

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی

کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی رخداد کانی زایی های مس – طلا همراه
با سنگ های آتشفشانی – رسوبی کرتاسه پسین در زیر پهنه سبزوار
(شمال بردسکن)

نگارنده: یوسف علیزاده فرد

استاد راهنما

دکتر فردین موسیوند

استاد مشاور

دکتر حبیب الله قاسمی

تیر ۱۴۰۰



مدیریت تحصیلات تکمیلی

باسمه تعالی

فرمهای ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد
مربوط به ورودی های ۹۴ به بعد

شماره: ۶۰۱۸

تاریخ: ۶/۹

ویرایش:

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای... یوسف علیزاده فرد... با شماره دانشجویی... ۹۶۱۰۹۸۴... رشته... زمین شناسی... گرایش... اقتصادی... تحت عنوان... کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی رخداد کانی زایی های مس - طلا همراه با سنگ های آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین در زیر پهنه سیزوار (شمال بردسکن)... که در تاریخ ۱۴۰۰/۴/۳۱... با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار شد به شرح ذیل اعلام می گردد:

☐ الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰ ☐ ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵/۹۹ ☐ ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد		☒ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۸ ☐ عملی ☐ نظری		
نوع تحقیق:	عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
	۱- استاد راهنمای اول	فردین موسیوند	استادیار	
	۳- استاد مشاور	حبیب الله قاسمی	استاد	
	۴- استاد داور اول	مسعود علیپور اصل	استادیار	
	۵- استاد داور دوم	مریم شبی	استادیار	
	۶- نماینده تحصیلات تکمیلی	مهدی رضایی کهخایی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: رمضان رضایی اومالی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تقدیم به

مقدس ترین واژه ها در لغت نامه دلم، مادر مهربانم که زندگی را مدیون مهر و عطوفت آن می دانم.

پدر، مهربانی مشفق، بردبار و حامی.

برادر و خواهرم همراهان همیشگی و پشتوانه های زندگی.

سپاسگزاری

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی‌ام بوده‌اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند...

- استاد راهنمای دلسوز و بزرگوarm، جناب آقای دکتر فردین موسیوند، که بی‌شک راهنمایی‌های ارزنده، دانش و دلسوزی‌های ایشان سبب به انجام رسیدن این تحقیق شده‌است و این حقیر در این راه از دانش و راهنمایی‌های ایشان بهره بسیار برده‌ام استادی که در بسیاری از جنبه‌ها از جمله علمی، اخلاقی، معنوی و اجتماعی الگو و راهنما بودند.

- استاد مشاور بزرگوarm، جناب آقای دکتر حبیب الله قاسمی، که با قبول زحمت مشاوره این تحقیق، در رفع نقایص و مشکلات علمی از هیچ کوششی فروگذار نکردند.

- جناب آقایان دکتر فردوست، دکتر صادقیان، دکتر رضائی و دکتر علیپور استادانی مهربان و دلسوز که صبورانه و دلسوزانه در انجام این تحقیق از راهنمایی‌های ارزشمند این بزرگوarm بهره‌مند شده‌ام. همچنین از آقایان مهندس میرباقری مسئول آزمایشگاه اپتیک، مهندس محمدیان مسئول کارگاه مقطع، آقای آقایی بخش حمل و نقل و خانم فارسی مسئول آموزشگاه دانشکده علوم زمین جهت زحماتشان قدردانی و تشکر می‌نمایم.

- دوستان عزیز و گرامی، آقایان ایمانی خانی، افتخاری، عبدالهی، ایلخانی، غیاثی، ساورعلیا، نعیمی و دوستان همکلاسی بخاطر همکاری در طول مراحل تحقیق و همچنین بسیاری از عزیزانی که متأسفانه آوردن نامشان مقدور نیست، تشکر و قدردانی می‌کنم.

تعهدنامه

اینجانب یوسف عزیزاده فرد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی رخداد کانی زایی های مس – طلا همراه با سنگ های آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین در زیر پهنه سبزوار (شمال بردسکن) تحت راهنمایی دکتر فردین موسیوند متعهد می شوم:

- تحقیقات این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محقق های دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا افراد دیگر برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج پایان نامه تأثیرگذار بوده اند رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

امضاء:

تاریخ:

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

کانسارهای مس- طلای القبایی و سبه، طلای سه بندون و کانسار منگنز - طلای بیجورد (شمال و جنوبی) در ۲۶ کیلومتری شمال بردسکن، در زیر پهنه سبزوار و در توالی آتشفشانی- رسوبی به سن کرتاسه پسین رخ داده اند. توالی میزبان کانسار از پایین به بالا شامل چهار واحد سنگی می باشد: ۱- واحد ویتریک کریستال توف سبز و قرمز با ترکیب ریولیتی و ریوداسیت، تناوبی از گدازه با ترکیب ریولیت تا داسیت (Unit¹)، ۲- واحد گدازه با ترکیب تراکی آندزیت تا آندزیت بازالت، آگلومرا، لاپیلی توف، کریستال توف ماسه ای (Unit²)، ۳- واحد آهک پلاژیک به همراه شیل توفی کربناته همراه فسیل رادیولاریت (Unit³) و ۴- واحد لیتیک کریستال توف با ترکیب ریولیتی و ریوداسیت، تناوبی از گدازه با ترکیب تراکی آندزیت و تراکی بازالت (Unit⁴). کانه‌زایی در دو افق و درون واحدهای ۲ و ۳ رخ داده است. افق ۱ (OH1) دربردارنده کانسارهای مس- طلای القبایی و سبه بوده که به شکل رگه-رگچه‌های سیلیسی-کربناتی غنی از مس و به مقدار کمتر طلا، در قسمت زیرین واحد ۲ قرار دارد. افق ۲ (OH2) نیز شامل کانسارهای طلای سه بندون و منگنز - طلای بیجورد است که در بخش‌های بالایی واحد ۲ و زیرین واحد ۳ جای دارند. سنگ‌های میزبان کانه‌زایی عمدتاً شامل گدازه تراکی آندزیتی تا آندزیت بازالت، توف ماسه‌ای با ترکیب اسیدی تا حدواسط، شیل توفی و به مقدار کم آهک پلاژیک می‌باشند. بر اساس مطالعات کانی‌شناسی، ساخت و بافت و نوع ارتباط ماده معدنی با سنگ میزبان، چهار رخساره کانه‌دار در کانه‌زایی‌های موجود در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین در شمال بردسکن قابل تفکیک هستند که عبارتند از: (۱) رخساره رگه- رگچه‌ای یا پهنه استرینگر که در همه کانسارهای یاد شده به صورت شبکه‌ای از رگه- رگچه‌های کانه‌دار سنگ‌های میزبان تراکی آندزیت تا آندزیت بازالت را قطع می‌کنند. (۲) مجموعه دهانه‌ای که در کانسارهای سه بندون و منگنز-طلا بیجورد شمالی بصورت برشی و حاوی قطعات رخساره استرینگر بوده و انواع کانی‌های سولفیدی، اکسیدی و سیلیسی را در متن سنگ‌های تراکی آندزیت و آندزیت بازالت شامل می‌شود. (۳) رخساره توده‌ای که خود بخش پرعیار معدن منگنز بیجورد شمالی را تشکیل داده و به صورت چینه کران می‌باشد. البته این رخساره در سایر کانه‌زایی‌ها دیده نمی‌شود. (۴) رخساره کانسنگ نواری-بروندمی (Exhalative) که در معدن سه بندون حاوی پیریت بوده و شامل لامینه‌های سولفیدی با میزبان شیل توفی است که در بالای آن بخش توف رادیولاریتی منگنز دار نیز دیده می‌شود. این رخساره در معدن منگنز بیجورد جنوبی شامل تناوب نوارها و لامینه‌های غنی از اکسید-هیدرواکسیدهای منگنز و آهن با نوارهای غنی از توف و چرت- که حاکی از ته‌نشینی همزمان با ذرات تشکیل‌دهنده سنگ میزبان شیل توفی در کف دریا هستند- می‌باشد. این رخساره غنی از کانی پسیلوملان و پیرولولوزیت با بافت تیغه‌ای و کلوفرمی است. براساس مطالعات انجام گرفته صحرایی و میکروسکوپی، کانی‌شناسی ماده معدنی در معدن القبائی شامل کالکوپیریت، پیریت و بورنیت است. در اندیس سبه، ماده معدنی از کانی‌های پیریت و کالکوپیریت تشکیل یافته و کانی‌های معدنی در معدن سه بندون بصورت پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، مارکاسیت، بورنیت، آرسنوپیریت، طلا و گالن می‌باشد. همچنین معدن منگنز- طلا

بیجورد دارای کانی سولفیدی پیریت در کمر پایین و اکسیدهای آهن - منگنز نظیر پسیلوملان، پیرولوویت و همتایت در افق کانه‌دار چینه سان است. دگرسانی‌های عمده در این کانه زایی ها شامل کلریتی، اپیدوتی، سیلیسی- سربستی - کربناته و آرژیلیکی ثانویه می‌باشند. بررسی‌های ژئوشیمیایی و ترسیم الگوی عناصر نادر خاکی و تغییرات عناصر کمیاب، نشان‌گر ماهیت تولییتی سنگ میزبان این کانسارها بوده و نشان‌دهنده شکل-گیری آن‌ها در یک محیط جزیره کمانی در حوضه اقیانوسی پشت کمانی سبزوار در زمان کرتاسه پسین می‌باشد. براساس نتایج ژئوشیمیایی، میزان مس در پهنه‌ی استرینگر کلاته القبایی تا ۱/۸ درصد و میزان طلا در آن ۶۰۰ ppb گزارش شده است. در محدوده طلا- منگنز بیجورد، میزان طلا تا ۴/۵ گرم در تن بوده که احتمالاً هم‌زمان با پیریت شکل گرفته است. در محدوده سه بندون، طلا تا ۲/۵ ppm همراه با کانیهای سولفیدی در بخش استرینگر و برشی وجود دارد. با توجه به نمودارهای ژئوشیمیایی، کانسنگ‌های منگنز کانسار بیجورد در محدوده گرمابی زیر دریایی قرار می‌گیرند. قابل ذکر است که افق منگن‌دار کانسار بیجورد (شمالی و جنوبی) از جهت چینه شناسی معادل بخش رادیولاریتی آهن و منگن‌دار کانسار طلای سه بندون می باشد که حاکی از تشکیل همه این کانسارها در کف و زیر کف دریا در حوضه آتشفشانی-رسوبی دریایی کرتاسه پسین می باشد. بنابراین، بر اساس شواهد مختلف به دست آمده از جمله محیط تکتونیکی تشکیل، توالی میزبان کانه‌زایی، رخداد کانه زایی در افق چینه شناسی خاص، رخساره‌های کانه‌دار، شکل هندسی ماده معدنی، بافت و ساخت و کانی‌شناسی ماده معدنی، محتوای فلزی و پهنه‌بندی دگرسانی، کانسارهای مورد مطالعه را می‌توان جزء کانسارهای مس- طلای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد تیپ بشی یا پلیتیک- مافیک (Besshi-type or pelitic mafic) طبقه‌بندی نمود.

کلمات کلیدی: مس، طلا، منگنز، کرتاسه-پسین، آتشفشانی-رسوبی، سولفید توده ای، بردسکن

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه	۳
۳-۱- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاه	۳
۴-۱- وضعیت معیشتی	۵
۵-۱- زمین ریخت‌شناسی	۵
۶-۱- تاریخچه مطالعات و کارهای انجام شده قبلی	۶
۷-۱- تعریف مساله و اهداف تحقیق	۹
۸-۱- روش انجام تحقیق	۱۰
۸-۱-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع	۱۰
۸-۱-۲- عملیات زمین‌شناسی صحرایی	۱۱
۸-۱-۳- مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی	۱۱
۸-۱-۴- مطالعات دفتری	۱۲
۸-۱-۵- مطالعات نرم افزاری و تجزیه و تحلیل داده‌ها	۱۲
۹-۱- رده‌بندی ذخائر مس - طلای جهان	۱۳
۱۰-۱- فازهای کانی‌سازی مس - طلا در ایران	۲۱
۱۰-۱-۱- نئوپروتروزوئیک پسین	۲۱
۱۰-۱-۲- ژوراسیک - کرتاسه	۲۲
۱۰-۱-۳- کرتاسه - پالئوسن	۲۲
۱۰-۱-۴- ترشیاری	۲۲

فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای

۱-۲- مقدمه	۲۶
۲-۲- ویژگی‌های ساختاری - زمین‌ساختی پهنه سبزوار	۲۷
۲-۲-۱- گروه اول: مجموعه‌های افیولیتی	۳۱
۲-۲-۲- گروه دوم: مجموعه‌های آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین	۳۳
۲-۲-۳- گروه سوم توالی فلیشی	۳۳
۳-۲- زمین‌شناسی ناحیه ای	۳۳
۳-۲-۱- پرکامبرین	۳۳

۳۴	 واحد ^۱ (pe): ۱-۱-۳-۲
۳۶	 واحد متاریولیت، ریوداسیت(Pe ^t): ۲-۱-۳-۲
۳۶	 کرتاسه پسین ۲-۳-۲
۳۷	 واحد آمیزه رنگین (cm): ۱-۲-۳-۲
۳۷	 واحد اولترابازیک (ub): ۲-۲-۳-۲
۳۸	 واحد بازالت پورفیری، اسپیلایت (ba-sp): ۳-۲-۳-۲
۳۸	 واحد آهک کرتاسه Kl: ۴-۲-۳-۲
۳۸	 واحد (K2v) سنگ‌های آتشفشانی و آذر آواری: ۵-۲-۳-۲
۳۹	 واحد K ₂ L: آهک گلوبوترونکنا ۶-۲-۳-۲
۴۰	 پالئوسن ۳-۳-۲
۴۰	 واحد (pg): ۱-۳-۳-۲
۴۱	 ائوسن ۴-۳-۲
۴۱	 واحد El ۱-۴-۳-۲
۴۱	 واحد Et ₂ ۲-۴-۳-۲
۴۱	 کواترنری ۵-۳-۲
۴۱	 واحد (Q ^{t1}) ۱-۵-۳-۲
۴۱	 زمین‌شناسی ساختمانی ۴-۳-۲
۴۳	 سطح مقطع B-B': ۱-۴-۲
۴۳	 سیستم چین‌خوردگی و کوهزایی منطقه ۲-۴-۲
۴۵	 زمین‌شناسی اقتصادی ۵-۲

فصل سوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه معدنی

۵۲	 مقدمه ۱-۳
۵۲	 چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه ۲-۳
۵۶	 واحد اصلی ۱: (unit ¹) ۱-۲-۳
۵۷	 واحد ویتریک کرسنال توف سبز و قرمز ۱-۱-۲-۳
۵۷	 گدازه‌های با ترکیب ریولیت تا داسیت ۲-۱-۲-۳
۵۷	 واحد اصلی ۲: (unit ²) ۲-۲-۳
۵۸	 گدازه‌های تراکی آندزیت و آندزیت بازالت ۱-۲-۲-۳
۶۴	 واحد کریستال توف ماسه‌ای ۲-۲-۲-۳
۶۴	 آگلومرا با لایه‌هایی از لایلی توف و توف نازک لایه ۳-۲-۲-۳
۶۴	 واحد گدازه بالشی تراکی آندزیت بازالت ۴-۲-۲-۳
۶۶	 واحد اصلی ۳ (unit ³): ۱-۳-۳
۶۷	 آهک پلاژیک ۱-۱-۳-۳

۶۸	۳-۱-۲-شیل توفی -کربناته همراه با چرت (فسیل رادیولاریت).....
۷۰	۳-۴-۱-واحداصلی ۴: (unit ⁴).....
۷۰	۳-۴-۱-۱-کریستال لیتیک توف.....
۷۰	۳-۴-۱-۲-واحد گدازه آندزیت بازالتی.....
۷۰	۳-۵-توده‌های نفوذی نیمه عمیق الیوین بازالت.....
۷۱	۳-۶-نهشته کواترنری.....

فصل چهارم: کانه‌زایی و دگرسانی

۷۴	۴-۱-مقدمه.....
۷۵	۴-۲-رخساره‌های کانه‌زایی آتشفشانی - رسوبی در ناحیه جنوب سبزوار.....
۷۷	۴-۳-رخداد کانه‌زایی مس - طلا در توالی آتشفشانی _ رسوبی کرتاسه پسین (شمال بردسکن).....
۷۸	۴-۴-ویژگی های کانی زائی مس-طلا در کانسار القبایی در مقطع شمال غرب- جنوب شرق.....
۷۹	۴-۵-رخساره‌های کانه‌دار کانسنگ در معدن القبایی افق (OH1).....
۸۰	۴-۵-۱-رخساره کانسنگ رگه-رگچه‌ای.....
۸۲	۴-۵-۲-ساخت و بافت حفره پرکن مس-طلای القبایی.....
۸۲	۴-۶-شکل هندسی ماده معدنی در کانسار القبایی.....
۸۴	۴-۷-رخساره‌های کانه‌دار کانسنگ در اندیس سبه افق OH1.....
۸۴	۴-۷-۱-رخساره رگه-رگچه‌ای.....
۸۵	۴-۸-شکل هندسی ماده معدنی در کانسار مس-طلای سبه.....
۸۷	۴-۹-رخساره‌های کانه‌دار کانسنگ در کانسار طلای سه بندون افق OH2.....
۸۸	۴-۹-۱-رخساره رگه-رگچه‌ای.....
۸۸	۴-۹-۲-رخساره کانسنگ برشی (Vent complex).....
۸۹	۴-۹-۳-رخساره لایه‌ای.....
۹۳	۴-۱۰-شکل هندسی ماده معدنی در کانسار طلای سه بندون.....
۹۳	۴-۱۱-رخساره‌های کانه‌دار کانسنگ در کانسار جنوبی و شمالی منگنز دهنه بیجورد (افق OH2).....
۹۵	۴-۱۱-۱-رخساره رگه-رگچه‌ای در کانسار جنوبی منگنز بیجورد.....
۹۶	۴-۱۱-۲-رخساره نواری-بروندمی غنی از منگنز کانسار بیجورد جنوبی.....
۹۹	۴-۱۱-۳-شکل هندسی ماده معدنی در کانسار جنوبی منگنز دهنه بیجورد.....
۹۹	۴-۱۱-۴-رخساره مجموعه دهانه‌ای (vent complex) بیجورد شمالی.....
۹۹	۴-۱۱-۵-رخساره توده‌ای کانسار بیجورد شمالی.....
۹۹	۴-۱۱-۶-شکل هندسی ماده معدنی در کانسار شمالی منگنز دهنه بیجورد.....
۱۰۰	۴-۱۲-شکل هندسی طلا در کانسار منگنز دهنه بیجورد شمالی.....
۱۰۲	۴-۱۳-هوازدگی.....
۱۰۲	۴-۱۳-۱-بخش اکسیدان (لیمونیت و گوتیت).....

