسکن، در استان خراسان رضوی قرار دارد. این کانسار جزئی از توالی آتشفشانی- رسوبی با سن ائوسن است که در بخش جنوبی پهنه سبزوار واقع شده است. زمین‌شناسی منطقه

شامل آندزیت، بازالت، سنگ آهک نومولیت دار و مارن با میان لایه‌هایی از ژئوپس با سن ائوسن، کنگلومرای پلیوسن و رسوبات کواترنری است. کانی‌سازی در کانسار نسیم به صورت چینه کران در داخل آندزیت‌ها و مرز واحدهای آندزیتی با سنگ آهک به شکل‌های رگچه‌ای، پراکنده و پرکننده حفرات تشکیل شده است. ماده معدنی شامل کانی‌های اولیه کالکوزیت، مس طبیعی و پیریت و کانی‌های ثانویه مالاکیت، کوولیت، آزوریت و گوتیت است (مهوشی، ۱۳۹۴).

- آهن، سرب و روی سرنخواب:

منطقه اکتشافی سرنخواب ۲ در شمال غرب شهرستان بردسکن در استان خراسان رضوی واقع شده است. محدوده مورد مطالعه در غرب پهنه ساختاری تکنار در شمال خرد قاره ایران مرکزی قرار گرفته است و شامل بخشی از سازندهای تکنار و پادها با سن پرکامبرین و دونین می‌باشد. سنگ میزبان آهک می‌باشد که تحت تأثیر آلتراسیون‌های دولومیتی و کربناتی قرار گرفته است. کانی‌سازی کنترل گسلی داشته و به صورت رگه‌ای و جانشینی در سنگ میزبان تشکیل شده است. کانی اولیه سرب و روی در منطقه دیده نشده است و کانی‌های ثانویه شامل همی‌مورفیت + هماتیت ± گوتیت همراه با باطله کلسیت می‌باشد. براساس نتایج تجزیه شیمیایی، پهنه کانی‌سازی حاوی ۱۸۱۳۰۰ گرم در تن روی، ۵۶۰۰ گرم در تن سرب و ۱۵ درصد آهن می‌باشد (توکلی فریمانی، ۱۳۹۲).

- آهن زبرکوه:

منطقه اکتشافی زبرکوه در شمال غرب بلوک لوت و ۷۴ کیلومتری جنوب غرب بردسکن قرار دارد. این منطقه از نظر تقسیمات ساختاری در پهنه ساختاری کاشمر-کرمان جای گرفته است. زمین-شناسی منطقه شامل سنگ‌های کربناته دگرگون شده سازند ریزو و سلطانیه به سن اینفراکامبرین و توده نفوذی با ترکیب مونزودیوریت تا دیوریت و سینوگرانیت است که درون واحدهای کربناتی

نفوذ کرده است. تیپ کانی سازی در این منطقه از نوع اسکارن می باشد (نارویی، ۱۳۹۴).

- کانه زایی مس برناباد:

مطالعات کانی شناسی و ژئوشیمیایی در منطقه برناباد حاکی از پهنه بندی کانه سازی پلی متال مرتبط با نفوذ توده های پلوتونیک در منطقه می باشد. چهار پهنه کانی سازی که به دو شکل دیده می شوند: ۱- پهنه کانی سازی گسترده در مرکز محدوده ۲- پهنه های کانی سازی پراکنده در پیرامون مرکز محدوده، در قسمت های غرب، شرق، شمال و جنوب محدوده. کانه زایی در وسعت و با عیارهای متفاوت اغلب در کنتاکت بین شیست و ماسه سنگ کوارتزیتی سازند تکنار با توده نفوذی رخ داده است. کانی سازی در این محل، به صورت رگه های آهن دار به صورت رگه مگنتیت و همراه با پیریت است (شکری، ۱۳۸۹).

فصل ۳

زمین شناسی و سنگ شناسی

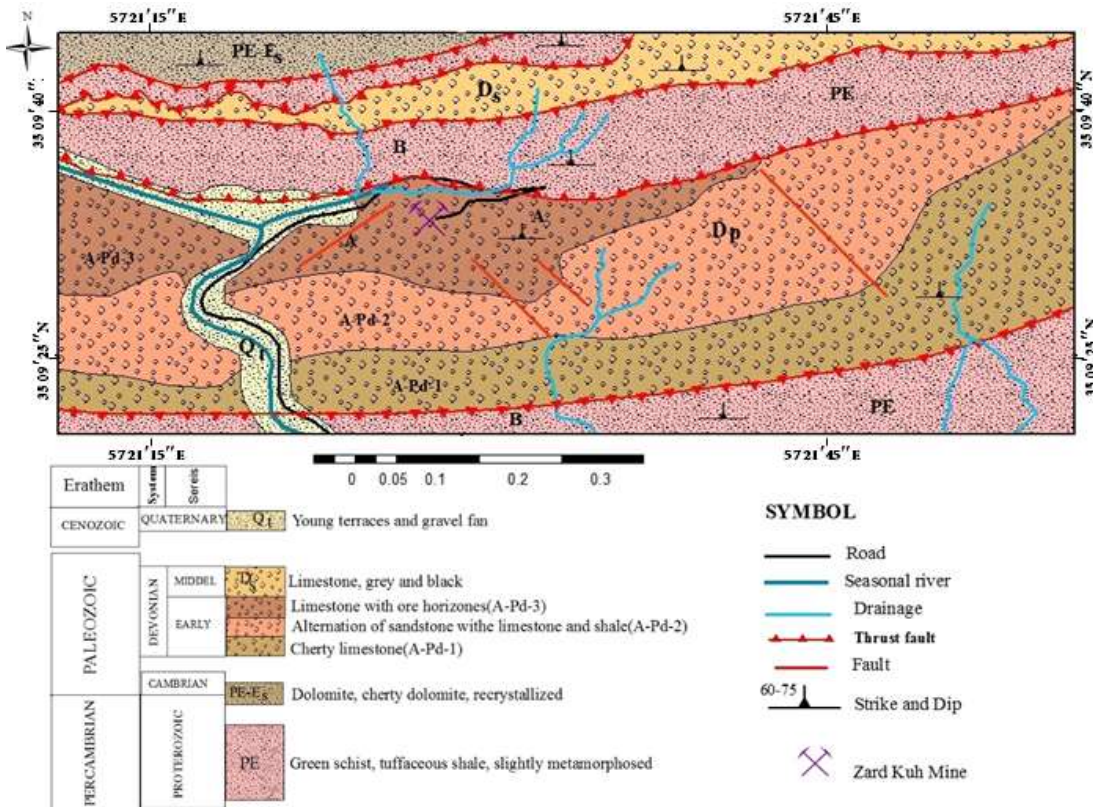
محدوده معدنی

۳-۱- مقدمه

بر اساس تقسیم بندی ساختاری ایران، محدوده معدنی زردکوه در پهنه ایران مرکزی و زیر پهنه تکنار و از نظر زمین شناسی ناحیه‌ای در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن واقع شده است. بر طبق این نقشه، افق کانه‌دار در قسمتی از طبقات کربناته سازند پادها به سن دونین قرار دارد. در این فصل با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن، تصاویر Google Earth، بررسی‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی، ستون چینه‌شناسی عمومی و نقشه زمین شناسی بزرگ مقیاس محدوده مورد مطالعه تهیه گردید. به منظور بررسی واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه با توجه به ستون چینه-شناسی عمومی و نقشه بزرگ مقیاس تهیه شده، هر یک از واحدهای فوق به ترتیب سنی در ادامه توضیح داده می‌شوند.

۳-۲- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه معدنی

بر اساس نقشه‌های زمین شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات صحرایی در محدوده معدنی زردکوه، به دلیل عملکرد گسل تراستی درونه با روند شرقی- غربی و چندین گسل تراستی موازی آن، واحدهای با سن متفاوت در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. واحدهای سنگ‌چینه‌ای در محدوده معدنی زردکوه را می‌توان به ترتیب سن از قدیم به جدید به ترتیب زیر بیان نمود (شکل ۳-۱):



شکل ۳-۱: نقشه زمین شناسی محدوده معدنی و موقعیت کانسار آهن زرد کوه در واحد کربناته سازند پادها به

سن دونین (براساس تصاویر ماهواره ای Google Earth).

۳-۲-۱- پرکامبرین

۳-۲-۱-۱- سازند تکنار

قدیمی ترین واحد رخنمون یافته در منطقه سازند آذرآواری و دگرگون شده تکنار می باشد. این واحد توالی ضخیمی از توف، لاپیلی توف، دیاباز، سیلت استون و ماسه سنگ با درون لایه هایی از دولومیت می باشد که تحت تأثیر دگرگونی خفیف، در حد رخساره شیست سبز قرار گرفته است و با مرز گسلی در دو طرف سازند شیمیایی- تخریبی پادها به سن دونین قرار گرفته است. این واحد، معدن مس تکنار و کانی سازی های منطقه کبودان و سربرج را در بر گرفته و از نظر کانی زایی دارای اهمیت است.

۲-۱-۲-۳- سازند سلطانیه

سازند سلطانیه در این محدوده گسترش چندانی نداشته و از دولومیت با رنگ هوازده خاکستری و شیل زرد رنگ تشکیل شده است و در محدوده مورد مطالعه با مرز گسلی بر روی سازند سبیزار به سن دونین قرار گرفته و به صورت نواری، در جنوب شرقی سازند تکنار و اندکی در شمال آن به چشم می خورد (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳: بخشی از سازند سلطانیه که با مرز گسلی در بالای سازند سبیزار قرار گرفته است (دید به سمت شمال).

۲-۲-۳- پالئوزوئیک

۱-۲-۲-۳- سازند پادها D_p :

در محدوده معدنی زردکوه، سازند پادها از جنس آهک، شیل، ماسه سنگ و آهک دولومیتی تشکیل شده است، که در یک امتداد شرقی- غربی با شیب ۷۰-۸۰ درجه به سمت شمال، در کنار یکدیگر قرار گرفته اند. رخنمون‌هایی از ذخایر آهن با اشکال لایه‌ای و عدسی با ترکیب غالب هماتیت در داخل واحد آهک دولومیتی (سنگ میزبان) وجود دارد.

واحدهای سنگی دونین زیرین در محدوده مورد مطالعه بر حسب تغییرات رخساره‌ای و

لیتولوژیکی از پایین به بالا به سه واحد اصلی (A-Pd-1, A-Pd-2, A-Pd-3) تفکیک شدند (شکل ۳-۳). بخش اعظم کانه‌زایی آهن، در واحد A-Pd-3 رخ داده است، دو واحد A-Pd-2, A-Pd-1 هر دو کم‌پایین ماده معدنی را تشکیل می‌دهند و آثاری از حضور آهن به صورت پراکنده، تغییر رنگ و پیریت‌های جانشین شده توسط هماتیت در ابعاد بسیار کوچک در آنها دیده می‌شود. با توجه به قدمت کانی‌سازی (دونین)، و فعالیت شدید تکتونیکی افق‌های کانه‌دار در طی زمان قطعه قطعه شده و از موقعیت اولیه خود جابه جا و در موقعیت فعلی قرار گرفته‌اند.






شکل ۳-۳: نمایی از سازند پادها که سه واحد اصلی بر روی آن تفکیک شده‌اند (دید به سمت شرق).

۳-۲-۲-۲-۳ سازند سبزار D_S :

این واحد از دولومیت‌های ضخیم لایه به رنگ خاکستری و سیاه رنگ تشکیل شده است. به دلیل مقاوم بودن در مقابل فرسایش کمتر تحت تأثیر فرسایش قرار گرفته است. سازند تک‌نار با مرزگسلی در قسمت بالا و پایین این سازند رخنمون دارد.

از آنجایی که کانی‌زایی آهن زردکوه در سازند پادها و واحد سوم آن صورت گرفته است این سازند به عنوان سنگ میزبان بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل (۳-۴) ستون چینه‌شناسی واحدهای سنگی محدوده معدنی را نشان می‌دهد.

Age	Form.	Unit	Lithology	DESCRIPTION
EARLY DEVONIAN	PADEHA FORMATION	A-Pd-3		Cherty limestone, dolomitic limestone, recrystallized, yellow to dark-yellow and red, thick-bedded to massive with ore horizons.
		A-Pd-2		Alternation of sandstone gray and red, shale gray, dolomite and cherty limestone, medium-bedded.
		A-Pd-1		Cherty limestone gray-brownish, yellow to dark, thick-bedded to massive cliff-forming with intercalation of shale gray medium-bedded.

شکل ۳-۴: ستون چینه‌شناسی واحدهای سنگی محدوده معدنی به همراه موقعیت افق کانه‌دار.

لازم به ذکر است که برای تشخیص دقیق کلسیت و دولومیت (به دلیل غیرقابل تشخیص بودن کلسیت و دولومیت در مقاطع میکروسکوپی) تمام نمونه‌ها به روش (ARS¹) رنگ آمیزی شدند که در ادامه ابتدا به شرح مختصر روش رنگ آمیزی (Dicknson, 1965) می‌پردازیم.

مرحله اول: ۱۵ میلی لیتر اسید کلریدریک غلیظ را با آب مقطر به حجم یک لیتر می‌رسانیم. مرحله دوم: ۰/۶ گرم پودر آلizarin قرمز را در ۳۰۰ میلی لیتر از اسید آماده شده در مرحله اول، حل می‌کنیم تا محلول A تهیه شود. مرحله سوم: مقدار ۲ گرم فروسیانید پتاسیم را در ۱۰۰ میلی لیتر از اسید آماده شده در مرحله اول حل می‌کنیم تا محلول B تهیه شود.

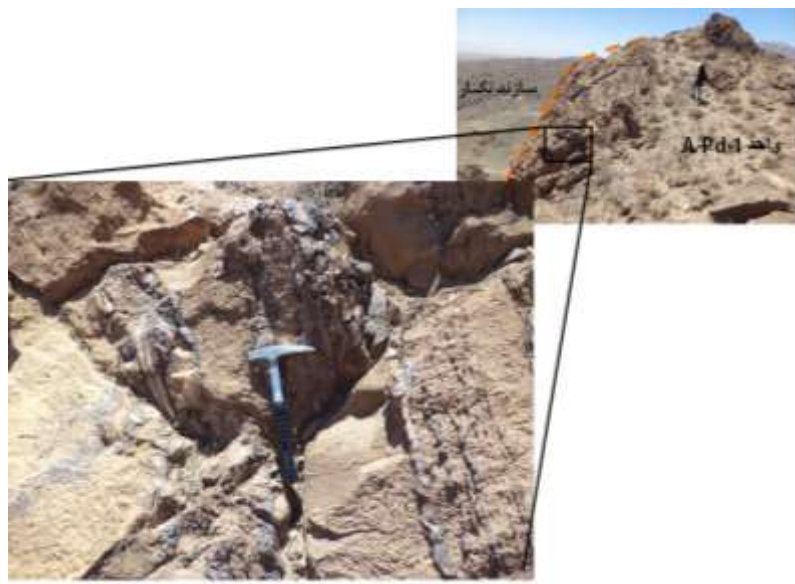
محلول‌های A و B را به نسبت ۳ به ۲، یعنی ۱۵۰ میلی لیتر محلول آلizarin قرمز و ۱۰۰ میلی لیتر محلول فروسیانید پتاسیم، مخلوط کرده تا محلول C به دست آید. به این صورت عمل می‌کنیم: بعد از

1-Alizarin Red Solution

حصول اطمینان از تمیز بودن لامل، هر یک از مقاطع را به مدت ۱۰ ثانیه در محلول اسید کلریدریک ۱/۵ درصد فرو کرده، سپس به مدت ۳۰ تا ۴۰ ثانیه در محلول C فرو برده و در نهایت بعد از آبکشی با آب مقطر به مدت ۱۰ ثانیه در محلول A فرو برده تا شفافیت رنگ بهتر شود. در این روش مقاطع کلسیت به رنگ‌های قرمز (بدون آهن) و ارغوانی (آهن‌دار) و مقاطع دولومیتی به رنگ‌های فیروزه‌ای (آهن‌دار) و بی‌رنگ (آهن‌دار) دیده می‌شوند.

- واحد A-Pd-1 :

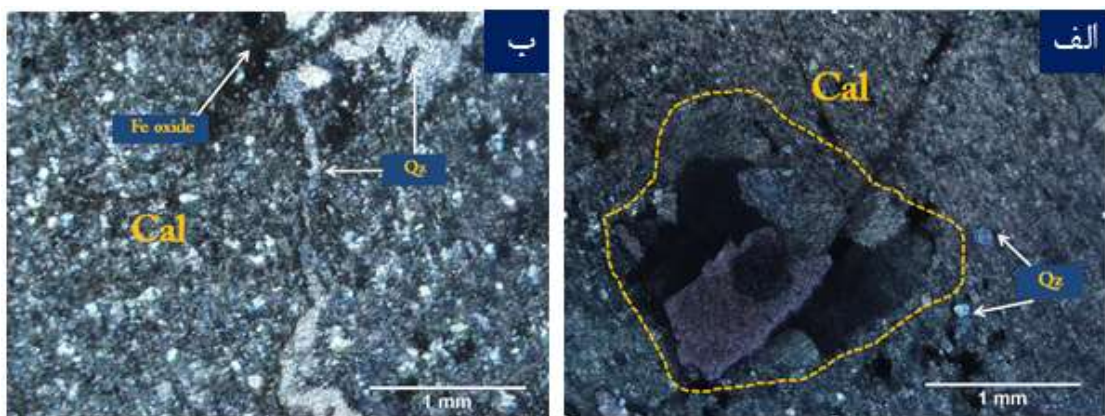
قدیمی‌ترین واحد سازند پادها، سنگ‌آهک با مورفولوژی برجسته و صخره‌ای، به رنگ خاکستری تیره تا قهوه‌ای کم رنگ، زرد نخودی، ضخیم لایه، حاوی نودول‌ها و باندهای چرتی، همراه با میان لایه‌های شیلی به رنگ خاکستری و توسی (شکل ۳-۵)، که با مرز گسلی بر روی شیست سبز و شیل-های کمی دگرگون شده سازند تکنار قرار گرفته است.



شکل ۳-۵: تصویر از واحد اول سازند پادها (A-Pd-1) به همراه نوارهای چرتی.

در نتیجه بررسی نمونه‌ها با روش ARS بخش عمده کانی‌های تشکیل دهنده این واحد کلسیت می‌باشد. در دید میکروسکوپی قطعات تشکیل دهنده این رخساره عبارتند از: کلسیت، کوارتز تخریبی

در اشکال مختلف به همراه سیلیس ثانویه که بعدها به صورت محلول حفرات و فضاهای خالی بین ذرات را پر کرده است. همچنین رشد مجدد کلسیت و کوارتز و رگه‌هایی از آنها، در برخی مقاطع در زمینه میکرایتی (ریز بلور) نیز مشاهده می‌شود (شکل ۳-۶). بخش شیلی از ذرات آهکی و کوارتز تشکیل شده است. این رخساره فاقد فسیل بوده و تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی به شدت خرد شده است. در مجموع به دلیل دانه‌های کم و زمینه ریز بلوری که در اکثر مقاطع تهیه شده از این واحد دیده شد، بخش آهکی این واحد بر مبنای تقسیم بندی دانه‌ام (Dunham, 1962) مادستون^۱ نام‌گذاری شد، سنگ‌آهک‌هایی که در این گروه قرار می‌گیرند یا به طور کامل از گل کربناته تشکیل شده‌اند یا حداکثر کمتر از ده درصد دانه دارند (تا کر^۲، ۲۰۰۳).



شکل ۳-۶: الف: کوارتز ثانویه و رشد مجدد کلسیت در زمینه میکرایتی. ب: رگه کوارتزی به همراه اکسیدهای آهن در زمینه میکرایتی. (کلسیت: Cal، کوارتز: Qz، اکسیدهای آهن: Fe oxide).

-واحد 2-Pd-A:

به طور کلی این واحد، از تناوب رخساره‌های: ماسه‌سنگی، شیلی و میان لایه‌های آهک و دولومیت تشکیل شده است. این واحد با ماسه‌سنگ‌های خاکستری رنگ متوسط لایه شروع و در

1-Mudstone
2- Tucker

نهایت با ماسه‌سنگ‌های قرمز تا خاکستری رنگ به پایان می‌رسد. در این تناوب ماسه‌سنگ با لایه-بندی متوسط تا ضخیم لایه به رنگ سفید، خاکستری دارای لکه‌ها و نوارهای چرتی که در بعضی قسمت‌ها به صورت ورنی با رگه‌های کلسیتی و دندریت‌های منگن‌زدار و میان لایه‌هایی از شیل توسی رنگ نازک لایه که دارای رگه-رگچه‌های پر شده توسط کلسیت و اکسیدهای آهن می‌باشند. ماسه-سنگ‌های انتهایی این واحد به دلیل ورود تدریجی آهن به محیط رسوبی، به رنگ قرمز دیده می‌شوند (شکل ۳-۷). سنگ‌آهک‌ها و دولومیت‌ها به رنگ خاکستری تیره تا قهوه‌ای و زرد نخودی متوسط تا نازک لایه، همراه با نوارهای چرتی و بلورهای چند وجهی پیریت اکسید شده مشاهده می‌شوند. همچنین در منطقه استخراج سیلیس از ماسه‌سنگ‌های این واحد صورت می‌گیرد (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۷: الف: تناوبی از شیل و ماسه سنگ در بخشی از توالی واحد دوم. ب: رنگ قرمز و ورنی شدن ماسه سنگ‌ها در واحد دوم.

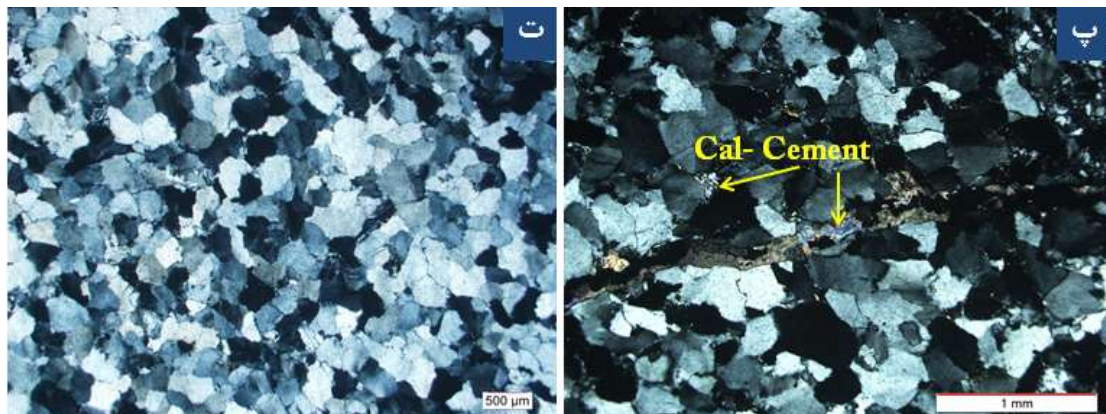


شکل ۳-۸: الف: پیریت با بلورهای چند وجهی در سنگ آهک‌های واحد دوم که با اکسیدهای آهن جانشین شده است. ب: تجهیزات معدنی برای استخراج سیلیس از بخش ماسه سنگی واحد دوم (دید به سمت غرب).

این واحد به ترتیب بیشتر از رخساره ماسه‌سنگی، شیلی و آهکی تشکیل شده است. در دید میکروسکوپی ماسه‌سنگ‌ها بر مبنای تقسیم‌بندی فولک (Folk, 1974) در دو گروه کوارتزآرنایت و ساب آرکوز قرار می‌گیرند.

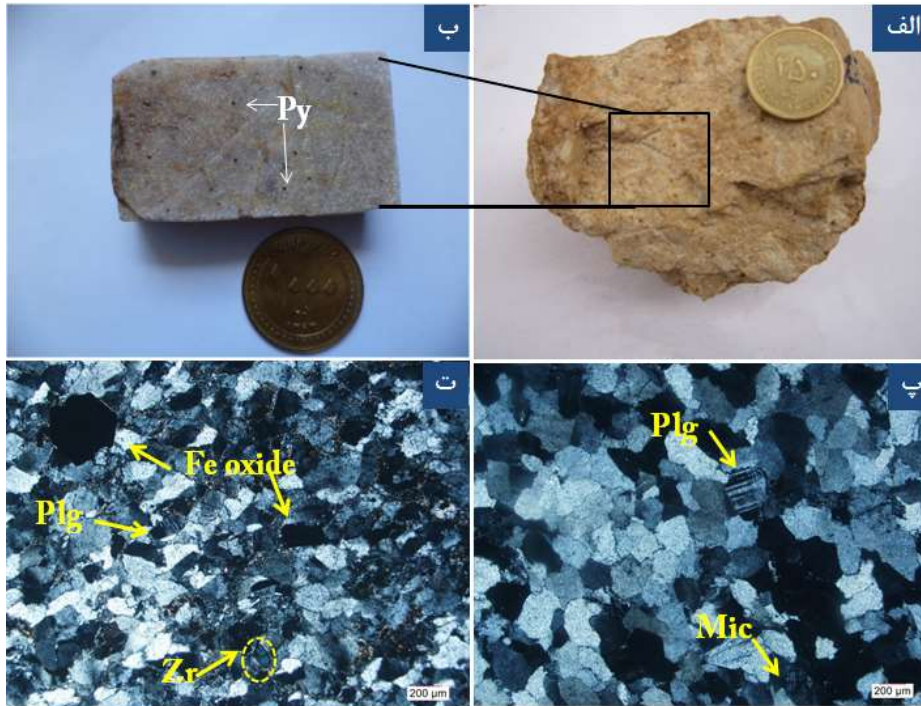
کوارتزآرنایت‌ها بیش از ۹۵ درصد، از کوارتز تشکیل شده‌اند که در واقع ماسه‌سنگ‌هایی هستند که از کوارتز غنی‌اند. از نظر بافتی و کانی‌شناسی کاملاً مچور هستند در حقیقت ماسه‌سنگ‌هایی هستند که قطعات آن برای مدت طولانی در معرض هوازدگی و حمل و نقل قرار گرفته‌اند تا به این درجه از بلوغ رسیده‌اند. کوارتز در کوارتزآرنایت‌ها، صرف نظر از منشأ اولیه، عمدتاً ناشی از چرخه ثانویه سنگ می‌باشد (تاگر، ۲۰۰۳). دانه‌های کوارتز در نمونه‌های مورد مطالعه دارای جورشدگی و گردشگی خوب و دانه‌های ریز رس در آن بسیار ناچیز است. دانه‌های کوارتز در اثر فرآیندهای دیانز و فشردگی ناشی از آن مرز مخرسی و خاموشی موجی دارند (شکل ۳-۹). شکستگی و فضای بین ذرات در کوارتزآرنایت‌ها به وسیله سیمان کلسیتی و رسی پر شده است، علاوه بر کوارتز، دانه‌های چند ضلعی و خود شکل هماتیت که ناشی از اکسیداسیون پیریت‌ها هستند و همچنین کانی سنگین زیرکن نیز دیده می‌شود.



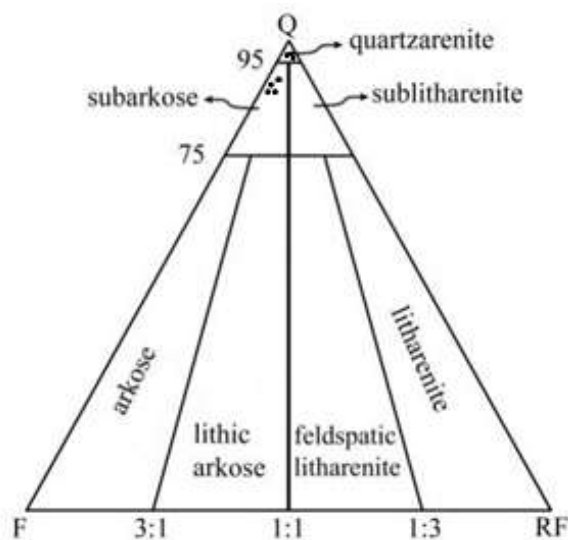


شکل ۳-۹: الف: رخنمونی از کوارتز آنارایت واحد دوم. ب: دانه‌های پیریت اکسید شده در متن ماسه‌سنگ واحد دوم. پ: تصویر میکروسکوپی (نور عبوری) از کوارتز آنارایت‌های واحد دوم که فضای بین دانه‌ها و شکستگی‌ها به وسیله سیمان کلسیتی پر شده است. ت: کوارتز در کوارتز آنارایت‌ها که با مرز مضرسی و خاموشی موجی مشاهده می‌شود (نور عبوری).
(سیمان کربناته: Cal- Cement, پیریت: Py).

ساب آرکوزها گروه دیگر از ماسه‌سنگ‌ها هستند که ۵ تا ۲۵ درصد فلدسپات داشته و مقدار فلدسپات آن بیشتر از خرده سنگ می‌باشد (تا کر، ۲۰۰۳). در دید میکروسکوپی فراوانی دانه‌های کوارتز بیش از ۷۵ تا ۸۰ درصد، فلدسپات ۱۰-۸ درصد که بیشتر از نوع میکروکلین بوده و فراوانی خرده سنگ‌ها کمتر از ۶ درصد و دارای سیمان رسی و کربناته است. ذرات نیمه‌گرد شده تا گرد شده با جورشدگی خوب، بنابراین از نظر بلوغ بافتی، بالغ و از نظر بلوغ کانی‌شناسی نیز در حد بالغ است. علاوه بر کوارتز، کانی‌های فلدسپاتی، زیرکن و دانه‌های پیریت اکسید شده نیز در مقاطع مشاهده شد، همه پیریت‌ها تحت تأثیر اکسیداسیون تبدیل به اکسیدهای آهن شده‌اند (شکل ۳-۱۰). شکل (۳-۱۱) موقعیت ماسه‌سنگ‌های واحد دوم را بر مبنای تقسیم‌بندی فولک (۱۹۸۰) نشان می‌دهد.



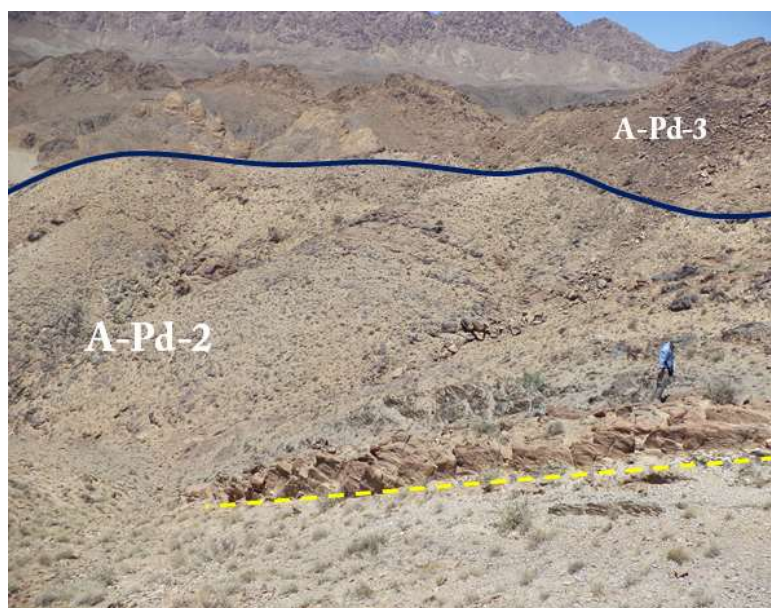
شکل ۳-۱۰: الف و ب: تصویر نمونه دستی از ماسه‌سنگ‌های واحد دوم به همراه پیریت‌های اکسید شده. پ: کوارتز به همراه فلدسپات. ت: پیریت‌ها در اثر اکسیداسیون تبدیل به اکسیدهای آهن شده‌اند (نور عبوری). علاوه بر کوارتز دانه‌های زیرکن، پلاژیوکلاز و سیمان کلسیتی بین ذرات نیز دیده می‌شود (نور عبوری). (پلاژیوکلاز: Plg، میکروکلین: Mic، زیرکن: Zr).