۱۰۳.....	۱۴-۴- دگرسانی
۱۰۴.....	۱-۱۴-۴- عوامل موثر بر دگرسانی
۱۰۵.....	۲-۱۴-۴- دگرسانی کلریتی
۱۰۵.....	۳-۱۴-۴- دگرسانی اپیدوتی
۱۰۸.....	۴-۱۴-۴- دگرسانی سیلیسی- سریسیتی- کربناته سولفیددار
۱۰۹.....	۶-۱۴-۴- دگرسانی آرژلیکی

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

۱۱۴.....	۱-۵- مقدمه
۱۱۴.....	۲-۵- ساخت و بافت ماده معدنی و کانی‌شناسی در توالی کرتاسه پسین شمال بردسکن
۱۱۵.....	۱-۲-۵- ساخت و بافت رگه-رگچه‌ای
۱۱۵.....	۲-۲-۵- ساخت و بافت حفره پرکن
۱۱۸.....	۳-۲-۵- ساخت و بافت برشی
۱۲۰.....	۴-۲-۵- ساخت و بافت نواری برون‌دمی
۱۲۱.....	۵-۲-۵- ساخت و بافت توده‌ای منگنز بیجورد
۱۲۴.....	۶-۲-۵- ساخت و بافت جانشینی
۱۲۴.....	۷-۲-۵- بافت کلوفرمی
۱۲۵.....	۳-۵- کانی‌شناسی
۱۲۵.....	۱-۳-۵- کانی‌های اولیه
۱۲۶.....	۱-۱-۳-۵- پیریت
۱۲۶.....	۲-۱-۳-۵- مارکاسیت
۱۲۷.....	۳-۱-۳-۵- اسفالریت
۱۲۸.....	۴-۱-۳-۵- کالکوپیریت
۱۲۸.....	۵-۱-۳-۵- مگنتیت
۱۲۸.....	۶-۱-۳-۵- طلا
۱۲۹.....	۷-۱-۳-۵- آرسنوپیریت و گالن
۱۳۰.....	۸-۱-۳-۵- پیرولولزیت
۱۳۰.....	۹-۱-۳-۵- پسیلوملان
۱۳۰.....	۲-۳-۵- کانی‌های ثانویه
۱۳۰.....	۱-۲-۳-۵- مالاکیت
۱۳۱.....	۲-۲-۳-۵- هماتیت
۱۳۲.....	۳-۲-۳-۵- گوتیت
۱۳۲.....	۴-۲-۳-۵- کوولیت
۱۳۲.....	۳-۳-۵- کانی‌های باطله

۱۳۲.....	۵-۳-۱-کلسیت
۱۳۲.....	۵-۳-۲-کوارتز
۱۳۲.....	۵-۳-۳-کلریت
۱۳۳.....	۵-۴-توالی پاراژنز کانی‌ها
۱۳۳.....	۵-۴-۱-فعالیت‌های آتشفشانی - برون‌دمی و دیاژنز
۱۳۴.....	۵-۴-۲-پس از کانه‌زایی (هوازدگی و سوپرژن)

فصل ششم: مطالعات ژئوشیمیایی و سیالات درگیر

۱۴۰.....	۶-۱-مقدمه
۱۴۱.....	۶-۲-نمونه‌برداری و آزمایشات انجام گرفته
۱۴۱.....	۶-۳-ژئوشیمی سنگ‌های آذرین
۱۴۲.....	۶-۳-۱-تعیین سری ماگمایی و طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی
۱۴۲.....	۶-۳-۲-تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آذرین
۱۴۸.....	۶-۴-ژئوشیمی عناصر نادر خاکی
۱۵۰.....	۶-۴-۱-الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در سنگ‌های آتشفشانی توالی میزبان
۱۵۴.....	۶-۴-۲-الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در ماده معدنی در توالی کرتاسه پسین شمال بردسکن
۱۵۵.....	۶-۴-۳-الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در رخساره رگه-رگچه‌ای و برشی
۱۵۵.....	۶-۴-۴-الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در رخساره توده‌ای منگنز بیجورد
۱۵۷.....	۶-۴-۵-الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در رخساره لایه‌ای سه بندوق و منگنز بیجورد
۱۵۷.....	۶-۵-میزان پراکندگی و ضریب همبستگی عناصر در کانسار القبایی
۱۵۹.....	۶-۶-میزان پراکندگی و ضریب همبستگی عناصر در کانسار طلای سه بندوق
۱۶۰.....	۶-۷-میزان پراکندگی و ضریب همبستگی عناصر در کانسار منگنز بیجورد
۱۶۲.....	۶-۸-ویژگی‌های ژئوشیمیایی رخساره‌های کانه‌دار در کانسار مس-طلای القبایی
۱۶۳.....	۶-۹-ویژگی‌های ژئوشیمیایی رخساره‌های کانه‌دار در کانسار طلای سه بندوق و مس-طلای سبه
۱۶۵.....	۶-۱۰-ویژگی‌های ژئوشیمیایی رخساره‌های کانه‌دار در کانسار منگنز بیجورد
۱۶۹.....	۶-۱۱-ژئوشیمی کانسنگ منگنز
۱۶۹.....	۶-۱۱-۱-نمودار Zn-Ni-Co
۱۶۹.....	۶-۱۱-۲-نمودار (Co/Zn)-(Co+Cu+Ni)
۱۷۰.....	۶-۱۱-۳-نمودار Pb/Zn
۱۷۱.....	۶-۱۱-۴-نمودار (Ni+Co+Cu)*10-Mn-Fe
۱۷۳.....	۶-۱۲-شیمی کانی‌ها بر اساس روش الکترون پروپ (FESEM)
۱۷۳.....	۶-۱۲-۱-مقدمه
۱۷۳.....	۶-۱۲-۲-طرز کار آنالیز FESEM
۱۷۳.....	۶-۱۲-۳-هدف و ضرورت انجام مطالعه

۱۷۴.....	۴-۱۲-۶ نتایج آنالیز FESEM
۱۷۶.....	۱۳-۶ سیالات درگیر
۱۷۶.....	۱-۱۳-۶ مقدمه
۱۷۷.....	۲-۱۳-۶ نمونه برداری و آماده سازی نمونه ها
۱۷۷.....	۳-۱۳-۶ پتروگرافی سیالات درگیر
۱۷۹.....	۴-۱۳-۶ مطالعات دماسنجی سیالات درگیر

فصل هفتم: نتیجه گیری، الگوی تشکیل، تیپ کانه زایی و پیشنهادات اکتشافی

۱۸۲.....	۱-۷ مقدمه
۱۸۲.....	۲-۷ مختصری از شواهد مشاهده شده در کانسار مس- طلای القبابی و دیگر محدوده ها
۱۸۲.....	۱-۲-۷ محیط زمین شناسی تهنشت
۱۸۲.....	۲-۲-۷ سنگ های میزبان و همراه
۱۸۳.....	۳-۲-۷ شکل هندسی ماده معدنی
۱۸۴.....	۴-۲-۷ ساخت و بافت و رخساره های کانه دار
۱۸۵.....	۵-۲-۷ کانی شناسی
۱۸۶.....	۶-۲-۷ دگرسانی و منطقه بندی آن ها
۱۸۶.....	۷-۲-۷ جایگاه تکتونیکی
۱۸۷.....	۸-۲-۷ نتایج ژئوشیمی و سیال درگیر
۱۸۹.....	۳-۷ الگوی تشکیل کانسار مس- طلا و منگنز در توالی آتشفشانی -رسوبی کرتاسه پسین
۱۹۴.....	۴-۷ مدل تشکیل کانسارهای سولفید توده های آتشفشانزاد
۱۹۵.....	۵-۷ شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسار سولفید توده های آتشفشانزاد
۱۹۵.....	۱-۵-۷ منشأ فلزات
۱۹۷.....	۲-۵-۷ منشأ گوگرد
۱۹۷.....	۳-۵-۷ منشأ سیالات
۱۹۹.....	۴-۵-۷ انتقال و تهنشت طلا در سیستم های سولفید توده های آتشفشانزاد
۲۰۰.....	۶-۷ تقسیم بندی کانسارهای سولفید توده های آتشفشانزاد VMS
۲۰۲.....	۷-۷ بر اساس تقسیم بندی لیتو استراتیگرافی (Franklin et al. 2005)
۲۰۳.....	۸-۷ مقایسه مس-طلای القبابی با کانسارهای سولفید توده های تیپ بشی در ایران و جهان
۲۰۴.....	۹-۷ مقایسه کانسارهای طلا دار تیپ های مختلف VMS در جهان و ایران
۲۰۵.....	۱۰-۷ بازسازی حوضه آتشفشانی - رسوبی منطقه کلاته القبابی و جایگاه تشکیل مس-طلا و منگنز
۲۱۵.....	۱۱-۷ عیار و تناژ
۲۱۵.....	۱۲-۷ پیشنهاد اکتشافی

فهرست شکل‌ها

فصل اول

- شکل ۱-۱- الف- نقشه استان خراسان و موقعیت منطقه مورد بررسی (دایره زرد)..... ۴
- شکل ۱-۲- نمائی از توپوگرافی منطقه: الف- دور نمایی از واحد K2v (دید به سمت شمال)..... ۶
- شکل ۱-۳- نمایی از آثار شدادی در کانسار مس- طلای القبایی (دید به سمت جنوب غرب)..... ۹
- شکل ۱-۴- تصویر شماتیک برای انواع ذخیره طلا از سطح پوسته (Robert et al., 1997)..... ۱۳
- شکل ۱-۵- نقشه پهنه‌های ساختاری (Alavi, 1991., Aghanabati, 2003)..... ۲۳
- شکل ۱-۶- ویژگی اصلی زمین‌ساختی ایران و کشورهای همسایه..... ۲۴

فصل دوم

- شکل ۲-۱- جایگاه سبزوار در خرده‌قاره ایران مرکزی..... ۲۷
- شکل ۲-۲- نقشه زمین‌شناسی ساده ایران - ترکیه که توزیع سنگ‌های آذرین سنوزوئیک..... ۲۸
- شکل ۲-۳- نقشه زمین‌شناسی پهنه سبزوار با تأکید بر افیولیت‌ها و سنگ‌های آتشفشانی..... ۳۱
- شکل ۲-۴- تصاویر نمادین از مدل زمین‌ساختی بروز ماگماتیسم کرتاسه بالایی در جنوب غرب سبزوار..... ۳۲
- شکل ۲-۵- نقشه ماهواره‌ای و موقعیت کانسارها و اندیس‌های معدنی مورد مطالعه..... ۳۴
- شکل ۲-۶- نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه کانسار القبایی برگرفته از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن..... ۳۵
- شکل ۲-۷- واحد آهک کرتاسه که بر روی واحدهای قدیمی تکنار به سن پالئوزوئیک با مرز گسلش..... ۳۶
- شکل ۲-۸- الف- نمایی از سنگ‌های افیولیتی در شمال غرب روستای بیجورد..... ۳۹
- شکل ۲-۹- نمایی از واحد آهک گلوبوترونکانا در کانسار مگنز بیجورد در واحد گدازه و توف (K2v)..... ۴۰
- شکل ۲-۱۰- الف- تصویر ماهواره‌ای پایگاه داده تصویری Seamless از ناحیه درونه..... ۴۲
- شکل ۲-۱۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ترموکرونومتری AFT و AHe..... ۴۴
- شکل ۲-۱۲- مقطع زمین‌شناسی تفسیری NE-SW از ساختار محدوده..... ۴۵
- شکل ۲-۱۳- نقشه زمین‌شناسی اقتصادی و توزیع پراکندگی مواد معدنی مس، مگنز در مقیاس ناحیه‌ای..... ۴۸

فصل سوم

- شکل ۳-۱- نقشه واحدهای توالی میزبان و کانسارهای مورد مطالعه توالی آتشفشانی رسوبی..... ۵۳
- شکل ۳-۲- مقطع عرضی و موقعیت کانه‌زایی در واحدهای میزبان از منطقه مورد مطالعه..... ۵۴
- شکل ۳-۳- ستون چینه‌شناسی عمومی از واحدهای سنگی توالی کرتاسه پسین (شمال بردسکن)..... ۵۴
- شکل ۳-۴- نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس منطقه معدنی و موقعیت کانسارها و اندیس‌های معدنی..... ۵۵
- شکل ۳-۵- مقطع عرضی از واحدهای زمین‌شناسی و موقعیت افق‌های کانه‌دار..... ۵۶
- شکل ۳-۶- الف- تصویر نمونه دستی از واحد توفی سبز..... ۵۹

شکل ۳-۷-الف-تصویر نمونه دستی از واحد ریوداسیتی، ب- تصویر نمونه میکروسکوپی از واحد ریوداسیتی که کوارتز خلیج خردگی پیدا کرده است و سنگ دچار دگرسانی کلریتی شده است. کلریت (Chl)، کلسیت (Cal)، کوارتز (Qz) ۶۰

شکل ۳-۸-الف- تصویر از توالی سنگی محدوده کلاته القیایی که به چهار واحد تقسیم شده است ۶۰

شکل ۳-۹-الف-تصویر صحرایی از محدوده کانسار منگنز-طلای بیجورد شمالی ۶۱

شکل ۳-۱۰-الف-تصویر صحرایی از واحد تراکی آندزیت، ب-نمونه دستی از واحد تراکی آندزیت که بلور پلاژیوکلاز دارد و آغشتگی اکسید آهن دارد، ۶۲

شکل ۳-۱۱-الف-تصویر میکروسکوپی از واحد تراکی آندزیت با بافت گلومروپورفیری، ب-تصویر از واحد تراکی آندزیت با بافت هیالومیکرولیتی پورفیری، ساندین (Sa)، پلاژیوکلاز (Plg)، پیروکسن (Pyx)، کلریت (Chl)، اپیدوت (ep) ۶۳

شکل ۳-۱۲-الف-تصویر نمونه صحرایی از واحد کریستال توف ماسه‌ای، ب- تصویر نمونه دستی که حفرات توسط کوارتز و اکسید آهن پر شده است، پ و ت- تصویر میکروسکوپی از واحد توف ماسه‌ای که حفرات توسط کوارتز پلی کریستالین و کانه پر شده است. ۶۵

شکل ۳-۱۳-الف-تصویر صحرایی از واحد آگلومرا با واحد آندزیت بازالت که هم شیب هستند، ب-نمای نزدیک از واحد آگلومرا با واحد لاپیلی توف ۶۵

شکل ۳-۱۴-الف-تصویر صحرایی از توف نازک لایه، ب-نمونه دستی توف نازک لایه، ج-نمونه میکروسکوپی که دارای کانی‌های پلاژیوکلاز و کوارتز می‌باشد. ۶۶

شکل ۳-۱۵-الف- تصویر صحرایی گدازه پیلولاوا تراکی آندزیت بازالت که در اثر دگرسانی قرار گرفته است ب- تصویر نمونه دستی که آمیگدال قابل مشاهده است، پ- تصویر میکروسکوپی که دگرسانی کلریتی و حفرات توسط کوارتز پر شده است. ۶۷

شکل ۳-۱۶-الف- تصویر صحرایی از آهک پلاژیک که شکستگی زیاد دارد، ب- تصویر نمونه دستی از آهک پلاژیک که پلاژیوکلاز دارد پ و ت- تصویر میکروسکوپی که بلورهای پلاژیوکلاز در آهک پلاژیک تشکیل شده است و فسیل گلوبوترونکانا خیلی ریز وجود دارد ۶۸

شکل ۳-۱۷-تصویر صحرایی از واحد آهک پلاژیک (گلوبوترونکانا) و ناودیس منطقه که کانه‌زایی منگنز در یال شرقی تشکیل شده است، واحد شیل توفی و K2v که کانه‌زایی رخساره نواری منگنز و دگرسانی طلای سه بدون در این واحد اتفاق افتاده است. ۶۹

شکل ۳-۱۸-الف- تصویر صحرایی از فسیل رادیولاریت به همراه اکسیدهای آهن و منگنز در واحد شیل توفی از محدوده منگنز بیجورد جنوبی ۶۹

شکل ۳-۱۹-الف- تصویر نمونه دستی از واحد کریستال توف. ب- تصویر نمونه میکروسکوپی از واحد کریستال توف، که دارای کانی‌های پلاژیوکلاز و کوارتز. ۷۱

شکل ۳-۲۰-الف- تصویر صحرایی از واحد الیوین بازالت ب- تصویر میکروسکوپی از ساب ولکانیک الیوین بازالت که پیروکسن‌ها و آمفیبول‌ها تجزیه شده. ۷۲

فصل چهارم

- شکل ۴-۱- موقعیت اندیس‌ها و ذخایر مس، طلا و منگنز با میزبان توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین در جنوب سبزوار ۷۶
- شکل ۴-۲- ستون‌های چین‌های و موقعیت افق‌های کانه‌دار در کانسارهای کلاته القبایی، سبه، سه بندوق ۷۸
- شکل ۴-۳- نقشه زمین‌شناسی محدوده معدنی مس-طلای القبایی و مسیر نیمرخ رسم شده ۸۰
- شکل ۴-۴- مقطع جنوب شرق-شمال غرب در کانسار مس-طلای القبایی و افق کانه‌دار ۸۱
- شکل ۴-۵- نمایی از دگرسانی در محدوده معدنی مس-طلای القبایی (دید به سمت شمال شرقی) ۸۲
- شکل ۴-۶- الف- تصاویری از رخساره رگه-رگچه ای در پهنه استرینگر، ب-عکس نمونه دستی از پهنه استرینگر در معدن القبایی ۸۳
- شکل ۴-۷- الف- عکس میکروسکوپی در نور عبوری که از اطراف توسط سیلیس دربر گرفته شده و در مرکز کانی اپک قرار دارد پیریت (py)، کالکوپیریت (Ccp)، هماتیت (Hem). ۸۴
- شکل ۴-۸- الف- تصویر صحرایی از رخساره رگه-رگچه‌ای و دگرسانی سربستی در واحد تراکی آندزیت ب تصویر نمونه دستی ۸۵
- شکل ۴-۹- الف و ب- تصویر صحرایی از واحدهای سنگی و رخساره کانه‌دار در محدوده مس سبه ۸۶
- شکل ۴-۱۰- مقطع شمال غرب-جنوب شرق در کانسار مس سبه و افق کانه‌زایی ۸۶
- شکل ۴-۱۱- الف- تصویر صحرایی از واحدهای میزبان کانه‌زایی در محدوده سه بندوق ۸۷
- شکل ۴-۱۲- نیمرخ رسم شده از محدوده کانسار طلای سه بندوق و رخساره‌های کانه‌دار ۸۸
- شکل ۴-۱۳- الف- تصویر نمونه دستی از رخساره رگه-رگچه‌ای در کانسار طلای سه بندوق ۹۰
- شکل ۴-۱۴- الف و ب- تصویر نمونه دستی از رخساره برشی در کانسار سبندوق ۹۱
- شکل ۴-۱۵- رخساره کانسنگ نواری برون‌دیمی که پیریت و سیلیس همزمان رسوب کرده و که در این سنگ فسیل رادیولاریت مشاهده شده است پیریت‌های تکتونیکی سنگ چرتی را قطع کرده است ۹۲
- شکل ۴-۱۶- نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس محدوده معدنی منگنز-طلا دهنه بیجورد ۹۴
- شکل ۴-۱۷- الف- تصویر صحرایی از واحد کانه‌زایی منگنز-طلای بیجورد شمالی ۹۵
- شکل ۴-۱۸- مقطع شمال غرب-جنوب شرق در کانسار منگنز-طلای دهنه بیجورد و ۹۶
- شکل ۴-۱۹- نمایی از رخساره رگه-رگچه‌ای در کانسار منگنز بیجورد جنوبی، ۹۷
- شکل ۴-۲۰- الف، ب و پ- تصویر صحرایی از رخساره نواری برون‌دیمی در کانسار منگنز دهنه بیجورد ۹۸
- شکل ۴-۲۱- الف- تصویر نمونه دستی از رخساره برشی در معدن منگنز-طلای بیجورد شمالی ۱۰۰
- شکل ۴-۲۲- الف و ب- نمایی از رخساره توده‌ای منگنز دهنه بیجورد و دگرسانی آرژیلیکی ۱۰۱
- شکل ۴-۲۳- موقعیت کانه‌زایی طلا در واحد شیل توفی همراه پیریت ۱۰۲
- شکل ۴-۲۴- الف- تصویر صحرایی از بخش اکسیدان در معدن القبایی ۱۰۳
- شکل ۴-۲۵- تصویر شماتیک از پهنه‌بندی دگرسانی در کانسار القبایی ۱۰۶
- شکل ۴-۲۶- الف- تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی و اپیدوتی در حاشیه پهنه استرینگر القبایی ۱۰۷
- شکل ۴-۲۷- نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده در کانسار مس القبایی ۱۰۷

- شکل ۴-۲۸- الف تصویر نمونه دستی از دگرسانی سیلیسی-سریسیتی - کربناته در کانسار القبایی ۱۰۹
- شکل ۴-۲۹- نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده در کانسار مس القبایی ۱۱۰
- شکل ۴-۳۰- نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده در کانسار مس القبایی ۱۱۰
- شکل ۴-۳۱- نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده ۱۱۱
- شکل ۴-۳۲- تصویر صحرایی از دگرسانی آرژیلیکی در کانسار طلا منگنز دهنه بیجورد ۱۱۱
- شکل ۴-۳۳- تصویر شماتیک از پهنه‌بندی دگرسانی در کانسار طلا - منگنز بیجورد ۱۱۲
- شکل ۴-۳۴- تصویر شماتیک از پهنه‌بندی دگرسانی در کانسار طلای سه بندون ۱۱۲

فصل پنجم

- شکل ۵-۱- الف- تصویر میکروسکوپی از رگه رگچه‌های سیلیسی که دونسل کوارتز دارد. ۱۱۶
- شکل ۵-۲- الف- تصویر میکروسکوپی از رخساره رگه رگچه ای که دو نسل کوارتز مشاهده شده است. ۱۱۷
- شکل ۵-۳- الف- عکس میکروسکوپی در نور عبوری که از اطراف توسط سیلیس دربر گرفته شده (ب) تصویر میکروسکوپی در نور انعکاسی که حفرات توسط کالکوپیریت (Ccp) و هماتیت (Hem) پر شده است. ۱۱۷
- شکل ۵-۴- الف- تصویر میکروسکوپی در نور عبوری از ساخت و بافت برشی. ب و پ- هم‌رشدی کالکوپیریت، اسفالریت و پیریت که اسفالریت و کالکوپیریت به کولیت تبدیل شده‌اند و جانشینی اتفاق افتاده است. ۱۱۹
- شکل ۵-۵- الف- تصویر نمونه دستی از ساخت بافت برشی در کانسار منگنز بیجورد ب، پ، ت- تصویر میکروسکوپی در نور انعکاسی که پیرولولوزیت‌ها در اندازه ریز در داخل اکسیدهای آهن هماتیت و گوتیت تشکیل شده است و بیشتر فضای سنگ را اکسیدهای آهن در بر گرفته است. ۱۲۰
- شکل ۵-۶- الف- تصویر نمونه دستی از ساخت و بافت نواری سه بندون ۱۲۱
- شکل ۵-۷- تصویر نمونه دستی از ساخت و بافت نواری برون‌دمی معدن منگنز بیجورد جنوبی. ۱۲۲
- شکل ۵-۸- الف- تصویر صحرایی از منگنز توده‌ای. ۱۲۳
- شکل ۵-۹- الف- تصویر میکروسکوپی در نور انعکاسی که اسفالریت (Sp) و کالکوپیریت (Ccp) به کولیت (Cv) تبدیل شده است. ۱۲۴
- شکل ۵-۱۰- الف- تصاویری از بافت جانشینی و فرامبوائیدال پیریت‌های چشم‌پرنده‌ای در کانسار طلا سه بندون در رخساره برشی. ب- پیریت‌های با بافت چشم‌پرنده‌ای در رخساره لایه‌ای به صورت دانه پراکنده. ۱۲۵
- شکل ۵-۱۱- الف، ب و پ- تصویری از پیریت‌های خودشکل در رخساره رگه-رگچه‌ای، ۱۲۷
- شکل ۵-۱۲- الف وب- تصویر میکروسکوپی از بخش برشی کانسار سه بندون که کانی‌های اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت با هم هم‌رشدی دارند. پیریت (Py)، اسفالریت (Sp)، کالکوپیریت (Ccp)، کولیت (Cv)، بورنیت (Bn) و هماتیت (Hem)، مگنتیت (Mag). ۱۲۹
- شکل ۵-۱۳- الف- طلا در مرز پیریت و کالکوپیریت تشکیل شده است کالکوپیریت (Ccp)، پیریت (Py)، طلا (Au) گالن (Gn) آرسنوپیریت (Asp) بورنیت (Bn) (حمای پور بارنجی، ۱۳۹۷). ۱۳۱

فصل ششم

- شکل ۶-۱- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن (Pierce, 1996)..... ۱۴۸
- شکل ۶-۲- نمودار تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آندزیت بازالتی کرتاسه پسین شمال بردسکن نسبت $Ti-Zr$ در جزیره کمائی قرار دارد..... ۱۴۹
- شکل ۶-۳- نمودارهای چند عنصری عناصر کمیاب و نادر خاکی نسبت‌های Ce/Yb _ Ta/Yb (Pearce, 1983) و Zr/Y در مقابل Th/Yb استفاده شده است..... ۱۴۹
- شکل ۶-۴- نمودار عناصر فرعی و کمیاب در سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه پسین شمال بردسکن که به گوشته اولیه نرمالیزه شده‌اند (Sun and McDonough, 1989)..... ۱۵۳
- شکل ۶-۵- نمودارهای چند عنصری بهنجار شده نسبت به کندریت..... ۱۵۳
- شکل ۶-۶- نمودار تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر نادر در رخساره‌های مختلف کانسار در توالی آتشفشانی رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن، (McDonough and Sum 1989)..... ۱۵۵
- شکل ۶-۷- نمودار چند عنصری (Sun and McDonough, 1989)..... ۱۵۶
- شکل ۶-۸- نمودار چند عنصری (Sun and McDonough 1989)..... ۱۵۶
- شکل ۶-۹- نمودار چند عنصری (Sun and McDonough 1989)..... ۱۵۷
- شکل ۶-۱۰- نمودارهای هیستوگرام برای عناصر مختلف رخساره‌های کانسار مس- طلا القبایی..... ۱۶۲
- شکل ۶-۱۱- نمودارهای هیستوگرام برای عناصر مختلف رخساره‌های کانسار مس- طلا القبایی..... ۱۶۳
- شکل ۶-۱۲- نمودارهای هیستوگرام برای عناصر مختلف رخساره‌های کانسار معدن طلای سه بندون..... ۱۶۴
- شکل ۶-۱۳- نمودارهای هیستوگرام برای عناصر مختلف رخساره‌های کانسار معدن طلای سه بندون..... ۱۶۴
- شکل ۶-۱۴- نمودارهای هیستوگرام برای عناصر مختلف رخساره‌های کانسار معدن منگنز-طلای..... ۱۶۶
- شکل ۶-۱۵- نمودارهای هیستوگرام برای عناصر مختلف رخساره‌های کانسار معدن منگنز-طلای..... ۱۶۶
- شکل ۶-۱۶- نمودار تغییرات عناصر سرب، روی و باریم در ستون چینه‌شناسی کلاته القبایی..... ۱۶۷
- شکل ۶-۱۷- نمودار تغییرات عناصر نقره، آرسنیک، در ستون چینه‌شناسی کلاته القبایی..... ۱۶۸
- شکل ۶-۱۸- نمودار تغییرات عناصر طلا و مس در ستون چینه‌شناسی کلاته القبایی و افق‌های کانه‌دار..... ۱۶۸
- شکل ۶-۱۹- موقعیت نمونه‌های منکنز کانسار دهنه بیجورد در نمودار سه‌تایی $Co-Zn-Ni$ ۱۷۰
- شکل ۶-۲۰- قرارگیری نمونه‌های در محدوده کانسارهای گرمایی بر اساس نمودار (Toth, 1980)..... ۱۷۰
- شکل ۶-۲۱- قرار گرفتن نمونه‌های منگنز دهنه بیجورد در محدوده رسوبی- برون‌دمی و دریایی..... ۱۷۲
- شکل ۶-۲۲- قرار گرفتن نمونه‌های در محدوده کانسار گرمایی بر اساس (Bonatti, 1975)..... ۱۷۲
- شکل ۶-۲۳- نمونه الف- $AL-19$ و ب- نمونه $AL-17$ که کالکوپریت تشخیص داده شده است..... ۱۷۴
- شکل ۶-۲۴- تصویر میکروسکوپ الکترونی (FESEM)..... ۱۷۴
- شکل ۶-۲۵- تصویر اسپکتروم از عناصر تشخیص داده شده..... ۱۷۵
- شکل ۶-۲۶- تصویر میکروسکوپ الکترونی (FESAM) از کانی درخشان (خط چین)..... ۱۷۵
- شکل ۶-۲۷- تصویر اسپکتروم از عناصر تشخیص داده شده..... ۱۷۶
- شکل ۶-۲۸- الف- تصویر نمونه دستی از بخش تهیه مقطع دوبرصیقل..... ۱۷۸

- شکل ۶-۲۹-الف تصویر نمونه دستی که حاوی پیریت و کالکوپیریت میباشد. ۱۷۸.....
- شکل ۶-۳۰-الف تصویر نمونه دستی از رگه سیلیسی از قسمت آندزیت بازالت ب- تصویر فاز بخار و مایع که اندازه زیر سه میکرون دارد. ۱۷۸.....
- شکل ۶-۳۱-نمودار چگالی در برابر شوری و حرارت برای تنها نمونه قابل اندازه گیری ۱۸۰.....

فصل هفتم

- شکل ۷-۱-الف- همزمان با فرورانش نفوتتیس به زیر ایران مرکزی حوضه پشت کمانی سبزوار شکل گرفته که تبدیل به یک جزیره کمانی شده است ۱۸۷.....
- شکل ۷-۲-محدوده دمای همگن شدن نسبت به درجه شوری در کانسارهای مختلف ۱۸۹.....
- شکل ۷-۳-مدل نمادین از رخساره‌ها و تشکیل کانسار القبایی و سبه ۱۹۱.....
- شکل ۷-۴-مدل نمادین از رخساره‌ها و تشکیل کانسار سه بندون ۱۹۲.....
- شکل ۷-۵-مدل نمادین از رخساره‌ها و تشکیل کانسارمنگنز بیجورد ۱۹۳.....
- شکل ۷-۶-مدل شماتیک از ویژگی‌های اصلی مدل‌های متفاوت کانه‌زائی VMS همراه با تغییرات برگرفته از (Tornos et al., 2015): ۱۹۳.....
- شکل ۷-۷-مدل پیشنهادی از شکل گیری کانسار سولفید توده‌ای (Pilote et al., 2019): ۱۹۶.....
- شکل ۷-۸-نمودار حلالیت طلا در انواع مختلف تیو سولفیدی در دمای زیر ۲۵۰ درجه سانتیگراد (Huston and Large, 1989): ۲۰۰.....
- شکل ۷-۹-ستون چینه‌شناسی تپیه‌های مختلف کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد بر اساس (Franklin et al. 2005) و با تغییرات از (Piercey, 2011): ۲۰۲.....
- شکل ۷-۱۰-بازسازی حوضه آتشفشانی -رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن. ۲۱۶.....
- شکل ۷-۱۱-مدل زیر سطحی ذخیر کانسار طلای دهنه بیجورد از مغزه‌های حفاری که کانی زایی را قطع کرده از با استفاده از نرم افزار (GEMS) برحسب (PPb). ۲۱۷.....

فهرست جداول

- جدول ۱-۱- انواع ذخایر طلای و ویژگی‌های اصلی زمین‌شناسی آنها (Robert et al., 1997)..... ۱۴
- جدول ۱-۲- کانسارها و اندیس‌های معدنی در زیر پهنه سبزوار..... ۴۹
- جدول ۱-۴- کانسارها و اندیس‌های مس- طلا و منگنز با میزبان توالی آتشفشانی- رسوبی جنوب سبزوار... ۷۶
- جدول ۲-۴- مشخصات و نتایج نمونه‌های آنالیز شده به روش XRD..... ۱۰۶
- جدول ۱-۵- مراحل پاراژنتیک کانی‌ها در کانسار مس - طلای القبایی..... ۱۳۵
- جدول ۲-۵- مراحل پاراژنتیک کانی‌ها در کانسار منگنز -طلای بیجورد..... ۱۳۶
- جدول ۳-۵- مراحل پاراژنتیک کانی‌ها در کانسار طلای سه بندون..... ۱۳۷
- جدول ۱-۶- داده‌های آنالیز ICP-MS برای رخساره‌های کانسار مس- طلای القبایی..... ۱۴۳
- جدول ۲-۶- داده‌های آنالیز ICP-MS برای رخساره‌های کانسار مس-طلای سه بندون و سبه..... ۱۴۴
- جدول ۳-۶- داده‌های آنالیز ICP-MS برای رخساره‌های کانسار منگنز بیجورد..... ۱۴۵
- جدول ۴-۶- داده‌های آنالیز ICP-MS برای سنگ‌های آتشفشانی بدون کانه‌زایی..... ۱۴۶
- جدول ۵-۶- آنالیز طلا از نمونه‌های سطحی محدوده کلاته القبایی و دهنه بیجورد..... ۱۴۷
- جدول ۶-۶- نتایج آنالیز طلا از مغزه‌های حفاری در معدن دهنه بیجورد شمالی بر حسب (PPb)..... ۱۴۷
- جدول ۷-۶- ضریب همبستگی عناصر نمونه‌های کانسنگ در محدوده مس-طلای القبایی..... ۱۵۸
- جدول ۸-۶- ضریب همبستگی عناصر نمونه‌های کانسنگ در محدوده طلای سه بندون..... ۱۶۰
- جدول ۹-۶- ضریب همبستگی عناصر نمونه‌های کانسنگ در محدوده منگنز بیجورد..... ۱۶۱
- جدول ۸-۶- نتایج اسپکترام بر اساس بیشترین و کمترین عیار عنصر..... ۱۷۵
- جدول ۹-۶- نتایج اسپکتروم بر اساس درصد عناصر..... ۱۷۶
- جدول ۱-۷- میانگین طلا در گروه‌های مختلف سنگ‌های آذرین بر حسب (ppb) (Foster, 1993)..... ۱۹۸
- جدول ۲-۷- مقایسه کانسار کلاته القبایی با ویژگی‌های انواع کانسارهای سولفیده توده‌ای آتشفشانزاد..... ۲۰۸
- جدول ۳-۷- مقایسه کانسار کلاته القبایی با کانسارهای سولفیده توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) تیپ بشی ۲۱۰..... ۲۱۰
- جدول ۴-۷- ویژگی‌های انتخاب شده برای برخی از کانسارهای VMS غنی از طلا و ذخایر طلادار..... ۲۱۲

فصل اول

کلیات

منابع طبیعی و ذخایر معدنی، از مهم‌ترین زیر ساخت‌های اقتصادی و صنعتی هر جامعه‌ای به شمار می‌روند. در میان ذخایر معدنی، مس و طلا جزء نخستین فلزاتی می‌باشند که شناخته شده و به کار گرفته شده‌اند. مس، عنصری است که در صنعت به عنوان فلزی پایه کاربردهای بسیار گسترده‌ای دارد. در گذشته، تولید مس از رگه‌های مس خالص و یا کانسنگ‌های با عیار بالاتر، عمدتاً به روش‌های ذوب صورت می‌گرفته است. ایران نیز به علت قرارگیری در کمربند کوه‌زایی آلپ- هیمالیا میزبان ذخایر فلزی فراوانی است که عمده این ذخایر در ارتباط با ماگماتیسم مرتبط با کمان‌های آتشفشانی کالک‌آلکان تشکیل شده است. کمربندهای آتشفشانی- نفوذی تشکیل شده در زون‌های ارومیه- دختر، البرز، شرق ایران، کمربند خواف-کاشمر-بردسکن و مکران، نمونه‌هایی از این کمان‌ها می‌باشند که میزبان بیش‌ترین و بزرگ‌ترین ذخایر مس و طلا در ایران می‌باشند. زیر پهنه سبزوار به عنوان بخشی از کمربند تتیس (Shafaii Moghadam et al., 2009 ; Shojaat et al., 2003) یکی از ایالت‌های مهم فلززایی در ایران محسوب می‌شود و میزبان تعدادی کانه‌زایی مس - طلا مانند (ارغش، کوه سرخ، چشمه زر و کوه زر تربت حیدریه) می‌باشد. در سال‌های اخیر، فعالیت‌های اکتشافی انجام شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و شرکت‌های اکتشافی داخلی و خارجی منجر به شناسایی و معرفی آنومالی‌های متعددی از طلا در محدوده شهرستان‌های نیشابور، کاشمر و بردسکن شده است. یکی از این ناهنجاری‌ها، شمال بردسکن است که دارای کانی‌زایی مس- طلا همراه با سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین مثل کانسارهای القبایی، سبه و سه بندون است. در این راستا، مطالعه کانسار و آثار معدنی مس- طلا در توالی آتشفشانی- رسوبی شمال بردسکن در استان خراسان رضوی و در زیر پهنه سبزوار هم از لحاظ علمی و هم از نظر اکتشافی می‌تواند حائز اهمیت باشد. از این رو "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی والگوی رخداد کانی- زایی مس- طلا همراه با سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن" به عنوان موضوع پایان‌نامه حاضر انتخاب شده است. بدیهی است به کارگیری و استفاده از نتایج این پژوهش، در شناسایی و اکتشاف ذخایر مس- طلا در دیگر قسمت‌های زیر پهنه سبزوار و سایر پهنه‌های ساختاری کشور، که تاریخچه و فرایندهای زمین‌شناسی مشابه با محدوده مورد مطالعه را پشت سر گذاشته باشند، کارآمد و راه‌گشا خواهد بود.