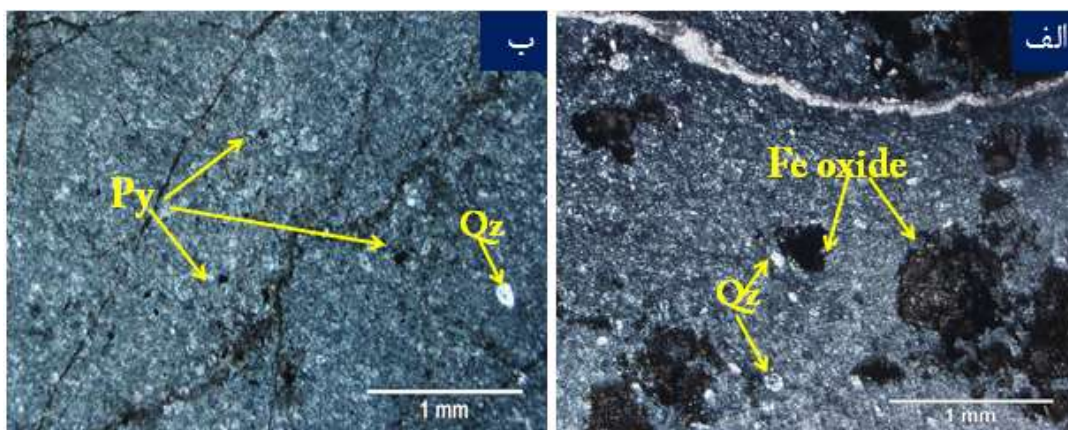
شکل ۳-۱۱: موقعیت نمونه‌های ماسه سنگی مورد مطالعه در نمودار سه متغیره کوارتز (Q)، فلدسپار (F) و خرده سنگ (RF)، (فولک ۱۹۸۰).

شیل‌ها در این توالی خاکستری و توسی رنگ حاوی رگه و رگچه‌های از کلسیت و اکسید آهن که در دید میکروسکوپی بیشتر با عارضه‌های کلسیتی دیده می‌شوند.

قسمت‌های کربناته واحد دوم از دولومیت و آهک‌های متوسط لایه، به ضخامت ۱۵ تا ۲۰ متر به رنگ لیمویی و قرمز، همراه با نوارهای چرتی تشکیل شده است. این قسمت نسبت به سنگ‌آهک‌های واحد اول میزان چرت کمتری دارد و حاوی بلورهای فراوان از پیریت چند وجهی اکسید شده می‌باشد. در دید میکروسکوپی، زمینه از بلورهای ریز کلسیت به رنگ روشن تشکیل شده است در برخی از مقاطع این زمینه ریز بلور در اثر آغشتگی با آهن به رنگ تیره دیده می‌شوند، همچنین علاوه بر کوارتز تخریبی، کوارتز ثانویه نیز دیده می‌شود که مقدار آنها نسبت به واحدهای کربناته قبلی بیشتر می‌باشد. بخش‌های کربناته واحد دوم بر اساس تقسیم بندی دانهام (Dunham, 1962)، مادستون نام‌گذاری شدند (اشکال ۳-۱۲ و ۳-۱۳).



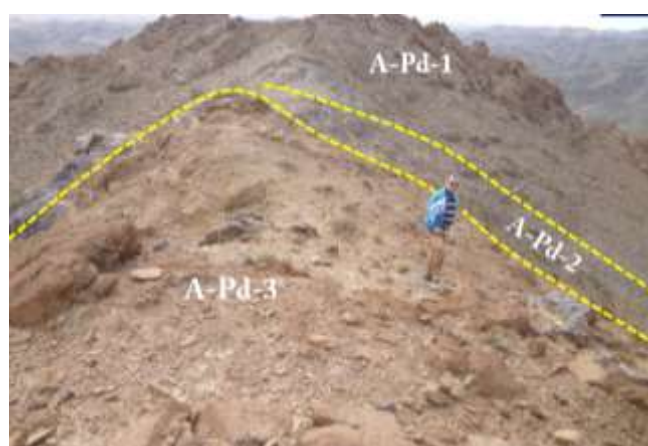
شکل ۳-۱۲: نمایی از بخش آهکی، واحد دوم (دید به سمت شمال غرب).



شکل ۳-۱۳: تصویر میکروسکوپی از بخش آهکی واحد دوم: الف: مادستون حاوی کوارتز ثانویه و رگه‌های کلسیتی. قسمت‌های تیره آغشتگی کلسیت به اکسیدهای آهن را نشان می‌دهند (نور عبوری). ب: مادستون حاوی دانه‌های کوارتز، دانه‌های پیریت اکسید شده به همراه رگه-رگچه‌هایی که به وسیله اکسیدهای آهن پر شده است (نور عبوری).

واحد A-Pd-3:

این واحد سنگ میزبان ماده معدنی است و از آهک دولومیتی ضخیم لایه و توده‌ای به رنگ نخودی، کرم، خاکستری تا قهوه‌ای حاوی رگه-رگچه‌های اکسیدهای آهن، کلسیت و باریت تشکیل شده است (شکل ۳-۱۴).



شکل ۳-۱۴: تصویر صحرایی از واحد سوم در کنار واحدهای اول و دوم (دید به سمت جنوب).

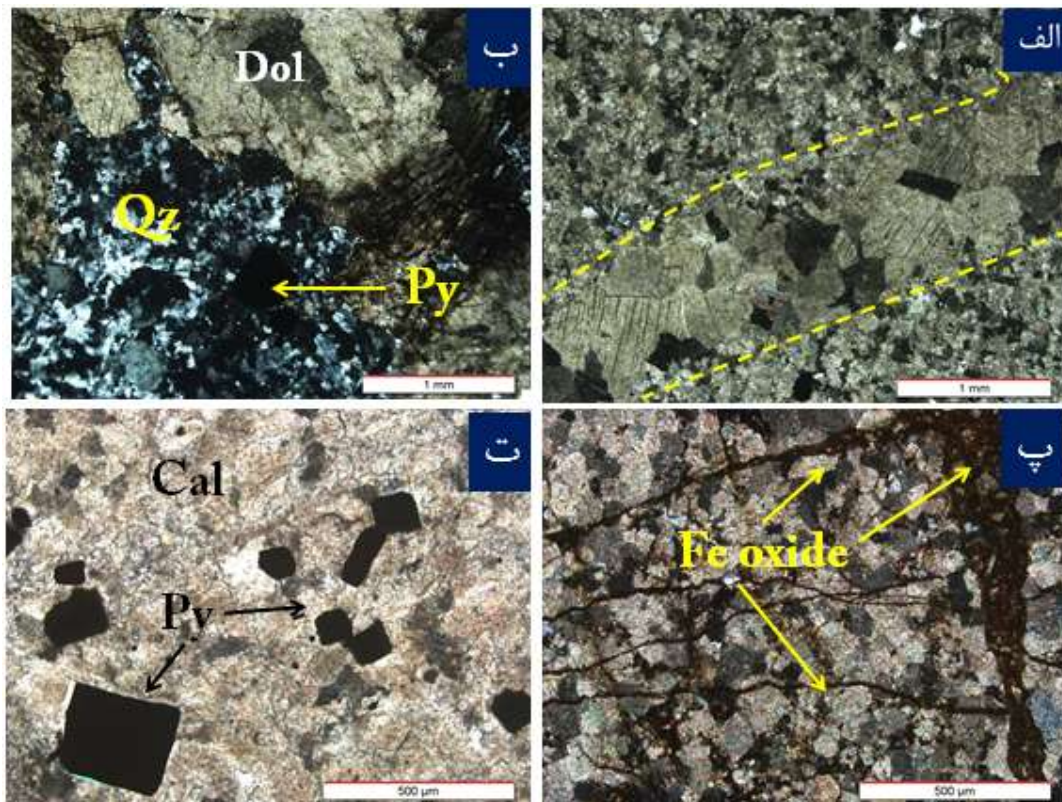
ماده معدنی با ساخت لایه‌ای به صورت هم‌روند و هم‌شیب با سنگ میزبان قرار گرفته است. در

نتیجه عملکرد گسل‌های عرضی در بعضی قسمت‌ها جابه‌جایی در ماده معدنی رخ داده است که سبب ایجاد ساخت منقطع در ماده معدنی شده است. در این واحد ساخت برشی به همراه شکستگی و درز و شکاف دیده می‌شود و هیچ گونه آثاری از فسیل و یا ساخت رسوبی مشاهده نمی‌شود. دولومیتی شدن، سیلیسی شدن و تبلور مجدد کلسیت در تمام این واحد رخ داده است. ترکیب عمده آن از کانی کلسیت و دولومیت می‌باشد، علاوه بر کلسیت و دولومیت، حاوی مسکویت، رگه-رگچه‌های کوارتز، باریت، الیزیت، بلورهای ژیپس، دانه‌های پیریت و طلا نیز می‌باشد. کانه‌زایی هماتیت در کنسار آهن زردکوه به صورت لایه‌ای و عدسی‌های منقطع می‌باشد. کانه‌های آهن اغلب تشکیل همزمان با میزبان کربناته را نشان می‌دهند (شکل ۳-۱۵). در این واحد در اثر عملکرد آب‌های سطحی پوشش سفید رنگی از گچ بر روی آن دیده می‌شود.

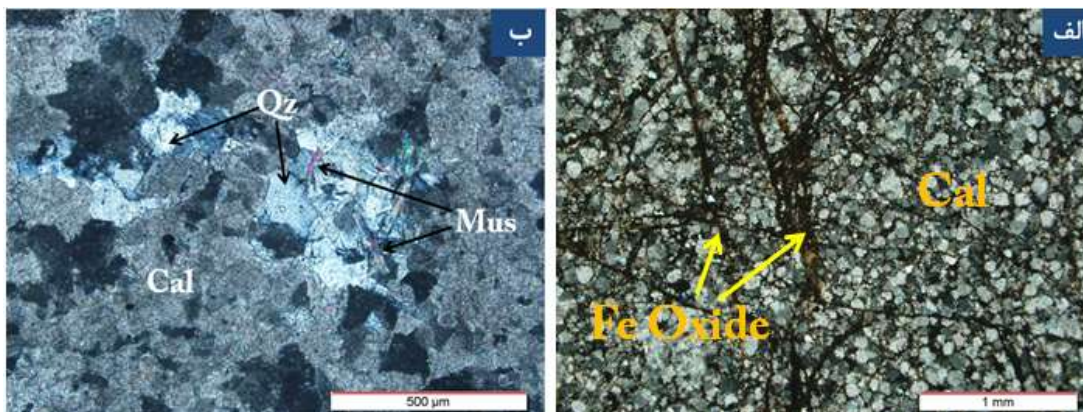


شکل ۳-۱۵: واحد سوم الف: تصویری از رخنمون ماده معدنی در میزبان کربناته که در نتیجه عملکرد گسل‌های عرضی، به صورت عدسی دیده می‌شود. ب: رگه‌های کلسیتی در میزبان کربناته. پ: تشکیل باریت و هماتیت همزمان با میزبان کربناته. ت: هماتیت و باریت به صورت پراکنده همراه با رگه-رگچه‌های الیزیت در میزبان کربناته. (هماتیت: Hem ، باریت: Brt).

بر اساس مطالعات میکروسکوپی بخش‌هایی از این واحد، بر مبنای تقسیم بندی دانهام (Dunham, 1962) آهک بلورین نام گذاری شد. که فاقد بافت رسوبی مشخص می‌باشد، دولومیتی شدن در این واحد کاملاً مشهود بوده و دارای رگه‌های اکسید آهن و سیلیس، حفرات پر شده از هماتیت، سیلیس، کلسیت، دولومیت و ذرات تخریبی مسکویت در زمینه کاملاً بلورین می‌باشد (اشکال ۳-۱۶ و ۳-۱۷).



شکل ۳-۱۶: در نور عبوری الف: تبلور مجدد کلسیت در شکاف‌های موجود در میزبان کربناته. ب: کوارتز به صورت پرکننده فضای خالی به همراه پیریت در میزبان کربناته. پ: رگه- رگچه‌هایی از اکسید آهن در میزبان کربناته. ت: دانه‌های پراکنده پیریت در میزبان کربناته. (دولومیت: Dol).



شکل ۳-۱۷: الف: رگه - رگچه‌های اکسید آهن در آهک بلورین (واحد سوم) (نور عبوری). ب: فضای خالی آهک بلورین که به وسیله کوارتز پر شده است (نور عبوری). (مسکویت: Mus).
قسمت‌های حاشیه‌ای این واحد به سمت واحد دوم به صورت ترکیب هیبریدی ماسه‌سنگ و آهک می‌باشد، این واحد در اثر عملکرد گسل‌های عرضی و فشارهای تکتونیکی در منطقه، خرد شده است. حفرات در این قسمت نیز به وسیله کلسیت و سیلیس پر شده و در زمینه‌ای از آهک بلورین قرار دارند.

با توجه به اینکه میزان سیلیس ثانویه در این واحد بیشتر از سایر واحدهاست، به نظر می‌رسد که بین کانه‌زایی و محلول‌های حاوی سیلیس ارتباط وجود دارد، به این صورت که تشکیل رگه‌های اکسید آهن و سیلیس تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنز و خاصیت تحرک این عناصر به همراه عناصری چون باریت و منگنز صورت گرفته است. علاوه بر کانه و کانی‌های فوق در این واحد دانه‌های پراکنده - ای از پیریت به صورت شکل‌دار و نیمه شکل‌دار، دانه‌های مشکوک به طلا ودانه‌های مگنتیت در متن آهک مشاهده می‌شوند.

۳-۳ - محیط رسوبی

محیط رسوبی بخشی از سطح زمین است که از نظر خواص فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناسی از محیط‌های اطراف خود قابل تمایز است (حرمی، ۱۳۸۳). در این مطالعه، رخساره‌ها به دو مجموعه کلی رخساره‌های آواری و کربناته تقسیم می‌شوند: رخساره‌های آواری با سنگ‌های ماسه سنگی و شیلی مشخص می‌شوند که ماسه‌سنگ‌ها بر مبنای تقسیم بندی فولک، در گروه کوارتزآرنایت و ساب آرکوز

قرار می‌گیرند، رخساره کربناتی آن، فاقد اجزای فسیلی بوده و بر مبنای تقسیم‌بندی دانه‌ها در گروه مادستون و آهک بلورین نام‌گذاری می‌شوند.

سازند پادها در محدوده مورد مطالعه، با تناوب رخساره کربناته و شیل شروع می‌شود و با تناوب رخساره‌های شیل، ماسه‌سنگ و دولومیت ادامه می‌یابد و در نهایت با رخساره کربناته خاتمه می‌یابد. وجود رخساره‌های آواری و کربناته و تناوب آنها گویای آن است که حوضه به دلیل حرکات زمین ساختمانی محلی از آب خارج و با پیش روی آب دریا، دوباره به زیر آب فرو رفته است. به عبارت دیگر عدم تشکیل پیوسته رخساره‌های کربناته در تمام توالی، ناشی از تغییر در عمق حوضه رسوبی است و عدم پیوستگی افق‌های کانه‌دار به دلیل رژیم تکتونیکی حاکم در منطقه می‌باشد که باعث ایجاد فروافتادگی و بالآمدگی در توپوگرافی کف حوضه رسوبی و اختلاف عمق شده است. رخساره‌های مادستون اصولاً در پهنه‌هایی با انرژی کم تشکیل می‌شوند. آهک‌های بلورین بافت رسوبی مشخص ندارند و در آنها عمل تبلور مجدد صورت گرفته است. رخساره‌های ماسه سنگی سازند پادها حاوی دانه‌های فراوان گرد و نیمه گرد کوارتز با مچوریتی نسبتاً خوب، و به مقدار کم فلدسپات و خرده سنگ، با ساخت لامیناسیون موازی و حضور کانی سنگین زیرکن است. که نشان دهنده اشتقاق این رسوبات از بخش سیکل مجدد کوهزایی می‌باشد و کم بودن فراوانی خرده‌های سنگی در آنها بیانگر نهشته شدن آنها در یک محیط حاشیه غیرفعال است (تیلور و مک لنان^۱، ۱۹۸۵).

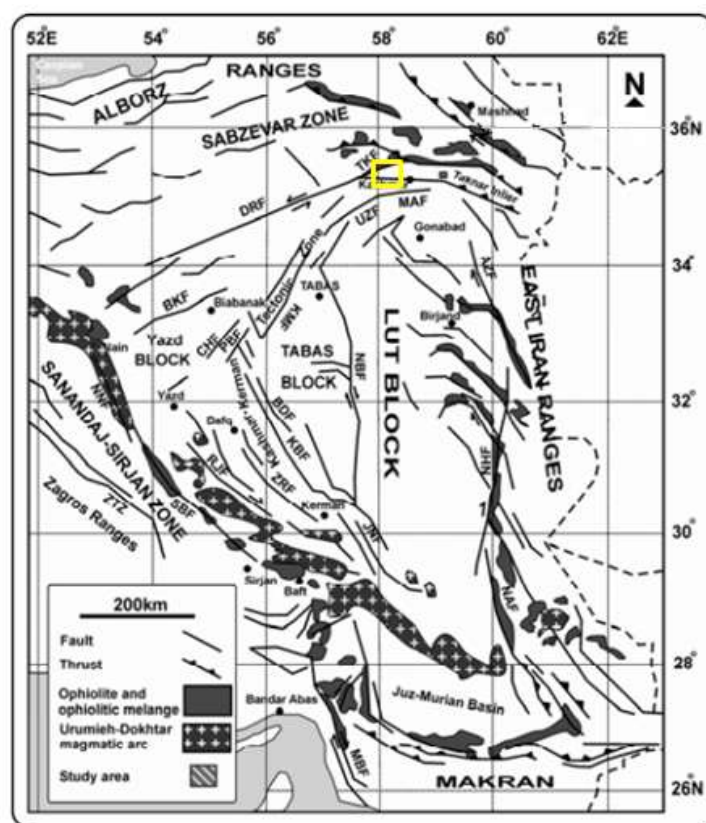
به این ترتیب می‌توان گفت سازند پادها در یک محیط دریایی کم عمق با نوسانات انرژی حوضه و عمق ته‌نشین شده است. به گونه‌ای که از آغاز با توجه به حضور رخساره شیلی خروج از آب‌های مکرر رخ داده است و در ادامه حوضه دوباره به زیر آب فرو رفته و محیط حالت احیایی پیدا کرده به طوری که با حضور آهن و گوگرد، پیریت تشکیل شده و همچنین رخساره‌های ماسه سنگی و کربناته

1-Taylor and Mc Lennan

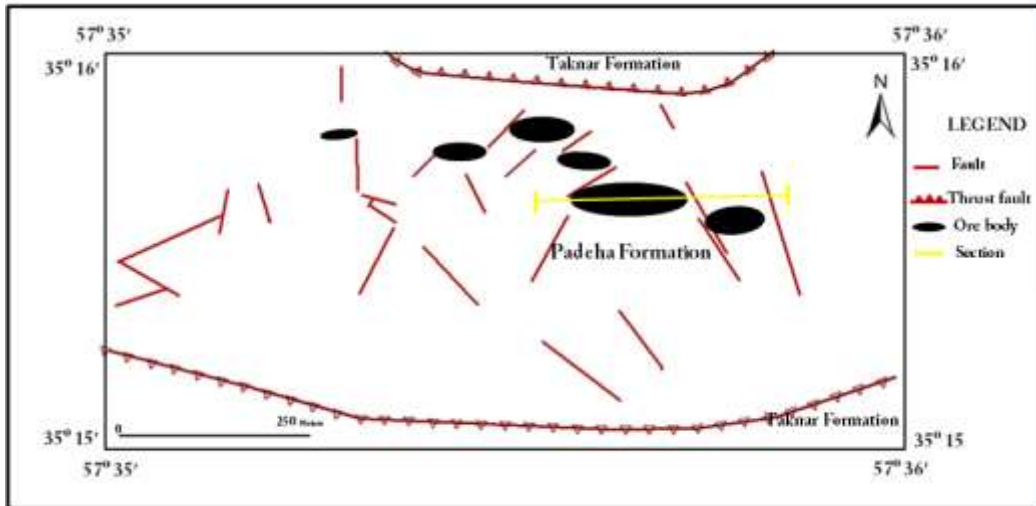
به رنگ قرمز دیده می‌شوند و در نهایت محیط به حالت اکسیدان در آمده و اکسیدهای آهن از جمله هماتیت و مگنتیت همزمان با کربنات‌ها رسوب کرده‌اند.

۳-۴- زمین شناسی ساختمانی

محدوده کانسار آهن زردکوه تحت تأثیر چندین گسل روانده قرار گرفته به گونه‌ای که واحدها با سن‌های متفاوت را در کنار یکدیگر قرار داده است. کانه‌زایی در کانسار آهن زردکوه متأثر از این گسل‌ها و حتی گسل‌های عرضی درون کانسار نبوده و گسل‌های عرضی بیشتر از نوع امتداد لغز هستند که باعث جابه‌جایی افق کانه‌دار در جهات مختلف شده است (اشکال ۳-۱۸، ۳-۱۹، ۳-۲۰، ۳-۲۱).



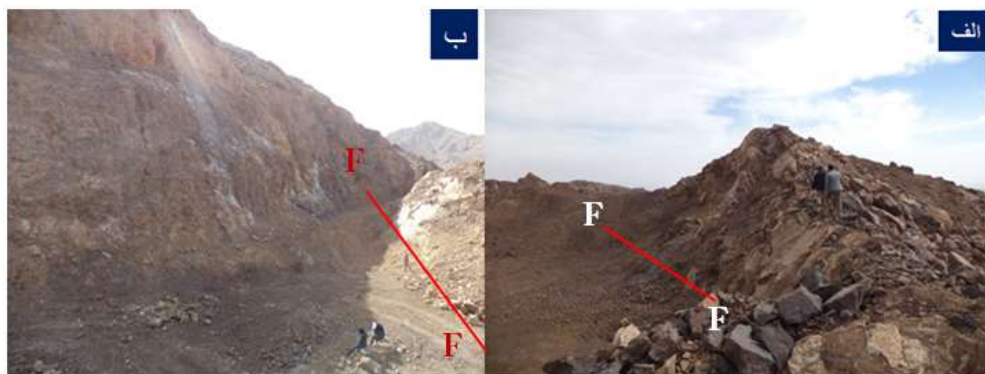
شکل ۳-۱۸: نقشه تکتونیکی شرق - مرکز ایران (Alavi, 1991)، و موقعیت کانسار مورد مطالعه بر روی آن با کادر زرد رنگ مشخص شده است.



شکل ۳-۱۹: نقشه گسل‌های محدوده مورد مطالعه.



شکل ۳-۲۰: عملکرد گسل‌ها باعث جابه‌جایی افقی‌های کانهدار (محدوده‌های داخل نقطه چین) شده است. (دید به سمت جنوب شرق).



شکل ۳-۲۱: الف و ب- تصویر صحرایی از گسل‌های عرضی که باعث جابه‌جایی افقی کانهدار شده است. آینه گسل قابل مشاهده می‌باشد (الف- دید به سمت شرق، ب- دید به سمت غرب).

فصل ۴

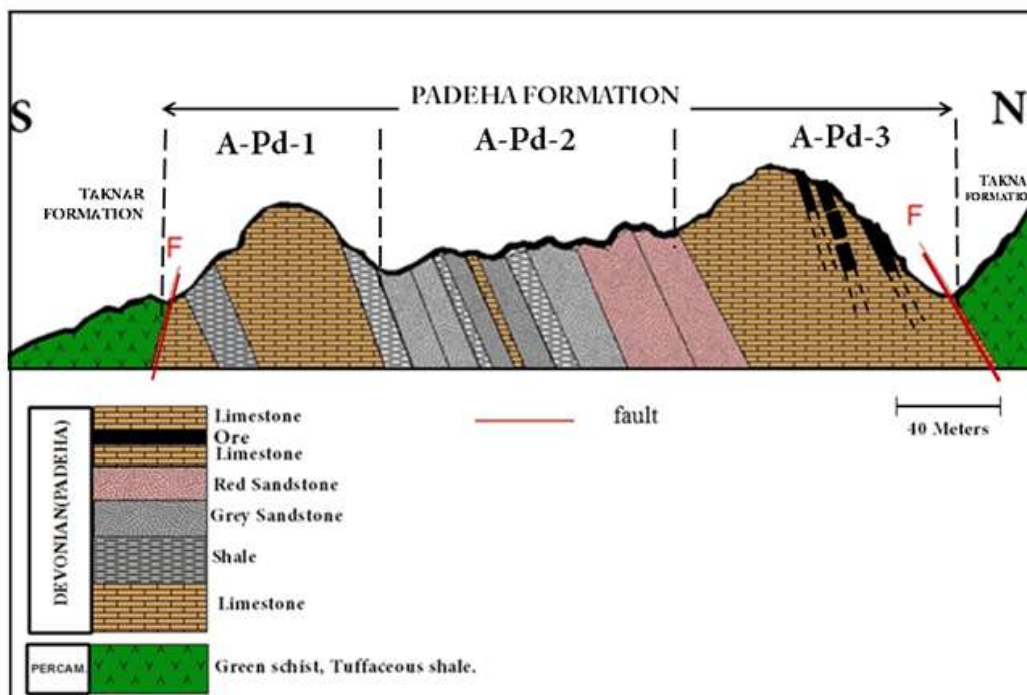
کانه‌زایی و دگرسانی

۴-۱- مقدمه

محدوده معدنی کانسار زردکوه در منتهی‌الیه جنوب غربی زیرپهنه تکنار واقع شده است. این منطقه با توجه به موقعیت زمین‌ساختی و واحدهای سنگی دارای کانه‌زایی‌های متفاوتی است که از میان آنها می‌توان به کانسار پلی‌متال تکنار، کانسار سرب و روی سرنخواب، کانسارهای مس دهنه‌سیاه، چشمه‌گز و ... اشاره نمود. کانه‌زایی در کانسار آهن زردکوه متأثر از فرآیندهای تکتونیکی از جمله گسل درونه نمی‌باشد بلکه این فرآیندها تنها باعث خرد شدن و جابه‌جایی ماده معدنی شده است. در این فصل ابعاد کانه‌زایی در محدوده معدنی، گسترش جانبی آن، انواع دگرسانی‌ها و پهنه‌های هوازده از اکسیدهای آهن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

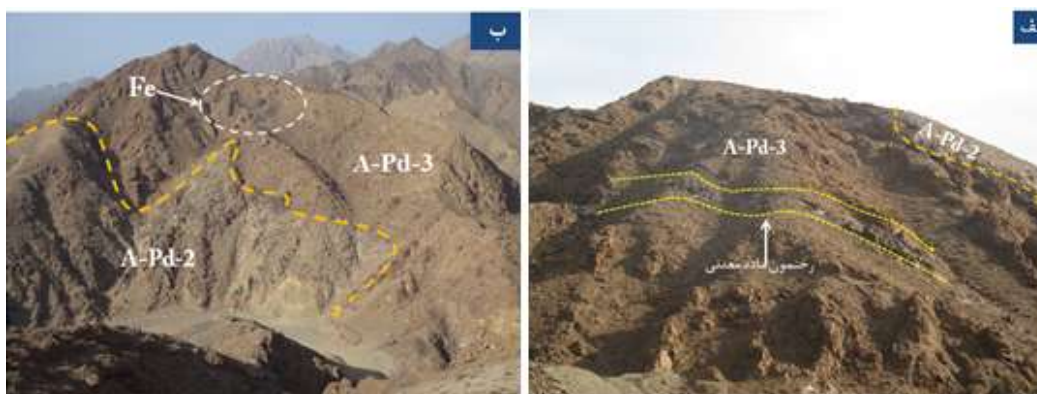
۴-۲- کانه‌زایی

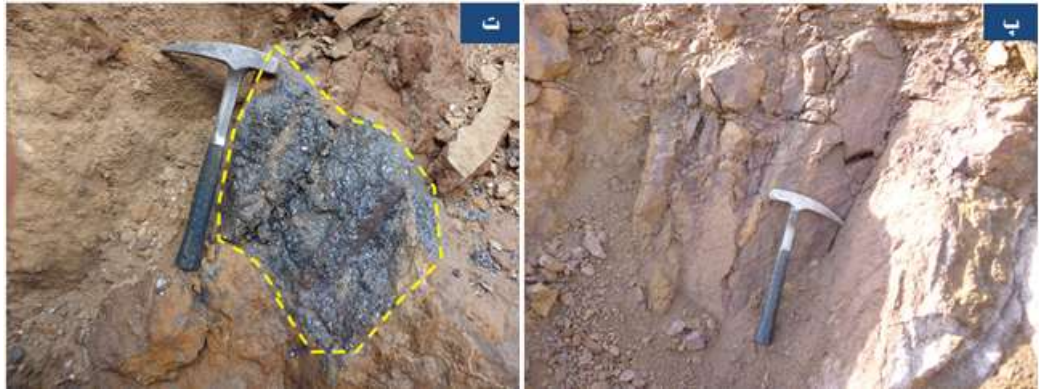
با توجه به مطالعات صحرائی صورت گرفته در منطقه، سازند پادها، یک مجموعه رسوبی متشکل از؛ سنگ‌آهک، شیل، ماسه‌سنگ و آهک‌دولومیتی با روند شرقی- غربی و شیب ۷۰-۸۰ درجه به سمت شمال می‌باشد که کانه‌زایی آهن به صورت سین‌ژنتیک (در واحد سوم) رخ داده است. همچنین رخنمون‌هایی از هماتیت، به صورت عدسی و دانه‌پراکنده در ابعاد مختلف با گسترش جانبی کم، در داخل واحد سوم (A-Pd-3) سازند پادها و به صورت دانه پراکنده در سایر واحدها مشاهده شده است، شکل (۴-۱) تصویرنمادین از واحدهای رسوبی سازند پادها و موقعیت ماده معدنی در داخل واحد آهکی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱: نمایی شماتیک از شکل هندسی ماده معدنی و موقعیت آن نسبت به واحدهای دیگر.