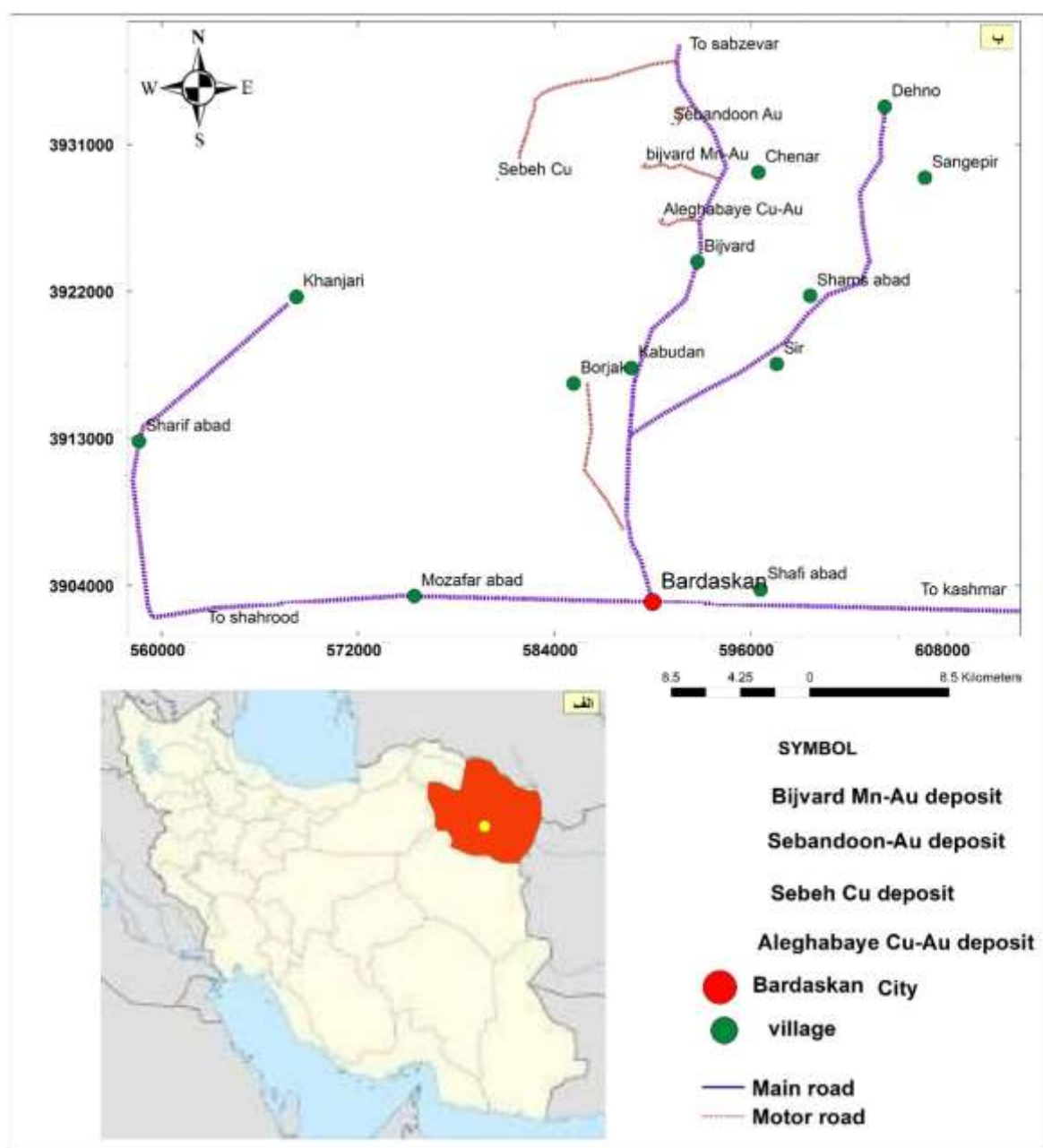
۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

کانسار مس - طلای کلاته القبایی با مختصات جغرافیایی $50^{\circ} 58' 57''$ شرقی و $35^{\circ} 28' 14''$ شمالی، در ۲۶ کیلومتری شمال بردسکن واقع شده است. راه دسترسی به این محدوده از طریق جاده آسفalte سبزوار- بردسکن امکان‌پذیر است، که با پیمودن مسیری به طول ۲۳ کیلومتر از جاده آسفalte بردسکن - سبزوار به روستای بیجورد رسیده که در سمت چپ جاده اصلی مرغداری وجود دارد که راه ماشین رو از کنار این مرغداری می‌گذرد و سپس با طی ۳ کیلومتر به سوی شمال غرب، محدوده کانسار کلاته القبایی قرار دارد (شکل ۱-۱). کانسار طلای سه بندون هم در ۲/۵ کیلومتری شمال کانسار کلاته القبایی و در ۵ کیلومتری روستای بیجورد واقع شده است. هم‌چنین کانسار منگنز- طلای دهنه بیجورد در ۱/۵ کیلومتری غرب کانسار کلاته القبایی قرار دارد و کانسار مس سبه در غرب کانسار طلا- منگنز دهنه بیجورد، و در ۲ کیلومتری روستای سبه قرار دارد.

۱-۳- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاه

تاثیر نیروهای تکتونیکی موثر و فعالیت‌های آذرین متعاقب، در شکل‌گیری توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین موثر بوده و محیطی کوهستانی بر جا گذارده است. شهرستان بردسکن از دو منطقه کوهپایه‌ای شمال و جلگه‌ای جنوب شامل بیابان، نم‌زار و شن‌زارهای حاشیه کویر نمک تشکیل شده است. این منطقه از نظر آب و هوایی جزء مناطق خشک و نیمه خشک کوهستانی محسوب می‌شود و میزان بارندگی در آن‌ها بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر در سال است. هم‌چنین این منطقه دارای زمستان‌های سرد و خشک (۸-) درجه سانتی‌گراد و تابستان‌های گرم و خشک (۴۰) درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بادهای شمالی و شرقی در این منطقه نسبتاً سرد ولی بادهای غربی و جنوب غربی به علت مجاورت با کویر گرم و سوزان و همراه با گرد و غبار است. در شهرستان بردسکن رودخانه دائمی وجود ندارد، اما چند رودخانه فصلی به نام‌های دهن قلعه، ابراهیم آباد و رودخانه (کال) نوبهار بردسکن، در آن جاری هستند که رودخانه اخیر از دامنه‌های کوه بیجورد واقع در ۲۳ کیلومتری شمال بردسکن سرچشمه می‌گیرد که از شمال به جنوب جریان دارد. این رودخانه پس از عبور از شهر بردسکن با رودخانه سیر

تلاقی کرده و رودخانه شور را به وجود می‌آورد که سفره آب‌های زیرزمینی دشت بردسکن را تغذیه می‌کند. کوه های بغل، پتوگوژدارو، باغ دشت، کمرسیاه و قلعه جوق در مشرق، کوه‌های زوبر، چاه حیدر، چاه نمک و چشمه زاغ در شمال، کوه‌های دل کن، کمر کاسه، قره سیاه چو و کوه یخاب در مغرب این شهرستان قرار دارند. به جز بوته‌ها و درختچه‌های بسیار پراکنده پوشش گیاهی قابل توجهی ندارد.



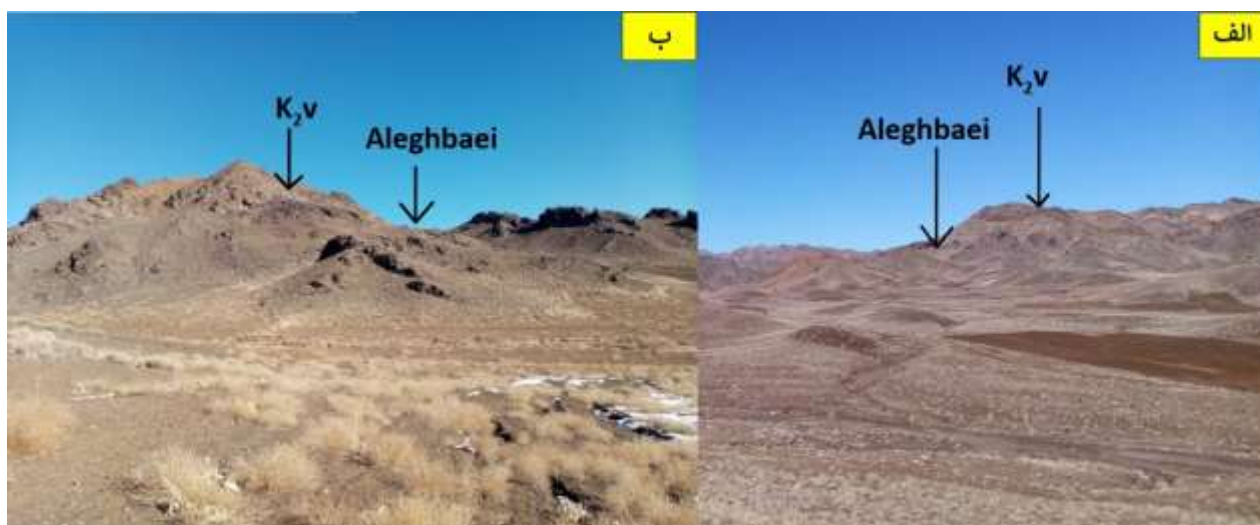
شکل ۱-۱- الف- نقشه استان خراسان و موقعیت منطقه مورد بررسی با دایره زرد و ب-راه دسترسی به کانسار مس- طلای القیایی و محدوده‌های مورد بررسی در شمال بردسکن

۱-۴- وضعیت معیشتی

کانسار کلاته القبایی در یک منطقه کوهستانی قرار دارد. نزدیک‌ترین روستا در جنوب شرقی این محدوده معدنی روستای بیجورد که در فاصله ۳ کیلومتری قرار دارد. شغل اصلی مردم در این روستاها غالباً کشاورزی و دامداری می‌باشد. بادام، گردو، گندم و جو از عمده محصولات تولیدی این روستاها می‌باشد. منابع آب این منطقه شامل آب‌های زیرزمینی و مقدار کمی آب‌های جاری (سطحی) است. بنابراین منطقه مورد مطالعه از نظر منابع آب فقیر می‌باشد. منابع آب زیرزمینی شامل چاه‌های عمیق، قنات‌ها و چشمه‌هایی که در فصول خشک آبدهی کمی دارند. اقلیم این منطقه به دلیل تاثیر زیاد خشکسالی و پایین بودن میزان بارندگی سالیانه وضعیت معیشتی را سخت نموده است. توجه به بخش معدن در این منطقه و اشتغال‌زایی‌های مستقیم و غیر مستقیم، می‌تواند به رونق اقتصادی این شهرستان کمک زیادی برساند.

۱-۵- زمین ریخت‌شناسی

از دیدگاه ریخت‌شناسی محدوده مورد مطالعه در ارتفاعات کلات القبایی قرار دارد و از ریخت‌شناسی کوهستانی ستیغ در کوه بیجورد و تپه ماهور در توالی آتشفشانی رسوبی کرتاسه پسین برخوردار است (شکل ۱-۲)، کوه القبایی با روند شرقی- غربی و شمال شرقی- جنوب غربی گسترش دارد، بلندترین نقطه در این ارتفاعات ۱۹۹۰ متر و ژرف‌ترین نقطه ۱۰۵۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. همان‌طور که اشاره شد محدوده مورد مطالعه دارای ریخت‌شناسی کوهستانی است به دلیل تاثیر نیروهای تکتونیکی و عملکرد گسله‌های متعدد معکوس و رورانده، روند افزایش ارتفاع و ایجاد ستیغ‌ها و کوه‌های نسبتاً مرتفع تشکیل شده است که از واحدهای آتشفشانی -رسوبی به سن کرتاسه تشکیل شده‌اند (شکل ۱-۲). از جمله کوه‌های قابل ذکر می‌توان به کوه قردرخت جوز، قر علی محمدی، کوه قر القبایی، کوه گدار قروتی، کوه قرتک حوض و بلاخره کوه بیجورد اشاره نمود. و به این ترتیب سیمای خشن و صخره‌ای در شمال روستای بیجورد به زمین ریخت‌شناسی یکسان (دشت) در بخش جنوبی تبدیل می‌شود.



شکل ۱-۲- نمائی از توپوگرافی منطقه: الف- دور نمایی از واحد K2v (دید به سمت شمال) ب- نمای نزدیک از واحد آتشفشانی- رسوبی کرتاسه که محدوده القبایی در تپه ماهور قرار گرفته است (دید به سمت شمال شرق).

۱-۶- تاریخچه مطالعات و کارهای انجام شده قبلی

فعالیت‌های معدنی در رابطه با کانی‌سازی مس در منطقه کانسار القبایی به صورت فعالیت‌های قدیمی و آثار شدادی به صورت حفر چاه و چاهک با عمق محدود قابل مشاهده است (شکل ۱-۳). در دهه اخیر مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی متعددی در پهنه افیولیتی سبزوار و محدوده مورد مطالعه به انجام رسیده است که در این بخش تنها به مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌گردد. تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ (چهار گوش کاشمر) در سال ۱۳۵۵ توسط افتخارنژاد و همکاران. اکتشافات ژئوشیمی ناحیه‌ای در ۲۶ ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ واقع در محور معلمان تربت حیدریه. پیشینه مطالعات اکتشافی در محدوده مس- طلای القبایی به عملیات اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در محور معلمان تربت حیدریه در محدوده سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۶ بازمی‌گردد. در قالب این طرح، که توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و با همکاری شرکت چینی Jiangai به اجرا در آمد، ۲۶ ورقه زمین‌شناسی واقع در محور معلمان- تربت حیدریه مورد مطالعات ژئوشیمیایی قرار گرفتند. نتایج حاصل از اکتشاف مذکور منجر به معرفی ۴۳۰ آنومالی برای عناصر مختلف گردید. کانسار طلای سه بندون نیز

یکی از این آنومالی‌های معرفی شده توسط شرکت Jiangai می‌باشد که در فاصله دو کیلومتری کانسارکلاته القبابی قرار دارد.

✓ لنچ^۱ (1979) نخستین بار به بررسی زمین‌شناسی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های افیولیتی ناحیه سبزوار پرداخته است. به طور کلی، مطالعات آن‌ها شامل بررسی توالی‌های افیولیتی به ویژه دگرگونی‌های همراه (گارت آمفیبولیت‌ها) بوده است. این دگرگونی‌ها در ارتباط با قسمت عمیق پوسته اقیانوسی و در نتیجه حرکت، در حالت جامد به وجود آمده‌اند. علاوه بر دگرگونی‌های فوق، دگرگونی‌های فشار زیاد دما پایین، به صورت گلوکوفان شایست (شیست‌های آبی) نیز در منطقه مورد مطالعه دیده می‌شوند. با توجه به وسعت و حجم این سنگ‌ها، می‌توان آن‌ها را به فشارهای ناشی از عملکرد پهنه‌های فروانش مرتبط دانست.

✓ تهیه نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ (ورقه شامکان) در سال ۱۳۷۷ توسط نادری میقان صورت گرفت.

✓ جعفری و جلالی (۱۳۷۹)، از سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه ششم را تهیه نموده‌اند.

✓ طاهری و شمعانیان (۱۳۸۰)، از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه کاشمر را تهیه نموده‌اند.

✓ شجاعت و همکاران^۲ (2003)، افیولیت‌های سبزوار را از دیدگاه سنگ‌شناسی، ژئوشیمی و زمین‌ساختی مورد مطالعه قرار داده‌اند و جای‌گیری آن را در ارتباط با فروانش با شیب به سمت شمال شرق در نظر می‌گیرند. نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی، حاکی از آن است که سنگ‌های آتشفشانی از سه نوع مذاب بازالتی متفاوت منشأ گرفته‌اند: گروه اول ناشی از یک مذاب با تیپ N-MORB بوده، گروه دوم سنگ‌های بازالتی با تیپ E-MORB بوده و گروه سوم سنگ‌های بازالتی که با داشتن الگوی عناصر جزئی مشابه با جزایر قوسی، یک حوضه مرتبط با قوس‌های آتشفشانی را پیشنهاد می‌کنند.

¹ - Lensch

² - Shojaat

✓ شهرابی و همکاران (۱۳۸۵)، از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه بردسکن را تهیه نمودند. سنگ‌های منطقه آمیزه های رنگین، آهک گلوبوترونکانا، سنگ‌های آتشفشانی بازیک و دیاباز، سنگ فوق بازیک بیشتر سرپانتینیت و هارزبوژیت گزارش شده است.

✓ روح‌بخش و همکاران (۱۳۸۹)، بر اساس مطالعات صحرایی و بررسی‌های پتروگرافی، کانی‌شناسی و کانه‌نگاری منطقه مس دهن قلعه را شامل دو سامانه ۱- مرتبط با کانی‌سازی سولفید توده‌ای تکنار و ۲- مرتبط با توده‌های گرانیتوئیدی معرفی کرده‌اند.

✓ شفایی مقدم و همکاران (۲۰۰۹)، سن ولکانیک‌های سبزوار بویژه آن‌هایی را که در شمال گسل درونه (شمال بردسکن تا شمال تربت حیدریه و تا نزدیک مرز افغانستان) قرار گرفته‌اند را به اوایل ترشیاری نسبت داده‌اند.

✓ جمشیدی و همکاران (۲۰۱۵)، افیولیت سبزوار را باقیمانده لیتوسفر اقیانوسی عنوان نموده که در زمان کرتاسه - پالئوسن وجود داشته و در اثر فرورانش و بسته شدن آن افیولیت‌سازی در این زون شکل گرفته است. آن‌ها همچنین ماگماتیسم بعد از جای‌گیری افیولیت در سبزوار را شامل واحدهای آندزیتی، تراکی-آندزیت و داسیت عنوان کرده‌اند. همچنین آن‌ها وجود بیگانه سنگ‌ها (زینولیت)، عدم تعادل شیمی، خردگی درشت بلورها و بافت غربالی موجود در این مناطق را نشانه فرایند آلایش پوسته‌ای و هضم ماگما ضمن صعود دانسته‌اند.

✓ حمامی پور بارنجی و همکاران (۱۳۹۶)، کانسار طلای سه بندوق را در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد مورد مطالعه قرار داده است و به اعتقاد ایشان این کانه‌زائی براساس ویژگی‌های زمین‌شناختی و کانی-

¹ - Shafaii Moghadam

² - Jamshidi

سازی از جمله سنگ میزبان، دگرسانی‌های همراه، زمین شیمی و پاراژنز عنصری، ساخت، بافت و پاراژنز کانی‌شناسی و میانبارهای سیال، بیشترین شباهت را با ذخایر اپی ترمال سولفیداسیون پایین تا حدواسط نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳-نمایی از آثار شدادی در کانسار مس- طلالی القبایی (دید به سمت جنوب غرب).

۷-۱- تعریف مساله و اهداف تحقیق

محدوده مورد مطالعه در مرز ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی بردسکن، کاشمر، ششتمد و شامکان قرار دارد که در زیر پهنه سبزوار از ایران مرکزی و در داخل توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین رخ داده است. امروزه اکتشاف مس- طلا در بیشتر پهنه‌های ساختاری متالوژنی ایران بویژه پهنه دگرگونی ماگمایی سنندج-سیرجان، کمان آتشفشانی ارومیه- دختر، مجموعه‌های ماگمایی البرز- آذربایجان، ایران مرکزی و شرق ایران اهمیت یافته و مورد توجه محققین و شرکت‌های فعال در زمینه اکتشاف مس- طلا قرار گرفته است. لزوم ادامه این بررسی‌ها و مطالعات بویژه در سالیان اخیر با شناسایی و معرفی ذخایر جدیدی از تیپ‌های مختلف کانسارهای مس- طلا در

زون‌های یاد شده بیشتر مشخص گردیده است. با توجه به اینکه تاکنون بر روی کانسار القبایی مطالعات دقیقی در زمینه سنگ میزبان، منشأ سیالات کانه‌ساز، خصوصیات توده‌های نفوذی و سیالات و ژنز کانسار صورت نگرفته است، لذا به نظر می‌رسد بررسی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، ژئوشیمی و ارائه مدل تشکیل برای این ذخایر بتواند به عنوان الگو و راهنما در شناسایی و اکتشاف ذخایر مشابه از این نوع در منطقه موثر باشد. بنابراین اهداف مورد نظر این پژوهش عبارتند از:

۱- کانی‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی و سنگ‌های میزبان و همراه کانسار مس- طلا در این توالی چگونه است؟

۲- پهنه‌بندی دگرسانی همراه کانه‌زایی‌های مس - طلا در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین چگونه است؟

۳- ویژگی‌های ژئوشیمیایی و پهنه‌بندی فلزی در این کانه‌زایی‌ها چگونه است؟

۴- الگوی تشکیل کانسار مس- طلا در این توالی چگونه است؟

۵- تیپ کانه‌زایی مس- طلا در مقایسه با موارد مشابه در سایر نقاط ایران و جهان کدام است؟

۶- کلیدهای اکتشافی جهت کشف ذخایر جدید در منطقه کدامند؟

۸-۱- روش انجام تحقیق

۸-۱-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع

✓ تهیه و مطالعه کتب و مقالات در زمینه موضوع پایان‌نامه و منطقه

✓ گردآوری نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای موجود از منطقه.

✓ ارتباط با مراکز آنالیز دستگاهی و آزمایشگاهی در داخل و خارج از کشور جهت استفاده از امکانات

آزمایشگاهی و انجام آنالیزهای مورد نیاز

۱-۸-۲- عملیات زمین‌شناسی صحرایی

- ✓ برنامه‌ریزی برای انجام مطالعات صحرایی
- ✓ بازندهای مقدماتی به منظور آشنایی بیشتر با منطقه مورد مطالعه
- ✓ انجام نمونه‌برداری سیستماتیک از رخساره‌های مختلف کانسار
- ✓ شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی و نمونه‌برداری از واحدهای مختلف
- ✓ نمونه‌برداری از مناطق دگرسانی در منطقه مورد مطالعه به منظور شناسایی‌های واحدهای مرتبط با کانی-سازی

- ✓ تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ از محدوده مورد مطالعه
- ✓ تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ از کانسارهای مورد مطالعه
- ✓ بررسی ارتباط کانه‌زایی با پدیده‌های مختلف ساختاری مثل گسل و چین‌خوردگی
- ✓ برداشت نمونه‌های لازم به منظور مطالعات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و سیالات درگیر
- ✓ مطالعه شکل هندسی، ساخت و بافت ماده معدنی در مقیاس‌های محلی، رخنمون و نمونه دستی
- ✓ بازدید نهایی از منطقه به منظور کنترل نتایج و اطلاعات به دست آمده

۱-۸-۳- مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی

- ✓ در این مرحله، پس از نمونه‌گیری با توجه به اهداف مطالعه، بر روی نمونه‌های انتخابی برداشت شده، مطالعات زیر انجام گرفت:
- ✓ تهیه و مطالعه ۹۵ عدد مقطع نازک، نازک صیقلی و صیقلی از توده‌های آذرین و اندیس‌های معدنی جهت مطالعات پتروگرافی و کانه‌نگاری
- ✓ تعداد ۲۸ نمونه AFMS (پکیج طلایی) جهت تعیین عناصر فرعی، کمیاب و عناصر معدنی
- ✓ مطالعات کانی‌شناسی به روش XRD (۵ نمونه) جهت تعیین نوع دگرسانی
- ✓ آنالیز ۹ نمونه برای سنجش عنصر طلا به روش جذب اتمی^۳(AAS).

✓ به موازات کارهای یاد شده در بالا، تحقیقات کتابخانه‌ای و کاوش‌های اینترنتی جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات و تلفیق آن‌ها برای تدوین پایان‌نامه انجام گرفته است.

۱-۸-۴- مطالعات دفتری

به موازات انجام کارهای صحرایی و آزمایشگاهی، مطالعات دفتری به شرح زیر انجام گرفت:

- ✓ تهیه و مطالعه کتب، مقالات و مراجع مرتبط با زمینه موضوع پایان‌نامه و جغرافیای کانسار
- ✓ گردآوری نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای، گزارشات و مقاله‌هایی که به ویژه به کانسارهای آتشفشانزاد- رسوبی مس و طلا در مقیاس کشوری و جهانی می‌پردازد.
- ✓ تدارک و برنامه‌ریزی سفرهای مورد نیاز برای مطالعات صحرایی

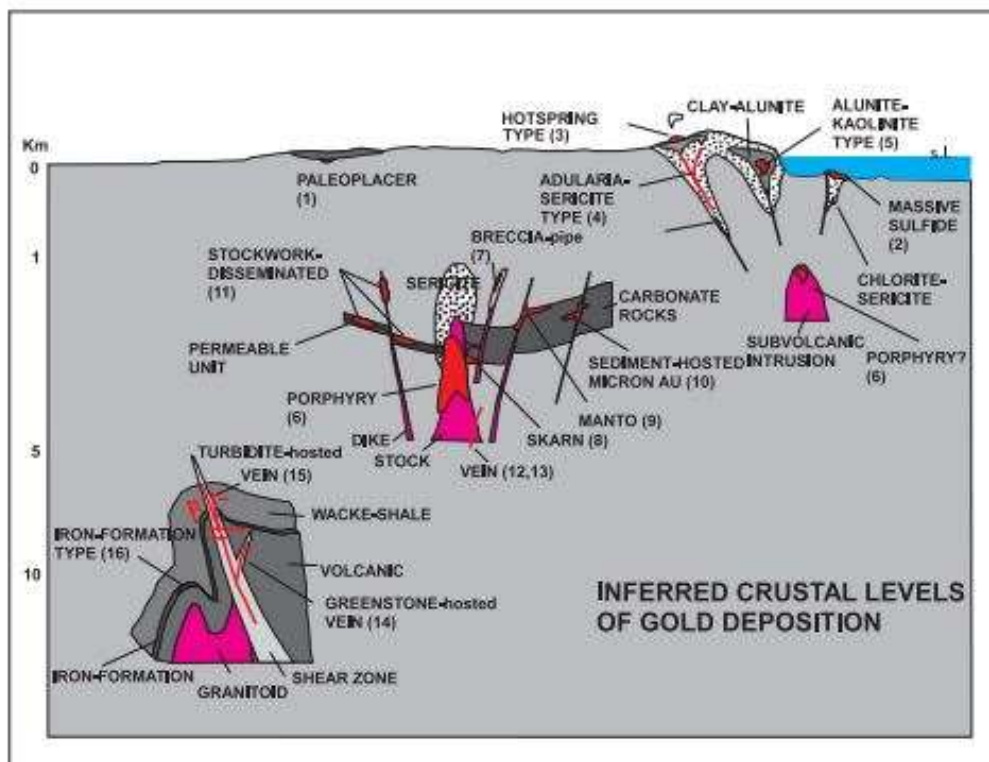
۱-۸-۵- مطالعات نرم‌افزاری و تجزیه و تحلیل داده‌ها

نتایج حاصل از مراحل قبلی با استفاده از کتاب‌های مرجع، مقالات و نیز استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری، دسته‌بندی، پردازش و تلفیق شده و در نگارش پایان‌نامه مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله این فعالیتها عبارتند از:

ترسیم و استخراج نقشه‌های مورد نیاز در نرم افزار Arc-GIS, Global mapper, Google earth تفسیر و پردازش آن‌ها، تجزیه و تحلیل و تلفیق داده‌های حاصل از بررسی‌های صحرایی، مطالعات مقاطع میکروسکوپی و داده‌های ژئوشیمیایی در نرم افزارهای Google earth, Grapher, SPSS, GCDKIT تلفیق نهایی کلیه داده‌ها با نتایج حاصل از مطالعه مقالات و کتب مرتبط برای ارائه مدل کانه‌زایی در کانسار مس-طلای کلاته القبابی و نیز مقایسه این کانسار با نمونه‌های مشابه در مقیاس کشوری و جهانی

۹-۱- رده‌بندی ذخائر مس - طلای جهان

تئوری‌های جدید، تشکیل ذخایر معدنی را با تکامل چرخه‌های تکتونیکی پوسته در مقیاس جهانی نسبت می‌دهد و بیان می‌دارند که پراکندگی ذخایر معدنی در طول زمان تصادفی نبوده و ارتباط نزدیکی بین فرآیندهای سنگ ساز، فرآیندهای کانسار ساز و ماهیت تکامل پوسته زمین وجود دارد که کلید مناسبی برای اکتشاف محیط‌های مستعد کانی‌سازی در اختیار ما قرار می‌دهد. محققین مختلف در طی سال‌های اخیر، با توجه به اهمیتی که برای هریک از ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی کانسارهای مس-طلا (نظیر ترکیب کانی‌شناسی، عناصر همراه کانی‌سازی طلا، نحوه تشکیل، ماهیت سیال کانه‌دار، خاستگاه تکتونیکی، ارتباط یا عدم ارتباط با توده نفوذی، عمق و دمای تشکیل، نوع سنگ میزبان، دگرسانی و...) رده‌بندی‌های متفاوتی را ارائه کرده‌اند. یکی از معتبرترین منابع پیرامون طبقه‌بندی کانسارهای مس-طلا در دنیا متعلق به (Rober et al., 1997) می‌باشد (جدول ۱-۱). در شکل (۴-۱) به صورت شماتیک این تیپ کانسارها آورده شده است که در زیر به آن‌ها می‌پردازیم.



شکل ۴-۱- تصویر شماتیک برای انواع ذخیره طلا از سطح پوسته شناخته شده و مقیاس عمق تقریبی می‌باشد (Robert et al., 1997).

جدول ۱-۱- انواع ذخایر طلای و ویژگی‌های اصلی زمین شناسی آنها (Robert et al., 1997).

نوع کانسار	مثال	مثال: جهانی و کانادایی	ویژگی زمین شناسی	شکل کانی زایی
پالئو پلاسر	Witwatersrand (S. Africa)	Tarkwa (Ghana), Jacobina (Brazil); rare: Huronian (ON), Sakami (QC)	حوضه های رسوبی وسیع در کراتون های قدیمی سنگ های رخساره دلتایی و رودخانه ای	قطعات کوارتز حامل پیریت کنگلومرا و کوارتز آرنایت هستند
سولفید توده ای غنی از طلا در حوضه های زیر دریایی	Boliden (Sweden)	Mt. Lyell & Mt. Morgan Horne, Bousquet, (Australia) Eskay Agnico-Eagle (QC) , Creek (BC)	ترکیب توالی آتشفشانی، آتشفشانی تخریبی و رسوبی در کمربندهای سنگ سبز	عدسیهای سولفید توده ای مجاور پهنه استرینگر، نواری و لایه گون و چینه سان دیده می شود.
چشمه های گرم	McLaughlin (California)	Hasbrouk Mountain, Buckskin Mountain (Nevada), Cherry Hill, Champagne Pool (New Zealand); Cinola (BC)	مراکز آتشفشانی مافیک و فلسیک مرتبط با سنگهای اپی کلاستیک در کمربندهای آتشفشانی - پلوتونیک	سولفیدهای دانه پراکنده در سنگهای سیلیسی و برشی شده، رگه ای کوارتز در زیر قرار دارد.
اپی ترمال آدولاریا- سربیسیت	Creede (Colorado)	Hishikari (Japan), Cavnic (Romania), Round Mountain (Nevada) ; Lawyers, Blackdome, Cinola (BC), Skukum (YT)	مراکز آتشفشانی فلسیک تا حد واسطه مرتبط با نفوذی نیمه عمیق در کمربندهای	به شکل کلوفرمی و برشی رگه های کوارتز-کربنات آدولاریا

	آتشفشانی - پلوتونیک			
سولفید دانه پراکنده در زون های سیلیسی، رگه ها، برش ها و استوک ورک	مراکز آتشفشانی فلسیک تا حد واسط مرتبط با توده های نیم نفوذی در کمر بند های آتشفشانی - پلوتونیک	El Indio (Chile), Pueblo Viejo(Dominican Republic), Nansatsu (Japan); Hope Brook (NF), Equity Silver (BC)	Goldfield (Nevada)	اپی ترمال آلونیت - کائولینیت
توده نفوذی میزبان کوارتز - پیریت در پهنه استوک ورک	مراکز آتشفشانی حدواسط کالک آلکالن تا آلکالن، مرتبط با توده های ساب ولکانیک کمر بنده های آتشفشانی - پلوتونیک	Refugio (Chile), Yu-Erya (China) , Fort Knox (Alaska); Dublin Gulch (YT), Young-Davidson (ON) , Douay Troilus (QC)	Lepanto Far South East (Philippines), Lobo (Chile)	طلای پورفیری
کانی زایی برشی در دیواره ناهماهنگ	مراکز آتشفشانی مافیک تا فلسیک مرتبط با توده های نفوذی در کمر بندهای آتشفشانی - پلوتونیک	Montana Tunnels(Montana), Cripple Creek (Colorado) ; Kirkland (MB), Chadbourne (QC)Sunbeam	Kidston (Australia)	تنوره برشی
دانه پراکنده و عدسیه های سولفید توده ای که رگه های اسکارن را قطع کرده است.	توالی های سکوی کربناته قرار گرفته روی کمان های آتشفشانی - پلوتونیک	Red Dome (Australia), Suan Hedley & Tillicum (BC), Marn Akasaba (QC) (Korea);(YT),	Fortitude (Nevada)	اسکارن

هماهنگ و ناهماهنگ سولفید توده ای در دیواره سنگ های کربناته	توالی های سکوی کربناته قرار گرفته روی کمان های آتشفشانی-پلوتونیک	Mammoth (Utah);Mosquito CreekIsland Mountain (BC) ,Ketza River (YT)	Ruby Hill (Nevada)	جانشینی کربنات(مانتو)
سولفیدهای دانه پراکنده ناهماهنگ برشی در دیواره و زون های چینه کران	رخساره کربناته آرژیلیک و کربنات ناخالص از فلات قاره ای قرار گرفته در کمان آتشفشانی-پلوتونیک	Mercur (Utah), Golden Reward (South Dakota), Guizhou) China;(possibly Golden Bear (BC), Brewery Creek (YT)	Carlin (Nevada)	طلای غیر قابل دیدن میزبان رسوبی (تیپ کارلین)
استوک ورک، صفحه ای رگه ای ، دانه پراکنده و چینه کران به زون های ناهماهنگ	رخساره های سیلیسی کلاستیک ، توربیدیتی و آتشفشانی در ارتباط مشترک با استوک و دایک های فلسیک تا حد واسط	Andacollo (Chile), Muruntau (Uzbekistan); East Malartic, Beattie (QC), Hemlo(?), Holt-McDermott (ON), QR	Porgera (Papua New Guinea)	استوک ورک دانه پراکنده و غیر کربناته
رگه های کوارتز-سولفید (سولفید بالای ۲۰ درصد)	میزان بالای نفوذیها و ارتباط با دایک ها و کمان آتشفشانی-پلوتونیک در کمر بند سنگ سبز	Tennant Creek (Australia); Red Mountain (BC), Mouska, Cooke , Copper Rand, Doyon 3 zone (QC)	(Rossland) British Columbia	رگه غنی از سولفید دارای طلا و مس
رگه های کوارتز در گسل های شکننده تا شکل پذیر	حرکت رو به بالای تکتونیکی تماس با سنگ های پی سنگ دگرگونی و فراوانی گرانیتوئید و باتولیت ها	Linglong (China), Charters Towers (Australia); Zeballos,Surf Inlet (BC),	Chenoan (Korea)	رگه کو ارتز همراه با باتولیت (نوع Korean)

سنگ های سبز با میزبان رگه کوارتز - کربنات	Mother Lode Grass (Valley) California	Mt. Charlotte, Norseman, Victory (Australia); Giant (NWT), Contact Lake (SK), San Antonio (MB), Kerr Addison (ON), Sigma- Dome, (QC) Lamaque	کمربندهای سنگ سبز؛ فضاهای با زون های گسل اصلی مرتبط است.	رگه های کربنات کوارتز همراه با زون های برشی و شکننده
رگه های کوارتز - کربناتی دارای میزبان توربیدایتی (تیپ Bendigo)	Victoria Goldfields (Australia)	Ashanti (Ghana), Otago Camlaren (NWT), Little Long Lac Meguma (NS), Cape Ray (NF) New Zealand	توالی توربیدایت تغییر شکل یافته	رگه های کوارتز کربناته در چین ها و زون برشی شکننده - شکل پذیر
رگه ها و دانه های پراکنده با میزبان از نوع سازندهای آهن دار (نوع Homestake)	Homestake (S. Dakota)	Jardine (Montana), Cuiaba (Brazil), Hill 50 (Australia); Lupin (NWT), Farley (MB) , Central Patricia and Cockshutt (ON)	ترکیب توالی های آتشفشانی، آتشفشانی کلاستیک و رسوبی در کمربندهای سنگ سبز	نواری چینه کران دانه پراکنده و عدسی های سولفید توده ای و رگه های کوارتز ناهماهنگ تشکیل شده است.