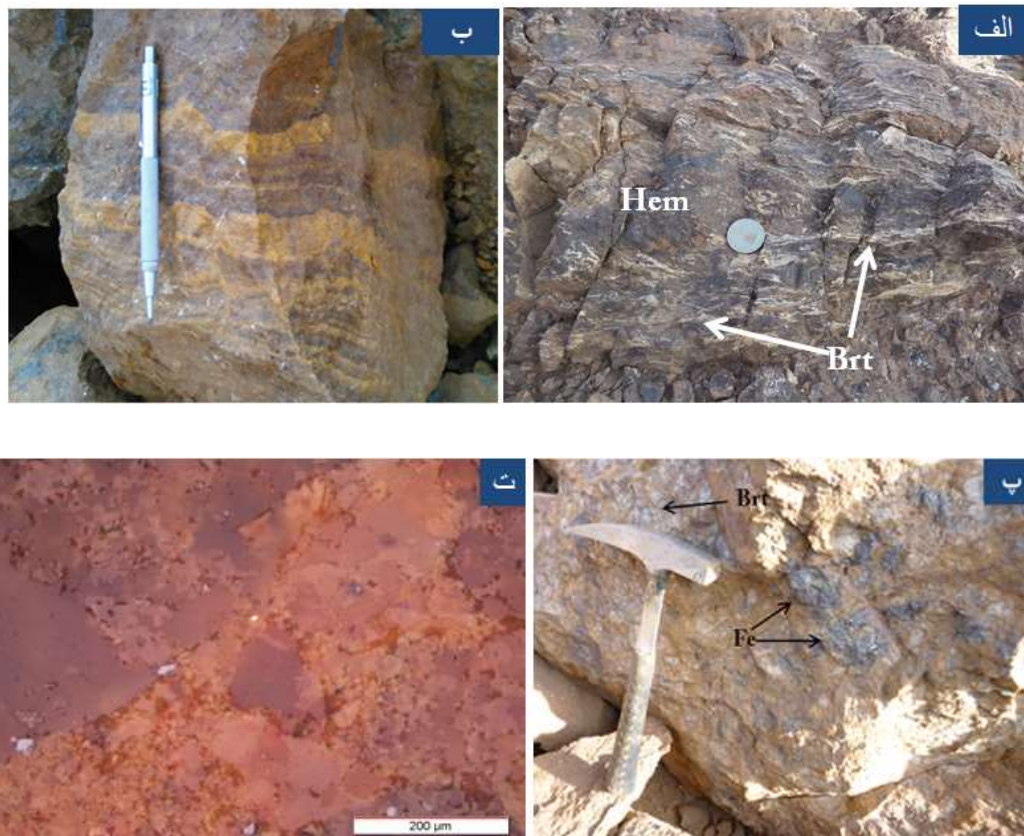
سنگ میزبان اصلی کانه‌زایی، آهک دولومیتی (A-Pd-3) است که ماده معدنی در آن با ابعاد ۸۰-۱۰۰ متر طول و ضخامت ۴۰-۵۰ متر، هم‌رند و هم‌شیب با واحدهای دربرگیرنده قرار گرفته است. کانه‌زایی در این منطقه متأثر از گسل نبوده اما چندین گسل عرضی باعث حرکت و جابه‌جایی ماده معدنی شده است. ماده معدنی در داخل آهک دولومیتی به صورت اکسیدهای آهن با ساخت‌های لایه‌ای، عدسی، رگه- رگچه‌ای مشاهده می‌شود (شکل ۴-۲).





شکل ۴-۲: الف و پ: لایه آهن دار در میزبان کربناته. (در تصویر الف، دید به سمت جنوب). تصویر ب و ت : عدسی های آهن در میزبان کربناته. (در تصویر ب، دید به سمت غرب).

حضور لامینه های هماتیت، باریت، دانه های پراکنده هماتیت، باریت، پیریت و دانه های مشکوک به طلا و هم رشدی هماتیت و باریت با سنگ میزبان کربناته همگی معرف آن است که احتمالاً همزمان با سنگ میزبان تشکیل شده اند. لامینه ها تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنز و شرایط تکتونیکی حاکم بر منطقه دچار چین خوردگی شده اند (شکل ۴-۳).

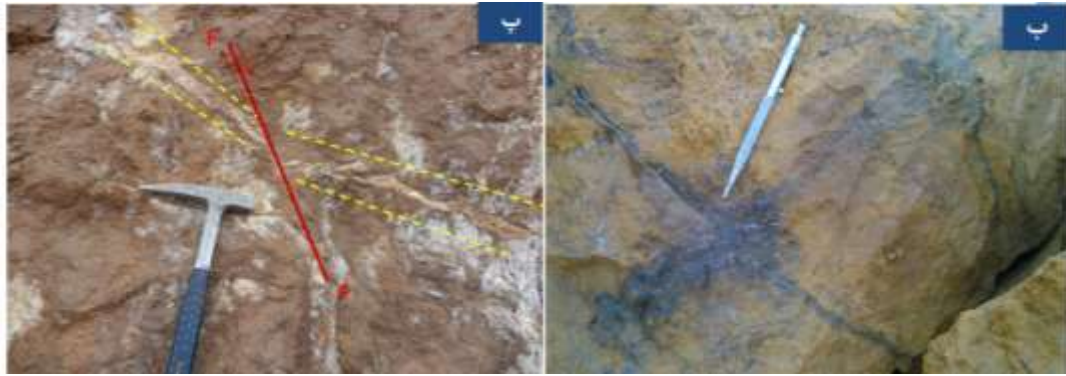




شکل ۳-۴: الف: تناوب لامینه‌های هماتیت و باریت. ب: تناوب لامینه‌های هماتیت و لیمونیت. پ: هماتیت و باریت به صورت دانه پراکنده در میزبان کربناته. ت: دانه مشکوک به طلا (نور انعکاسی) ت: هم رشدی باریت، هماتیت و لیمونیت در میزبان کربناته. ج: پیریت به صورت دانه پراکنده در میزبان کربناته (نور انعکاسی).

از طرفی فشارهای تکتونیکی و دیاژنز در منطقه باعث بالا رفتن فشار، حل شدن عناصر و ایجاد سیال و حرکت سیال شده که در نهایت منجر به پر شدن فضاهای خالی (شکاف‌ها و درزها) و ایجاد رگه-رگچه‌هایی از آهن و باریت به صورت اپی ژنتیک در سنگ میزبان شده است. بیشتر این شکاف‌ها و درزها همدیگر را قطع کرده و در محل تقاطع آنها کانه‌زایی آهن به همراه کلسیت صورت گرفته است (شکل ۴-۴). همچنین هماتیت به صورت ثانویه نیز از تبدیل مگنتیت طی پدیده مارتیتی شدن و اکسیداسیون پیریت‌ها تشکیل شده است.





شکل ۴-۴: الف: رگه- رگچه‌های هماتیت و الیژیست در میزبان کربناته. ب: کانه‌زایی آهن در امتداد درز و شکاف- های میزبان کربناته. پ: پرشدن شکاف‌ها به وسیله باریت و عملکرد گسل عادی که باعث جابه‌جایی رگه باریتی شده است.

کانه اصلی کانسار هماتیت می‌باشد که به صورت آهن سه ظرفیتی و در شرایط فوگاسیته اکسیژن بالا تشکیل شده است. در این کانسار علاوه بر هماتیت، الیژیست به عنوان یکی از پلی‌مورف- های هماتیت با جلای فلزی خوب و همچنین حالت پولکی به فراوانی و همراه با مگنتیت، گوتیت و پیریت یافت می‌شود.

در برخی از قسمت‌های کانسار زردکوه قشر نازکی از اکسیدهای آهن به صورت لایه رنگین‌کمانی با جلای فلزی تا فلزی براق و به رنگ قهوه‌ای متمایل به زرد (لیمونیت)، زرد متمایل به سبز، سبز متمایل به آبی و قهوه‌ای متمایل به سیاه (گوتیت) که سطوح شکستگی‌ها و نیز کانسنگ‌های آهن را می‌پوشانند. این نمونه‌ها در سطوح گسلی دیده می‌شوند به گونه‌ای که در این محیط‌ها، فشار باعث انحلال و حرکت آهن از میان شکاف‌ها و تشکیل قشر سطحی از اکسید آهن شده است (۴-۵).



شکل ۴-۵: لایه نازکی از اکسیدهای آهن در کانسار آهن زردکوه، ترکیبی از لیمونیت و گوتیت با برتری گوتیت.

۴-۳- دگرسانی

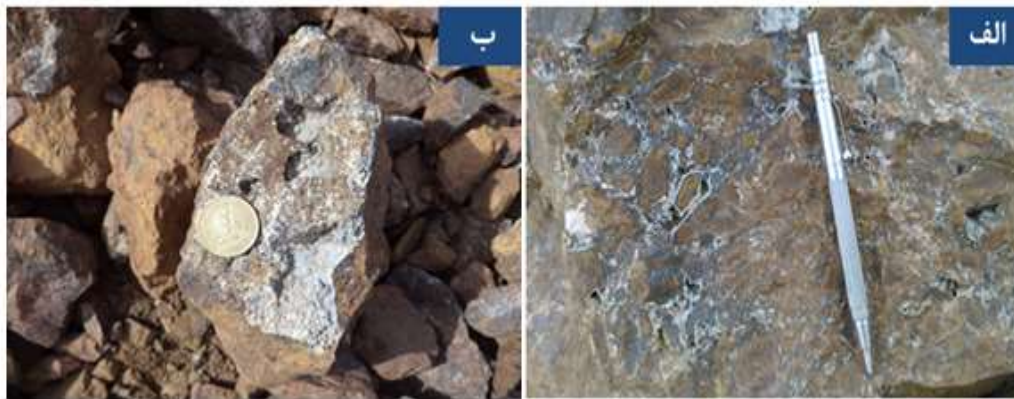
دگرسانی فرآیندی است که در طی آن در نتیجه مجاورت سنگ‌ها و کانی‌ها با محلول‌های گرم سنگ‌ها و کانی‌ها متحمل تغییرات کانی‌شناسی و شیمیایی می‌گردند. مؤثرترین عوامل در کنترل واکنش‌های دگرسانی؛ دما، فشار، ترکیب شیمیایی، رفتار دینامیکی سیال و میزان واکنش‌پذیری سنگ درونگیر می‌باشد. فرآیندهای دگرسانی و محصولات آنها، یکی از راه‌های شناسایی فرآیندهای مربوط به نحوه تشکیل کانسارها است (لنتز^۱ ۱۹۹۴). دگرسانی‌های موجود در کانسار آهن زردکوه شامل: دگرسانی‌های کربناتی، سیلیسی و دولومیتی شدن می‌باشد.

۴-۳-۱- دگرسانی کربناتی شدن و دولومیتی شدن

یکی از دگرسانی‌های رایج برای تشکیل انواع کانی‌های کربناته است که رایج‌ترین آنها کلسیت، آنکریت و دولومیت می‌باشد. کربناتی شدن حاصل واکنش میان سیال غنی از CO_2 و سنگ دیواره است (رید^۲، ۱۹۹۷). این پدیده در میزبان‌های کربناته امری عادی است به طوری که محلول‌های موجود در منطقه باعث حل شدن آنها شده و در اثر افزایش PH محلول، باعث رسوب کربنات کلسیم و

1-Lents
2-Reed

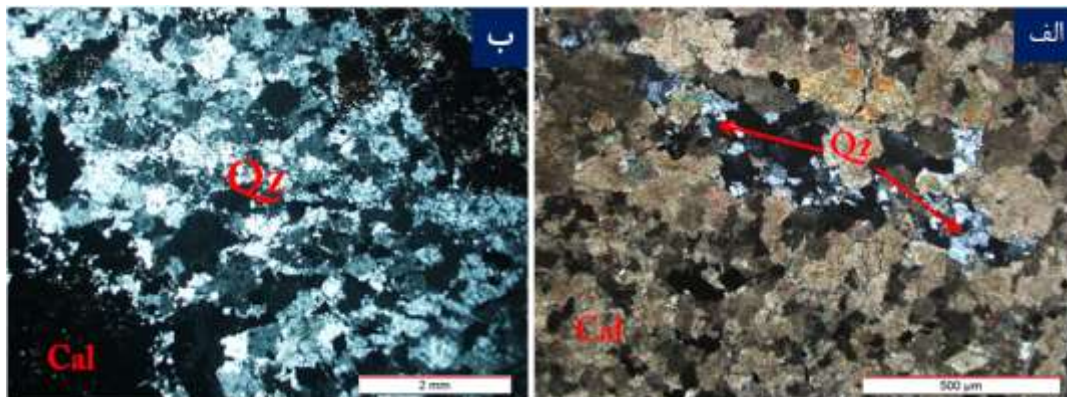
تشکیل کلسیت ثانویه می‌شود. دولومیتی شدن در نتیجه جایگزینی منیزیم به جای کلسیم در کربنات‌ها ایجاد می‌شود. سنگ میزبان کربناته منطقه مورد مطالعه در بعضی از قسمت‌ها به دلیل عملکرد فشارهای تکتونیکی و هوازدگی، دارای درز و شکاف‌هایی است که در اثر هجوم سیال غنی از کلسیم و آهن به وسیله کلسیم و اکسیدهای آهن و دولومیت پر شده است. این دگرسانی عمدتاً به صورت رگه-رگچه، پرکننده حفرات و گاهی در پهنه‌های برشی فضای بین قطعات برشی را پر کرده است (شکل ۴-۶).



شکل ۴-۶: الف- فضای بین قطعات برشی به وسیله کلسیت پر شده است. ب- پر شدن حفرات به وسیله کلسیت در میزبان کربناته.

۴-۳-۲- دگرسانی سیلیسی

افزایش مقدار درصد کوارتز و یا اکسیدهای سیلیس در سنگ را دگرسانی سیلیسی می‌گویند. سیلیسی شدن از دو راه صورت می‌گیرد: (۱) اضافه شدن SiO_2 به سنگ توسط محلول‌های گرمابی و یا ماگمایی (۲) بالا رفتن مقدار سیلیس به دلیل انحلال مواد دیگر سنگ (کریم پور، ۱۳۸۱). سیلیس در کانسار زردکوه در مقیاس نمونه دستی مشاهده نشده است و تنها از طریق مطالعات میکروسکوپی و نتایج XRD حضور سیلیس اثبات شده است. سیلیس در دید میکروسکوپی حفرات و شکستگی‌ها را پر کرده است (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۷: تصاویر میکروسکوپی الف- حفرات داخل آهک بلورین به وسیله سیلیس پر شده است (نور عبوری). ب- پر شدن فضای خالی به وسیله سیلیس در میزبان کربناته (نور عبوری).

۴-۴- پهنه های هوازده

پهنه‌های هوازده هماتی، لیمونیتی و سولفاتی در منطقه به طور گسترده مشاهده می‌شود.

۴-۴-۱- هماتی شدن

با توجه به فراوانی هماتیت در کانسار می‌توان نتیجه گرفت که تشکیل آن به صورت اولیه از سیال آهن‌دار بوده است. بنابراین بیشتر سنگ‌های میزبان به هماتیت آغشته شده‌اند. از طرفی در بعضی از قسمت‌های کانسار شدت هوازدگی به حدی است که اخری تشکیل شده است. هماتی شدن می‌تواند از حاشیه دانه‌های مگنتیت و در امتداد شکستگی‌ها، در نتیجه افت فشار و فرآیند مارتیتیزاسیون صورت گیرد (رامدور^۱، ۱۹۸۰) و گاهی نیز در اثر اکسیداسیون پیریت‌ها به وجود می‌آید (شکل ۴-۸).



شکل ۴-۸: آغشتگی به هماتیت در میزبان کربناته (دید به سمت غرب).

۴-۴-۲ - لیمونیتی شدن:

لیمونیتی شدن به صورت ثانویه و در اثر هوازدگی ایجاد شده است. لیمونیتی شدن تقریباً در بخش‌های کانی‌سازی شده به ویژه در قسمت‌های غربی و شرقی کانسار دیده می‌شود (شکل ۴-۹). هر جا تراکم شکستگی‌ها و ساختارهای تکتونیکی در منطقه بالا بوده لیمونیتی شدن بیشتر صورت گرفته، ضمن اینکه کانی‌سازی متأثر از عملکرد گسل‌ها نیست و لیمونیتی شدن با رنگ زرد آجری تا زرد متمایل به سفید قابل تشخیص است.



شکل ۴-۹: لیمونیتی شدن میزبان کربناته در کانسار آهن زردکوه.

۳-۴-۴- سولفاتی شدن

در نتیجه تأثیر آب‌های جوی بر روی کانی‌های سولفوری از جمله پیریت، گوگرد آزاد می‌شود که در اثر واکنش با سیال تشکیل اسید سولفوریک را می‌دهد. اسید حاصله بر روی سنگ‌های آهکی دولومیتی تأثیر گذاشته و سبب آزاد شدن کلسیم می‌شود و در نهایت در شرایط اکسیدان بنیان SO_4^{2-} با کلسیم آزاد شده تشکیل سولفات کلسیم (ژپس) می‌دهد. در کانسار آهن زردکوه به نظر می‌رسد در اثر عملکرد فرآیندهای هوازدگی و اسید سولفوریک ناشی از تجزیه پیریت‌ها، قشر سفید رنگی از ژپس و بلورهای ژپس به مقدار فراوان در سنگ‌آهک‌های واحد سوم تشکیل شده است (شکل ۴-۱۰).



شکل ۴-۱۰: تشکیل بلورهای ژپس در سنگ آهک‌های واحد سوم.

فصل ۵

کانی شناسی، ساخت و بافت و

توالی پارازنتیک

۵-۱- مقدمه

یکی از مراحل مهم در مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت و توالی پاراژنتیک است. بررسی کانی‌ها جهت تعیین نوع فازکانیایی و فراوانی آنها، ساخت و بافت به منظور تعیین رابطه فیزیکی بین ذرات کانی‌ها و توالی پاراژنتیک برای تعیین مراحل کانی‌سازی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار می‌باشد. برای رسیدن به این هدف ابتدا نمونه‌ها در مقیاس نمونه دستی، سپس میکروسکوپی و پراش اشعه ایکس (XRD) مطالعه می‌شوند. این فصل حاصل مطالعه تعداد ۳۵ مقطع نازک، ۲۳ مقطع صیقلی، ۵ مقطع نازک-صیقلی می‌باشد.

۵-۲- کانی شناسی

کانی‌های تشکیل دهنده کانسار آهن زردکوه در دو گروه کلی قابل تفکیک می‌باشند:

- کانه و کانی‌های فلزی که خود شامل دو گروه: (۱) - کانه‌های اصلی: هماتیت، مگنتیت، گوتیت، لیمونیت. (۲) - کانه‌های فرعی: پیریت و دانه‌های مشکوک به طلا.
- باطله‌ها شامل: باریت، کلسیت، دولومیت، آنکرایت، ژیپس و مسکویت.

۵-۲-۱- کانه‌های اصلی

کانه‌های اصلی در کانسار شامل: هماتیت، مگنتیت، گوتیت و لیمونیت. کانه‌های فرعی: پیریت و دانه‌های مشکوک به طلا.

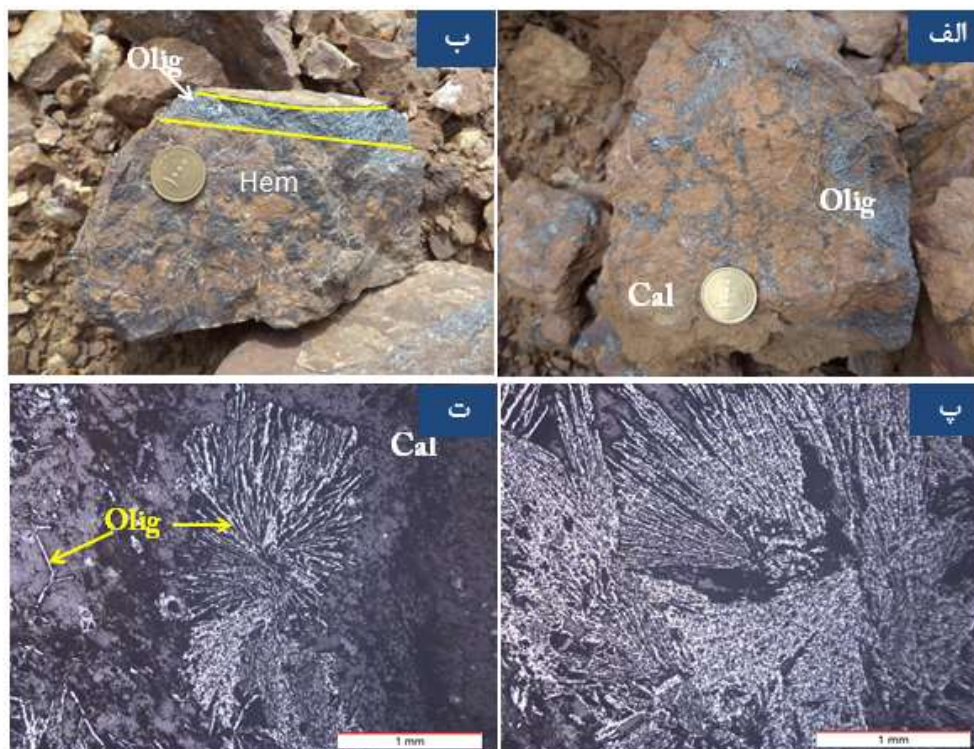
۵-۲-۱-۱- هماتیت Fe_2O_3

هماتیت در سیستم تریگونال متبلور می‌شود، انیزوتروپ و دارای انعکاس داخلی قرمز خونی و در نمونه دستی به رنگ قهوه‌ای مایل به قرمز تا سیاه و با رنگ خاکه قرمز روشن تا تیره دیده می‌شود. بیشتر بلورهای آن پهن، نازک تا ضخیم می‌باشد. اصلی‌ترین کانه موجود در کانسار آهن زردکوه می‌-

باشد و به طور گسترده با ساخت لایه‌ای مشاهده می‌شود. الیژیست نوع خاص، دما بالا و یا پلی مورف هماتیت است که به آن میکای هماتیتی نیز می‌گویند. الیژیست به صورت کاملاً براق با جلای فلزی و به صورت فلسی و ورقه‌ای به رنگ خاکستری در نمونه دستی مشاهده می‌شود. در کانسار آهن زردکوه، الیژیست به طور گسترده در کانسار تشکیل و به صورت تیغه‌ای، سوزنی، شعاعی، رگه- رگچه‌ای مشاهده شده است. به نظر می‌رسد که تشکیل هماتیت بیشتر به صورت اولیه و همزمان با رسوبگذاری (از سیال آهن‌دار) و کمتر ثانویه بوده است. به صورت اولیه نتیجه ترکیب Fe^{+2} حاصل از فرآیندهای برون‌دمی، با اکسیژن موجود در محیط بوده و به صورت ثانویه در نتیجه دگرسان شدن مگنتیت توسط آب‌های جوی اکسیدان و فرآیند مارتیتیزاسیون که در امتداد رخ‌ها و شکستگی‌ها رخ داده است. در اثر اکسیداسیون و تأثیر محلول‌ها، جانشین پیریت شده است به گونه‌ای که در بیشتر موارد پیریت‌ها به طور کامل تبدیل به هماتیت شده‌اند. اغلب با بافت‌های لامینه، دانه‌پراکنده، انواع جانشینی، رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، کلو فورمی و به صورت پوششی در اطراف یک هسته آهکی همراه با باریت مشاهده می‌شود (شکل‌های ۵-۱ و ۵-۲).



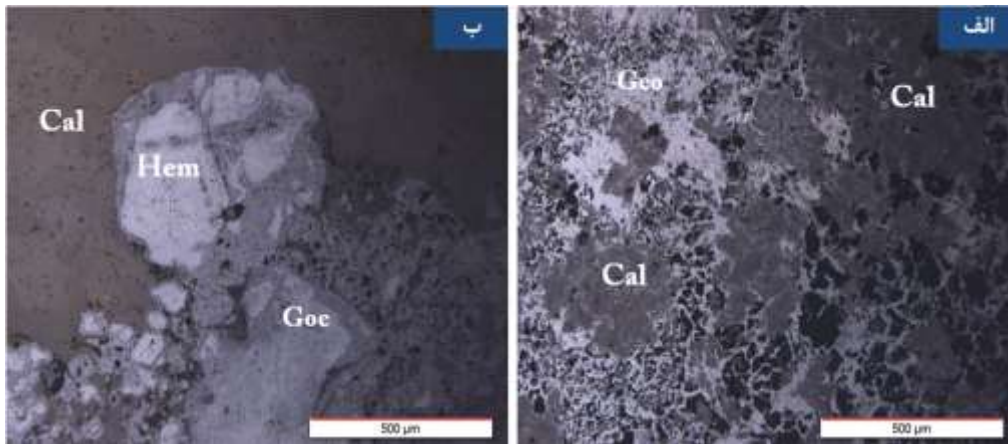
شکل ۵-۱: تصویر نمایی از رخنمون ماده معدنی به صورت اولیه در میزبان کربناته و قطع شدگی آنها در نتیجه عملکرد گسل‌های عرضی (دید به سمت شرق).



شکل ۵-۲: الف و ب: تصویر نمونه دستی از رگه- رگچه‌های الیژیست در میزبان کربناته. شکل پ- الیژیست با بافت شعاعی و جعبه‌ای در میزبان کربناته. ت- الیژیست با بافت شعاعی و سوزنی در میزبان کربناته. (الیژیست: Olig)

۵-۲-۱-۲-۵- گوتیت $FeO(OH)$

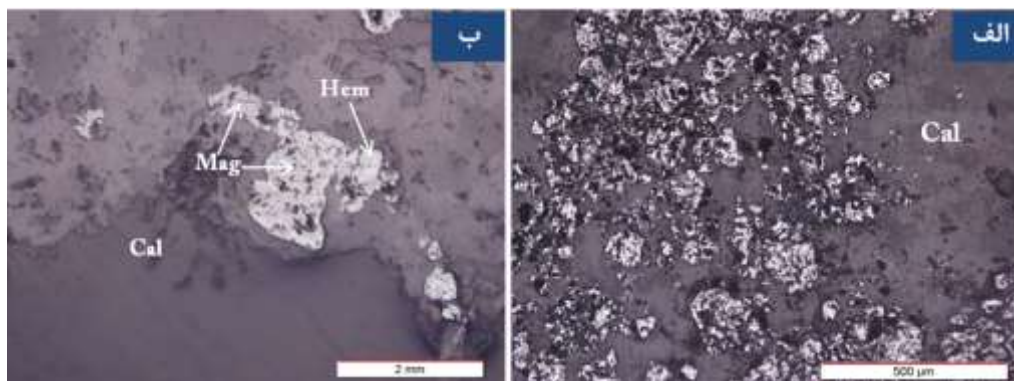
در سیستم ارتورومبیک متبلور می‌شود، رنگ آن سیاه یا سیاه مایل به قهوه‌ای و قهوه‌ای مایل به زرد است، شدت بازتابش ضعیف و سختی کمتری نسبت به هماتیت دارد. بعد از هماتیت و الیژیست فراوان‌ترین کانه اکسید آهن است که به طور معمول محصول تجزیه و هوازدگی کانی‌های آهن‌دار، به ویژه هماتیت، پیریت و مگنتیت می‌باشد، و تمرکز آن بیشتر در بخش‌های اکسیدان و سطحی کانسار می‌باشد. به عقیده رامدور (۱۹۸۰) کانی‌های سولفیدی در اثر انحلال و اکسیداسیون دچار تغییراتی می‌شوند یعنی یون گوگرد آن‌ها از محیط خارج و هیدروکسیدهای آهن برجای می‌ماند. در مقاطع مورد بررسی کانسار آهن زردکوه، گوتیت از اکسیداسیون پیریت و هماتیت تشکیل و با بافت‌های جان‌شینی و داربستی و عمدتاً بی‌شکل مشاهده می‌شود (شکل ۵-۳).



شکل ۳-۵: الف- گوتیت با بافت داربستی در میزبان کربناته. ب- هماتیت در حال تبدیل شدن به گوتیت در میزبان کربناته.

۵-۲-۱-۳- مگنتیت Fe_3O_4

از جمله کانی‌های اکسید آهن است که در سیستم کوبیک متبلور می‌شود، سطح شکست صدفی تا ناصاف، رنگ سیاه و جلای فلزی و خاصیت شدید مغناطیسی از ویژگی‌های آن در نمونه دستی است. مگنتیت در کانسار آهن زردکوه در مقیاس نمونه دستی مشاهده نشده اما در نمونه‌های میکروسکوپی به صورت دانه پراکنده همراه هماتیت و به صورت اولیه، با رنگ خاکستری متمایل به صورتی دیده می‌شود. بر اساس نسه^۱(۲۰۱۱)، اصطلاح مارتیت برای هماتیت‌هایی است که از مگنتیت به وجود می‌آیند و نوع خاصی از پدیده جانشینی است که در طی آن مگنتیت در امتداد سطوح (۱۱۱) توسط هماتیت جانشین می‌شود. با توجه به مطالعات میکروسکوپی، چنین به نظر می‌رسد که اکثر مگنتیت‌ها در نتیجه اکسیداسیون و پدیده جانشینی تبدیل به هماتیت شده‌اند (شکل ۵-۴).



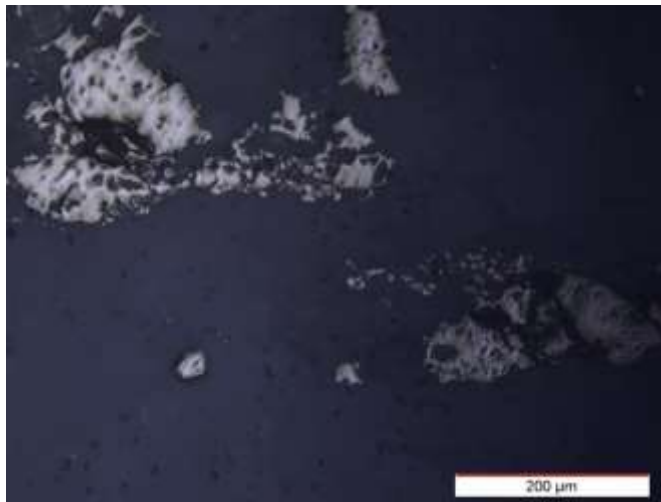
شکل ۴-۵: الف- مگنتیت به صورت پراکنده در میزبان کربناته. ب- مگنتیت در حال تبدیل شدن به هماتیت (مارتیتی شدن) در میزبان کربناته.

۴-۱-۲-۵- لیمونیت $FeO \cdot OH \cdot nH_2O$

اکسید آهن آبداری است که در قسمت‌های سطحی، درزه‌ها و شکاف‌های پهنه اکسیدان به رنگ زرد تا قهوه‌ای و نیز پودر مانند دیده می‌شود. این کانی اکسیدی آهن از تجزیه هماتیت و مگنتیت به دست می‌آید. رنگ زرد آن در نمونه دستی، تشخیص آن را بی‌نیاز از مطالعات دقیق‌تر می‌کند و به آسانی در پیمایش‌های صحرایی قابل تشخیص است. واحد سوم سازند پادها به دلیل آغستگی به لیمونیت نه تنها در محدوده کانسار بلکه در مناطق اطراف، به رنگ زرد لیمویی دیده می‌شود و نام ارتفاعات کوه زرد نیز از این واقعیت گرفته شده است.

۵-۱-۲-۵- پیریت FeS_2

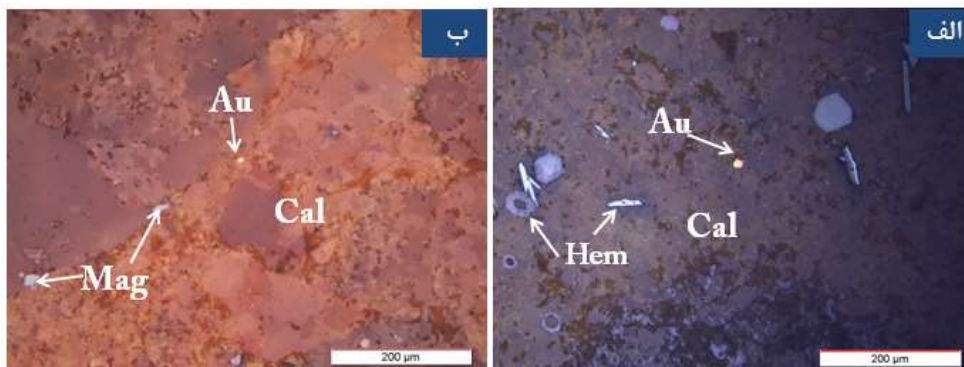
در سیستم کوبیک متبلور می‌شود، تقریباً جزء سخت‌ترین سولفیدهاست، سطح شکست صدفی و ناصاف، جلای فلزی و رنگ زرد برنجی کمرنگ دارد. در اثر تجزیه به اکسید و هیدروکسیدهای آهن تجزیه می‌شود. در کانسار آهن زردکوه فراوان‌ترین کانی سولفیدی است که به صورت شکل‌دار، نیمه شکل‌دار، پراکنده و پرکننده شکاف‌ها با هماتیت در تمام قسمت‌های کانسار حتی در واحدهای اول و دوم نیز یافت می‌شود. در اکثر مقاطع دیده می‌شود و مشکوک به حضور طلا در ساختارشان هستند. در اثر هوازدگی و دگرسانی به مقدار زیادی تبدیل به اکسید و هیدروکسیدهای آهن شده‌اند (شکل ۵-۵).



شکل ۵-۵: پیریت به صورت پراکنده در میزبان کربناته.

۵-۲-۱-۶- طلا (Au)

در کانسار آهن زردکوه احتمالاً به صورت ذرات ریز و دانه پراکنده و به مقدار بسیار کم در دید میکروسکوپی تشخیص داده شد، اما جهت حصول اطمینان بیشتر چندین نمونه به روش‌های جذب اتمی و ICP-MS مورد آنالیز قرار گرفت که نتایج آنها حضور طلا را نشان می‌دهد. احتمالاً طلا در این کانسار همراه با اکسیدهای آهن و به صورت اولیه ته نشین شده است (اشکال ۵-۶).



شکل ۵-۶: الف و ب- ذرات طلا همراه با اکسیدهای آهن در میزبان کربناته.

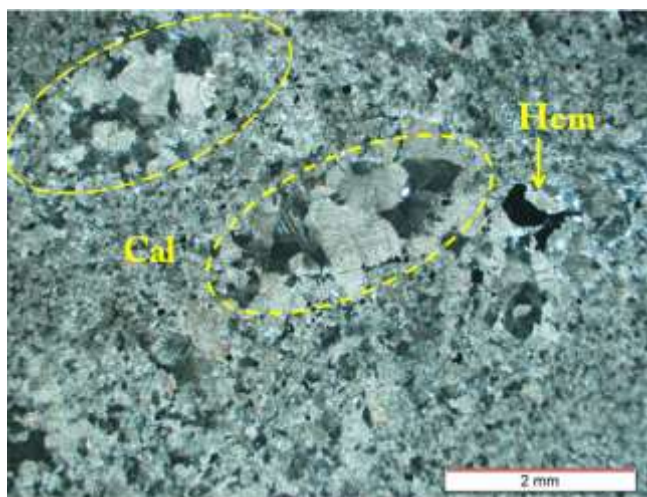
۵-۲-۲- کانی‌های باطله

کانی‌های باطله به کانی‌های مزاحم و همراه کانسنگ گفته می‌شود که ضمن استخراج کانه، می-

بایست از آن جدا شوند. کانی‌های باطله در کانسار آهن زردکوه شامل کلسیت، دولومیت، آنکریت، باریت، کوارتز، ژیپس و مسکویت می‌باشد.

۵-۲-۲-۱- کلسیت CaCO_3

فراوان‌ترین باطله در کانسار آهن زردکوه است، که به صورت توده‌ای، لایه‌ای و رگه‌های ثانویه دیده می‌شود، این کانی در سیستم تریگونال متبلور می‌شود، ترد و شکننده و سطح شکست صدفی دارد، اغلب سفید، بی‌رنگ، سبز، زرد، آبی است. در اسیدها، با ایجاد گاز CO_2 حل می‌شود، در زیر میکروسکوپ بی‌رنگ با برجستگی ضعیف تا متوسط، و با بی‌فرنژانس فوق‌العاده قوی دیده می‌شود. این کانی از فراوان‌ترین کانی‌ها در سنگ‌های رسوبی و دگرگونی است و در سنگ‌های آذرین بیرونی به صورت ثانویه تشکیل می‌شود در کانسار زردکوه فراوان و میزبان ماده معدنی است. اکثر رگه‌های ثانویه آن در اثر آغشتگی با اکسیدهای آهن تغییر رنگ داده‌اند و به رنگ قهوه‌ای و سیاه دیده می‌شوند و در شکاف‌ها در اثر فرآیندهای دیاژنز، تبلور مجدد یافته است (شکل ۵-۷).

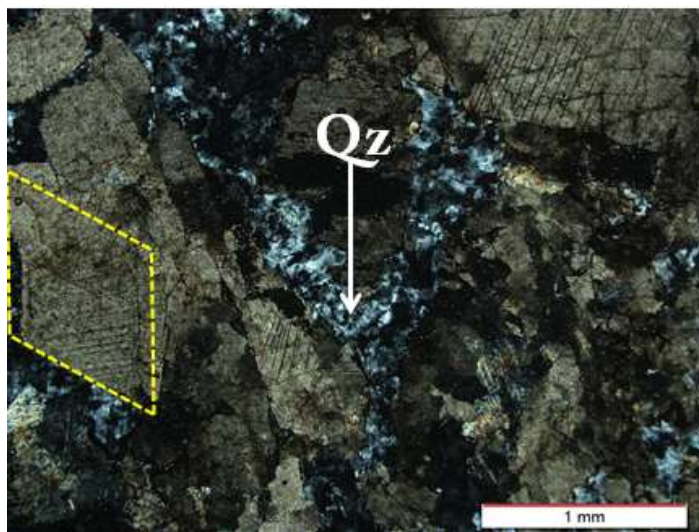


شکل ۵-۷: تبلور مجدد کلسیت درون فضاهای خالی سنگ میزبان در اثر فرآیند دیاژنز.

۵-۲-۲-۲- دولومیت و آنکریت $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ و $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$

دولومیت از فراوان‌ترین کانی‌های رسوبی است که بیشتر به صورت ثانویه و در اثر جانشینی

منیزیم به جای کلسیم در سنگ‌های آهکی به وجود می‌آید. در سیستم تریگونال متبلور می‌شود، سطح شکست تقریباً صدفی، جلای شیشه‌ای دارد، در اسید کلریدریک سرد به آسانی حل نمی‌شود و تنها به صورت پودر با اسید حل می‌شود. در کل درجه انحلال آن کمتر از کلسیت است. در کانسار آهن زردکوه فراوان است و بیشتر حفرات را همراه با کوارتز پر کرده است در دید میکروسکوپی به شکل بلورهای اتومورف و گاهی اتومورف لوزی شکل و به صورت دانه‌ریز تا دانه‌درشت دیده می‌شود (اشکال ۵-۸).



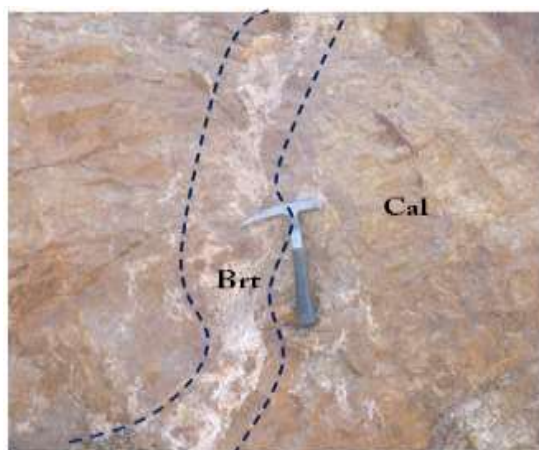
شکل ۵-۸: دولومیت به صورت لوزی شکل و کوارتز به صورت پرکننده فضای خالی در سنگ میزبان کربناته.

آنکریت در نهشته‌های آهن‌دار فراوان است ممکن است در اثر جانشینی آهن در سنگ‌های آهکی و دولومیتی به وسیله محلول‌های گرم آهن‌دار به وجود آید، در کل ساختاری مشابه دولومیت دارد با این تفاوت که به جای منیزیم آن، آهن جانشین شده است. در کانسار زردکوه تنها از طریق آنالیز XRD آنکریت شناسایی شد.

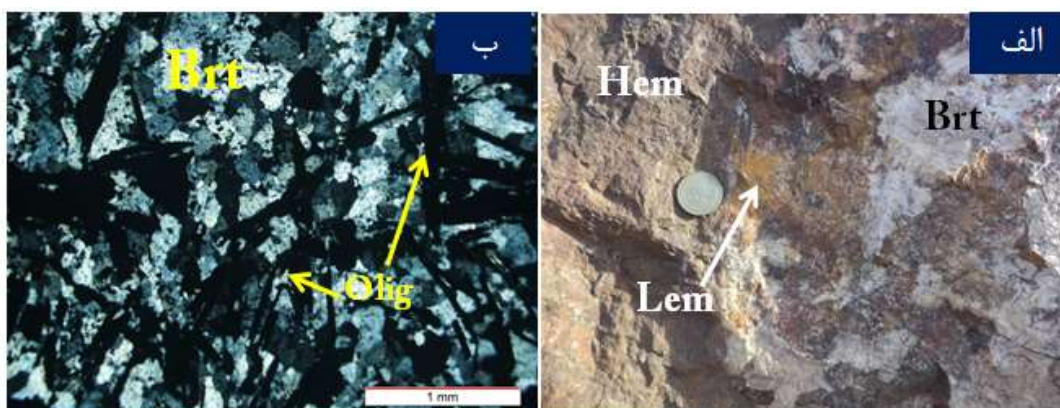
۵-۲-۳- باریت $BaSO_4$

بعد از کلسیت و دولومیت فراوان‌ترین باطله در کانسار آهن زردکوه است. این کانی در سیستم ارتورومبیک متبلور می‌شود، سطح شکست ناصاف، جلای شیشه‌ای دارد، بی‌رنگ و یا به رنگ‌های

سفید مایل به آبی، زرد و قرمز هم دیده می‌شود. در دید میکروسکوپی بی رفرنزانس ضعیف داشته و به رنگ‌های زرد و نارنجی دیده می‌شود. در کانسار زردکوه باریت به صورت رگه- رگچه‌ای در شکستگی‌ها و به شکل متراکم در حفره‌های سنگ‌های آهکی و همین طور به صورت لامینه از تناوب با هماتیت تشکیل شده است. به صورت هم‌رشد با کلسیت، دولومیت و هماتیت نیز مشاهده می‌شود (اشکال ۵-۹ و ۱۰-۵) حضور کانی‌سازی باریت به همراه کانه‌زایی آهن هماتیته در منطقه نشان از یک فاز کانه‌زایی مستقل از آهن در منطقه است که نشان دهنده حضور یک سیال اولیه است که پس از فراهم شدن شرایط مناسب هم‌زمان با هماتیت کانه‌زایی باریت نیز صورت گرفته است.



شکل ۵-۹: باریت به صورت رگه- رگچه‌ای در میزبان کربناته.

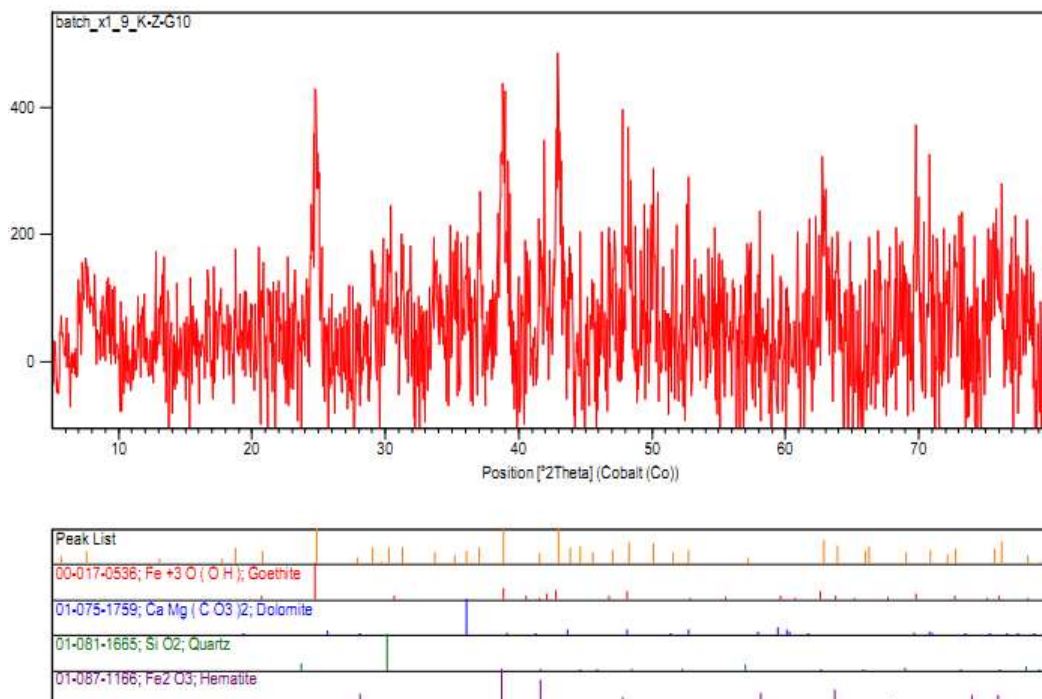


شکل ۵-۱۰: الف- تصویر صحرایی از هم‌رشدی باریت با اکسیدهای آهن در میزبان کربناته. ب- باریت همراه با

الیژیست (در نور عبوری).

۵-۲-۴- کوارتز SiO_2

نوع دما پایین آن در سیستم تریگونال و نوع دما بالای آن در سیستم هگزاگونال متبلور می‌شود، سطح شکست صدفی دارد. معمولاً در نمونه‌های خالص، بی‌رنگ است و به واسطه مواد دیگر به رنگ‌های متفاوت دیده می‌شود. در کانسار آهن زردکوه، بر اساس نتایج آنالیز XRD و مطالعات میکروسکوپی در واحد سوم سازند پادها تشخیص داده شد (شکل ۵-۱۱). به صورت تخریبی و ثانویه در میزبان آهنی و همراه با مسکویت و اکسیدهای آهن به صورت پرکننده فضاهای خالی دیده می‌شود، مقدار آن به سمت واحد دوم سازند پادها به حدی است که این قسمت‌ها ترکیبی هیبریدی از ماسه و آهن دارند. در کل کوارتزهای موجود در کانسار بیشتر به صورت ثانویه (محلول سیلیسی که حفرات را پر کرده است) و هم‌رشد همراه با اکسیدهای ثانویه آهن در کربنات‌ها دیده می‌شوند.



شکل ۵-۱۱: نمودار حاصل از آنالیز XRD یک نمونه از کانسنگ کانسار آهن زردکوه که نشان دهنده حضور کوارتز به همراه گوتیت، دولومیت و هماتیت می‌باشد.

۵-۲-۲-۵- ژیپس $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$

در سیستم مونوکلینیک متبلور می‌شود، توده‌ای و رشته‌ای با جلای ابریشمی مشاهده می‌شود. با بلورهای شفاف تا نیمه‌شفاف، بی‌رنگ اما بیشتر به رنگ‌های سفید، خاکستری، زرد، قهوه‌ای و قرمز دیده می‌شود. از فراوان‌ترین سولفات‌هاست که به صورت گوناگون در سنگ‌های رسوبی دیده می‌شود، در کانسار آهن زردکوه به صورت بلورهای نیمه‌شفاف و بی‌رنگ و رشته‌ای و گاهی به صورت پوشش سفید رنگی بر روی آهک‌ها دیده می‌شود. چنین تصور می‌شود که از انحلال کربنات‌ها، ناشی از عملکرد اسید سولفوریک حاصل از تجزیه پیریت‌ها و هوازدگی به وجود آمده‌اند (شکل ۵-۱۲).



شکل ۵-۱۲: بلورهای ژیپس به صورت رشته‌ای بر روی سطوح شکستگی در میزبان کربناته.

۵-۲-۲-۶- مسکویت $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$

در سیستم مونوکلینیک متبلور می‌شود، جلای شیشه‌ای، ابریشمی و مرواریدی به همراه لایه شفاف به رنگ‌های زرد، قهوه‌ای، سبز روشن و بی‌رنگ از ویژگی آن در نمونه دستی است. در نور طبیعی بی‌رنگ است، بیرفرئانس آن به نسبت زیاد است و در صورت وجود آهن زیادتر هم می‌شود، اغلب همراه سنگ‌های آذرین اسیدی است و به ندرت به صورت ذرات تخریبی در سنگ‌های رسوبی تخریبی دیده می‌شود. در کانسار آهن زردکوه به صورت ذرات تخریبی در دید میکروسکوپی و داخل آهک میزبان مشاهده گردید.

۵-۳- ساخت و بافت

مجموعه‌ای از ویژگی‌های سنگ‌ها که قابل تشخیص بر روی زمین و یا در نمونه دستی باشد، ساخت و ارتباطی که بین کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ، از نظر شکل، اندازه، طرز قرار گرفتن و ... وجود دارد بافت نامیده می‌شود. مهمترین ساخت‌ها و بافت‌های مشاهده شده در کانسار آهن زردکوه به شرح زیر می‌باشد:

۵-۳-۱- ساخت لایه‌ای

یکی از ساخت‌هایی که شرایط رسوبی اولیه را نشان می‌دهد ساخت لایه‌ای است که نشان‌دهنده همزمان بودن تشکیل ماده معدنی و سنگ میزبان است. در قسمتی‌هایی از کانسار زردکوه ساخت لایه-ای و هم‌روندی و هم‌شیب بودن با طبقات سنگ میزبان کاملاً مشهود است که عمدتاً از لایه‌های متوالی هماتیت و باریت تشکیل شده‌اند. به دلیل شرایط تکتونیکی شدیدی که در منطقه حاکم بوده دچار جابه‌جایی و خردشدگی به وسیله گسل‌های عرضی شده است که سبب بهم ریختگی شکل لایه-ای آن شده است (شکل ۵-۱۳).



شکل ۵-۱۳: ماده معدنی با ساخت لایه‌ای هم‌شیب و هم‌روند با واحد آهک دولومیتی (دید به سمت غرب).

۵-۳-۲- ساخت برشی

در نتیجه حرکات تکتونیکی، ماده معدنی و یا سنگ‌های دربرگیرنده آن خرد شده‌اند سپس به

یکدیگر سیمان و یا اینکه رشد بیشتری پیدا کرده‌اند. در کانسار زردکوه، سنگ میزبان ماده معدنی به شدت خرد شده و در اثر تحرک مجدد سیال (آب‌های جوی)، ماده معدنی در فضاهای حاصل از خرد شدن، تمرکز پیدا کرده‌اند و ساخت برشی در میزبان کربناته را به وجود آورده است (شکل ۵-۱۴).



شکل ۵-۱۴: برشی شدن در میزبان کربناته، که هماتیت قطعات کربناته را در بر گرفته است.

۵-۳-۳ - ساخت رگه - رگچه‌ای

در این ساخت ماده معدنی درون شکاف‌ها ته‌نشین می‌شوند. کانی‌شناسی رگه و رگچه‌ها کاملاً مشابه با کانی‌های موجود در متن سنگ بوده و اغلب از جنس باریت، هماتیت و الیژیست می‌باشد. در کانسار زردکوه باریت و هماتیت شبکه‌ای از رگه و رگچه‌ها را تشکیل داده‌اند (شکل ۵-۱۵)، در برخی از قسمت‌های کانسار، باریت در داخل شکستگی‌ها در اثر تحرک مجدد عناصر ایجاد و در اثر حرکت گسل‌ها، جابه‌جا شده است. حضور هماتیت و باریت رگه- رگچه‌ای معرف تحرک آهن و باریت بعد از دیاژنز و تحت تأثیر محلول‌های جوی و کانه‌زایی اپی ژنتیک می‌باشد.



شکل ۵-۱۵: الف و ب-رگه-رگچه‌های البیژیست و هماتیت در میزبان کربناته.

۵-۳-۴- ساخت انحلالی :

این ساخت در نتیجه هوازدگی و انحلال بخش‌هایی از سنگ‌های کربناته ایجاد می‌شود. در کانسار زردکوه فرآیندهای هوازدگی باعث انحلال قسمت‌های کربناته و اکسیدهای آهن همراه آن شده است (شکل ۵-۱۶).



شکل ۵-۱۶: تصویری از ساخت انحلالی در سنگ میزبان کربناته.

۵-۴- بافت

۵-۴-۱- بافت لامینه (Lamination texture):

یکی از بافت‌هایی که شرایط رسوبی اولیه را نشان می‌دهد، بافت لامینه است. شکل (۵-۱۷)، نمونه‌ای از لامینه‌های موجود در کانسار را نشان می‌دهد که بیشتر از باریت (بخش‌های سفید رنگ) و

هماتیت (بخش‌های سیاه رنگ) تشکیل شده‌اند. گرچه لامینه‌های متناوبی از لیمونیت (بخش‌های زرد رنگ) و هماتیت (بخش‌های سیاه رنگ) نیز در کانسار آهن زردکوه مشاهده شده است اما بیشتر لامینه‌ها ترکیبی از هماتیت و باریت داشتند، که در نتیجه فشارهای تکتونیکی و فرآیند دیاژنز حالت ممتد خود را از دست داده‌اند.



شکل ۵-۱۷: الف- تناوبی از لامینه‌های هماتیت (سیاه رنگ) و باریت (سفید رنگ) در میزبان کربناته. ب- تناوبی از لامینه‌های هماتیت (سیاه رنگ) و لیمونیت (زرد رنگ) در میزبان کربناته.

۵-۴-۲- بافت دانه پراکنده (Disseminated texture):

یکی از بافت‌هایی که شواهد زایشی بسیار ارزشمندی را در اختیار می‌گذارد، بافت دانه پراکنده است این بافت نشان‌دهنده نهشت اولیه ماده معدنی در حین رسوب‌گذاری همراه با دیگر ذرات تشکیل دهنده سنگ میزبان می‌باشد. به عبارت دیگر این بافت نشان‌دهنده همزمانی تشکیل و تبلور کانه‌ها با کانی‌های سنگ درونگیر خود است. در کانسار آهن زردکوه این بافت در تمام سنگ‌های درونگیر افق کانه‌دار (واحد سوم) دیده می‌شود. به گونه‌ای که دانه‌های پراکنده‌ای از اکسیدهای آهن در متن آهک دولومیتی دیده می‌شود (شکل ۵-۱۸).



شکل ۵-۱۸: تصویر صحرایی از هماتیت و باریت به صورت پراکنده در میزبان کربناته.

۵-۴-۳- بافت پرکننده فضای خالی (open space filling texture)

این بافت در مناطق کم‌ژرفا متداول است چرا که در این مناطق سنگ‌ها شکننده‌اند و جنبش‌های زمین‌ساختی را عموماً با پذیرش شکستگی پاسخ می‌دهند، به گونه‌ای که حفرات و شکستگی‌ها در این مناطق به دلیل فشار کمی که از سنگ‌های دربرگیرنده وارد می‌شود، توسعه بیشتری داشته‌اند. بنابراین سیالات کانه‌دار گردش نسبتاً آزادی دارند و درون فضاهای خالی سنگ میزبان ته‌نشین می‌شوند (گیلبرت و پارک، ۱۹۹۷). در کانسار مورد مطالعه اکسیدهای آهن، منگنز و باریت فضاهای خالی ناشی از فرآیندهای تکتونیکی و دیاژنتیکی را پر کرده‌اند (شکل ۵-۱۹).



شکل ۵-۱۹: تشکیل گوتیت در حاشیه شکستگی‌های موجود در سنگ میزبان کربناته.

۵-۴-۴- بافت جانیشینی:

جانیشینی ممکن است از هر شکاف کوچک یا حاشیه و مرز دانه‌ها به اطراف گسترش

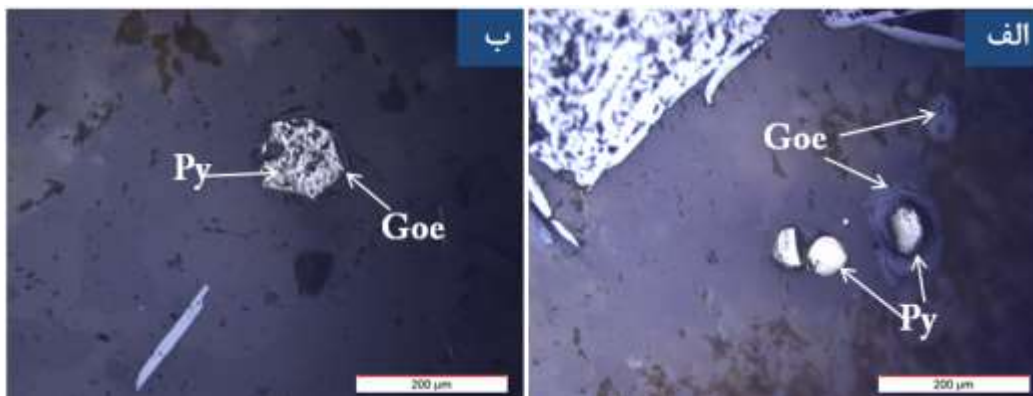
یابد (گیلبرت و پارک، ۱۹۹۷). این بافت از بافت‌های ثانویه در کانسار آهن زردکوه است که به پنج صورت زیر دیده شده است:

۱-۴-۴-۵- بافت جانشینی شبکه‌ای (Network replacement texture)

این نوع بافت زمانی ایجاد می‌شود که کانی میزبان دارای رخ مشخص باشد، هر چه تعداد رخ بیشتر باشد، این بافت توسعه بیشتری خواهد داشت. در کانسار مورد مطالعه جانشینی هماتیت در امتداد رخ‌های دولومیت و کلسیت صورت گرفته است.

۲-۴-۴-۵- بافت جانشینی برجای مانده (Relict texture)

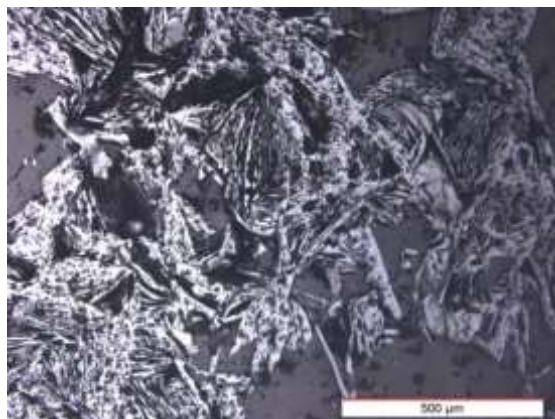
یعنی یک کانی توسط یک کانی دیگر جانشین شود به طوری که کانی ثانویه شکل کانی اصلی را حفظ کند. گوتیت از حاشیه بلور به سمت مرکز، جانشین کانی سولفیدی پیریت شده است (شکل ۵-۲۰) و اگر میزان اکسیداسیون پیریت بیشتر باشد این بافت توسعه بیشتری می‌یابد.



شکل ۵-۲۰: الف- دانه‌های پیریت در حال تبدیل شدن به گوتیت و ایجاد بافت برجای مانده در پیریت‌ها. ب- پیریت از حاشیه در حال تبدیل شدن به گوتیت.

۳-۴-۴-۵- بافت جعبه‌ای (Boxwork texture)

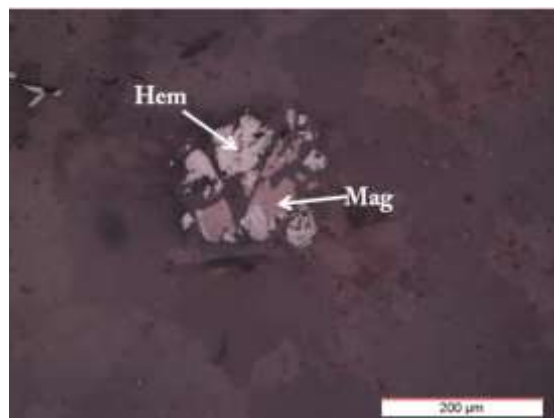
در این بافت، حفرات جعبه مانند می‌باشند و به وسیله هماتیت و گوتیت پر شده‌اند. در منطقه مورد مطالعه حفراتی که در نتیجه تجزیه و انحلال سنگ به وجود آمده‌اند به وسیله هماتیت و گوتیت پر شده است (شکل ۵-۲۱).



شکل ۵-۲۱: بافت تیغه‌ای که در مجموع بافت جعبه‌ای را به وجود آورده‌اند (در نور انعکاسی).

۵-۴-۴-۴-۵ - مارتیتیزاسیون (Martitization)

جانشینی مگنتیت، توسط هماتیت را مارتیتیزاسیون می‌گویند. در نمونه‌های مطالعه شده، دانه‌های مگنتیت از حاشیه و در امتداد شکستگی‌ها و سطوح رخ در حال تبدیل شدن به هماتیت می‌باشند به گونه‌ای که در بعضی مقاطع لکه‌هایی از مگنتیت در مرکز باقی‌مانده و گاهی مگنتیت به طور کامل به هماتیت تبدیل شده است (شکل ۵-۲۲).



شکل ۵-۲۲: تصویر میکروسکوپی مارتیتی شدن یا جانشینی هماتیت به جای مگنتیت.

۵-۴-۵ - بافت کلوفرمی (Colloform texture)

در تشکیل این بافت اغلب هماتیت و گوتیت نقش دارند (شکل ۵-۲۳). این بافت در نتیجه ته نشینی محلول‌های کلوئیدی در محیط‌های سطحی حاصل می‌شود.



شکل ۵-۲۳: تصویر میکروسکوپی از هماتیت و گوتیت با بافت کلوفورمی در سنگ میزبان کربناته.

۵-۵- توالی پاراژنتیک

اگرچه با بررسی رخنمون‌ها و مغزه‌های حفاری می‌توان اطلاعات زیادی در مورد کانسار به دست آورد اما مطالعه توالی کانی‌ها عملاً به میکروسکوپ محدود می‌شود. بنابراین برای تعیین ترتیب زمانی نهشت کانی‌ها در یک کانسار توالی پاراژنتیکی آن کانسار به طور دقیق از طریق بررسی بافت‌ها و ساخت‌های میکروسکوپی انجام می‌شود. در ادامه ضمن شرح مراحل تشکیل و تکوین کانسار آهن زردکوه، جدول توالی پاراژنتیک کانی‌ها از نظر زمانی، بافت و ساخت در جدول (۵-۱) آورده می‌شود.

۵-۵-۱- مراحل تشکیل و تکوین کانسار آهن زردکوه

بر اساس شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، در اثر فعالیت‌های آتشفشانی زیردریایی که در زمان دونین در ایران رخ داده است، عناصر مختلفی از جمله آهن به صورت کاتیون دو ظرفیتی سیلیسیوم، باریم، منگنز و دیگر کاتیون‌ها وارد حوضه رسوبی شده‌اند. در بخش‌های احیایی حوضه، آهن توانسته با گوگرد آب دریا ترکیب و پیریت را بسازد.

سپس بخش دیگر آهن به وسیله جریان‌های بالارونده به سمت مناطق کم‌عمق‌تر حرکت کرده و در حضور اکسیژن و آب تبدیل به اکسید و هیدروکسیدهای آهن از قبیل هماتیت، به مقدار کمتر مگنتیت به همراه سایر عناصر موجود در آب دریا شده است. در کانسار زردکوه، وجود ساخت لایه‌ای

هم‌روند و هم‌شیب با طبقات دربرگیرنده و بافت‌های لامینه‌ای متشکل از هماتیت، باریت و بافت دانه-پراکنده در ابعاد مختلف، که دانه‌های هماتیت، باریت، پیریت و به مقدار کمی طلا در میزبان آهنی همگی معرف تشکیل همزمان با رسوبگذاری کربنات‌ها (سنگ میزبان) است.

سپس فرآیندهای دیاژنتیک که بلافاصله بعد از رسوب‌گذاری آغاز می‌شوند، باعث تراکم رسوبات و خارج شدن آب بین‌سازندی شده که این خروج آب باعث تحرک عناصری از قبیل آهن، باریت، منگنز و ... شده که در اثر آن، نسل دوم از اکسیدهای آهن، باریت و منگنز به همراه سیلیس و کلسیت دچار تبلور مجدد تشکیل شده‌اند. همچنین برخی از رگه-رگچه‌ها نیز در این مرحله تشکیل شده‌اند. فرآیندهای دیاژنتیکی و نتایج حاصل از آنها بسیار متنوع است و می‌تواند در تجمع اقتصادی کانه نیز مؤثر باشد. در کانسار زردکوه: تشکیل هماتیت، گوتیت، پیریت و وجود بافت‌های پرکننده فضاهای خالی، رگه-رگچه‌هایی از اکسیدهای آهن و باریت، رشد مجدد دولومیت، کلسیت و کوارتزها در فضاهای باز، مربوط به مرحله دیاژنز و بعد از آن می‌باشند

بعدها افق ماده معدنی تحت تأثیر فرآیندهای تکتونیک حاکم بر منطقه قرار گرفته و از محل اولیه خود جابه‌جا شده‌اند. از طرفی لامینه‌های هماتیت و باریت، هماتیت و لیمونیت حالت ممتد خود را از دست داده و در برخی نقاط دچار چین خوردگی نیز شده‌اند، همچنین در این مرحله فضای مناسب برای تشکیل ساخت رگه-رگچه‌ای نیز فراهم شده است.