منابع	اندازه و ذخیره کانسار	نسبت فلزات	ارتباط با دگرسانی	نوع کانسار
Minter (1993)	Au > Ag; U common; Au:Ag typically 10:1	Ag; U < Au ۱۰:۱ Au:Ag	سریسیتی و سیلیسی	پالئو پلاسار
Poulsen and Hannington (1996)	1-10 Mt of ore @ 3-10 g/t Au and 1-5% base metals	فلزات پایه Ag, Au, Cu و به طور معمول Au < Ag	سریسیتی و سیلیسی	سولفید توده ای غنی از طلا در حوضه های زیر دریایی
Nelson (1988); Bonham (1989); Berger (1985)	Typically <30 t Au; up to 20 Mt of ore @ 5 g/t Au	Au, Ag, Hg, As, Sb, Tl Ba; locally, W Au, strong vertical zoning	سیلیسی، آرژیلیکی و آرژیلیک پیشرفته و آدولاریا	چشمه های گرم
Heald et al. (1987); White and Hedenquist (1995)	<100 t Au but some >500 t Au; grades of 2-70 g/t Au	Au, Ag, As, Sb, Hg ± Pb, Zn, Te; Au:Ag = 1:10 to 1:25; vertical zoning	الیت-سریسیت، سریسیتی، آدولاریا سیلیسی و پروپیلیتیک	اپی ترمال آدولاریا-سریسیت
Arribas (1995); Heald et al. (1987); White and Hedenquist (1995)	10-150 t Au but up to 600 t Au; grades of 1-8 g/t Au, averaging 4-5 g/t	Au, Ag, As, Cu, Sb, Bi, Hg, Te, Sn Pb; Au:Ag 1:2 to 1:10; metal zoning	و سیلیسی شدن، آلونیتی دگرسانی آرژیلیک پیشرفته	اپی ترمال آلونیت-کائولینیت
Sillitoe (1991)	50-100 t Au, up to 400 t; grades of 0.5-2 g/t Au and <0.8% Cu	Au, Cu, Ag ± Bi-Te; Au:Ag > 1:1	سیلیکات سدیم و پتاسیم به طور معمول آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته	طلای پورفیری
Sillitoe (1991)	6-60 Mt of ore @ 1-2 g/t Au; some up to 100 t Au	Au, Ag, Pb, Cu, Zn; Au:Ag < 1:1	سیریسیتی کربناته و سیلیسی شدن	تنوره برشی

Meinert., (1989)	1-10 Mt of ore @ 3-10 g/t Au, <1% base metals; <100 t Au	Au, Ag, As, Bi, Te; Au:Ag variable	مجموعه‌های غنی از آلومینیوم ، اسکارن درجه بالا؛ دگرسانی درجه پایین پسروده عمومی	اسکارن
Sillitoe., (1991)	Typically <3 Mt of ore @ 5-20 g/t Au & 1-5% base metals; up to 65 t Au	Au, Ag, As, Bi, Hg ± Pb, Cu, Zn; typically Au<Ag	آهک سیلیسی شده و سنگ- های تخریبی سرسیتی شده	جانشینی کربنات (مانتو)
Berger and Bagby., (1991)	1-10 Mt of ore @ 1-10 g/t Au; some up to 500 t Au.	Au, Ag, As, Sb, Hg; typically Au<Ag	سنگ های کربناته سیلیسی شده	طلای غیر قابل دیدن میزبان رسوبی (تیپ کارلین)
Sillitoe., (1991)	1-20 Mt of ore @ 2-5 g/t Au; some greater than 500 t Au.	Cu, As, Bi, Te ± W, F, B	جانشینی پتاسیم در (بیوتیت ، رزکولیت) یا آلبیت	استوک ورک دانه پراکنده و غیر کربناته
Fyles., (1984)	Mostly <5 Mt of ore at 3-15 g/t Au; some >100 t Au	Au, Ag, Cu ± Pb, Zn; typically Au<Ag	سیلیسی و کلریتی	رگه غنی از سولفید دارای طلا و مس
Shelton et al., (1988)	1-10 Mt of ore @ 1-10 g/t Au	Au, Ag ± Cu, Pb, Zn; Au:Ag variable	سیلیسی و کلریتی	رگه کو ارتز همراه با باتولیت (نوع Korean)
Knopf (1929)	1-10 Mt of ore @ 5-10 g/t Au; mostly 25-100 t Au, but many >250 t Au	Au, Ag, W, B ± As, Mo; Au:Ag = 5:1 to 10:1; no vertical zoning	سیلیسی کربناته	سنگ های سبز با میزبان رگه کوارتز-کربنات

Boyle (1986); Cox et al.,(1991)	Mostly <5 Mt or ore @ 6-15 g/t Au; some >500 t Au	Au, Ag, As $\pm$ W; Au:Ag = 5:1 to 10:1	سیلیسی و کمتر سریسیتی	رگه‌های کوارتز - کربناتی دارای میزبان توریدایتی (تیپ (Bendig
Caddy et al.,(1991)	1-10 Mt of ore @ 3-20 g/t Au; some >500 t Au	Au, Ag, As Au:Ag = 5:1 to 10:1	دگرسانی کلریتی کربناته	رگه‌ها و دانه‌های پراکنده با میزبان از نوع سازندهای آهن دار (نوع Homestake)

۱-۱۰-۱- فازهای کانی‌سازی مس - طلا در ایران

در طول عمر زمین دو دوره عمده برای کانی‌سازی طلا وجود داشته است (Foster, 1993). این دوره‌ها عبارتند از: ۱- ذخایر کوارتز رگه‌ای مزوترمال آرکئن پسین و کنگلومرای آرکئن پسین تا پروتروزوئیک پیشین، ۲- ذخایر اپی ترمال و مزوترمال مرتبط با پورفیری‌های مزوزوئیک تا کواترنری، ذخایر مس- طلا در ایران با پیدایش و شکل‌گیری پوسته ایران زمین و عمل‌کرد فعالیت‌های زمین‌ساختی - ماگمایی که در پروتروزوئیک پسین و فانروزوئیک رخ داده است، که در این میان رخداد زمین‌ساختی پیرنه (ائوسن - الیگوسن تا میوسن) وسیع‌ترین و متنوع‌ترین ذخایر معدنی بخصوص طلا و مس را در ایران تشکیل داده است.

مهم‌ترین کانسارهای مس شناخته شده در ایران، کانسارهای پورفیری و اسکارن هستند که برخی از این کانسارها مانند سرچشمه، میدوک و سونگون شهرت جهانی دارند. از دیگر گروه‌های کانسار مس در ایران کانسارهای گروه سولفید توده‌ای، کانسار گروه مانتو و کانسارهای مس با میزبان رسوبی هستند. در شکل (۱-۵) موقعیت اصلی تیپ‌های مختلف کانسارهای مس - طلا همراه با ماگماتیسم مشخص شده است که عبارتند از:

۱-۱۰-۱-۱- نئوپروتروزوئیک پسین

همراه با برخی از سنگ‌های دگرگونی نئوپروتروزوئیک پسین مانند تکنار که منشاء آذرین یا آذرآواری دارند، آثار و شواهدی از مس شناخته شده است (Malekzadeh et al., 2005). طلا در سنگ‌های محدوده زمانی نئوپروتروزوئیک پسین در مناطق تکنار، تکاب، بلوک یزد شمال خاور کاشان و مناطقی از زون سنندج - سیرجان گزارش شده است. به طور غالب، سنگ میزبان کانی‌زایی طلا در این مناطق شامل شیست و تناوب آهک، شیل، دولومیت، می‌باشد. مجموعه سنگ‌های آذرین و دگرگون تکنار و برنورد توسط (Moghadam et al., 2017)، (Mazhari et al., 2020) به روش اورانیوم سرب و روییدیم - استرانسیم مورد تعیین سن قرار گرفته‌اند و سن‌های در بازه زمانی ۵۶۰ تا ۵۳۰ میلیون سال برای آن‌ها بدست آمده است در نتیجه با توجه به یافته‌های جدید کانی‌زایی در نئوپروتروزوئیک پسین صورت گرفته است.

۱-۱۰-۲- ژوراسیک - کرتاسه

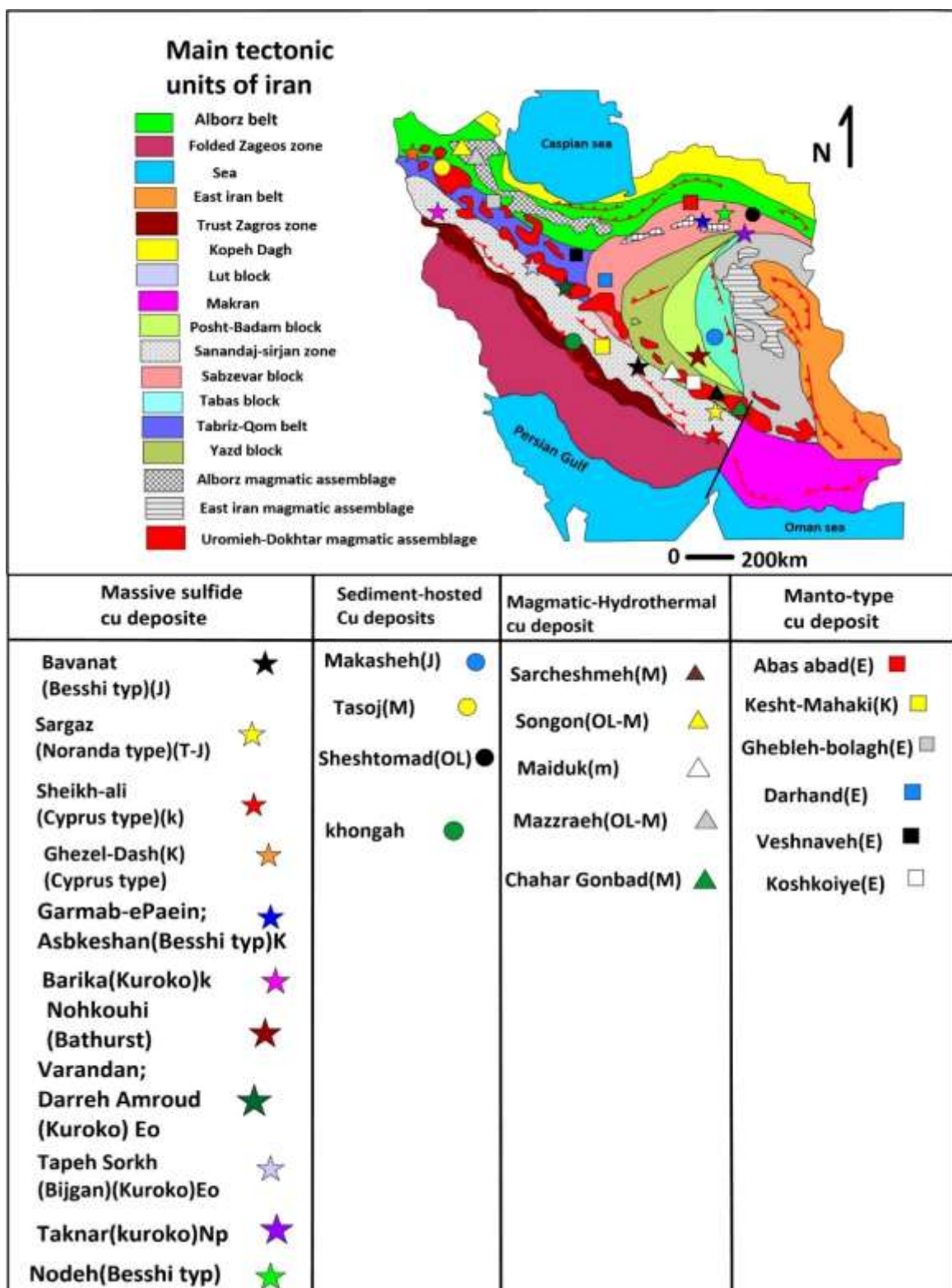
نشانه‌های متعدد مس در سنگ‌های رسوبی - تخریبی ژوراسیک - کرتاسه در ناحیه وسیعی از جنوب راور (کانسار مس رسوبی مارکشه) تا شمال طبس به چشم می‌خورد (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶، مهدوی و همکاران ۱۳۸۷). همچنین در این دوره کانسار مس جیان در بوانات قابل ذکر است (موسیوند، ۱۳۸۲) (Mousivand et al, 2007).

۱-۱۰-۳- کرتاسه - پالئوسن

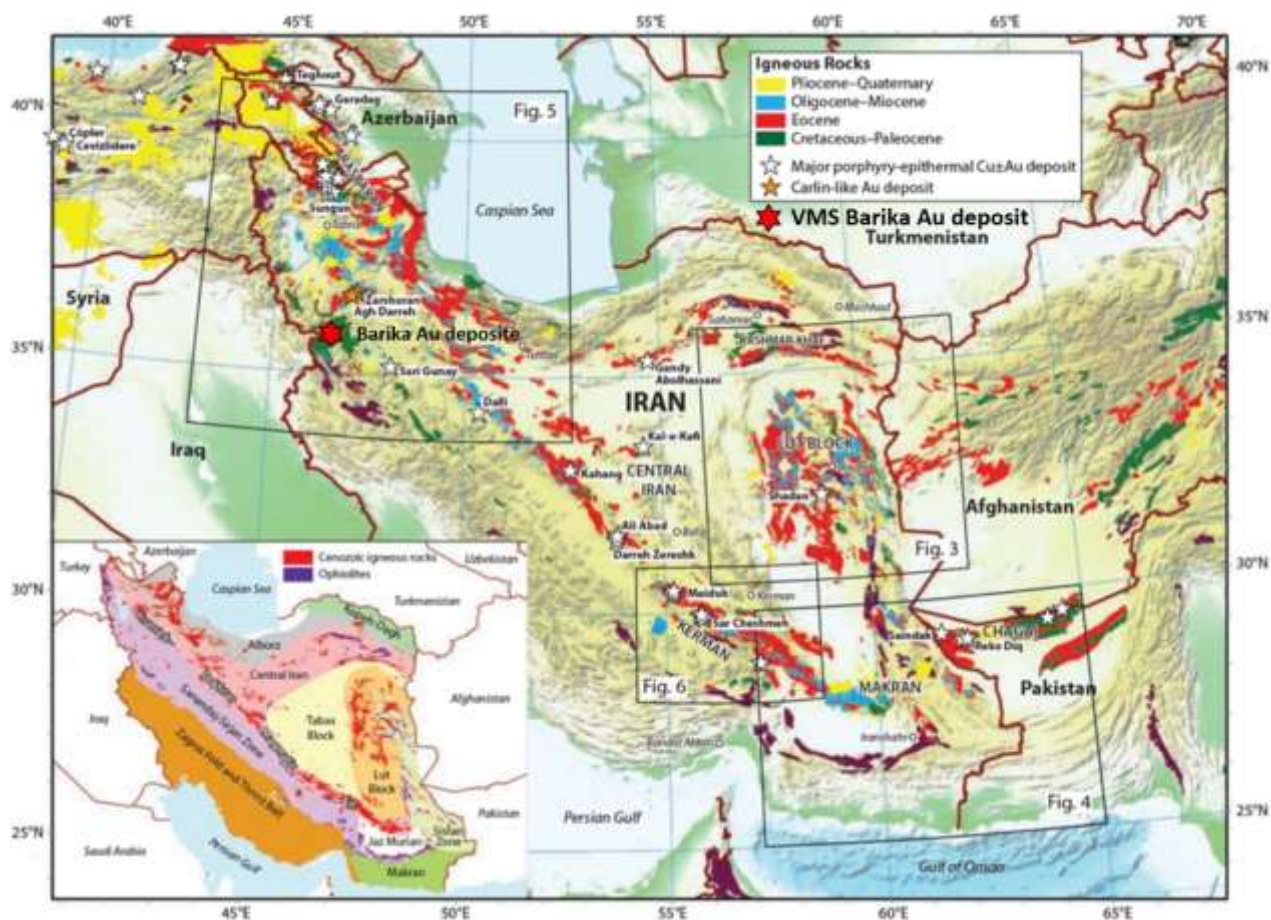
همراه با مجموعه‌های افیولیتی کرتاسه-پالئوسن، شواهدی از ذخایر سولفید توده‌ای در ایران شناخته شده است که از جمله می‌توان به کانسار مس شیخ عالی در جنوب شرق بافت اشاره نمود (منظمی میر علیپور، ۱۳۷۷). همچنین در این دوره، کانسار نوده و نشانه‌های معدنی جنوب غرب سبزوار (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۰) و کانسار مس گرماب پایین در جنوب شرق شاهرود قابل ذکر است (طاشی و همکاران، ۱۳۹۶). در مناطق ارسباران، شمال خاور کاشان و یزد کانی‌زایی طلا در کرتاسه به طور غالب به صورت اسکارن است و در تماس سنگ‌های نفوذی (بیشتر با ترکیب گرانیته و دیوریتی) با سنگ آهک کرتاسه تشکیل شده است. علاوه بر مناطق یاد شده در منطقه سقز- نقده نیز کانه‌سازی طلا در داخل سنگ‌های متاولکانیک کرتاسه پسین در اثر عمل کرد پهنه برشی تشکیل شده است. کانسار طلای کروپان و باریکا از جمله کانسارهای با سنگ میزبان مربوطه به این محدوده زمانی می‌باشد.

۱-۱۰-۴- ترشیاری

مهم‌ترین کانسارها و نشانه‌های معدنی طلا مربوط به این محدوده زمانی عبارتند از: تمام کانسارها و نشانه‌های معدنی واقع در محور طلادار کرمان، تارم-هشتجین، معلمان - تربت‌حیدریه (غیر از کانسار تکنار)، البرز مرکزی، قروه و میانه و اکثر کانسارها و نشانه‌های معدنی واقع در محور طلادار ساوه-کاشان-نائین، منطقه طلادار تکاب، ارسباران و لوت، بیشتر ذخائر مس ایران در ترشیاری تشکیل شده‌اند. این ذخایر وابستگی تنگاتنگی با سنگ‌های ماگمایی ترشیاری دارند. ویژگی زمین‌ساختی ایران و کشورهای همسایه و کانسارهای پورفیری، کارلین و سولفید-توده‌ای در شکل (۱-۶) نشان داده شده است.



شکل ۵-۱- نقشه پهنه‌های ساختاری (Alavi, 1991., Aghanabati, 2003) و موقعیت ذخایر تیپ‌های مختلف مس و گستره زمانی آن‌ها در ایران: E (کرتاسه)، OL (الیگوسن)، M (میوسن) با تغییرات از T (تریاس)، J (ژوراسیک)، K (کرتاسه)، E (ائوسن)، OL (الیگوسن)، M (میوسن) با تغییرات از (مغفوری، ۱۳۹۱).