در نهایت فرآیندهای هوازدگی و سوپرژن باعث شستشوی میزبان کربناته و سولفیدها شده است. در کانسار زردکوه، تحت این شرایط بسیاری از پیریت‌ها، اکسید و تبدیل به هماتیت و گوتیت شده‌اند. بافت‌های کلو فورمی، داربستی، مارتیتی و برجای مانده مربوط به این مرحله می‌باشند و انحلال قسمت‌هایی از این واحد هنوز هم ادامه دارد.

جدول ۵-۱: توالی پاراژنتیکی در کانسار آهن زردکوه

Stage Mineral		Exhalative- Sedimentary	Diagenesis	Deformation (Mineralization veins – veinlet)	Weathering
Hematite		██████████	██████████	██████████	
Oligiste		██████████	██████████	██████████	
Magnetite		██████████			
Goethite			██████████		██████████
Limonite			██████████		██████████
Barite		██████████		██████████	
Pyrite		██████████	██████████		
Gold		██████████			
Gypsum					██████████
Calcite		██████████	██████████		
Quartz			██████████	██████████	
Dolomite			██████████	██████████	
Textures & Structure	Banded	██████████			
	Breccia			██████████	
	Vein- Veinlet	██████████		██████████	
	Dissolution				██████████
	Disseminated	██████████			
	Open Space- filling		██████████	██████████	
	Replacement		██████████		
	Chloroform				██████████

فصل ۶

ژئوشیمی

۶-۱- مقدمه

علم ژئوشیمی با توزیع و مهاجرت عناصر شیمیایی در درون زمین و در ابعاد زمان و مکان سروکار دارد (میسون و مور^۱، ۱۹۸۲). توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی هر منطقه و ارتباط این عناصر با یکدیگر یکی از مهمترین مواردی است که معمولاً در مطالعات ژئوشیمیایی مدنظر می‌باشد و با استفاده از این روابط می‌توان تا حدودی به محیط و فرآیندهای مؤثر در تشکیل کانسار پی برد (بارنز^۲، ۱۹۹۷).

در این فصل به منظور یافتن روابط هدفمند بین عناصر مختلف (توزیع و پراکندگی آنها در واحدهای سنگی)، چگونگی و میزان تمرکز عناصر گوناگون در واحدهای سنگی مورد مطالعه، نمونه-گیری لیتوژئوشیمیایی صورت گرفته است. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها (در شرکت ایمیدرو و کانساران بینالود) در نرم افزارهای مختلف Excel و Gcdkit مورد پردازش، تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این فصل ویژگی‌های ژئوشیمیایی کانسار مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۶-۲- ژئوشیمی آهن

آهن در پوسته زمین چهارمین عنصر فراوان و اولین فلز سنگین محسوب می‌شود، عنصری فلزی با نماد Fe، عدد اتمی ۲۶، وزن اتمی ۵۵/۸۴ و وزن مخصوص (g/cm^3) $7/8 - 7/3$ ، سختی ۴ که به گروه ۸ و دوره ۴ جدول تناوبی تعلق دارد، و جزء عناصر واسطه محسوب می‌شود. از طرفی جزء عناصر سیدروفیل بوده که گاه خواص کالکوفیل و لیتوفیل از خود نشان می‌دهد، برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آهن در جدول (۶-۱) آورده شده است.

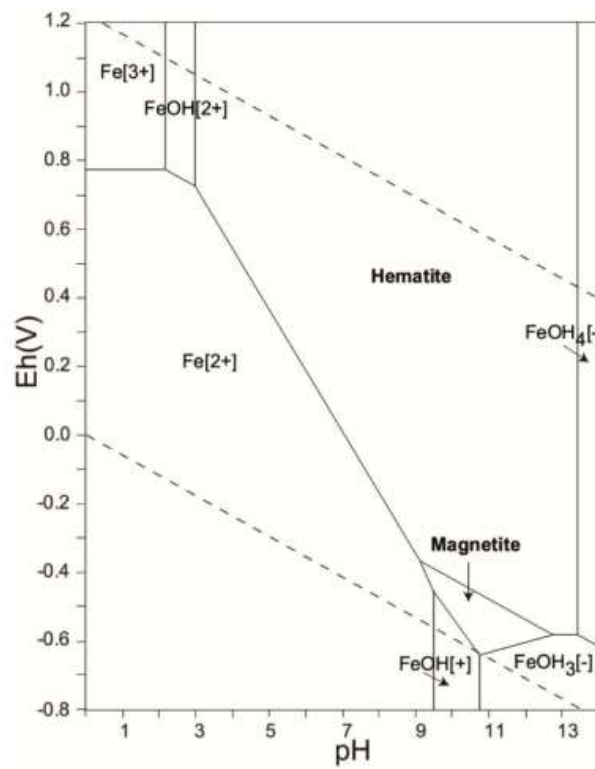
1- Mason and Moore

2- Barnes

جدول ۶-۱: برخی خواص فیزیکی و شیمیایی آهن

جامد فرومغناطیسی	حالت ماده
1808^0 فارنهایت	نقطه ذوب
3023^0 فارنهایت	نقطه جوش
$1/83$ درجه پاولینگ	الکترونگاتیویته
$349/6$ کیلو ژول بر مول	گرمای تبخیر
$13/8$ کیلو ژول بر مول	گرمای همجوشی

آهن از جمله عناصری است که تقریباً در تمام ادوار زمین‌شناسی یافت می‌شود، بیش از ۳۰۰ کانی آهن در طبیعت وجود دارد که مهمترین آنها مگنتیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت، سیدریت، شاموزیت، مارتیت و ماگهمیت هستند. آهن در ترکیبات مختلف پوسته زمین ظرفیت‌های متفاوتی دارد، در اغلب کانی‌های تشکیل شده در نزدیک سطح زمین، آهن غالباً از نوع سه ظرفیتی (Fe^{+3})، است که با اکسیژن ترکیب شده و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن را تشکیل می‌دهد. و در قسمت‌های عمیق‌تر پوسته، به صورت دو ظرفیتی (Fe^{+2}) و در ترکیب کانی‌های سیلیکاته شرکت می‌کند. بر اساس بارنز (۲۰۰۵)، ژئوشیمی آهن اغلب با شرایطی تعیین می‌شود که تحت آن با تغییر در شرایط Eh- PH محیط، از یک ظرفیت به ظرفیت دیگر تبدیل می‌شود (شکل ۶-۱). توزیع آهن در سنگ‌های مختلف متفاوت می‌باشد. جدول (۶-۲)، میانگین فراوانی آهن را در انواع سنگ‌های تشکیل دهنده پوسته زمین نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱: نمودار EH-PH و محدوده پایداری ترکیبات مختلف آهن (بارنز، ۲۰۰۵).

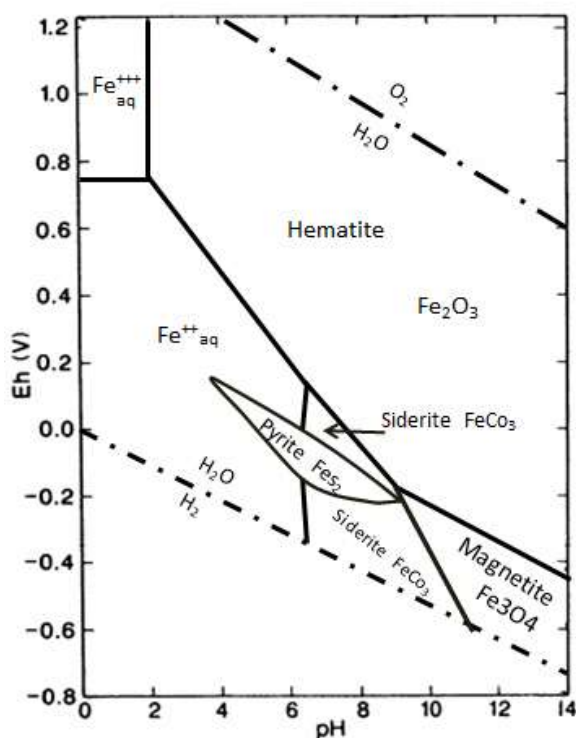
جدول ۶-۲: میانگین فراوانی آهن در سنگ‌های مختلف

سنگ‌های مختلف	فراوانی آهن (برحسب درصد وزنی)
پوسته زمین	۵
گابرو	۸/۸۰
دیوریت	۵/۶۰
گرانودیوریت	۳/۳
گرانیت	۲/۵۰
سنگ آهک	۰/۸۳
ماسه سنگ	۰/۹۹
شیل	۴/۷
تشکیلات آهن دار	۲۸

همان‌طور که بیان شد، رفتار ژئوشیمیایی آهن در ترکیبات مختلف به شرایط اکسیداسیون-احیایی محیط بستگی دارد، بنابراین تحت تأثیر فشار جزئی اکسیژن و هیدروژن موجود در محیط، غلظت آهن و سایر اجزاء موجود در سیستم Eh-PH های مختلف، ترکیبات متفاوتی از آهن ممکن است تشکیل شود شکل (۲-۶). گلدشمیت^۱ (۱۹۸۵)، در رابطه با قابلیت پایداری یا انحلال آهن دو قاعده زیر را بیان کرده است:

- شرایط اکسیدان، ته نشست آهن را و شرایط احیایی، انحلال آن را تسریع می‌کند.

- شرایط اسیدی، اغلب باعث انحلال آهن شده و شرایط قلیایی باعث ته نشست آن می‌شود.



شکل ۲-۶: نمودار محدوده های پایداری ترکیبات آهن (بروکینز، ۱۹۸۷). در این نمودار هماتیت کانی پایدار در

تمام محیط‌هایی است که اکسیداسیون قوی تا متوسط دارند. کانی‌های پیریت، سیدریت، مگنتیت در محیط‌های

احیایی پایدارند، محدوده‌های پایداری علاوه بر PH به غلظت کربنات و سولفید در محلول نیز بستگی دارد.

۳-۶- روش کار

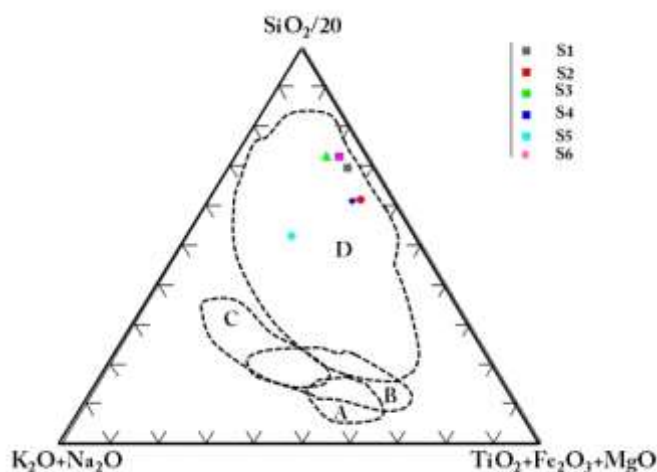
به منظور تعیین ترکیب شیمیایی واحدهای سنگی موجود، بررسی و ثبت تغییرات عناصر اصلی و فرعی در این واحدها، پس از بازدیدهای صحرایی و انجام مطالعات میکروسکوپی، تعداد ۲۲ نمونه از کانسنگ و سنگ میزبان پس از خردایش و آماده سازی، جهت آنالیز به روش ICP-MS و ICP-OES و تعداد ۹ نمونه به روش XRF به مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران (ایمیدرو) و کانساران بینالود فرستاده شد. داده‌های حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی، عناصر فرعی، کمیاب و نادر خاکی توسط نرم افزارهای مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند که نتایج به دست آمده در پیوست ۱ (جدول‌های ۳-۶ تا ۷-۶) و موقعیت، شماره نمونه‌ها و مشخصات آنها در جدول (۶-۸) آورده شده است.

جدول ۶-۸: نوع نمونه‌ها و مختصات جغرافیایی آنها در کانسار آهن زردکوه.

نوع نمونه	شماره نمونه	موقعیت جغرافیایی	نوع نمونه	شماره نمونه	موقعیت جغرافیایی
ماده معدنی	K-Z-G1	۳۵° ۱۵' ۵۶" N ۵۷° ۳۵' ۴۸/۷" E	ماده معدنی و سنگ میزبان	K-Z-G7	۳۵° ۱۵' ۵۸" N ۵۷° ۳۵' ۵۹" E
ماده معدنی	K-Z-G2	۳۵° ۱۵' ۵۸" N ۵۷° ۳۵' ۴۹" E	ماده معدنی و سنگ میزبان	K-Z-G11	۳۵° ۱۵' ۵۶" N ۵۷° ۳۵' ۵۸" E
ماده معدنی	K-Z-G3	۳۵° ۱۵' ۵۶" N ۵۷° ۳۵' ۵۵" E	ماده معدنی	K-Z-G13	۳۵° ۱۵' ۵۳" N ۵۷° ۳۵' ۵۰" E
ماده معدنی	K-Z-G5	۳۵° ۱۵' ۵۸" N ۵۷° ۳۵' ۵۲" E	ماده معدنی	K-Z-G14	۳۵° ۱۵' ۵۱" N ۵۷° ۳۵' ۵۰" E
ماده معدنی	K-Z-G6	۳۵° ۱۵' ۵۷" N ۵۷° ۳۵' ۴۸" E	سنگ میزبان	K-S-G15	۳۵° ۱۵' ۵۲" N ۵۷° ۳۵' ۴۹" E
ماده معدنی	K-Z-G8	۳۵° ۱۵' ۵۷" N ۵۷° ۳۵' ۵۵" E	سنگ میزبان	K-S-G16	۳۵° ۱۵' ۵۴" N ۵۷° ۳۵' ۴۹" E
ماده معدنی	K-Z-G9	۳۵° ۱۵' ۵۵/۸" N ۵۷° ۳۵' ۴۹/۴" E	سنگ میزبان	K-S-G17	۳۵° ۱۵' ۵۲" N ۵۷° ۳۵' ۵۰" E
ماده معدنی	K-Z-G10	۳۵° ۱۵' ۵۶/۵" N ۵۷° ۳۵' ۵۰/۸" E	سنگ میزبان	K-S-G18	۳۵° ۱۵' ۵۴" N ۵۷° ۳۵' ۴۷" E
ماده معدنی	K-Z-G12	۳۵° ۱۵' ۵۹/۴" N ۵۷° ۳۵' ۴۷/۲" E	سنگ میزبان	K-S-G19	۳۵° ۱۵' ۵۴" N ۵۷° ۳۵' ۴۹" E
ماده معدنی و سنگ میزبان	K-Z-G4	۳۵° ۱۵' ۵۶" N ۵۷° ۳۵' ۴۶" E	سنگ میزبان	K-S-G20	۳۵° ۱۵' ۵۱" N ۵۷° ۳۵' ۴۹" E

۱-۳-۶- تمایز محیط تکتونیکی با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی

از آنجا که واحد میزبان ترکیب هیبریدی از کربنات و ماسه‌سنگ دارد. بنابراین برای تشخیص جایگاه تکتونیکی از ماسه‌سنگ‌ها استفاده شده است، یکی از این روش‌ها، نمودار سه متغیره $(\text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)$, $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$, $\text{SiO}_2/20$ (کرونبرگ^۱، ۱۹۹۴)، می‌باشد که بر اساس آن مقادیر اکسید عناصر اصلی نمونه‌های ماسه‌سنگی، محدوده‌هایی برای ۴ جایگاه تکتونیکی اعم از جزایر قوسی اقیانوسی، جزایر قوسی قاره‌ای، حواشی فعال قاره‌ای و حواشی غیرفعال قاره‌ای تعیین شده است. بر اساس این نمودار برای نمونه های منطقه مورد مطالعه، محیط حاشیه قاره‌ای غیر فعال به عنوان خاستگاه تکتونیکی احتمالی برای این ماسه سنگ‌ها پیشنهاد می‌شود (شکل ۳-۶).

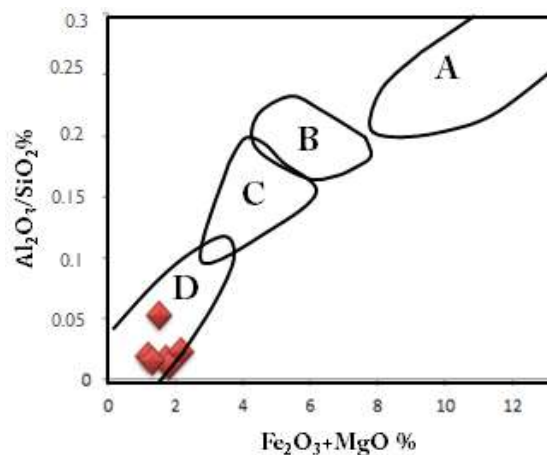


شکل ۳-۶: نمودار مثلی کرونبرگ (۱۹۹۴)، داده‌های اکسیدهای اصلی نمونه‌های ماسه‌سنگی منطقه مورد مطالعه در محدوده حاشیه قاره‌ای غیرفعال قرار می‌گیرند، محدوده‌ها عبارتند از: A: جزایر قوسی اقیانوسی؛ B: جزایر قوسی قاره‌ای؛ C: حاشیه فعال قاره‌ای؛ D: حاشیه غیر فعال قاره‌ای.

باتیا^۲ (۱۹۸۳)، از ترکیب نسبت عناصر $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ و مجموع $\text{Fe}_2\text{O}_3(t) + \text{MgO}$ برای تفکیک محیط‌های تکتونیکی استفاده نمود. بر اساس این نمودار دو متغیره، نمونه‌های کانسار زردکوه در

1-Kreonberg
2- Bhatia

محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای جای گرفته‌اند (شکل ۶-۴).



شکل ۶-۴: موقعیت ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در نمودار دو متغیره Al_2O_3/SiO_2 و $Fe_2O_3(t)+MgO$ (Bhatia, 1983). که نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند.

۶-۴- بررسی تغییرات عناصر Mg, Na, Sr, Fe, Mn در سنگ آهک‌های منطقه

کانسار زردکوه

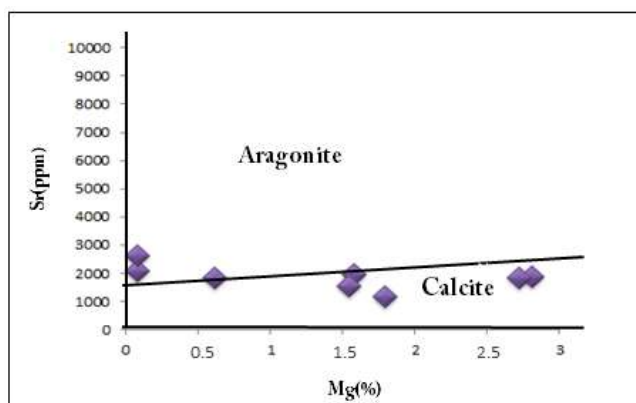
در مطالعات سنگ‌های آهکی عمدتاً از مقدار عناصر Na, Sr, Fe, Mn و Mg استفاده می‌شود (آدابی، ۱۳۹۰). بر اساس روند تغییرات این عناصر می‌توان تغییرات دیاژنتیکی، ترکیب کانی‌شناسی و ... را تفسیر کرد. مطالعات نشان می‌دهد که تغییرات دما، میزان عناصری چون کلسیم و منیزیم موجود در محلول، درجه شوری و فشار گاز کربنیک باعث تغییر در ترکیب کانی‌های کربناته می‌شود بر این اساس، آراگونیت و کلسیت غنی از منیزیم در آب‌های کم عمق تشکیل می‌شوند (تاگر، ۲۰۰۴). آب‌های مناطق معتدله سرد عهد حاضر اغلب دارای ترکیب کانی‌شناسی از کلسیت دارای منیزیم زیاد تا کلسیت کم منیزیم با مقادیر جزئی آراگونیت هستند که با افزایش ژرفا، میزان کلسیت کم منیزیم افزایش می‌یابد (روا و آدابی^۱، ۱۹۹۲).

-استرانسیوم(Sr): مقدار استرانسیوم در سنگ آهک‌های سازند پادها بین ۲۶۰۰ - ۱۵۵۸ ppm

است، مقدار استرانسیوم در نمونه‌های کل کربناته مناطق حاره‌ای عهد حاضر بین ۸۰۰۰ - ۱۰۰۰۰ ppm در تغییر است(میلی مان^۱، ۱۹۷۴). میزان استرانسیوم از رسوبات عهد حاضر به سمت رسوبات آهکی و قدیمی کاهش می‌یابد، کاهش استرانسیوم در کربنات‌ها به دلیل افزایش میزان کلسیت و کاهش آراگونیت می‌باشد(روا، ۱۹۹۶) در کربنات‌های سازند پادها با افزایش کلسیت مقدار استرانسیوم کاهش یافته است. این امر با رنگ آمیزی مقاطع در فصل سوم شرح داده شد.

-تغییرات منیزیم (Mg) در مقابل استرانسیوم(Sr):

مقدار Mg به دلیل فرآیند دولومیتی شدن که در طی دیاژنز در کربنات‌ها رخ می‌دهد افزایش می‌یابد این مقدار در کربنات‌های سازند پادها بین ۲/۸۱-۰/۷۵ درصد می‌باشد، تغییرات منیزیم در مقابل استرانسیوم در شکل(۵-۶) نشان داده شده است. در این شکل بیشتر نمونه‌های سازند پادها در کانسار آهن زردکوه در محدوده کلسیت قرار می‌گیرند، بخشی از کربنات‌های سازند پادها به خصوص واحد سوم تحت تأثیر دولومیتی شدن و رشد مجدد کلسیت قرار گرفته‌اند. همان طور که قبلاً گفته شد مقدار Sr کاهش می‌یابد، که نشان دهنده افزایش کلسیت پر منیزیم و کاهش آراگونیت است.

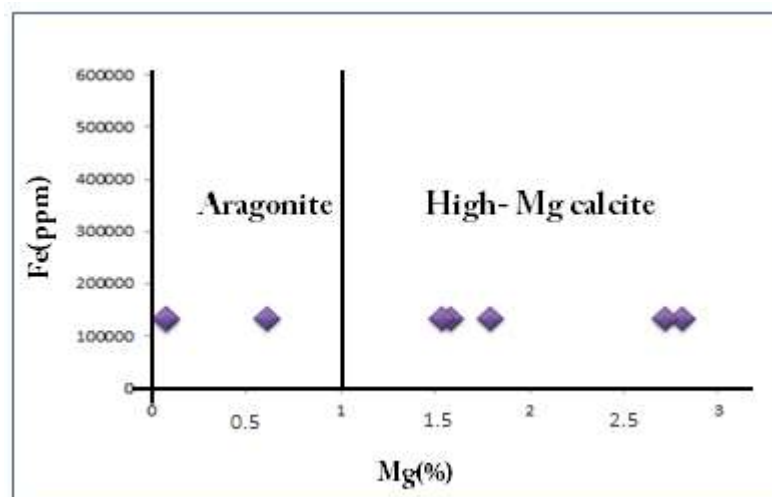


شکل ۵-۶: نمودار تغییرات منیزیم در مقابل استرانسیوم (Roa 1996).

-سدیم (Na): مقدار سدیم در سنگ آهک‌های سازند پادها کمتر از ۷۵۰ ppm می‌باشد، تمرکز پایین سدیم نسبت به سنگ آهک‌های آراگونیتی غیر زیستی عهد حاضر (بین ۱۵۰۰ تا ۲۷۰۰ ppm) نشانگر آن است که یا کربنات‌ها تحت تأثیر دیاژنز قرار گرفته‌اند و یا اینکه مقدار تمرکز سدیم در آب‌های متاوریکی کم بوده است (روا و آدابی، ۱۹۹۲). کاهش مقادیر سدیم در کربنات‌های سازند پادها نشانگر تأثیر فرآیند دیاژنز و تبلور مجدد بوده که نتیجه آن از دست دادن سدیم می‌باشد.

- نمودار تغییرات منیزیم (Mg) در مقابل سدیم (Na):

تغییرات منیزیم در مقابل سدیم در شکل (۶-۶) نشان داده شده است. که نمونه‌های مورد مطالعه بیشتر در محدود کلسیت پر منیزیم قرار دارند.



شکل ۶-۶: نمودار تغییرات منیزیم در مقابل سدیم (Roa, 1996) پنج نمونه در محدوده کلسیت پر منیزیم قرار گرفته است.

-منگنز (Mn): مقدار منگنز در کربنات‌های آراگونیتی عهد حاضر کمتر از ۲۰ ppm (میلی مان، ۱۹۷۴) و در کربنات‌های مناطق معتدله حدود ۳۰۰ ppm (Roa & Adabi, 1992) می‌باشد. این مقدار در سازند پادها منطقه زردکوه ۳۵۶۳۰ - ۱۰۱۸۰ ppm می‌باشد بنابراین افزایش مقدار منگنز هم می‌تواند تحت تأثیر دیاژنز و هم در ارتباط با کانه‌زایی آهن در این تشکیلات باشد.

- آهن (Fe): تغییرات عنصر آهن در نمونه‌های سازند پادها منطقه زردکوه بیش از ۱۳۱۳۰۰ ppm می‌باشد. این افزایش میزان آهن در سنگ‌های کربناته، تنها به دلیل ورود حجم قابل توجهی از آهن به محیط می‌باشد که در نهایت باعث کانه زایی آهن شده است.

۶-۵- ژئوشیمی کانسنگ

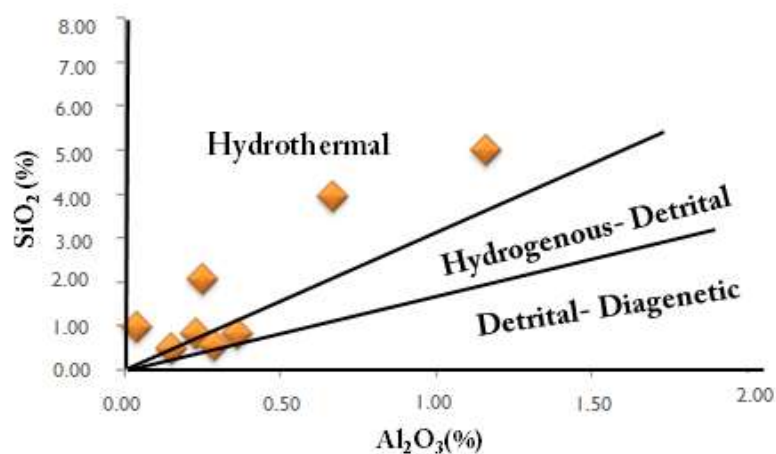
به منظور بررسی ژئوشیمیایی کانسنگ از نمودارهای مختلف نسبت عناصر اصلی، جزئی و نادر خاکی استفاده شده است.

۶-۵-۱- نسبت SiO_2/Al_2O_3

نمودار درصد مقادیر SiO_2 در مقابل Al_2O_3 (چوی و هاریا^۱، ۱۹۹۲)، یک نمودار دوتایی برای تشخیص منشأ آهن در تیپ‌های مختلف می‌باشد. با توجه به نسبت‌های مختلف این دو عنصر، نمودار به سه بخش تقسیم می‌شود: بخشی که بیشترین میزان Al_2O_3 را دارد، مربوط به کانسارهای با منشأ تخریبی - دیاژنتیکی، بخشی که بیشترین میزان SiO_2 را نشان می‌دهد مربوط به کانسارهای با منشأ گرمابی یا سدکس و بخش میانی مربوط به کانسارهای با منشأ رسوبی - تخریبی است. کانسارهای هیدروترمال عموماً در ارتباط نزدیک با ژل‌های سیلیسی آهن‌دار شکل می‌گیرند که به وسیله فرآیندهای فورانی زیر دریایی و تخلیه فلز در داخل رسوبات دریایی به وجود می‌آیند (روی^۲، ۱۹۹۲). به همین جهت درصد وزنی SiO_2 در برابر Al_2O_3 معرف درصد بالای SiO_2 در طی فعالیت‌های اگزالاتیو می‌باشد. در حالیکه در کانسارهای با منشأ تخریبی Al_2O_3 نسبت به SiO_2 از درصد بالایی برخوردار است که این امر ناشی از تجزیه و تخریب فلدسپات‌ها در طی مرحله حمل و نقل از خشکی به حوضه رسوبی می‌باشد. از تعداد ۸ نمونه کانسنگ آهن زردکوه تصویر شده بر روی این دیاگرام، تقریباً ۶ نمونه در محدوده منشأ گرمابی قرار می‌گیرند.

1- Choi and Haria
2- Roy

به اعتقاد آچاریا^۱ (۱۹۹۷)، فرآیندهای دیاژنتیکی و سوپرژن سبب غنی‌شدگی عناصری چون Al, Mn و P, Fe و تهی‌شدگی عناصری چون Si و Mg می‌شوند. از آنجایی که کانسار آهن زردکوه هم فرآیند دیاژنتیکی و هم فرآیند سوپرژن را متحمل شده است، لذا می‌توان گفت قرارگیری دو نمونه در محدوده آبراد و دیاژنتیکی به دلیل کاهش SiO_2 و افزایش Al_2O_3 تحت فرآیندهای فوق بوده است. Mucke و همکاران (۱۹۹۹)، نسبت پایین $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ را ناشی از اختلاط مقداری مواد تخریبی در حین ته‌نشست کربنات‌ها می‌داند. پس می‌توان نسبت پایین $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ در برخی نمونه‌های کانسار آهن زردکوه را ناشی از همین مسئله دانست. لذا بر اساس نمودار دوتایی SiO_2 در مقابل Al_2O_3 ، کانسار آهن زردکوه در گروه کانسارهای آهن با منشأ گرمایی قرار می‌گیرد (شکل ۶-۷).



شکل ۶-۷: نمودار دوتایی $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Choi and Haria, 1992) و موقعیت نمونه‌های مربوط به کانسار آهن زردکوه بر روی آن.

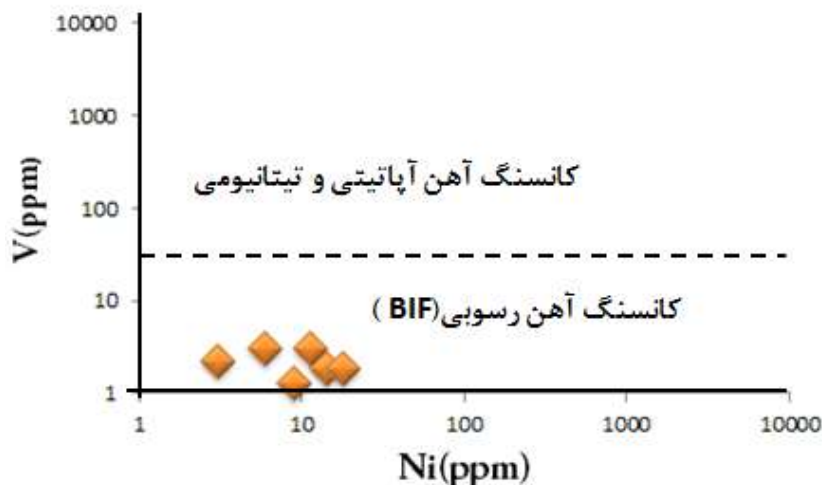
۶-۵-۲- نمودار دو تایی V/Ni

لوبرگ و هونرال^۲ (۱۹۹۸)، معادن سنگ آهن سوئد و تعدادی از کانسارهای دیگر جهان را بر روی

1- Acharya
2-Loberg and Honrdal

نمودار دوتایی نسبت عنصر وانادیوم به عنصرهای نیکل و تیتانیوم بردند. بنابراین نسبت‌ها سه گروه کانسار تعیین کردند که عبارتند از: کانسارهای آهن ماگمایی تیتانیوم‌دار، کانسارهای آهن ماگمایی آپاتیت‌دار، سازند آهن نواری.

کانسارهای ماگمایی بامقدار بالای وانادیوم >100 ppm از کانسارهای رسوبی قابل تفکیک هستند و کانسارهای آهن تیتانیوم‌دار، با مقدار بالای تیتان >1000 ppm متمایز از سایر گروه‌هاست. نمونه‌های کانسار آهن زردکوه برای مقایسه بر روی نمودار V/Ni لوبرگ و هونرال رسم شدند که تمام نمونه‌ها در محدوده آهن رسوبی قرار گرفتند (نمودار ۶-۸).



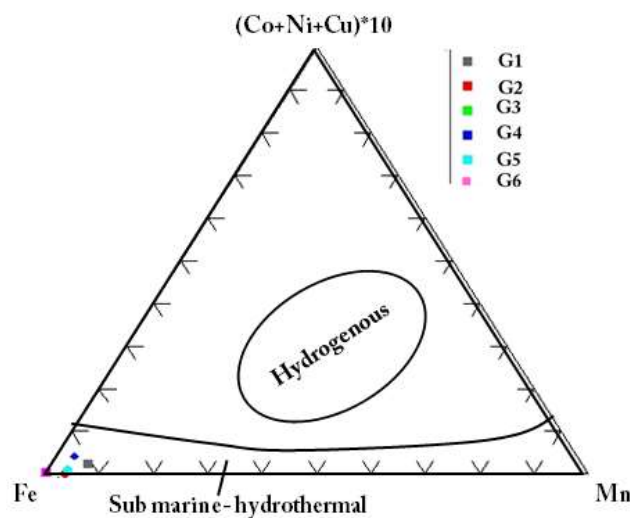
شکل ۶-۸: نمودار دوتایی V/Ni ، لوبرگ و هونرال (۱۹۹۸) و موقعیت نمونه‌های کانسار آهن زردکوه. تمام نمونه‌ها

در محدوده آهن رسوبی قرار می‌گیرند.

۶-۵-۳- نمودار $10 * Fe-Mn-(Ni+Co+Cu)$

بناتی^۱ (۱۹۷۵)، از مجموع غلظت عناصر Ni ، Co و Cu در مقابل Fe و Mn جهت تفکیک کانسارهای گرمابی و آبراد از یکدیگر استفاده نمود. غلظت این عناصر در نهشته‌های آبراد بیشتر از نهشته‌های گرمابی است. دلیل فراوانی این عناصر در محیط آبراد حضور طولانی آن‌ها در آب دریا و

فرصت کافی جهت جذب سطحی است. در حالی که در نهشته‌های گرمابی نرخ سریع ته‌نشینی Fe و Mn مانع از تمرکز این عناصر در این نهشته‌ها می‌باشد (توٹ^۱، ۱۹۸۰). کانسارهای گرمابی دارای مقادیر بسیار پایینی از این عناصر ($\text{Co}+\text{Ni}+\text{Cu} < 0/01 \text{ wt}\%$) هستند (جاچ و دودک^۲، ۲۰۰۵). موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در شکل (۶-۹) نشانگر منشأ گرمابی آنهاست، در این نمودار عناصر Ni، Co و Cu غنی‌شدگی زیادی نشان نمی‌دهند، که این امر می‌تواند به خاطر نهشت سریع آنها باشد.



شکل ۶-۹: نمودار $\text{Fe-Mn}-(\text{Ni}+\text{Co}+\text{Cu}) * 10$ (بناتی، ۱۹۷۵)، موقعیت نمونه‌های کانسار آهن زردکوه.

نمونه‌ها در محدوده گرمابی غنی از آهن قرار می‌گیرد.

۴-۵-۶- نسبت Co/Zn

نسبت Co/Zn توسط (توٹ، ۱۹۸۰)، به عنوان متمایز کننده کانه‌زایی تیپ گرمابی از آزاد مورد استفاده قرار گرفته است. این نسبت برای کانسارهای گرمابی دارای میانگین ۰/۱۵ و برای کانسارهای آزاد معادل ۲/۵ می‌باشد. در نمونه‌های کانسار آهن زردکوه این نسبت بین ۰/۱۵ - ۱، و میانگین

1-Toth
2-Jach and Dudek

نسبت فوق ۰/۴۶ می باشد. با توجه به این مقدار، می توان گفت که کانسار آهن زردکوه حاصل سیال گرمایی بوده است.

۶-۶- عناصر نادر خاکی (REEs)

عناصر نادر خاکی، بهترین ردیاب و شناساگر برای عملکرد فرآیندهای زمین شناسی می باشند. از این رو توزیع میزان REEs در سنگها معمولاً به یک مرجع استاندارد مشترک بهنجار می شود. این استاندارد معمولاً شهاب سنگهای کندریتی هستند. مقدار بهنجار شده این عناصر کاربردهای فراوانی در مطالعات ژئوشیمیایی فرآیندهای آذرین، دگرگونی و رسوبی و بالطبع در مطالعه کانسارها دارد. عناصر نادر خاکی شامل La تا Lu با اعداد اتمی ۵۷ تا ۷۱ می باشند. شعاع یونی این عناصر با افزایش عدد اتمی از La^{+3} به Lu^{+3} کاهش می یابد. عناصر (La, Ce, Eu, Pr, Nd, Sm) به عنوان عناصر نادر خاکی سبک (LREE) و عناصر (Yb, Lu, Tm, Er, Ho, Dy, Tb, Gd) به عنوان عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) شناخته می شوند. جزء عناصری، با کمترین قابلیت انحلال بوده و در طول فرآیندهای هوازدگی، دگرگونی درجه پایین و دگرسانی گرمایی تقریباً نامتحرک هستند، به همین جهت این عناصر در محیطهای زمین شناسی، کاربردهای فراوانی در تعیین منشأ کانسارهای آذرین، دگرگونی و رسوبی دارند (رولینسون^۱، ۱۹۹۳). اندازه و فعالیت های REEs یکنواخت و بسیار مشابه بوده و به صورت سری به هم پیوسته در نظر گرفته می شوند. وجود همین پیوستگی، در شناخت شرایط مختلف زمین شناسی کانسارها بسیار مهم می باشد، چرا که این عناصر در شرایط زمین شناسی مختلف، رفتارهای متفاوتی را نشان می دهند و از حالت پیوستگی خارج می شوند. عناصری همچون Ce و Eu آنومالی خاص نشان می دهند و از این پیوستگی خارج می شوند، بنابراین بررسی این عناصر در مطالعات ژئوشیمیایی بسیار مهم می باشد (لی بورن و جوهانسون^۲، ۲۰۰۸).

1-Rollinson
2-Leybourne and Johannesson

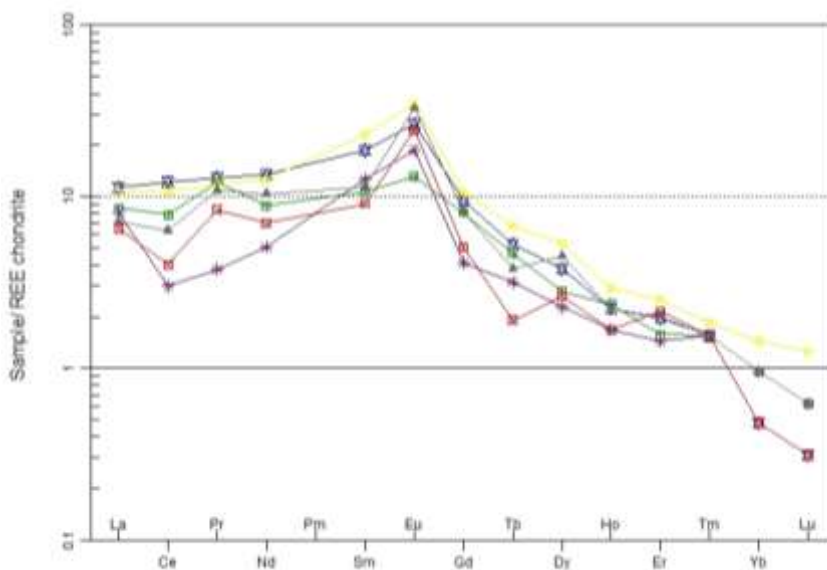
یکی از تفاوت‌های رایج بین کانسارهای گرمابی و آیزاد، در میزان غنی شدگی این دو گروه کانسارها از REEs می‌باشد. غنی شدگی عناصر نادر خاکی در کانسارهای آیزاد چندین برابر کانسارهای گرمابی است به طوری که $\sum REEs$ در کانسارهای گرمابی حدود ۱۰۰ می‌باشد ولی این مقدار در کانسارهای آیزاد نزدیک به ۱۰۰۰ است بنابراین استفاده از REEs نیازمند شناخت رفتار جدایش و تفکیک REEs، بین محلول‌های گرمابی و کانی‌ها، هم در ته‌نشست و هم در طی واکنش با سنگ میزبان و یا سنگ منشأ می‌باشد (هندرسون، ۱۹۸۴؛ کوپلی، ۲۰۱۰).

از دیگر تفاوت‌های بین کانسارهای گرمابی و آیزاد تفاوت الگوی آنومالی Ce در این دو نوع کانسار است. عوامل مؤثر بر آنومالی آنها، دمای سیال، نزدیکی به منبع هیدروترمال و شرایط احیا می‌باشد. الگوی آنومالی Ce در کانسارهای آیزاد (کانسارهای نهشته شده در آب های سرد) و کانسارهای آیزاد کانسارهای تشکیل شده به وسیله ترکیبی از فرآیندهای آیزاد- دیاژنزی) مثبت است که علت آن می‌تواند به مدت زمان اقامت یون آهن و منگنز در آب و جذب Ce^{+4} توسط آنها باشد، اما اکسیدهای آهن و منگنز هیدروترمال در PH, Eh محیط‌های دریایی غالباً آنومالی منفی شدیدی از سریم نشان می‌دهند. هر چند اعتقاد هین^۱ (۱۹۹۷)، بر این است که آنومالی Ce در کانسارهای هیدروترمال بسته به نرخ ته‌نشست و مقدار اختلاط با آب دریا، گستره‌ای از حالت منفی قوی تا بدون آنومالی را نشان می‌دهد.

۶-۶-۱- الگوی عناصر نادر خاکی در کانسار آهن زردکوه

بررسی عناصر نادر خاکی بر روی ۶ نمونه کانسنگ آهن زردکوه، با استفاده از کندریت (Boynton, 1984)، عادی سازی و ترسیم شده است. الگوی عناصر نادر خاکی در منطقه مورد مطالعه تشابه زیادی با الگوی عناصر نادر خاکی کانسارهای گرمابی دارد. در الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی غنی شدگی LREE نسبت به HREE و آنومالی مثبت Eu نشانه منشأ گرمابی کانسار می‌باشد

(Hou et al., 2013). در محلول‌های گرمابی Eu نسبت به سایر REE ها متحرک بوده و می‌تواند به جای Sr در ترکیب کلسیت شرکت کند (Hongo and Nozaki, 2001). به همین دلیل در الگوی عناصر نادر خاکی کانسار آهن زردکوه (شکل ۶-۱۰)، آنومالی مثبت Eu و غنی شدگی در LREE دیده می‌شود و شباهت زیادی با ذخایر آهن گرمابی دارد (Xe Bao et al., 2000). بنابراین می‌توان گفت که این کانسار در گروه کانسارهای با منشأ گرمابی قرار می‌گیرد.



شکل ۶-۱۰: نمودار عناصر نادر خاکی مربوط به کانسنگ آهن زردکوه، نرمالیزه شده نسبت به کندریت

(Boynton, 1984). غنی شدگی عناصر LREE نسبت به HREE و مقداری آنومالی مثبت Eu ویژگی‌های کانسار هستند و معرف منشأ گرمابی می‌باشند.

۶-۷- ستون‌های لیتوژئوشیمیایی و بررسی تغییرات عناصر

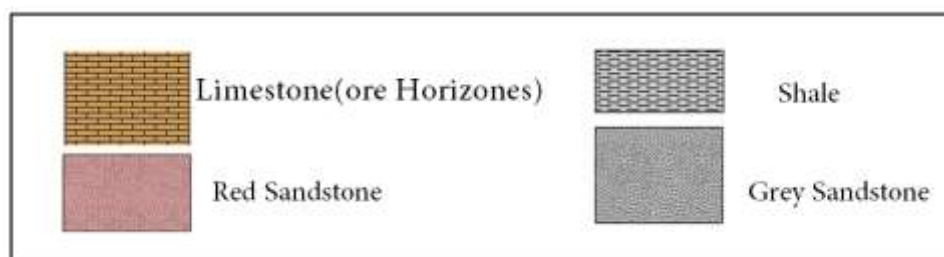
از دیگر اهداف این تحقیق، چگونگی توزیع و پراکندگی عناصر در افق‌های کانه‌دار و سنگ‌های دربرگیرنده آن می‌باشد. به منظور روشن شدن چگونگی توزیع ژئوشیمیایی عناصر مختلف در توالی سنگ‌های موجود در منطقه معدنی، در راستای عمود بر امتداد طبقات مقطع لیتولوژیکی انتخاب و بر مبنای تغییرات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، ساختی، بافت، رنگ و ... نمونه برداری صورت گرفت. پس

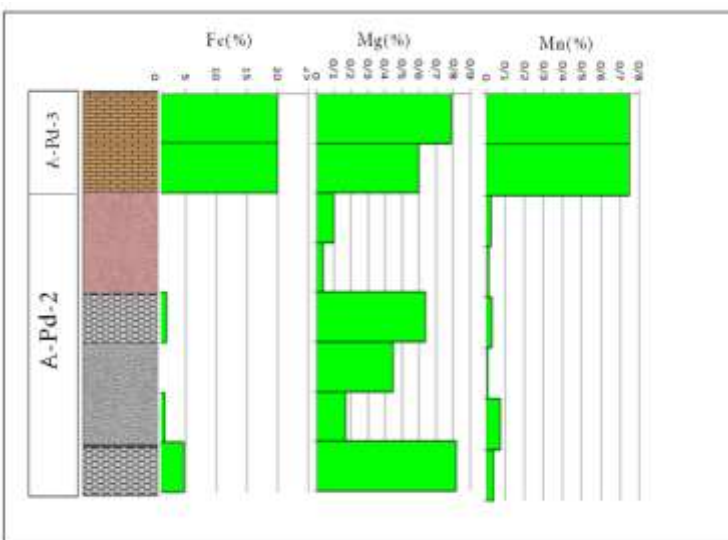
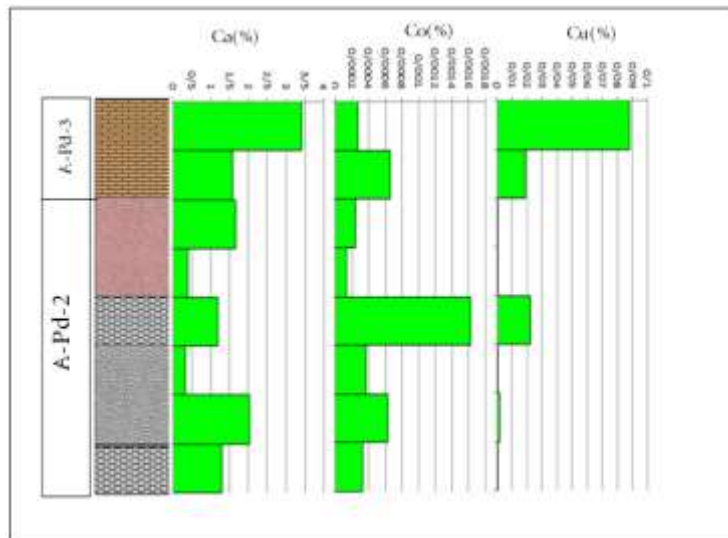
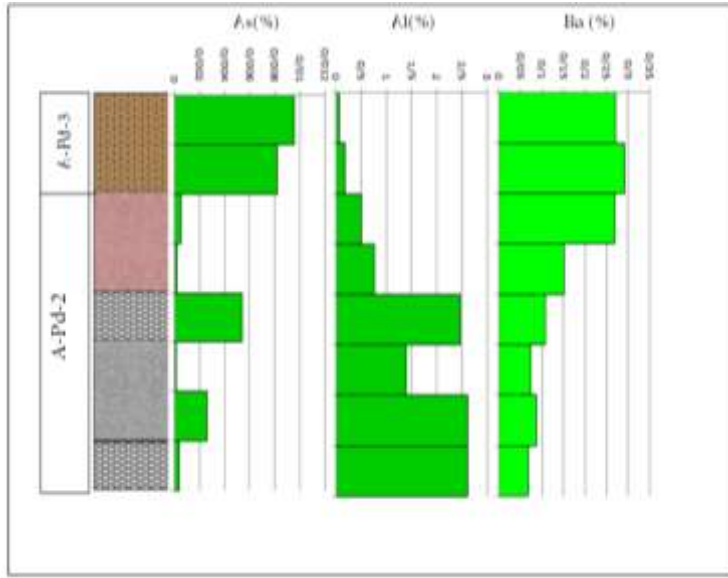
از آنالیز نمونه‌ها تغییرات هر یک از عناصر در طول ستون مورد نظر ترسیم و بررسی گردیده است (جدول ۶-۹) که در ادامه شرح داده می‌شوند.

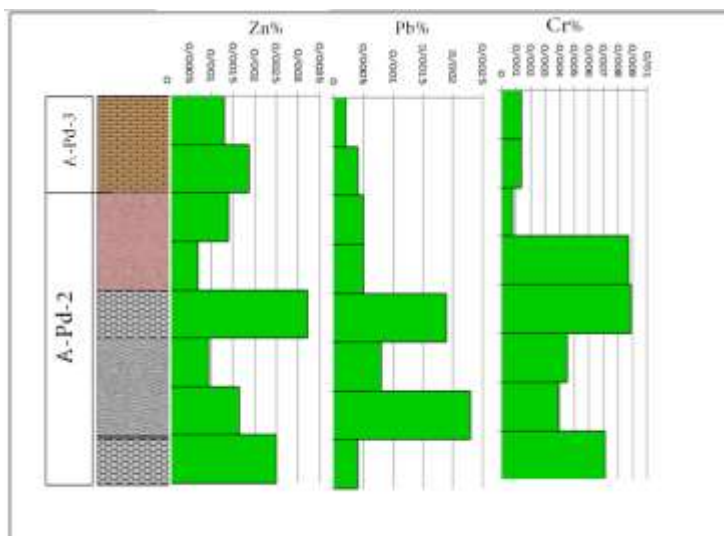
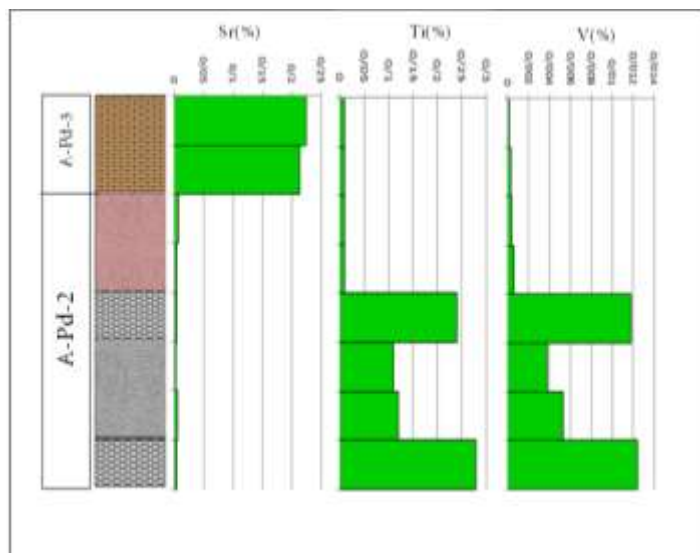
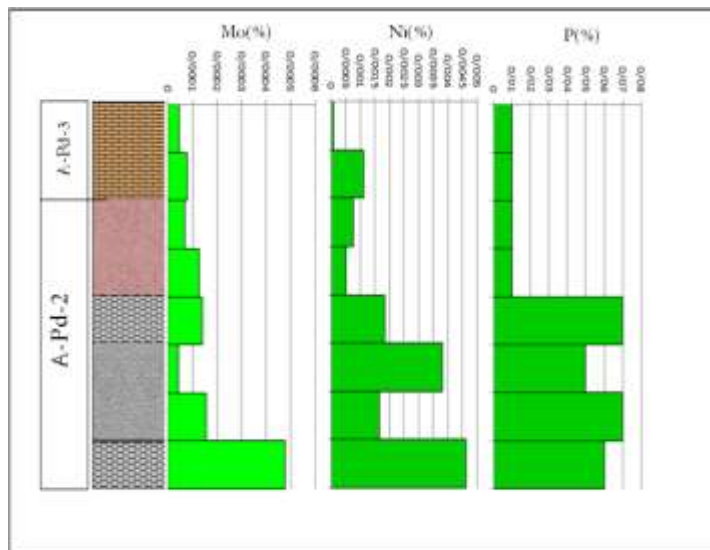
افزایش میزان Fe از افق‌های پایینی شروع شده و در افق A-Pd-1 به حداکثر میزان خود رسیده است، مقادیر بالای Ba و همبستگی مثبت آن با آهن دلیل بر کانه‌زایی Ba همراه با Fe در افق A-Pd-3 می‌باشد. مقادیر عناصر ماگما دوست همچون Ti, V به همراه Al و P در کانسنگ پایین بوده است که خود نشان دهنده منشأ گرمابی این کانسار می‌باشد. همچنین میزان عناصر Co, Ni و Cu پایین بوده و این عناصر به عنوان شاخص فعالیت‌های آزاد/ دیازنزی شناخته شده‌اند. به گونه‌ای که مقادیر پایین آنها گویای فعالیت‌های گرمابی (بروندمی) است. میزان بالای Al در افق‌های پایینی به دلیل حضور آن در ساختمان فلدسپات‌ها و کانی‌های رسی و مقادیر بالای Ca و Mg نیز با توجه به سنگ درونگیر توده معدنی که از نوع کربناتی است قابل توجیه می‌باشد. مقادیر Sr ارتباط مستقیمی با ترکیب کانی‌شناسی کربنات‌ها دارد. میزان U در شیل‌ها نسبت به سایر سنگ‌ها به دلیل جذب سطحی بالا، افزایش یافته است.

به طور کلی می‌توان گفت در کانسار آهن زردکوه عناصر Cr و Al, Mo, Ni, P, V, Co, Ti به رفتاری متفاوت با آهن دارند، به طوری که هر جا آهن افزایش یافته میزان این عناصر کاهش نشان می‌دهد. این در حالی است که عناصری همچون Mn, Sr, Mg, As و Ba رفتاری مشابه با آهن دارند که نشان دهنده این است که همراه با آهن از یک منشأ یکسان تأمین شده‌اند.

جدول ۶-۹: نمودار تغییرات عناصر مختلف در طول مقطع لیتولوژیکی واحدهای دوم و سوم.







فصل ٧

الگوی تشکیل کانسار آهن زردکوه

۷-۱- مقدمه

از مهمترین فاکتورهای مطالعه هر کانسار، توجه به عوامل کنترل کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی به منظور معرفی و ارائه الگوی مناسب، برای شناسایی و اکتشاف ذخایر جدید، در مناطقی با شرایط زمین شناسی مشابه می باشد. کانه‌زایی کانسار آهن زردکوه، در منطقه بردسکن و در زیر پهنه تکنار و در توالی رسوبی دونین صورت گرفته است. در این فصل با استفاده از نتایج بررسی‌های صحرایی، میکروسکوپی و ژئوشیمیایی، درباره ژنز و نحوه تشکیل کانسار آهن زردکوه بحث خواهد شد و در نهایت برای مشخص کردن تیپ کانه‌زایی اقدام به مقایسه آن با تیپ‌های کانه‌زایی مشابه در ایران و جهان پرداخته و در پایان پیشنهادات لازم جهت کارهای اکتشافی و تحقیقات تکمیلی بعدی ارائه خواهد شد.

۷-۲- برخی از شواهد حاصل از مطالعات در کانسار آهن زردکوه

۷-۲-۱- محیط تکتونیکی

کمر بند آتشفشانی - پلوتونیک شمال گسل درونه به وسیله افتخارنژاد و همکاران (۱۹۷۶) و لیندنبرگ و جاکوبس هاگن (۱۹۸۳)، پهنه تکنار معرفی گردید که همراه با پهنه سبزووار، در شمال پهنه ایران مرکزی قرار دارد. پهنه تکنار در حدفاصل بین دو گسل درونه و تکنار (ریوش) قرار دارد که در زمان ترشیری به صورت یک گوه‌ای بالا آمده و باعث برونزد سنگ‌های پرکامبرین فوقانی-پالئوزویک ایران مرکزی با پوششی از واحدهای مزوزوئیک و سنوزوئیک شده است. بنابر نظر والتر (۱۹۸۳)، این پهنه از نظر رخساره‌ای و ساختاری اساساً با واحدهای سنگی پهنه سبزووار در شمال و بلوک لوت در جنوب متفاوت بوده که این امر بیانگر آن است که جایگاه اصلی این پهنه در مکان دیگری بوده و تحت تأثیر حرکات تکتونیکی بالا آمده و در موقعیت فعلی قرار گرفته است. کانسار آهن زردکوه در منتهی‌الیه جنوب غربی زیر پهنه تکنار قرار گرفته است.

۷-۲-۲- محیط زمین شناسی ته نشست

با بررسی‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی و شواهد ژئوشیمیایی مشخص شد که محیط نهشت کانسار آهن زردکوه یک محیط دریایی کم‌عمق بوده که آهن و تشکیلات همراه آن از طریق فعالیت‌های برون‌دمی وارد حوضه رسوبی شده سپس به وسیله جریان‌های بالارونده به محیط‌های کم‌عمق منتقل شده و هم‌زمان با آهک‌ها ته‌نشین شده است.

۷-۲-۳- سنگ میزبان و سنگ های همراه

سنگ‌های دربرگیرنده کانسار آهن زردکوه، از یک توالی رسوبی متشکل از: شیل، ماسه‌سنگ و آهک متعلق به زمان دونین زیرین (سازند پادها) تشکیل شده است

۷-۲-۴- شکل هندسی، ساخت و بافت

کانه زایی آهن در کانسار زردکوه، به صورت لایه‌ای و عدسی‌هایی با گسترش جانبی محدود رخ داده است که هم‌روند و هم شیب با لایه‌بندی سنگ‌های میزبان است، اما در برخی قسمت‌های کانسار در اثر عملکرد گسل‌ها روند و شیب آنها تغییر کرده است. گسترش طولی افق کانه‌دار در محل سینه کار اصلی بیشتر از ضخامت آن است به طوری که طول آن بیشتر از ۱۰۰ متر و ضخامت آن در حدود ۳۰ تا ۴۰ متر می‌باشد. ساخت آن لایه‌ای، برشی، رگه-رگچه‌ای و بافت‌ها شامل: لامینه، دانه‌پراکنده، جان‌شینی، پرکننده فضای خالی و کلونیدی است که نشان دهنده ارتباط تشکیل و تمرکز کانه‌های کانسار با رسوبگذاری و دیاژنز است. بخشی از ماده معدنی در اثر تحرک مجدد و شستشوی آهن از داخل سنگ میزبان شسته شده و ته نشست مجدد آن در فضاهای خالی مثل شکستگی‌ها، ساخت‌های رگه-رگچه‌ای را ایجاد کرده است. این ساخت و حضور بافت‌هایی چون پرکننده فضای خالی، رشد مجدد بلورهای کلسیت و ... را می‌توان به مراحل دیاژنز و بعد از آن نسبت داد.

۷-۲-۵- کانی شناسی

مطالعات انجام شده نشان دهنده کانی‌شناسی تقریباً ساده‌ای در کانسار آهن زردکوه است.

هماتیت کانه اصلی کانسار است که به صورت اولیه و همزمان با آهک‌ها ته‌نشین شده است. هماتیت به صورت ثانویه نیز از تبدیل مگنتیت طی پدیده مارتیتی شدن و همچنین از طریق اکسیداسیون پیریت‌ها تشکیل شده است. علاوه بر هماتیت به ترتیب الیژیست، گوتیت، لیمونیت و مگنتیت از دیگر کانه‌های آهن‌دار کانسار آهن زردکوه می‌باشند. تنها کانی سولفیدی در این کانسار پیریت است که به وسیله هماتیت و گوتیت جانشین شده‌اند، احتمالاً طلا به صورت ذرات آزاد و پراکنده همزمان با آهک و کانه‌های آهن، در آهک‌ها ته‌نشین شده است. باطله‌ها به ترتیب فراوانی شامل کلسیت، باریت، کوارتز و آنکرت، ژیپس است که از میان آن‌ها باریت به طور گسترده و همزمان با هماتیت به صورت اولیه و هم در داخل شکستگی‌ها به صورت ثانویه تشکیل شده است. شواهدی که در کانسار آهن زردکوه نشان دهنده رسوبی و سین‌ژنتیک بودن این تیپ کانه‌زایی می‌باشد، عبارتند از:

- شکل لایه‌ای و روند و شیب موافق طبقات در برگیرنده.
- حضور لامینه‌های هماتیت و باریت، هماتیت و لیمونیت در بیشتر قسمت‌های کانسار، قطع‌شدگی و تغییر شکل دادن این لامینه‌ها در میزبان کربناته.
- عدم حضور سنگ‌های آتشفشانی و توده نفوذی که بتوان کانه‌زایی را به آنها نسبت داد (با توجه به اینکه در دونین ایران، آثاری از فعالیت‌های آتشفشانی (دونین در منطقه اجت آباد سمنان) دیده می‌شود، چنین به نظر می‌رسد که توالی آتشفشانی دونین در منطقه مورد مطالعه در اثر عملکرد گسل‌های تراستی قابل مشاهده نبوده است).
- وجود دانه‌های پراکنده‌ای از آهن و باریت در میزبان کربناته.
- حضور پیریت در واحدهای زیرین (کمرپایین ماده معدنی) و واحد حاوی ماده معدنی که خود معرف حضور آهن در حوضه رسوبی بوده است.
- حضور هماتیت، گوتیت، لیمونیت به عنوان کانی‌های اصلی که خود معرف شرایط و دمای پایین می‌باشد.

- هم‌رشدی اکسیدهای آهن با کلسیت و دولومیت.

۷-۲-۶- دگرسانی

مهمترین دگرسانی‌ها در کانسار آهن زردکوه شامل کربناتی شدن، سیلیسی شدن و دولومیتی شدن می‌باشد. که تمام این دگرسانی‌ها در کمر پایین ماده معدنی مشاهده شده و به طور گسترده سنگ میزبان را تحت تأثیر قرار داده‌اند. کربناتی شدن، دولومیتی شدن و سیلیسی شدن به صورت پراکنده در فضاهای خالی و شکستگی‌های سنگ میزبان مشاهده می‌شود.

۷-۲-۷- شواهد ژئوشیمیایی

داده‌های ژئوشیمیایی و نمودارهای مربوطه از جمله تغییرات SiO_2 به Al_2O_3 ، تغییرات V نسبت به Ni، Co، Zn، Cu، Ni و نسبت به تغییرات Mn و Fe، و همچنین تغییرات عناصر نادر خاکی از جمله غنی‌شدگی LREE و آنومالی مثبت Eu، همگی منشأ گرمایی را برای آهن نشان می‌دهند.