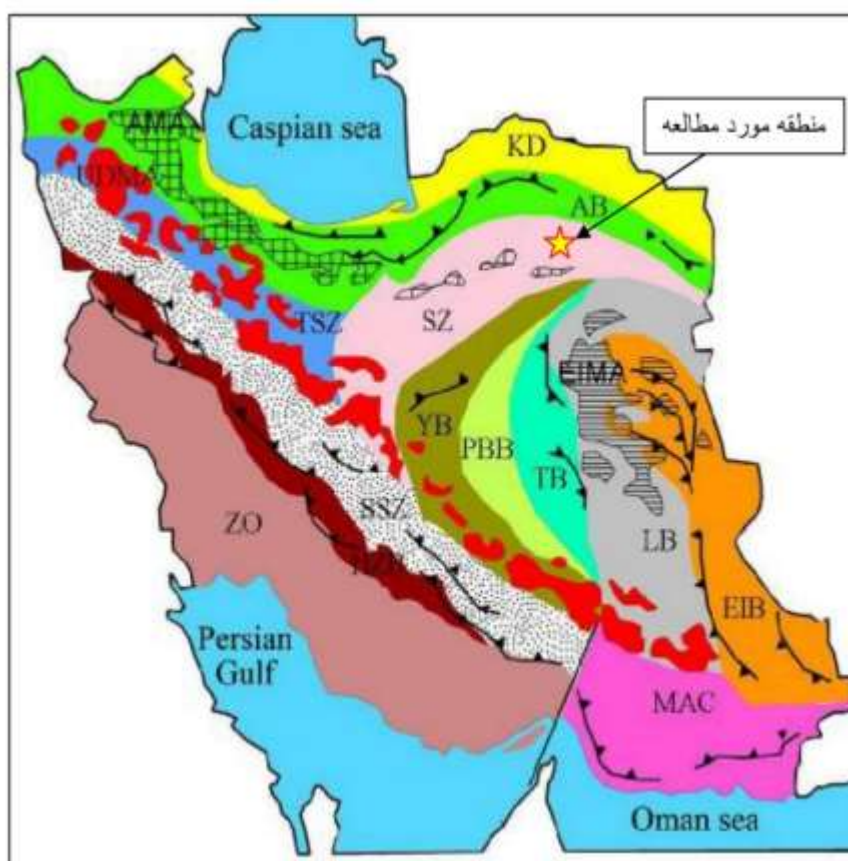
شکل ۱-۶- ویژگی اصلی زمین‌ساختی ایران و کشورهای همسایه، نشان‌گر وقوع ماگماتیسم اواخر مزوزوئیک و سنوزوئیک، و مکان‌های اصلی نهشته‌های پورفیری- اپی ترمال، کارلین و آتشفشانی- رسوبی نشان می‌دهد. توزیع سنگ‌های آذرین در ایران از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منتشر شده توسط سازمان زمین‌شناسی ایران تهیه شده است. سنگ‌های آذرین در کشورهای همسایه از نقشه زمین‌شناسی بین‌المللی ۱:۵۰۰۰۰۰۰ خاورمیانه استخراج شده اند (Richards and Sholeh., 2016).

فصل دوم

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

۲-۱- مقدمه

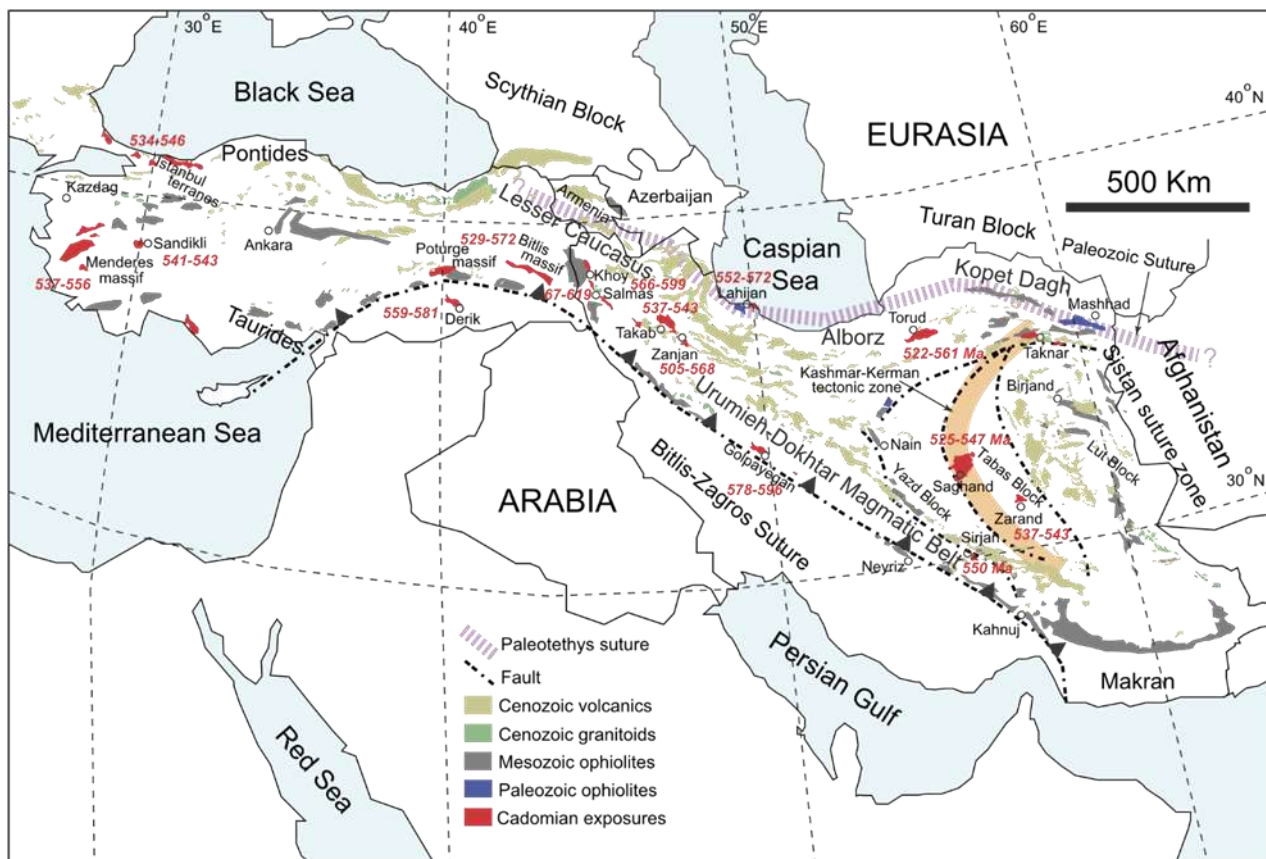
محدوده‌های مس- طلای کلاته القبایی، سه بندوق، سبه و منگنز -طلای دهنه بیجورد، در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن، در نقشه چهار گوش زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر (افتخارنژاد، ۱۳۵۵) و ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن، ششتمد، کاشمر و شامکان قرار دارد. این منطقه به لحاظ تقسیم‌بندی زون‌های ساختاری (نبوی، ۱۳۵۵، نوگل سادات، ۱۳۶۴، آقاناتی، ۱۳۸۳) و براساس (Alavi, 1991) در زون ایران مرکزی و زیر پهنه سبزوار قرار گرفته است (شکل ۱-۲). سرزمین ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند چین‌خورده آلپ هیمالیا و ناحیه فشارشی ناشی از همگرایی دو ورقه عربی و اوراسیایی، همواره شاهد تحولات گوناگونی بوده که هریک به نوعی در سرنوشت زمین‌شناسی آن تأثیر گذار بوده‌است. رخدادهای ماگمایی مزوزوئیک مرتبط با این همگرایی و بسته شدن نئوتتیس در ترسیم چهره امروزی این منطقه اهمیت به سزایی داشته‌اند. این کمربند از کوه‌های آلپ در اروپای شرقی شروع شده و تا شرق آسیای دور کشیده شده و به کوه‌های هیمالیا در شمال شبه قاره هند می‌رسد. سرزمین ایران در بخش میانی این کمربند قرار گرفته است که موقعیت ژئودینامیکی و متالوژنیکی این کمربند افیولیتی مرتبط با باز و بسته شدن شاخه‌های فرعی اقیانوس نئوتتیس در اطراف ایران مرکزی در اواخر کرتاسه می‌باشد (Shojaat et al., 2003). با توجه به (شکل ۲-۲) و موقعیت ژئودینامیکی زیرپهنه افیولیتی سبزوار، این زون میزبان انواع کانه‌سازی‌های کرومیت (Shafaii Moghadam et al., 2009)، مس کانسار نوده (مغفوری، 1390)، منگنز کانسار ذاکری (تقی زاده قورولی، ۱۳۹۴) می‌باشد. زیر پهنه سبزوار همچنین میزبان کانسار مس- طلا در محدوده سه بندوق، طلا، منگنز در محدوده دهنه بیجورد، مس- طلا در محدوده کلاته القبایی و مس در محدوده سبه می‌باشد که با سنگ میزبان آتشفشانی- رسوبی به سن کرتاسه همراه هستند. در این فصل ابتدا ویژگی‌های زمین‌شناسی زیر پهنه سبزوار و نظریه‌های تکتونیکی مختلف در مورد نحوه شکل‌گیری و تکوین آن مورد بررسی قرار گرفته و سپس زمین‌شناسی عمومی محدوده مورد مطالعه بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن، ششتمد، کاشمر و شامکان توصیف می‌گردد.



شکل ۱-۲- جایگاه سبزوار در خرده‌قاره ایران مرکزی (Alavi, 1991., Aganabati, 2003) و موقعیت منطقه مورد مطالعه با علامت ستاره. EIB: East Belt, LB: Lut Blok, TB: Tabas Blok, PBB: Poshte Badam Block, YZ: Yazd Block, SZ: Sabzevar Zone, AB: Alborz belt, MAC: Makran Accretionary complex, ZO: Zagros Orogen, SSZ: Sanandaj-Sirjan Zone, TSZ: Tabriz-Saveh Zone, KD: Kopeh Dagh, UDMA: Urmia-Dokhtar Dokhtar magmatic assemblage, AMA: Alborz magmatic assemblage, EIMA: East Iranian (magmatic assemblage)

۲-۲- ویژگی‌های ساختاری - زمین‌ساختی پهنه سبزوار

ایران در مرز دو ورقه توران و عربی قرار دارد. با بسته شدن اقیانوس‌ها و برخورد میان خرده قاره‌ها، وقایع تکتونیکی و دگرگونی شدیدی در این سرزمین رخ داده که زمین‌شناسی آن را پیچیده کرده است (Sengor, 1990). در دهه جدید مطالعات سن‌سنجی از پهنه‌های ساختاری ایران بخصوص پهنه سبزوار توسط پژوهشگران گزارش شده است که در تفسیر جایگاه تکتونیکی این ناحیه نقش به سزایی داشته است.



شکل ۲-۲- نقشه زمین‌شناسی ساده ایران - ترکیه که توزیع سنگ‌های آذرین سنوزوئیک، افیولیت‌های پالئوزوئیک - مزوزوئیک و پراکندگی سنگ‌های کامبرین را نشان می‌دهد (Shafaii Moghadam et al., 2017)

طبق بررسی‌های (Khalatbari et al, 2013)، پهنه سبزوار که به‌طور عمده از سنگ‌های افیولیتی و آتشفشانی ائوسن تشکیل یافته شامل محدوده بین گسل میامی در شمال و گسل درونه در جنوب قرار دارد که یک روند تقریبی شرقی - غربی، از سبزوار تا مرز افغانستان، به صورت بلوک دوزنقه‌ای شکلی ادامه دارد. براساس نظر (Stampfli and Borel, 2002; Lindenberget al., 1983 و Spies et al., 198) حدود ۸۰ میلیون سال پیش حوضه اقیانوسی فعالی در منطقه وجود داشته است که در فاصله زمانی کرتاسه پایانی-اوایل ترشیری بسته شده است. که در شرح رخداد کرتاسه تا اواخر پالئوژن در شمال شرق ایران به پهنه فرورانش به سمت شمال در اواخر کرتاسه اشاره کرده‌اند. جغرافیای دیرین پهنه سبزوار زیاد مشخص نیست ولی برخی پژوهشگران (Stampfli and Borel, 2002; Stampfli and Bagheri, 2008) آن را مرتبط با افیولیت‌های نائین-بافت و سیستان می‌دانند. پژوهشگران دیگر معتقدند (Arvin and Robinson, 1994; Agard et al., 2011) که افیولیت‌های احاطه کننده

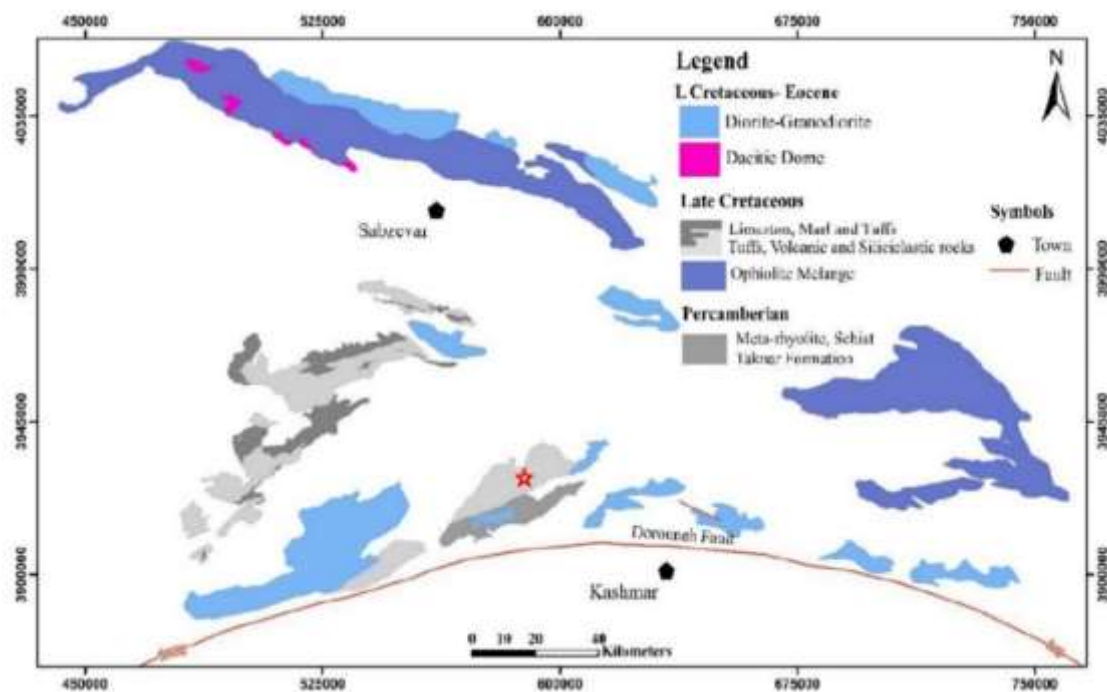
اطراف ایران مرکزی نشان‌دهنده پوسته‌های اقیانوسی ناپیوسته و به طبع آن نشان‌دهنده اقیانوس‌های کوچک در اطراف خرده قاره ایران مرکزی می‌باشند (شکل ۲-۲). به اعتقاد وحدتی دانشمند (۱۳۷۷)، در کرتاسه پسین بخش شرقی ایران مرکزی و شرق ایران تحت یک نیروی کششی قرار گرفته و در امتداد برخی از شکستگی‌های موجود در پی‌سنگ، جداشدگی‌های ژرف به صورت کافت به وجود آمده که در آن سنگ‌های آتشفشانی زیردریایی بازیک و فلسیک همراه با رسوبات آواری به صورت آتشفشانی - رسوبی انباشته شده است. مطالعاتی که در دهه گذشته بر روی ژئوشیمی افیولیت‌های احاطه کننده خرده قاره ایران مرکزی صورت گرفته است، نشان می‌دهد این حوضه‌های اقیانوسی در طی دو دوره اصلی یعنی اواخر ژوراسیک اوایل کرتاسه (افیولیت سیستان و فنوج، FotohiRad et al., 2009) و اواخر کرتاسه (افیولیت‌های نائین -بافت و سبزوار) Shojaat et al., 2009; Shafaii moghadam and et al., 2003) تشکیل شده‌اند. بسته شدن این حوضه‌ها به صورت غیر همزمان در طی مزوزوئیک با مراحل آخر برخورد پلیت عربی - اوراسیا رخ داده است (Stampfi and Borel., 2009; FotoohiRad et al., 2009; Shafaii Moghadm et al., 2009). نوار ماگمایی سبزوار در شمال شرق ایران سنگ‌های گسترده ماگمایی مزوزوئیک تا سنوزوئیک را شامل می‌شود که عمدتاً از افیولیت، توده-های نفوذی حدواسط تا فلسیک و واحدهای آتشفشانی-رسوبی تشکیل شده است (شکل ۲-۳).