۷-۳- ارائه مدل ژنتیکی کانسار آهن زردکوه

۷-۳-۱- منشأ عناصر کانه ساز

الف) فعالیت‌های گرمایی هم‌زمان با رسوب‌گذاری: در این صورت آهن می‌تواند مستقیماً توسط سیالات حاصل از ولکانسیسم وارد محیط شده باشد یا آهن از سنگ‌های آتشفشانی زیرین شسته و در نهایت وارد محیط شده است.

ب) سیالات داغ ناشی از توده‌های نفوذی: در کانسارهایی که عامل کانه‌زایی توده‌های نفوذی و سیالات گرمایی ناشی از آن‌ها در نظر گرفته شده است، کانه‌زایی روند و جایگاه خاصی ندارد و عمدتاً از روند گسل‌ها و شکستگی‌ها تبعیت می‌کند.

ج) حاصل تخریب و فرسایش سازندها و کانسارهای قدیمی تر.

مطالعات ژئوشیمیایی در کانسار آهن زردکوه تأیید کننده نقش سیالات گرمابی در کانه‌زایی می‌باشد. همچنین ساخت لایه‌ای و لامیناسیون ماده معدنی که هم‌روند و هم‌شیب با طبقات میزبان می‌باشد نشان‌دهنده فعالیت گرمابی همزمان با رسوبگذاری است.

۷-۳-۲- منشأ سیال کانه ساز

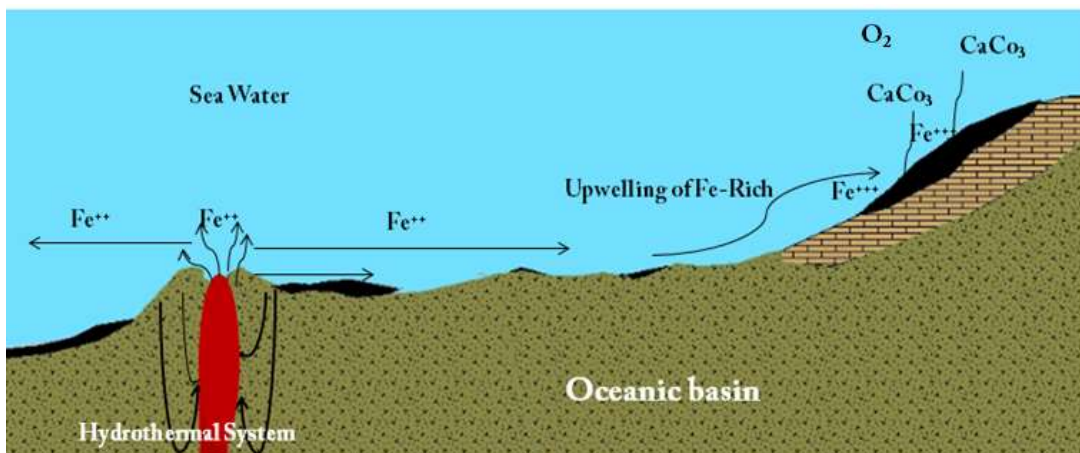
آب‌های اقیانوسی فرورونده در شکاف‌های عمیق در مراکز فعال گسترش بستر دریا، با چرخش در داخل گدازه‌ها و گرم شدن، فلزات را در خود تمرکز داده و وارد محیط دریایی می‌کنند (خراسکو^۱، ۱۹۵۱؛ بناتی و همکاران، ۱۹۷۶؛ استاریکوا^۲، ۲۰۰۱). از طرفی فعالیت‌های برون‌دمی همزمان با رسوبگذاری نیز باعث می‌شوند تا یون‌های کانسار ساز همچون آهن وارد محیط دریایی شوند (روی، ۱۹۹۲)، لذا این سیالات نقش مهمی در تشکیل کانسارها دارند، تصور می‌شود منشأ سیالات کانه‌ساز در کانسار آهن زردکوه سیالات حاصل از فعالیت‌های برون‌دمی زیردریایی باشد.

۷-۳-۳- مدل ژنتیکی و نحوه تشکیل کانسار آهن زردکوه

روی (۱۹۹۲) معتقد است که فعالیت‌های برون‌دمی همزمان با رسوب‌گذاری باعث شده تا یون‌های آهن، منگنز و... وارد محیط دریایی شوند. ته نشینی آهن تحت تأثیر فرآیندهای رسوبی و تغییرات PH, Eh به صورت سولفید آهن صورت گرفته است. در مدل بالا آمدگی (Force and Cannon, 1988)، آب‌های عمیق احیایی به سمت مناطق کم عمق و اکسیژن‌دار حرکت کرده و باعث ته نشست آهن و منگنز در محیط‌های کم عمق تحت Eh و PH مناسب می‌شود. آهن در Eh کمتر از -0.2 و PH کمتر از ۶ از حلالیت بالایی برخوردار است. با افزایش اندک مقدار Eh، به دلیل تشکیل پیریت (سولفید آهن)، حلالیت آهن کم می‌شود اما منگنز همچنان به صورت محلول باقی

1- Kherasko
2- Starikova

می ماند. بنابراین در این محدوده از PH , Eh آهن و منگنز می توانند از هم جدا شوند. در چنین سیستمی (افزایش PH) رخساره های کربناته که در محیط احیایی نهشته شده اند با کانی های سولفیدی همراه خواهند بود. بنابراین بخشی از آهن در قسمت های عمیق حوضه به شکل پیریت از آب جدا می شود، همانند آنچه که در کانسار آهن زردکوه رخ داده است به طوری که میزان پیریت در قسمت های کربناته افزایش یافته است. باقی مانده آهن محلول نیز به محیط های اکسیدان و کم عمق رفته و همزمان با ته نشست کربنات ها (قلیایی شدن محیط) حضور اکسیژن، هیدروکسیدهای آهن سه ظرفیتی (ژل های هیدروکسید آهن) تشکیل می شود. بر اثر تبلور اولیه ژل های هیدروکسیدی و همچنین تأثیرات دیاژنز، رسوبات متراکم شده و گوتیت تشکیل می شود. با ادامه روند دیاژنز و بالا رفتن دما هماتیت نیز می تواند متبلور شود. عدم تشکیل پیوسته رخساره های کربناته در تمام توالی، ناشی از تغییر در عمق حوضه رسوبی است و عدم پیوستگی افق های کانه دار به دلیل رژیم تکتونیکی حاکم در منطقه می باشد که باعث ایجاد فروافتادگی و بالآمدگی در توپوگرافی کف حوضه رسوبی و اختلاف عمق شده است. بر اساس مطالعات ژئوشیمیایی، آهن، منگنز و دیگر کاتیونها از طریق سیالات گرمابی وارد حوضه رسوبی گردیده اند. شکل (۷-۱) مدل شماتیکی برای ژنز کانسار آهن زردکوه را نشان می دهد.



شکل ۷-۱: مدل شماتیکی از الگوی تشکیل کانسار آهن زردکوه. غنی شدن آهن در آب دریا توسط فعالیت های بروندمی و چرخه گرمابی، مهاجرت آهن به شکل Fe^{+2} به مناطق دورتر و ته نشینی با تغییر در شرایط Eh و PH.

۷-۴- مقایسه کانسار آهن زردکوه با کانسارهای شاخص ایران و جهان

کانسار آهن زردکوه، یک کانسار با منشأ برونومی است که آهن و دیگر سازنده‌های آن از طریق فعالیت‌های برونومی زیر دریایی وارد محیط دریایی شده و بر اساس شرایط Eh و PH، همزمان با کربنات‌ها ته‌نشین شده است. در ادامه به مقایسه کانسار آهن زردکوه با کانسارهای شاخص آهن آتشفشانی- رسوبی، برونومی- رسوبی و رسوبی ایران و جهان می‌پردازیم.

۷-۴-۱- مقایسه کانسار آهن زردکوه با برخی از کانسارهای شاخص آهن در ایران

۷-۴-۱-۱- کانسار آهن اجت آباد

کانسار آهن اجت آباد در ۷۳ کیلومتری شرق سمنان، در منطقه جام دودھیر واقع شده و از نظر پهنه بندی ساختاری- رسوبی متعلق به پهنه ایران مرکزی است. در این کانسار افق‌های مختلف آهن به صورت هم‌شیب و هم‌روند با واحدهای گدازه زیر دریایی و سنگ‌های رسوبی (از جمله: آهک، ماسه سنگ و شیل) قرار گرفته است که مجموعاً سازند پادها با سن دونین را تشکیل می‌دهند. ماده معدنی با بافت لایه‌ای و لامینه درون تشکیلات کربناته قرار دارد. کانی‌شناسی آن شامل هماتیت، گوتیت، مگنتیت و لیمونیت بوده که همراه دولومیت و کلسیت می‌باشد. این کانسار از نوع کانسارهای آتشفشانی- رسوبی است و منشأ آهن در آن مرتبط با فعالیت‌های گرمابی زیر دریایی است و میزان عناصر فسفر و منگنز در آن کم می‌باشد (عابدی و همکاران، ۱۳۸۸).

کانسار آهن زردکوه کاملاً مشابه این کانسار است، تنها اختلافی که کانسار آهن اجت آباد با کانسار آهن زردکوه دارد، در همراهی افق آهن‌دار با گدازه‌های زیر دریایی با ترکیب بازالت و آندزیت- بازالت می‌باشد.

۷-۴-۱-۲- کانسار آهن شمس آباد

کانسار آهن شمس آباد در جنوب اراک و در کمربند معدنی اصفهان- ملایر واقع شده است. این

کانسار یک کانسار آهن- منگنزدار است که در پهنه سنندج- سیرجان قرار دارد. واحدهای رخنمون یافته در منطقه شامل گنگلومرا، ماسه سنگ، آهک‌های ماسه‌ای و آهک دولومیتی به سن کرتاسه می- باشد. سنگ میزبان ماده معدنی آهک‌های دولومیتی است که عدسی‌های ماده معدنی را در بر گرفته است. این عدسی‌ها هم‌رند با سنگ میزبان بوده و آثاری از فعالیت‌های آتشفشانی در این کانسار دیده نمی‌شود. کانی‌شناسی این کانسار شامل هماتیت، گوتیت، لیمونیت و اکسیدهای منگنز به همراه کانی‌های کربناته، سیلیس و باریت می‌باشد و بافت در کانسار شامل لامیناسیون، پراکنده، رگه‌ای، جانیشینی و کلوئیدی می‌باشد. این کانسار از نوع آتشفشانی- رسوبی دور از منشأ می‌باشد. مطالعات ژئوشیمیایی نشان‌دهنده کاهش عناصر کبالت، نیکل و مس در این کانسار است که خود دلیل بر گرمایی بودن این کانسار است (فرهادی، ۱۳۷۴).

این کانسار از نظر سنگ میزبان، شکل هندسی ماده معدنی، کانی‌شناسی، بافت، نبود توالی آتشفشانی و منشأ تشکیل شباهت‌هایی با کانسار آهن زردکوه دارد اما وجود بافت‌های شعاعی، تیغه‌ای، حاشیه‌ای، شکافه پرکن در کانسار آهن زردکوه و فرومگنز بودن کانسار آهن شمس آباد از جمله اختلافات این دو کانسار می‌باشد.

۷-۴-۱-۳- کانسار آهن هنشک

کانسار هنشک در ۱۹ کیلومتری شمال شرق صفاشهر بین روستاهای گوشتی و هنشک در استان فارس و در پهنه سنندج- سیرجان واقع شده است. واحدهای رخنمون یافته در منطقه معدنی شامل: شیل، ماسه سنگ و آهک به سن پرمین می‌باشد. سنگ میزبان ماده معدنی دولومیت‌های تریاس میانی و شکل هندسی آن عدسی شکل و هم‌رند با لایه‌بندی و بافت آن توده‌ای، لامینه، پراکنده و پرکننده فضای خالی است. کانی‌شناسی آن شامل هماتیت، مگنتیت، گوتیت، رامسدلیت، کریپتوملان و پسیلوملان بوده که همراه دولومیت، کلسیت و کوارتز و باریت به عنوان باطله می‌باشند. براساس مطالعات ژئوشیمیایی محتوای عناصر کبالت، نیکل و مس در این کانسار پایین بوده، همچنین الگوی

توزیع عناصر نادر خاکی نشان دهنده آنومالی مثبت Eu و غنی شدگی LREE می‌باشد که همگی نشان دهنده منشأ گرمایی این کانسار می‌باشد (کازمی‌راد و همکاران، ۱۳۹۲).

اگرچه این کانسار مشابه کانسار آهن زردکوه است و شباهت‌هایی در توالی رسوبی، سنگ میزبان، منشأ، شکل هندسی ماده معدنی، محتوای برخی از عناصر و غنی شدگی LREE با این کانسار دارد، اما عدم حضور برخی از کانی‌ها و حضور بافت‌های حاشیه‌ای و تیغه‌ای در کانسار آهن زردکوه و فرومگنز بودن کانسار هنشک از تفاوت‌های این دو کانسار است.

۷-۴-۱-۴- کانسار آهن میرجان

کانه‌زایی آهن میرجان در ۵۸ کیلومتری شمال غرب زنجان و ۳ کیلومتری جنوب روستای میرجان از توابع ماهنشان واقع شده است. سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه شامل فیلیت، اسلیت، متاآندزیت، میان لایه‌های توف و شیست با لایه‌های نازک دولومیت به همراه گدازه‌های اسیدی و سنگ‌های رسوبی شامل شیل و ماسه‌سنگ و آهک می‌باشد. کانه‌زایی آهن به صورت چینه‌سان و عدسی‌های ناپیوسته در سنگ میزبان کربناته (سازند باروت) رخ داده است. در اثر عملکرد گسل‌ها جابه‌جایی در امتداد بخش‌های کانی‌سازی رخ داد است. کانه‌های اصلی آن شامل گوتیت، هماتیت، باریت، پیرولوسیت، پسیلوملان، رودوکروزیت و براونیت به همراه بلورهای پیریت است. کانه‌زایی به صورت داربستی، شبکه‌ای، رگه-رگچه‌ای و کلوفرمی است. دگرسانی اصلی تشکیل شده در منطقه شامل دگرسانی سیلیسی است. مقدار Ba و Si در کانسار زیاد می‌باشد و مقدار Mn کاهش یافته است. نتایج حاصل از مطالعات انجام شده بر روی این کانسار نشان می‌دهد که کانی‌سازی آهن در منطقه در اثر فعالیت‌های برون‌دمی می‌باشد. (حاتمی، ۱۳۹۴).

این کانسار از نظر توالی رخنمون یافته در منطقه، کانی‌شناسی، مقدار Si اختلافاتی با کانسار آهن زردکوه دارد اما از نظر محتوای کانی‌شناسی، شکل هندسی ماده معدنی، دگرسانی، سنگ میزبان، ساخت و بافت، مقدار Ba و منشأ شباهت‌هایی با کانسار آهن زردکوه دارد.

فصل هفتم: الگوی تشکیل کانسار آهن زردکوه

جدول ۷-۱- مقایسه کانسار آهن زردکوه با برخی از کانسارهای آتشفشانی - رسوبی، برون‌دمی ایران.

مهمترین ویژگی‌ها	کانسار شمس آباد	کانسار هنشک	کانسار پیوه ژن	کانسار میرجان	کانسار اجت آباد	کانسار زردکوه
سنگ درونگیر	سنگ آهک دولومیتی	دولومیت	آهک و دولومیت	آهک و دولومیت	ماسه سنگ و آهک دولومیتی	سنگ آهک دولومیتی
ساخت و بافت	لامینه، دانه پراکنده، جانشینی، پرکننده فضای خالی	لایه ای، توده ای، لامینه، پرکننده فضاهای خالی	جانشینی، رگه- رگچه ای و پرکننده فضاهای خالی	داربستی، شبکه ای، کلوفرمی و رگه- رگچه ای	لایه ای و لامینه	لایه ای، لامینه، جانشینی، پرکننده فضاهای خالی
ژئومتری	عدسی های هم‌روند با لایه بندی و رگه ای هم‌روند با گسل‌ها	عدسی شکل هم‌روند با لایه بندی و رگه ای	لایه ای، توده ای و عدسی های مجزا	لایه ای و عدسی های ناپیوسته	هم شیب و هم‌روند با واحدهای گدازه زیر دریایی و سنگ های رسوبی	هم شیب و هم‌روند با واحدهای در برگیرنده
پاراژنز	هماتیت، مگنتیت، رامسدلیت، پسیلوملان، کریپتوملان	هماتیت، الیزیت، گوتیت، پیریت، پیروتیت	هماتیت، الیزیت، گوتیت، پیریت، پیروتیت	هماتیت، گوتیت، پیریت، پیرولوستیتو، پسیلوملان	هماتیت، مگنتیت و گوتیت	هماتیت، الیزیت، گوتیت، مگنتیت، پیریت
عناصر همراه	Pb, Cu	افزایش Cu, Pb, Ba	افزایش Cu, Br و کاهش V, Cr, Co, Si, Ti	افزایش Ba, Si و کاهش Mn	Br, Cr, Pb	افزایش Br, Cu, Mn و کاهش Ni, Co
محیط تشکیل	دریایی کم عمق	دریایی کم عمق	دریایی کم عمق	-	دریایی کم عمق	دریایی کم عمق
سن	کرتاسه زیرین	تریاس میانی	دونین میانی - بالایی	کامبرین	دونین زیرین	دونین زیرین
ژنز	فرآیندهای گرمایی	فرآیندهای گرمایی در محیط رسوبی - آتشفشانی	فعالیت‌های گرمایی و سوپرژن	فعالیت‌های برون‌دمی (اگزالاتیو) همزمان با رسوبگذاری	فعالیت‌های آتشفشانی همزمان با رسوبگذاری به داخل حوضه	فعالیت‌های برون‌دمی همزمان با رسوبگذاری
منبع	فرهادی، ۱۳۷۴	کاظمی راد، ۱۳۹۲	وحدانی، ۱۳۹۳	حاتمی، ۱۳۹۴	عابدی و همکاران، ۱۳۸۶	همین تحقیق

۷-۴-۲- مقایسه با کانسارهای شاخص آهن در دنیا

۷-۴-۲-۱- کانسار آهن Svartliden در سوئد

کانسار Svartliden در جنوب غرب منطقه Skellefte در شمال سوئد قرار دارد. واحدهای متاگری-وک، رسوبات توریدایته به همراه آمفیبولیت و الترامافیک میزبان این کانسار است، این واحدها تحت تأثیر دگرگونی در حد رخساره آمفیبولیت قرار گرفته‌اند. کانی‌شناسی این کانسار شامل مگنتیت، هماتیت، پیریت، پیروتیت، فایالیت و طلا به همراه کوارتز، کلینوپیروکسن و آپاتیت می‌باشد. طلا در این کانسار به شکل انکلوزیون در ساختار آرسنوپیریت‌ها و پیریت‌ها رخ داده است. داده‌های ژئوشیمیایی منشأ عناصر موجود در این کانسار را فعالیت‌های گرمابی زیردریایی نشان داده است. در الگوی عناصر نادر خاکی، غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE و آنومالی مثبت EU معرف منشأ گرمابی این کانسار بوده و همچنین میزان عناصر Cu, Ni, Si, P, Zr, Ti افزایش یافته و مقدار Cu کاهش یافته است. به طور کلی این کانسار در گروه کانسارهای آهن نواری نوع آگوما قرار می‌گیرد (Sciuba, 2013).

گرچه کانسار آهن زردکوه از نظر منشأ، کانی‌شناسی و الگوی عناصر نادر خاکی شباهت‌هایی با این کانسار دارد اما درجه دگرگونی، حضور فایالیت، آرسنوپیریت و پیروتیت و همین‌طور میزان عناصری چون CO, Ti, Ni, Zr, P از اختلافات بارز کانسار زردکوه با این کانسار است.

۷-۴-۲-۲- کانسار آهن رسوبی El Bahariya در مصر

در بخش شمال شرقی آل بحریا و غرب صحرای مصر توالی سنگ آهن ال بحریا به سن ائوسن میانی واقع شده است. این توالی به دو قسمت بالایی و پایینی با رخساره‌های متفاوت تقسیم شده است. بخش پایینی، رخساره لاگونی، شامل گل و لای و فسیل است و به طور عمده از گوتیت، هماتیت و مواد آواری همچون کوارتز، فلدسپات، روتیل و مواد منگن‌زدار تشکیل شده است. بخش بالایی، رخساره سنگ آهن حاوی گوتیت، هماتیت، پسیلوملان، پیریت پیرولوژیت، کوارتز، گلاکونیت،

آپاتیت و مواد آلی است. در این رخساره ائید و آنکوئید، فسیل روزن داران و خارپوست به فراوانی یافت می‌شود. از جمله بافت‌های موجود می‌توان به بافت کلوفرمی، بوتروئیدال، پرکننده حفرات، قطعات کروی متحدالمرکز اشاره کرد. کوارتز، هماتیت و پسیلوملان در بیشتر قسمت‌ها فضای خالی بین ائیدها را به صورت سیمان پر کرده‌اند. این رخساره‌ها مربوط به محیط دریایی کم عمق و فاقد چرت است. در نمونه‌های آنالیز شده همبستگی مثبت بین عناصری همچون Fe, V, P, K, Al, Cr, Pb و Mo دیده می‌شود. در الگوی عناصر نادر خاکی غنی شدگی LREE نسبت به HREE و آنومالی منفی Eu نیز دیده می‌شود. الگوی عناصر نادر خاکی نشان دهنده شرایط دیاژنزی است. منشأ آهن موجود در این توالی از هوازدگی و دگرسانی لاتریت‌های آهن‌دار تحت تأثیر آب‌های جوی و زیر زمینی ایجاد شده است (Salama et al., 2011).

کانسار ال بحریا از نظر محتوای کانی‌شناسی، بافت و عمق محیط تشکیل، شرایط دیاژنزی حاکم بر آن و غنی شدگی LREE شباهت‌هایی با کانسار آهن زردکوه دارد اما از نظر منشأ آهن و عناصر همراه، حضور ائید و آنکوئید، محتوای فسیلی و برخی از کانی‌های منگن‌دار با کانسار آهن زردکوه تفاوت‌هایی دارد.

۷-۴-۲-۳- کانسار آهن Yuanjiacun و Jingtieshan در چین

-کانسار Yuanjiacun در منطقه Shanxi چین قرار دارد. رسوبات آواری و واحدهای کربناته سازند یوانجیانکن به سن پالئو پروتروزوئیک، میزبان ماده معدنی بوده که به وسیله واحدهای آتشفشانی از بالا و پایین در برگرفته شده‌اند و تحت تأثیر دگرگونی (رخساره شیست سبز) قرار گرفته‌اند. کانی‌شناسی این کانسار شامل مگنتیت، هماتیت، سیدریت، اسپیکولاریت، لیمونیت و پیریت به همراه کوارتز، ژاسب، کلریت، دولومیت، کلسیت و آنکریت به عنوان باطله می‌باشد. مطالعات ژئوشیمیایی نشان دهنده غلظت بالای Fe و Si و غلظت‌های پایین Th, Hf, Zr, Sc, Co, Ni, Cu می‌باشد. الگوی عناصر نادر خاکی تهی شدگی LREE نسبت به HREE و آنومالی مثبت Eu را

نشان می‌دهد. تمام شواهد نشان‌دهنده این است که منشأ آهن در این کانسار در نتیجه فرآیندهای گرمایی زیردریایی بوده و در گروه کانسارهای آهن نواری قرار می‌گیرد (Hou et al, 2014).

این کانسار علاوه بر منشأ شباهت‌های زیادی با کانسار آهن زردکوه دارد اما حضور سیدریت، کلریت، ژاسب، تهی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک، مقدار بالای Si از جمله تفاوت‌های بارز آن با کانسار آهن زردکوه می‌باشد.

کانسار آهن Jinteshan در شمال چین و در میان واحدهای پرکامبرین قرار دارد. واحدهای رخنمون یافته در محدوده معدنی جین‌تی‌شان شامل رسوبات تخریبی، کربناته همراه با سنگ‌های بازالت می‌باشد. ماده معدنی به صورت لایه‌ای در میان واحدهای میزبان کربناته قرار دارد. در این کانسار، قسمت‌های پایینی، طبقات غنی از مس و به صورت استوک‌ورک و قسمت‌های بالایی غنی از آهن، باریت، ژاسب می‌باشد. کانی‌شناسی آن شامل مگنتیت، هماتیت، باریت، اسپیکولاریت، پیریت، کالکوپیریت، ژاسب، کلریت و سیدریت می‌باشد. داده‌های ژئوشیمیایی غنی‌شدگی آهن و منگنز و کاهش عناصری چون Al, Ti, K, Mg را نشان می‌دهد. به طور کلی تشکیل آهن، باریت، ژاسب و مس نتیجه فعالیت‌های آتشفشانی زیر دریایی بوده و این کانسار در گروه کانسارهای آهن نواری قرار می‌گیرد (Sun et al, 1998).

علی‌رغم شباهت‌های زیادی که این کانسار با کانسار آهن زردکوه دارد، حضور کالکوپیریت، ژاسب، کلریت و سیدریت و میزان بالای مس و منگنز از جمله تفاوت‌های آن با کانسار آهن زردکوه می‌باشد.

۷-۵- مقایسه کانسار آهن زردکوه با تیپ‌های آهن نواری و آهن رسوبی

گرچه کانسار آهن زردکوه در موارد زیادی با کانسارهای آهن نواری و سنگ آهن شباهت‌هایی دارد از جمله: منشأ آتشفشانی و ارتباط آن با ولکانیسم‌های زیردریایی (نواری)، محیط تکتونیکی

تشکیل، شباهت‌های ژئوشیمیایی، محیط ته‌نشست، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، سنگ میزبان و شکل هندسی ماده معدنی. اما به تفاوت‌هایی همچون سن و نبود توالی آتشفشانی، لایه‌بندی منظم آهن و چرت، نبود بافت ائیدی نیز می‌توان اشاره کرد، سیلیس موجود در کانسار آهن زردکوه غالباً به صورت پرکننده فضاهای خالی و رگه- رگچه‌ای می‌باشد و میزان آن به اندازه‌ای نبوده که تشکیل لایه‌بندی دهد، همچنین میزان آلومینیم موجود در کانسار آهن زردکوه برخلاف کانسارهای سنگ آهن کم می‌باشد. بنابراین، شواهد موجود، همگی دلالت بر این دارند که کانسار آهن زردکوه، یک کانسار برون‌دمی - رسوبی می‌باشد.

جدول ۷-۲- مقایسه کانسار آهن زردکوه با برخی از کانسارهای نواری، سنگ آهن جهان (Maynard, 1983).

کانسار آهن زردکوه	کانسارهای نوع Ironstone		کانسارهای نوع BIF		نوع کانسار
	نوع مینیت	نوع کلینتون	نوع آگوما	نوع سوپریور	
دونین زیرین	ژوراسیک	سیلورین تا دونین	قدیمی تر از ۲۶۰۰ میلیون سال	قدیمی تر ۱۸۰۰ میلیون سال	سن
هماتیت، مگنتیت، گوتیت و پیریت	اکسید و هیدروکسیدهای آهن به همراه شاموزیت، سیدریت، پیریت و گلاکونیت	اکسید و هیدروکسیدهای آهن به همراه شاموزیت، سیدریت، پیریت	مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت	مگنتیت، هماتیت، پیریت	کانی شناسی
آهک دولومیتی	شیل، ماسه سنگ و آهک	شیل، ماسه سنگ و آهک	سنگ های آتشفشانی، گری وک و شیل	شیل، کنگلومرا و دولومیت	سنگ درونگیر
لایه ای و عدسی	اغلب الیتی	اغلب الیتی	توده ای، عدسی، لایه ای و رگه- رگچه ای	لایه ای و نواری	ساخت و بافت
تمرکز لایه غنی از اکسید آهن با ساخت لایه ای و فاقد فسیل و بافت ائیدی	تمرکز لایه های غنی از اکسیدهای آهن و کانی های سیلیکاتی اغلب با بافت ائیدی به همراه فسیل فراوان	تمرکز لایه های غنی از اکسیدهای آهن و کانی های سیلیکاتی اغلب با بافت ائیدی به همراه فسیل فراوان	تمرکز آهن نازک لایه همراه با میان لایه های سیلیسی	تمرکز آهن نازک لایه همراه با میان لایه های سیلیسی	مشخصه
آنومالی منفی Co, Ni, Al و کانی سازی Au	افزایش Fe, Al کاهش Mn	افزایش Fe, Al کاهش Mn	آنومالی Ni, Cu و Zn, Au کاهش Al	آنومالی Mn, Al کاهش	ویژگی ژئوشیمیایی

محیط دریایی کم عمق	محیط دریایی فلات قاره کم عمق تا عمیق	محیط کم عمق سکوی قاره ای، مناطق انتقالی(بین محیط دریایی و غیر دریایی)	آب های کم عمق فلات قاره، حوضه های تبخیری کم عمق و جدا شده، حوضه های درون کراتونی	حوضه درون قاره ای و بخش پایدار سواحل قاره ای	محیط تشکیل
--------------------	---	--	---	---	------------

۶-۷- پیشنهادات اکتشافی و علمی

- با توجه به محدود بودن ماده معدنی به واحدهای چینه شناسی خاص، در صورت تعقیب افق- های مشابه در مقیاس ناحیه‌ای ممکن است مناطق جدیدی شناسایی شود که دارای پتانسیل آهن باشد.

- انجام مطالعات سیالات درگیر بر روی باریت‌های کانسار آهن زردکوه.
- بررسی کانی‌های سنگین در ماسه‌سنگ‌های واحد دوم.
- اطلاع نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن. بر اساس مشاهدات صحرایی واحدی که بعد از پادها در منطقه تکرار می‌شود، سازند تکنار و به سن پرکامبرین می‌باشد.

پیوست ۱:

جدول (۳-۶): نتایج تجزیه ۶ نمونه کانسنگ از کانسار آهن زردکوه به روش ICP-MS

sample	Ag(ppm)	Al(%)	As(ppm)	Ba(ppm)	Be(ppm)	Bi(ppm)	Ca(%)	Cd(ppm)	Ce(ppm)	Co(ppm)
KZ-4	0.15	0.10	7.2	1921.8	0.1	0.26	20	0.11	9.85	3.4
KZ-7	0.07	0.08	6.9	713.2	0.1	0.24	11.08	0.01	6.32	7.8
KZ-1	0.07	0.06	1	5574.0	0.1	0.25	0.44	0.01	3.25	1.3
KZ-2	0.23	0.07	95.4	2711.8	0.1	0.10	3.43	0.01	2.42	2.7
KZ-3	0.17	0.18	82.1	2909.2	0.3	0.15	1.57	0.02	8.69	6.6
KZ-4	0.06	0.07	5.0	3025.6	0.1	0.19	0.64	0.01	5.12	2.0
sample	Cr(ppm)	Cs(ppm)	Cu(ppm)	Dy(ppm)	Er(ppm)	Eu(ppm)	Fe(%)	Ga(ppm)	Gd(ppm)	Ge(ppm)
KZ-4	28.1	0.15	27.1	1.22	0.41	1.94	115800	1.1	2.44	0.1
KZ-7	13.6	0.05	10.5	0.90	0.33	0.96	20	1.7	2.07	0.1
KZ-1	15.9	0.05	12.7	0.85	0.45	1.80	20	1.7	1.3	0.1
KZ-2	13.9	0.15	885	0.73	0.30	1.37	20	2.7	1.06	0.1
KZ-3	13.8	0.19	192	1.73	0.53	2.57	20	4.7	2.72	0.1
KZ-4	13.3	0.05	17.5	1.45	0.42	2.42	20	1.1	2.11	0.1
sample	Hf(ppm)	Hg(ppm)	Ho(ppm)	In(ppm)	K(ppm)	La(ppm)	Li(ppm)	Lu(ppm)	Mg(%)	Mn(ppm)
KZ-4	0.05	0.01	0.16	0.78	600	3.5	2.3	0.01	5.37	8873.0
KZ-7	0.05	0.01	0.17	0.69	200	2.65	1	0.02	3.07	1333
KZ-1	0.06	0.01	0.12	0.06	100	2.01	1	0.01	0.04	236.4
KZ-2	0.05	0.03	0.12	0.57	200	2.51	1	0.02	0.79	1333
KZ-3	0.05	0.14	0.21	1.19	700	3.3	1	0.04	0.60	1333
KZ-4	0.05	0.02	0.16	0.04	100	2.21	1	0.02	0.07	697.6
sample	Mo(ppm)	Na(%)	Nb(ppm)	Nd(ppm)	Ni(ppm)	P(%)	Pb(ppm)	Pr(ppm)	Rb(ppm)	S(%)
KZ-4	0.60	0.03	0.4	8.07	14.3	0.01	4	1.57	1.6	1.2
KZ-7	0.27	0.02	0.4	5.31	17.7	0.01	5	1.48	0.4	1.2
KZ-1	0.33	0.01	0.4	4.20	3.0	0.01	2	1.02	0.3	0.5
KZ-2	0.44	0.01	0.2	3.04	8.8	0.01	2	0.46	0.4	0.5
KZ-3	0.77	0.02	0.6	7.58	11.2	0.01	4	1.43	2.1	0.5
KZ-4	0.29	0.01	0.3	6.22	5.9	0.01	3	1.33	0.2	0.5
sample	Sb(ppm)	Sc(ppm)	Se(ppm)	Sm(ppm)	Sn(ppm)	Sr(ppm)	Ta(ppm)	Tb(ppm)	Te(ppm)	Th(ppm)
KZ-4	7.55	8.6	2	3.63	3	1871	0.05	0.25	0.05	0.2
KZ-7	2.10	10.1	2	2.10	3	227	0.05	0.22	0.11	0.2
KZ-1	13.3	6.6	2	1.77	3	273	0.05	0.09	0.11	0.2
KZ-2	5.74	6.1	2	2.46	3	2242	0.05	0.15	0.05	0.2
KZ-3	2.96	6.5	3	4.48	3	2143	0.20	0.32	0.06	0.2
KZ-4	2.93	6.1	2	2.22	3	109	0.05	0.18	0.06	0.2
sample	Ti(%)	Tl(ppm)	Tm(ppm)	U(ppm)	V(ppm)	W(ppm)	Y(ppm)	Yb(ppm)	Zn(ppm)	Zr(ppm)
KZ-4	0.01	0.05	0.05	0.2	1.8	0.5	6.1	0.1	14.9	1.1
KZ-7	0.01	0.02	0.05	0.7	1.8	0.6	5.8	0.2	6.8	1.0
KZ-1	0.01	0.02	0.05	0.5	2.2	0.9	0.5	0.1	3.9	1.1
KZ-2	0.01	0.07	0.05	0.3	1.3	0.3	3.4	0.2	13.1	0.9
KZ-3	0.01	0.08	0.06	0.5	3.0	0.4	7.1	0.3	18.8	1.7
KZ-4	0.01	0.04	0.05	0.7	3	0.6	0.5	0.2	0.7	0.9

جدول (۴-۶): نتایج حاصل از آنالیز ICP-OES بر روی ۸ نمونه از کانسنگ و سنگ میزبان.

Sample	KZ-1	KZ-2	Kz-3	KZ-4	KZ-5	Kz-6	Kz-7	KZ8
MgO	8/68	1/57	2/45	2/38	0/00	0/00	4/89	1/07
Al2O3	0/23	0/29	1/16	0/67	0/25	0/15	0/71	0/36
SiO2	0/81	0/57	5/01	3/95	2/06	0/47	6/74	0/80
SO3	0/46	22/02	1/84	5/39	0/30	0/85	2/74	21/81
CaO	18/56	3/67	4/96	3/51	0/94	0/68	5/21	3/75
MnO	0/51	0/00	0/44	0/86	0/00	0/00	1/95	0/48
Fe2O3	70/75	28/24	81/20	72/96	95/94	96/90	68/46	27/26
SrO	0/00	1/13	0/14	0/26	0/00	0/00	0/24	1/09
ZrO2	0/00	0/24	0/00	0/00	0/00	0/00	0/00	0/18
BaO	0/00	42/28	2/80	10/02	0/50	0/96	9/06	43/19

جدول (۶-۵): نتایج تجزیه ۸ نمونه سنگ میزبان و کانسنگ از کانسار آهن زردکوه به روش ICP-OES.

sample(ppm)	KZ-6	KZ-G7	KZ-G9	KZ-G10	KZ-G11	KZ-G12	KZ-G13	KZ-G14
Ag	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Al	1300	1200	4500	2200	900	1100	2600	1100
As	15	81	412	83	15	15	122	15
Be	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Bi	15	15	15	15	15	15	15	15
Ca	112200	109800	95500	115800	114500	92400	116100	105600
Cd	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Ce	15	121	15	43	35	15	57	15
Co	15	15	15	15	15	15	15	15
Cr	15	15	15	15	15	15	15	15
Cu	15	777	688	174	15	15	703	15
Fe	131300	131300	131300	131300	131300	131300	131300	131300
K	750	750	1400	750	750	750	750	750
La	15	15	15	15	15	15	15	15
Li	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6
Mg	28100	6100	15800	15400	7500	7500	17600	27200
Mn	14850	11810	12970	23950	10180	20400	35620	14820
Mo	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Na	750	750	750	750	750	750	750	750
Ni	15	15	22	15	15	15	15	15
P	75	75	75	75	75	75	75	75
Pb	52	35	90	60	50	41	62	51
S	3400	4300	2200	2500	750	3500	1500	2700
Sb	15	15	15	15	15	15	15	15
Sc	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Sr	1860	1840	1970	1558	2062	2600	1182	1840
Ti	75	75	75	75	75	75	75	75
V	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Y	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Zn	80	60	29	26	15	7.5	42	98

جدول (۶-۶): نتایج حاصل از آنالیز XRF بر روی ۶ نمونه از سنگ میزبان کانسار آهن زردکوه.

Sample	K-M-1	K-M-2	K-M-3	K-M-4	K-M-5	K-M-6
SiO ₂	96.2	89.02	93.59	93.38	84.23	95.91
Al ₂ O ₃	1.54	3.57	1.8	2.1	6.62	1.48
Fe ₂ O ₃	1.57	2.66	0.85	1.5	5.04	1.18
CaO	0.04	1.05	0.12	0.1	0.04	0.03
MgO	0.11	0.15	0.3	0.64	0.31	0.13
Na ₂ O	0.03	1.15	0.04	0.04	0.14	0.01
K ₂ O	0.47	1.21	0.52	0.63	2.06	0.38
TiO ₂	0.04	0.13	0.07	0.13	0.33	0.13
MnO	0.02	0.01	0.12	0.15	0.17	0.14
P ₂ O ₅	0.02	0.09	0.02	0	0.05	0.01
Bao	0	0.57	1.73	1.75	0.97	0

جدول (۶-۷): نتایج تجزیه ۸ نمونه از سنگ میزبان کانسار آهن زردکوه به روش ICP-MS

sample	Ag(ppm)	Al(%)	As(ppm)	Ba(ppm)	Be(ppm)	Bi(ppm)	Ca(%)	Cd(ppm)	Ce(ppm)	Co(ppm)
K-S-7	0.18	4.42	63.9	1086	1.8	0.04	2.55	0	37.6	5.0
K-S-11	0.29	2.62	25.7	878	0.8	0.10	2.04	0	34.2	6.3
K-S-15	0.40	1.39	1.6	744	0.4	0.04	0.32	0	22.8	3.7
K-S-16	0.43	0.76	1.8	1510	0	0.06	0.40	0	23.4	1.4
K-S-17	0.23	0.50	4.9	2688	0	0.12	1.67	0	9.99	2.4
K-S-18	0.24	0.75	1.9	1778	0	0	0.10	0	19.5	1.4
K-S-19	0.19	2.62	3.6	686	0	0.02	1.29	0	61.5	16.3
K-S-20	0.52	2.47	53.7	1076	0	0	1.20	0.01	89.9	3.3
sample	Cr(ppm)	Cs(ppm)	Cu(ppm)	Dy(ppm)	Er(ppm)	Eu(ppm)	Fe(%)	Ga(ppm)	Gd(ppm)	Hf(ppm)
K-S-7	34.9	2.09	7.1	2.35	1.11	0.99	2.12	14.5	3.24	0.76
K-S-11	39.0	1.22	15.2	1.37	0.71	0.86	1.64	10.4	2.48	0.63
K-S-15	45.1	1.21	7.3	0.72	0.35	0.65	0.76	7.0	1.50	0.35
K-S-16	87.2	0.26	4.8	0.30	0.16	0.42	0.82	1.5	0.59	0.16
K-S-17	7.7	0.22	5.7	0.38	0.17	0.74	0.81	1.0	0.48	0.12
K-S-18	71.9	0.27	10.9	0.25	0.13	0.44	0.63	2.0	0.54	0.22
K-S-19	71.5	4.01	3.1	1.25	0.62	0.79	4.76	21.7	2.68	0.81
K-S-20	88.8	3.92	222	1.80	0.96	1.30	1.89	23.2	3.84	1.08
sample	Ho(ppm)	In(ppm)	K(%)	La(ppm)	Li(ppm)	Lu(ppm)	Mg(%)	Mn(ppm)	Mo(ppm)	Na(%)
K-S-7	0.38	0.06	4.60	16.0	17.7	0.15	0.49	798	1.86	0.47
K-S-11	0.23	0.05	4.10	17.1	3.8	0.10	0.17	724	1.55	0.08
K-S-15	0.12	0	3.67	11.7	3.1	0.05	0.45	88	0.42	0.06
K-S-16	0	0	0.79	11.9	0	0.03	0.04	128	1.25	0.02
K-S-17	0.06	0	0.40	5.2	1.3	0.02	0.10	264	0.69	0
K-S-18	0	0	1.28	10.0	0	0.02	0.03	76	1.79	0.02
K-S-19	0.19	0.05	3.68	31.7	30.2	0.11	0.82	384	4.77	0.05
K-S-20	0.28	0.09	3.76	43.8	22.6	0.13	0.64	310	1.41	0.07
sample	Nb(ppm)	Nd(ppm)	Ni(ppm)	P(ppm)	Pb(%)	Pr(ppm)	Rb(ppm)	S(%)	Sb(ppm)	Sc(ppm)
K-S-7	4.0	18.6	21.8	0.12	9	4.50	93.5	0	1.22	6.7
K-S-11	2.6	16.2	16.6	0.07	23	3.91	89.3	0	1.87	5.9
K-S-15	2.6	10.3	38.1	0.05	8	2.59	72.0	0	1.27	2.4
K-S-16	0.4	8.33	5.2	0	5	2.54	15.8	0	0.43	0
K-S-17	0.5	3.44	7.5	0	5	1.08	9.1	0	0.44	0.5
K-S-18	0.5	6.99	6.8	0	5	2.11	23.1	0	0.55	0
K-S-19	4.2	21.7	46.2	0.06	4	6.25	90.6	0	2.21	6.8
K-S-20	5.0	36.5	18.3	0.07	19	9.45	118	0	8.12	7.2
sample	Se(ppm)	Sm(ppm)	Sn(ppm)	Sr(ppm)	Ta(ppm)	Tb(ppm)	Te(ppm)	Th(ppm)	Ti(%)	Tl(ppm)
K-S-7	0	4.44	0	89.7	0.41	0.46	0	7.8	0.17	0.42
K-S-11	0	4.14	0	49.7	0.28	0.31	0.06	8.5	0.12	0.41
K-S-15	0	2.59	0	30.6	0.25	0.16	0	7.2	0.11	0.44
K-S-16	0	1.09	0	45.1	0	0.07	0	1.2	0	0.08
K-S-17	0	1.05	0	69.7	0	0.08	0	0.8	0	0.07
K-S-18	0	1.07	0	44.8	0.07	0.06	0	1.4	0.01	0.14
K-S-19	0	3.73	0	33.9	0.37	0.30	0	7.4	0.28	0.81
K-S-20	0	6.24	3.48	36.6	0.45	0.41	0.05	9.1	0.24	0.65
sample	Tm(ppm)	U(ppm)	V(ppm)	W(ppm)	Y(ppm)	Yb(ppm)	Zn(ppm)	Zr(ppm)		
K-S-7	0.17	1.4	58.4	0.7	9.9	1.0	17.0	19.7		
K-S-11	0.11	1.0	52.8	0.3	5.9	0.7	24.4	16.4		
K-S-15	0.05	0.6	37.7	0.5	3.0	0.5	13.4	9.4		
K-S-16	0	0.4	5.8	0.8	1.5	0.2	7.0	4.2		
K-S-17	0	0.3	3.7	0.3	2.2	0.2	14.0	2.7		
K-S-18	0	0.4	3.1	0.7	1.1	0.2	4.5	7.4		
K-S-19	0.10	1.3	124	1.2	4.8	0.6	22.8	25.0		
K-S-20	0.14	2.3	118	1.3	7.0	0.9	30.0	32.2		

منابع

- احمدی، م، آفتابی، ع، (۱۳۸۴)، " بررسی منشأ، ژئوشیمی و اهمیت اکتشافی مس و طلا در کانسار تکنار(بردسکن)"، نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم. تهران.
- آدابی، م، (۱۳۹۰)، " ژئوشیمی رسوبی"، چاپ دوم، آراین زمین، تهران، ۴۴۸ ص.
- افتخار نژاد، ج، آقاباتی، ع، حمزه پور، ب، (۱۹۷۶)، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- آقاباتی، ع، (۱۳۸۳)، " زمین شناسی / ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران، تهران، ۵۸۶ ص.
- امینی، ص، صفری، م، (۱۳۸۱)، " پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های ماگمایی جنوب بردسکن"، ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه باهنر کرمان.
- ایمان پور، ب، کریم پور، م. ح، شفارودی، آ، (۱۳۹۴)، " ژئوشیمی و ژنز هماتیت در کانسار آهن ده- زمان"، سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، تهران.
- بابا خانی، ع، مهرپرتو، م، رادفر، ج، مجیدی، ج، (۱۳۷۸) " گزارش مطالعات زمین شناسی و اکتشافی کانسار پلی متال تکنار" سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- توکلی فریمانی، ز، (۱۳۹۲)، پایان نامه ارشد: " زمین شناسی، کانی سازی و ژئوشیمی و تفسیر اطلاعات ژئوفیزیکی در منطقه سرخواب، شمال غرب بردسکن"، دانشگاه فردوسی مشهد.
- حاتمی، پ، (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد " زمین شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار آهن میرجان، شمال غرب زنجان" زنجان.
- حمامی پور، ب، تاج الدین، ح، برهمند، ل، (۱۳۹۳)، " زمین شناسی و ژئوشیمی کانسار طلای سه بندون، شمال بردسکن: نمونه‌ای از کانی سازی طلای اپی ترمال در سنگ‌های افیولیتی"، هجدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
- حیدرپور، ر، (۱۳۹۲)، پایان نامه ارشد: " منشأ کانی سازی آهن در منطقه شمال کبودان (بردسکن)"، دانشگاه تربیت معلم، تهران.
- درویش زاده، ع، (۱۳۸۳)، " زمین شناسی / ایران"، انتشارات امیر کبیر، تهران، ۱۲۰ ص.
- روحبخش ایرادی، پ، (۱۳۸۹)، " بررسی زمین شناسی، دگرسانی، کانی سازی و ژئوشیمی در گستره

پی جویی دهن قلعه، شمال غرب بردسکن " مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی، شماره ۲، دوره هجدهم، ص ۲۸۲.

- روحبخش ایرادی، پ، (۱۳۸۹)، پایان نامه ارشد: " مطالعات زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی در محدوده اکتشافی دهن قلعه، شمال غرب شهرستان بردسکن"، دانشگاه فردوسی مشهد.

- سپاهی گرو، ع، (۱۳۷۱)، پایان نامه ارشد: " پترولوژی گرانیتوئیدهای منطقه تکنار- سربرج(شمال غرب کاشمر)"، دانشگاه اصفهان.

- شفارودی آ، (۱۳۸۲)، پایان نامه ارشد: " پتروگرافی، مینرالوگرافی و ژئوشیمی کانسارهای پلی متال تکنار او ۲"، دانشگاه فردوسی مشهد.

- شکری، ر، خاکزاد، ا، رزم آرا فرزقی، م، " بررسی کانه‌زایی مس و آلتراسیون‌های موجود در محدوده برناباد، بردسکن، خراسان رضوی"، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، تهران.

- شهرانی، م، حسینی، م، شعبانی، ک، (۱۳۸۵)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- عابدی، آ، فردوست، ف، سعیدی، س، (۱۳۸۸)، " بررسی ژنز و ارائه مدل زمین‌شناسی کانسار آهن اجت آباد، شرق سمنان"، طرح پژوهشی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- عابدیان، ن، (۱۳۸۸) " اکتشاف طلا منطقه شمال بردسکن" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

- عابدیان، ن، (۱۳۹۰) " اکتشاف عمومی آهن طلا دار بردسکن" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

- فرهادی رضا، (۱۳۷۴)، پایان نامه ارشد: " مطالعه زمین‌شناسی، ژئوشیمی، آنالیز رخساره و ژنز کانسار آهن منگنزدار شمس آباد اراک" دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

- قربانی، م، (۱۳۸۶)، " زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران"، انتشارات آراین زمین، تهران، ص ۲۹۳-۲۶۹.

کاظمی راد، م، راستاد، ا، محجل، م، (۱۳۹۲)، " کانه‌زایی آهن منگنزدار در دولومیت‌های معادل سازند شتری در شمال خاور دهبید، پهنه سندیج- سیرجان جنوبی، استان فارس" مجله علوم زمین، شماره ۹۴، دوره بیست و چهارم، ص ۳۶۹-۳۸۲.

- کریم‌پور م. سعادت س، (۱۳۸۱)، " زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی" انتشارات ارسلان، مشهد،

- کریم پور م. ح. رحیمی ب. زبرجانی ص. سلاطی ا. (۱۳۸۹)، "سنگ‌شناسی توده‌های نفوذی منطقه معدنی تکنار، بردسکن (تکنار)" *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، شماره اول، دوره هجدهم، ص ۶۷.

- منظمی باقرزاده، ر. (۱۳۹۰)، "مطالعه پتروگرافی و آلتراسیون‌های کمپلکس گرانیتوئیدی بخش مرکزی پهنه تکنار، جهت تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و پهنه‌های دگرسانی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای اسپات و استر جهت بررسی خطواره‌های منطقه شمال غرب بردسکن"، سی امین گردهمایی علوم زمین، تهران.

- موسوی حرمی، ر. (۱۳۸۳)، "رسوب شناسی"، آستان قدس رضوی، ص ۴۳۲.

- مهوشی، م. (۱۳۹۴)، پایان نامه ارشد: "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس چشمه گز (نسیم)، شمال غرب بردسکن"، دانشگاه فردوسی مشهد.

- نارویی، ح.، ملک‌زاده شفارودی، آ.، کریم پور، م. ح. (۱۳۹۴)، "کانه‌زایی و شیمی کانی مگنتیت در منطقه اکتشاقی آهن زبرکوه، جنوب غرب بردسکن، استان خراسان رضوی"، بیست و سومین همایش بلور شناسی و کانی‌شناسی، دامغان.

- وحدانی، محمد جواد (۱۳۹۳) "بررسی کانی‌زایی آهن در منطقه چهارسو پیوه ژن نیشابور، استان خراسان رضوی"، همایش ملی زمین‌شناسی و اکتشاف منابع، شیراز.

- همام، م. (۱۳۷۱)، پایان نامه ارشد: "پتروولوژی سنگ‌های آتشفشانی و دگرگونی منطقه تکنار- سربرج، شمال غرب کاشمر"، دانشگاه اصفهان.

منابع لاتین

- Acharya B. C. and Rao D. C. and Sahoo R. K. (1997) "Mineralogy, chemistry and genesis of Nishikhal manganese ores of south Orissa, India" **Mineralium Deposita**, 32, pp 93-79.
- Alavi M. (1991), "Tectonic Map of Middle East", TEhran, GSI, Scale, 1:50000.
- Barnes H. L. (1997) " **Geochemistry of hydrothermal ore deposits**", Vol. 1, John Wiley & Sons.
- Bao S. X. and Zhou H. Y. and Peng X. T. and Ji F. W. and Yao H. Q. (2004) "Geochemistry of REE and yttrium in hydrothermal fluids from the Endeavour segment, Juan de Fuca Ridge" **Geochemical Journal**, 42, pp 359-370.
- Bhatia M. R. (1983) "Plate tectonics and geochemical composition of sandston" **J. Geol.**, 91, pp 611-627.
- Bonatti E. (1975) "Metallogensis at oceanic spreading centers", **Annu Rev Earth**

Planet Sci., 3, pp 401-431.

- Boynton W. V. (1984) "**Geochemistry of rare earth elements meteorite studies**" Development in Geochemistry, 63, pp114.

- Choi J. H. and Hariya Y. (1992) "Geochemistry and depositional environment of Mn oxid deposits in the Tokoro belt. Northeastern Hokkaido. Japon" **Economic Geology., 87** , pp **1265-1274**.

- Dickson J .A. D.,(1965)" A modified staining technique for carbonate in thin section" Nature, V. 205, P. 587.

- Dunham R. j. (1962) "**Classification of Carbonate rocks according to depositional texture**" American Association of Petroleum Geologists, pp **45-60**.

- Folk R. L. (1974) "**Petrology of Sedimentary rocks**", HemPHill publishing Austin Texas, pp **63-99**.

- Forster H. (1968) "Associations of volcanic rocks in the mountains south of Sabzevar (NE Iran)" **In 23rd Int geol Congr, Vol. 2, pp 197-212**.

-Frietsch R. (1978) "On the magmatic origin of iron ores of the Kiruna type" **Economic Geology., 73** , pp**478-485**.

-Goldschmidt V.M. (1954) "**Geochemistry**" Oxford University Press., pp **152**.

-Gulbert J.M. and Park C.F. (1997) "**The geology of ore deposits**".w.h. freeman co. new york .pp**983**

- Hein J. and Buhn B. and Dasgupta S. (1997) " Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific" **Geological society special publication., 119, pp 123-138**.

- Henderson P. (1984)" Rare Earth element geochemistry" **Elsevier, 8,pp 50**.

-Hongo Y. and Nozaki Y. (2001)"Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits and Calyptogena shell from the Iheya Ridge vent field, Okinawa Trough" **Geochemical journal ., 35, pp347-354**.

-Hou K. and Li Y. and Gao J. and Liu F. and Oin Y. (2014) "Geochemistry and Si–O–Fe isotope constraints on the origin of banded iron formations of the Yuanjiacun Formation, Lvliang Group, Shanxi, China"**Ore Geology Reviews., 57, pp 288-298**.

- Jach R. and Dudek T. (2005)" Origin of a Toarcian manganese carbonate/silicate deposit from the Krizna unit, Tatra Mountains, Poland" **Chemical Geology., 224** , pp**136-152**.

- Karakus A. and Yavuz B. and Koc S. (2010) "Mineralogy and major-trace element geochemistry of the Haymana manganese mineralizations, Ankara, Turkey"**Geochemistry International., 48,10, pp1014-1027**.

-Kroonenberg S. B. (1994) " **Effects of provenance, sorting and weathering on the**

geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments"
In Proceedings of the 29th international geological congress, part A ,pp **69-81**.

-Kessler E. S. (1994) "**Mineral Resources, Economics and the Environment**" Mac Millan College Publishing company, pp**391**.

-Kupeli S. (2010) " Trace and rare-earth element behaviors during alteration and mineralization in the Attepe iron deposits (Feke-Adana, southern Turkey)" **Journal of Geochemical Exploration.**, **105,3**,pp **51-74**.

-Lents D. R. (1994), "**Alteration and alteration processes Associated with ore-forming system**"Geological Association of Canada short Course Notes, v.**11**.

- Leybourne M. I. and Johannesson K. H. (2008)" Rare earth elements (REE) and yttrium in stream waters, stream sediments, and Fe–Mn oxyhydroxides: fractionation, speciation, and controls over REE+ Y patterns in the surface environment" **Geochimica et Cosmochimica Acta**, **72(24)**, pp **5962-5983**.

- Lindenberg G. H. and Jacobshagen V. (1983) " Post-paleozoic geology of the Taknar zone and adjacent areas (NE Iran, Khorasan)" Geological Survey of Iran, ISSN 0075-0484, report no. 51. Freie Universität Berlin Institute of Geological Sciences, Dtsch, pp145- 163.

- Loberg B. E. and Horndahl A. K. (1998) " Ferride geochemistry of Swedish Precambrian iron ores" **Mineralium Deposita.**, **18,3**, pp **487-504**.

- Marschik R. and Fontbote L. (2001) " The Candelaria-Punta del Cobre iron oxide Cu-Au (-Zn-Ag) deposits, Chile" **Economic Geology.**,**8**, pp **96**.

- Mason B. and Moor C. B. (1982)" **Principples of geochemical**" 4th ed., Wiley, New York, pp **344**.

- Milliman J.D. (1974) " Marine Carbonates" **New York, Springer-Verlag**, pp**375**.

- Missack E. A. (1988) "Mineralogy and phase relations of the massive sulphides and metalliferous sediments of the axial rift valley" Red SeaVol. 23. Ruprecht-Karls-Universität.

- Mucke A. and Dzigbodi Adjimah K. and Annor A. (1999) " Mineralogy, petrology, geochemistry and genesis of the paleoproterozoic Birimian manganese formation of Nsuta/ Ghana" **Mineralium Deposita**, **34** , pp**297-311**.

-Muller R. and Walter R. (1983)"Geology of the Precambrian Paleozoic Taknar inliers northwest of Kashmar, Khorasan province, NE Iran", GSI. Rep, 51, 165-183.

- Maynard J. B. (1983)" **Geochemistry of Sedimentary Ore Deposits Springer Verlag**" New York p **305**.

- Nesse W. D. (2011) " **Introduction to mineralogy**", Oxford University Prees., pp **496**.

- Pettijohn F.J. and Potter P.E. and Siever R. (1987) "**Sand and Sandstone**" Springer – Verlag, New Yourk., pp**553** .

- Ramdohr. p. (1980) "2nd edithion, the ore minerals and their intergrowth " Pergamon, P. 1220.
- Rao C. P. (1996). "Elemental composition of marine calcite from modern temperate shelf brachiopods, bryozoans and bulk carbonates, eastern Tasmania, Australia", **Carbonates and Evaporites**, **11,1**, pp1-18.
- Rao C. P. and Adabi M. H. (1992) "Carbonate minerals, major and minor elements and oxygen and carbon isotopes and their variation with water depth in cool, temperate carbonates, western Tasmania, Australia" **Marine Geology**.,**103,1**, pp 249-272.
- Reed M. H. (1997)" Hydrothermal alteration and its relationship to ore fluid composition" **Geochemistry of hydrothermal ore deposits.**, **3**, pp 303-365.
- Rollinson H. R. (1993) "**Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation**", pp557.
- Roser B. P. and Korsch R. J. (1988) "Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data" **Chemical geology.**, **67,1**,pp 119-139.
- Roy S. (1992) " Environments and processes of manganese depositon" **Economic geology.**, **87**, pp 1218-1236.
- Salama, Walid, Mourtada El Aref, and Reinhard Gaupp (2012) "Mineralogical and geochemical investigations of the middle Eocene ironstones, El bahariya depression, western desert, Egypt" **Gondwana Research** 22.2. **717-736**.
- Sciuba M. (2013), Master. Thesis,"Mineralogy and Geochemistry of the Banded Iron-Formation in the Svartliden Gold Deposit, Northern Sweden (Doctoral dissertation, Master Thesis. Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, Division of Geosciences and Environmental Engineering. Lulea University of Technology, Lulea, Sweden).
- Stanton, R. L. (1972). "Ore petrology". McGraw-Hill Companies.
- Starikova E. V. (2001)"BEhavior of Iron and Manganese in Hydrothermal Sedimentary Processe: Analysis of Natural and Calculation Data" **Metallogeniya drevnikhi sovremennykh okeanovIstoriya mestorozhdenii i evolyutsiya rudoobrazovaniya**,pp 71-77.
- Stocklin J. (1968)"Structural history and tectonics of Iran" **Bulletin,Ann. Geol**, 52,7,pp 1229-1258.
- Stocklin J. (1977) "Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and Central Asia" **Mem. H. Ser. Sot. Geol. Fr**, **8**,pp 333-353.
- Sun H. and Wu J. and Yu P. and Li J. (1998) "Geology, geochemistry and sulfur isotope composition of the Late Proterozoic Jingtieshan (Superior-type) hematite-jasper-barite iron ore deposits associated with stratabound Cu mineralization in the Gansu Province, China" **Mineralium Deposita.**,**34,1**, pp 102-112.
- Taylor S. R. and McLennan S.M. (1985), "**The Continental Crust: Its Composition and Evolution**" Blackwell, Oxford, pp. 312
- Toth J. R. (1980) " **Deposition of submianian crusts rich in manganese and iron**" **Geol. Soc, Am. Bull**, **91**,pp 44-54.

-Tucker M. E. (2003) "**Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks**" John Wiley & Sons.

Abstract

Zard Kuh Iron deposit is located in Khorasan Razavi province, 50 Km NW of the Bardaskan city and 31 Km NE of Darouneh Village. This Iron deposit belongs to the north part of the central Iran structural zone and SW of the Taknar zone. The oldest outcropped unit in the region is the Taknar metamorphosed pyroclastic formation with the Precambrian age, which is located with a fault border on both sides of the Lower Devonian age Padeha chemical-destruction formation. The Padeha formation includes limestone, sandstone, shale and dolomite lime. Ore deposits are formed in the form of layers and lenses with limited lateral distribution, concordant with the Padeha formation. Based on mineralogical and petrographical observations, hematite, goethite, limonite and with a minor amount magnetite are major minerals, pyrite and possible gold grains are minor minerals. Barite, quartz, calcite, ankerite, dolomite, muscovite and gypsum are gangue minerals. Most important structures of the ore deposit include: layers, lenses and vein-veinlets. Most textures of the ore-forming deposit are: laminated, dispersed, marginal, replacement, banded, open space filling and chlorite. Common observed or deduced alterations are silicification, carbonatization, dolomitization and iron oxides (hematitization and limonitization) and sulfatization. Evaluation of the samples by ARS method indicates that the major part of the rock-forming minerals of carbonate minerals is calcite. Geochemical studies based on the ratio of $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$, V / Co , Ni / Zn , changes in Cu, Co and Ni, changes in Mn and Fe and variations of REEs such as enrichment of LREE / HREE and positive EU anomaly. All of them confirm a hydrothermal origin for iron ore mineralization. In the Zard Kuh Iron deposit, Al, Mo, Ni, P, V, Co, Ti and Cr represent different behavior with iron. With increasing iron, the mentioned elements show decreasing. On the other hand, some elements such as Mn, Sr, Mg, As, Cu and Ba have similar behavior with iron, the fact indicates that they have the same origin. Therefore, with attention to layer structure, concordant with host rock, non-fault structures, structure and texture and hydrothermal origin, it is possible to say that the Zard Kuh iron deposit has an exhalative-sedimentary origin.

Keywords: iron, exhalative-sedimentary, Zard Kuh, Taknar, Bardaskan.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

MSc Thesis in Department of Petrology and Economic Geology

**Mineralogy, geochemistry and genesis of ZardKuh Iron Deposit,
Northwest of Bardeskan, Khorasan Razavi.**

By: Fatemeh Abedini Moghanaki

Supervisor:

Dr. F . Fardoost

September 2016