با توجه به نظریه‌های مختلف بر روی زیر پهنه سبزوار، حوضه اقیانوسی مزوزوئیک سبزوار در زمان تریاس پسین-ژوراسیک پیشین شروع به تشکیل کرده است. به دنبال آغاز فروانش حوضه اقیانوسی نئوتتیس زاگرس به زیر حاشیه جنوبی پهنه ایران مرکزی (سنندج-سیرجان) در تریاس پسین، حرکات کششی ناشی از این فروانش باعث ایجاد حوضه‌های کششی درون قاره‌ای فرافروانشی (حوضه‌های اقیانوسی مزوزوئیک پیرامون ایران مرکزی) شد. تاکنون تشکیل این حوضه‌های اقیانوسی خرده‌قاره ایران مرکزی را به کرتاسه پسین نسبت داده‌اند و بسته شدن آن‌ها را نیز در کرتاسه پسین-پالئوسن/ئوسن، اندکی دیرتر از بسته شدن حوضه اقیانوسی نئوتتیس زاگرس دانسته‌اند. اما پژوهش جدید نشان داده است که این حوضه‌ها نه در کرتاسه، بلکه از زمان تریاس پسین-ژوراسیک پیشین تشکیل شده‌اند و پس از گسترش در ژوراسیک میانی - کرتاسه پیشین، از زمان کرتاسه میانی با فروانش جزایر اقیانوسی و سپس از کرتاسه پسین با فروانش حاشیه قاره شروع به بسته شدن کردند و سرانجام در

پالئوسن-ائوسن بسته و در میوسن برخورد قاره صورت گرفته است (قاسمی، ۱۳۹۹). شواهد ژئوشیمیایی همگی حاکی از تولید ماگمای سازنده سنگ‌های جنوب غرب سبزوار در یک محیط فرورانش جزیره کمانی در خلال فرورانش حوضه اقیانوسی نئوتتیس سبزوار در طی کرتاسه پسین می‌باشد. در نتیجه فرورانش به سمت شمال-شرقی اقیانوس نئوتتیس در تریاس بالایی در حوضه زاگرس، ماگماتیسم کمانی ژوراسیک در زون سنندج-سیرجان رخ داده و حوضه کششی پشت کمانی سوپرا سابداکشن سبزوار ناشی از فرورانش نئوتتیس در زیر ورقه ایران مرکزی در مناطق سبزوار-نائین ایجاد شده است. جزایر کمانی جنوب غربی سبزوار با سرشت کالک آلکالن - تولیتی، در طی کرتاسه پسین در داخل اقیانوس سبزوار شکل گرفته اند. سپس در ادامه با شروع بسته شدن حوضه و با فرورانش پوسته اقیانوسی سبزوار به سمت شمال به زیر ورقه بینالود (البرز شرقی) کمان ماگمایی حاشیه قاره شکل گرفته است (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین، این کمان ماگمایی که در ابتدا (کرتاسه پسین) از نوع جزایر کمانی بوده است، با ادامه فرورانش و اتصال آن به لبه جنوبی منطقه البرز شرقی (بینالود)، به یک پهنه فرورانش حاشیه قاره تبدیل شده و سبب بروز فعالیت‌های ماگمایی با طبیعت کالک آلکالن در زمان ترشیری و فعالیت‌های ماگمایی درون ورقه قاره‌ای در نئوژن و کواترنر شده است. گنبد‌های آداکیتی نوارهای ماگمایی شمال سبزوار (Jamshidi et al., 2015; Ghasemi and Rezaei, 2015) و جنوب قوچان - اسفراین به عنوان فرآورده تحولی و تکاملی این کمان ماگمایی مطرح شده است. در شکل (۲-۴) الگوی زمین‌ساختی برای پیدایش سنگ‌های آتشفشانی کمان ماگمایی سبزوار بصورت زیر ارائه شده است (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۷):

۱- وجود پهنه اقیانوسی گسترده نئوتتیس در طی تریاس زیرین-میانی در زاگرس. ۲- شروع فرورانش ورقه اقیانوسی نئوتتیس زاگرس به زیر ایران مرکزی در تریاس بالایی-ژوراسیک زیرین که با فعالیت‌های ماگمایی نوع کمانی در پهنه سنندج-سیرجان و کشش کمانی در بخش شمال پهنه ایران مرکزی-جنوب البرز همراه بوده است (Balaghi et al., 2014; Hosseini et al., 2015; اصغر زاده، ۱۳۹۲؛ قاسمی و جمشیدی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲). ۳- تداوم فرورانش رو به شمال ورقه اقیانوسی نئوتتیس به زیر خرده قاره ایران مرکزی در خلال ژوراسیک بالایی-کرتاسه پیشین که سبب بروز ماگماتیسم کمانی در زون سنندج-سیرجان و گسترش حوضه‌های اقیانوسی پشت کمانی سوپرا سابداکشن نائین - سبزوار شده است. ۴- شروع بسته شدن حوضه‌های اقیانوسی سبزوار -نائین و

تشکیل جزایر کمانی مرتبط در خلال کرتاسه پسین، سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های گرانیتوئیدی جنوب غرب سبزوار در این زمان تشکیل شده‌اند. ۵- بسته شدن نهایی حوضه اقیانوسی سبزوار و بالازدگی ورقه اقیانوسی آن به شکل تیغه‌های افیولیتی نائین- بافت، درونه و شمال سبزوار و بروز ماگماتیسم گسترده کالکوالکالن کمان قاره- ای در طی پالئوسن-ئوسن. ۶- تداوم فروورانش باقیمانده ورقه اقیانوسی نئوتتیس سبزوار به زیر ورقه البرز شرقی (بینالود) و بروز ماگماتیسم آداکیتی میوسن - پلیوکواترنر در نوار قوچان - اسفراین (قاسمی و همکاران ۱۳۸۹). نوار ماگمایی سبزوار در شمال شرق ایران سنگ‌های گستره ماگمایی مزوزوئیک تا سنوزوئیک را شامل می‌شوند که عمدتاً افیولیت، توده‌های نفوذی حدواسط تا فلسیک و واحدهای آتشفشانی-رسوبی هستند. به طور کلی، سنگ- های رخنمون یافته این پهنه را می‌توان در سه گروه اصلی افیولیتی، آتشفشانی-رسوبی کرتاسه-پسین و توالی فیلیشی تقسیم بندی کرد.

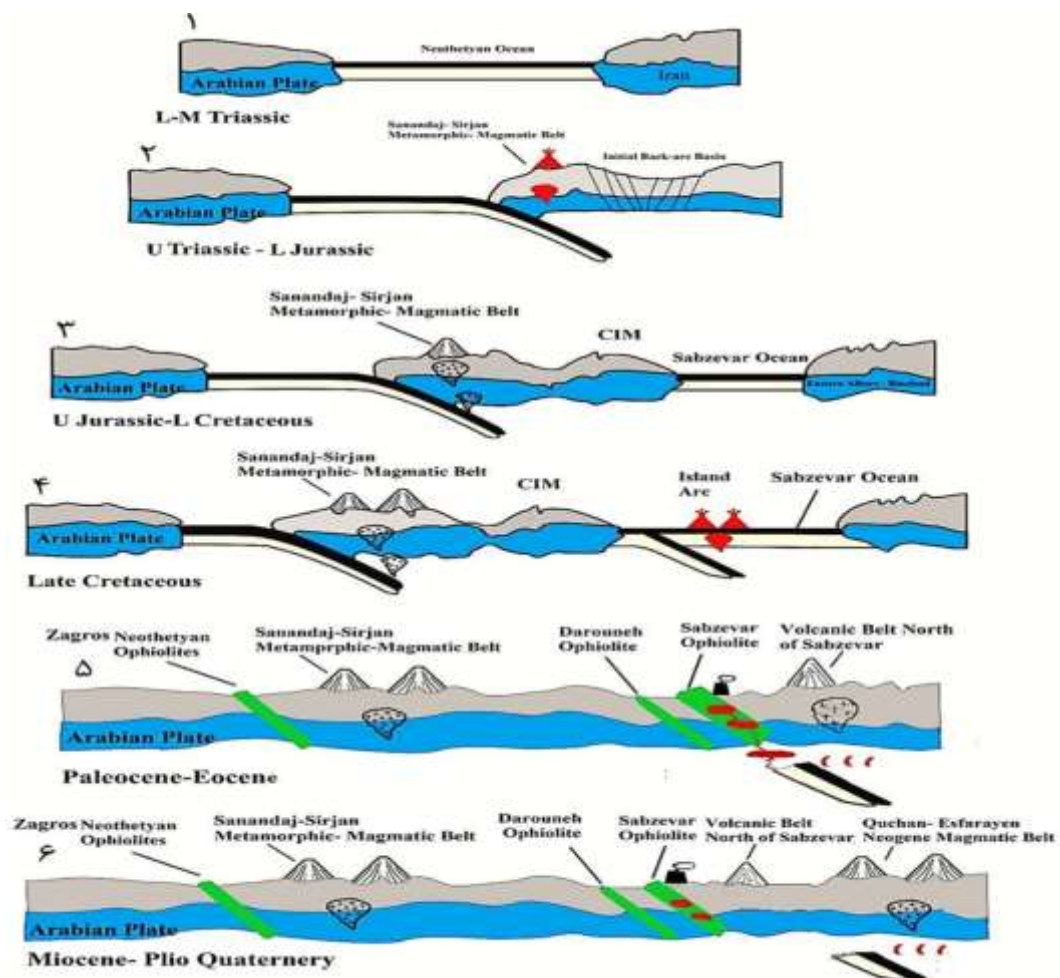


شکل ۲-۳- نقشه زمین‌شناسی پهنه سبزوار با تأکید بر افیولیت‌ها و سنگ‌های آتشفشانی و موقعیت منطقه مورد مطالعه با علامت ستاره مشخص شده است (کاظمی، ۱۳۹۷).

۲-۱- گروه اول: مجموعه‌های افیولیتی

این گروه شامل، مجموعه‌های افیولیتی سبزوار و تربت‌حیدریه هستند که خاستگاه اقیانوسی داشته، اطراف ایران مرکزی را احاطه می‌کنند و نشان دهنده وجود اقیانوس‌های کوچکی در اطراف خرده قاره ایران مرکزی در زمان

کرتاسه هستند (Baroz, 1984; Arvin Robinson, 1994; Agard et al., 2011). سنگ‌های رسوبی همراه آن‌ها معرف زمان کرتاسه پسین و محیط‌های نسبتاً ژرف اقیانوسی است که در یک محیط کششی از نوع حوضه‌های پشت کمانی تشکیل شده‌اند. این کشش، در اثر فرورانش رو به شمال لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران مرکزی اتفاق افتاده است (Agard et al., 2007; Alaminia et al., 2013). این محیط‌های کششی پشت کمانی در زمان کرتاسه میانی شروع به بسته شدن کرده و در زمان ائوسن به طور کامل بسته می‌شود (قاسمی، ۱۳۹۹).



شکل ۲-۴- تصاویر نمادین از مدل زمین‌ساختی بروز ماگماتیسم کرتاسه بالایی در جنوب غرب سبزواری و ادامه آن تا پلیوسن-کواترنری در شمال سبزواری. (۱) تریاس زیرین-میانی، (۲) تریاس بالایی- ژوراسیک زیرین، (۳) ژوراسیک بالایی- کرتاسه زیرین، (۴) کرتاسه بالایی، (۵) پالئوسن-ائوسن، (۶) میوسن-پلیوکواترنری (کاظمی، ۱۳۹۷).

۲-۲-۲- گروه دوم: مجموعه‌های آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین

این توالی آتشفشانی-رسوبی را می‌توان به دو بخش سنگ‌های آذرآواری و سنگ‌های آذرین (داسیت، ریولیت، تراکی آندزیت، گابرو، گابرودیوریت، دیوریت و گرانیت) همراه با آهک‌های پلاژیک گلوبوترونکانادار تقسیم کرد. معمولاً تزریق توده‌های نفوذی در این مجموعه‌های آتشفشانی، با پدیده‌های دگرسانی و کانه‌سازی همراه است، به همین دلیل، در این گروه سنگی ذخایری از مس (دهن قعله، تکنار...) سرب و روی (تکنار)، آنتیموان (چلپو) و طلا (ارغش، کوه زر، سه بندون...) تشکیل شده است.

۲-۲-۳- گروه سوم توالی فیلیشی

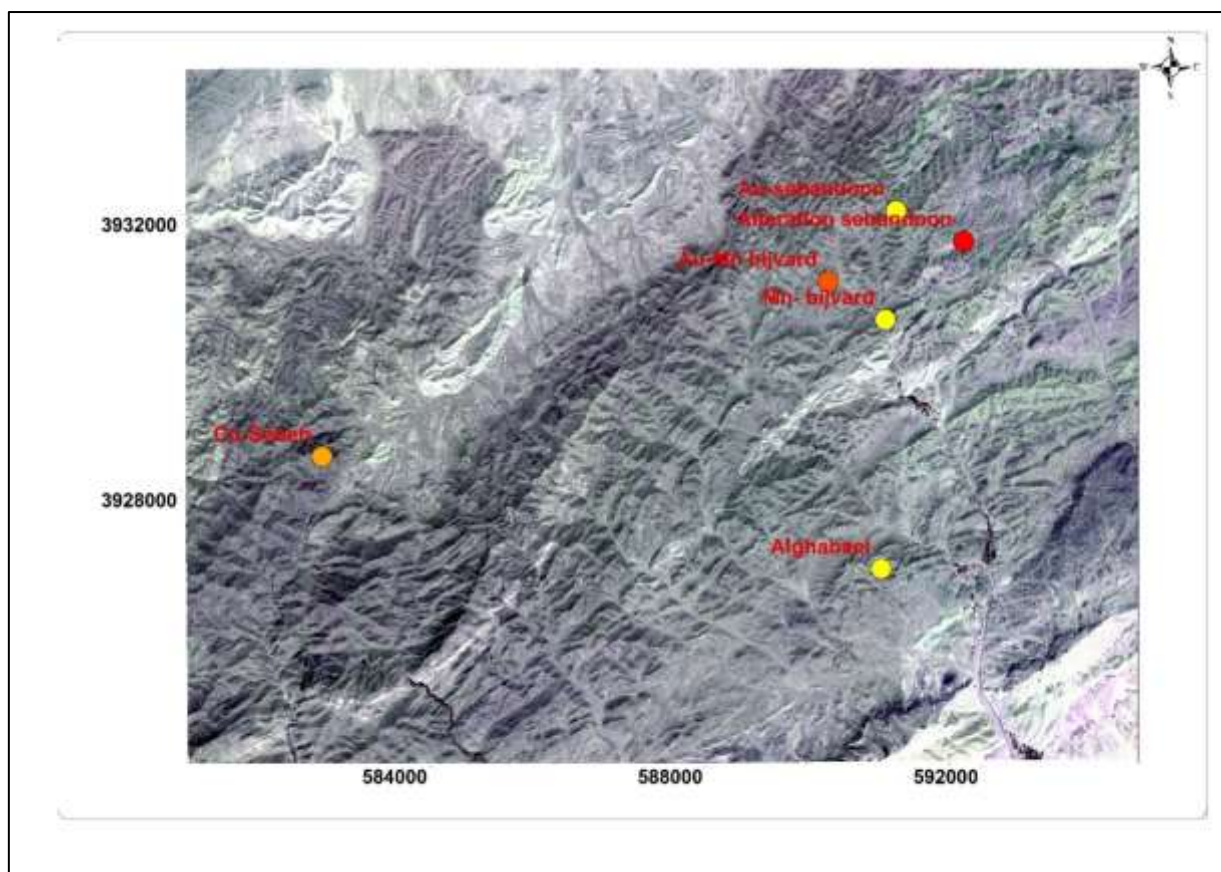
این گروه شامل توالی‌های رسوبی فیلیش گونه‌ای هستند که دامنه سنی آن‌ها از ائوسن تا زمان نئوژن است.

۲-۳- زمین‌شناسی ناحیه ای

واحدهای رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه از قدیم به جدید با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشمر، بردسکن، شامکان، ششتمد، و نقشه ماهواره‌ای که موقعیت اندیس‌ها و کانساره‌های مورد مطالعه بر روی تصاویر مشخص شده است. واحدهای سنگی به اختصار در زیر آورده شده‌اند (شکل ۲-۵) و (۲-۶).

۲-۳-۱- پرکامبرین

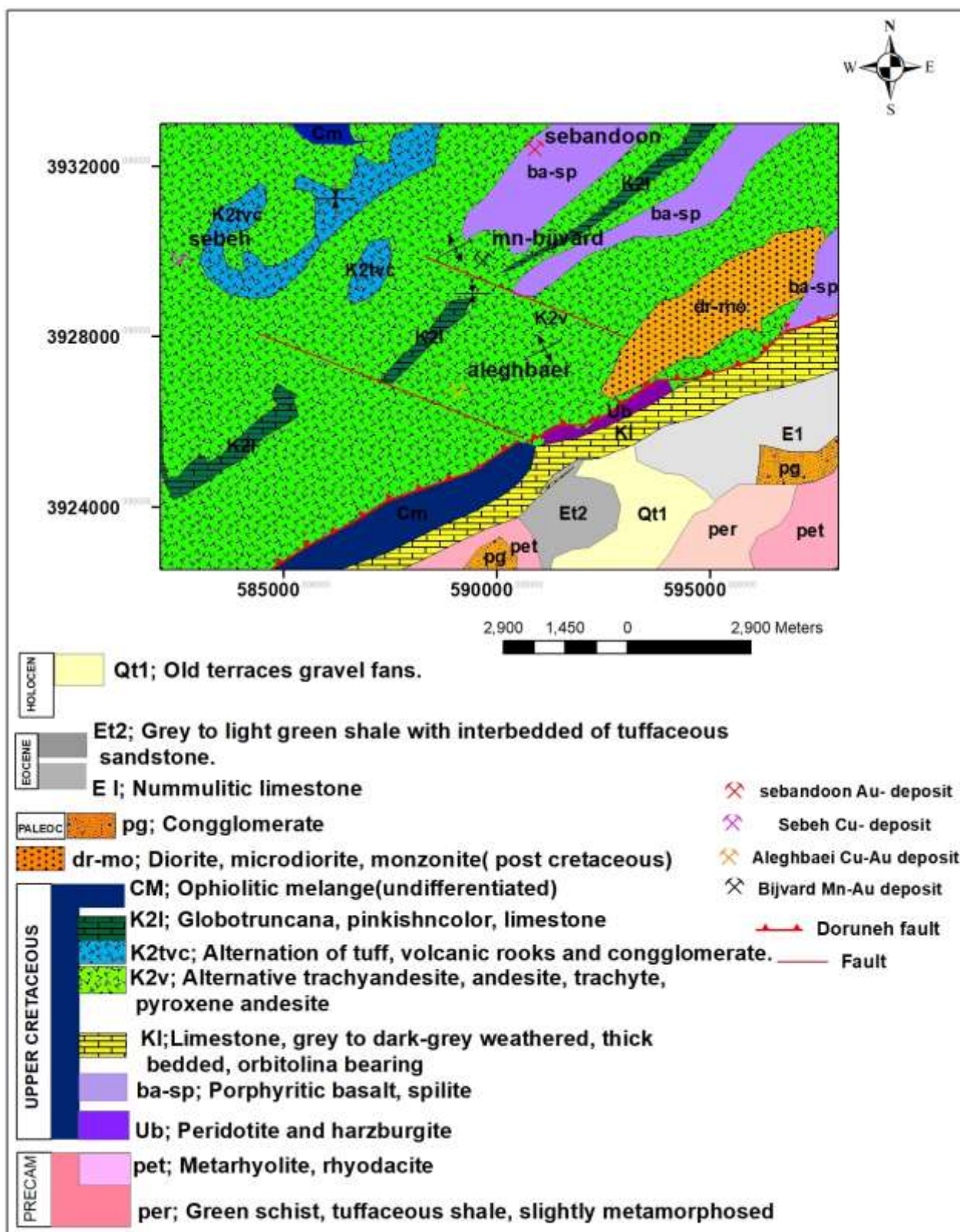
این بخش در بین گسل تکنار و گسل درونه قرار دارد که به شکل گوه‌ای می‌باشد که با تکیه بر وجود رخنمون-هایی از سازند تکنار -پرکامبرین و پوشش سنگ‌ها و سازندهای پالئوزوئیک، مزوزوئیک، آنرا پنجره فرسایشی برشمرده شده است (Lindenberg et al., 1983) که نشان‌گر بالآمدگی پی‌سنگ پرکامبرین - پالئوزوئیک ایران مرکزی است که در عصر ترشیری شکل گرفته است.



شکل ۲-۵- نقشه ماهواره‌ای و موقعیت کانسارها و اندیس‌های معدنی مورد مطالعه در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین.

۲-۳-۱-۱- واحد (۵۴):

سازند تکنار به سن نئوپروتریوئیک شامل توالی ضخیمی از سنگ‌های شیستی، توفی، شیست‌های سبز و ماسه سنگ‌های کوارتزیستی است که دگرگونی خفیفی در رخساره شیست سبز را تحمل نموده است. در این توالی ریوداسیت‌ها و ریولیت‌های دگرگون شده به صورت توده‌ای وجود دارد. در محدوده چهارگوش بردسکن رخنمون‌های پر شماری از سازند تکنار دیده می‌شوند که از آن جمله کوه تکنار، کوه قله توت، سیاه کوه و کوه زرد را نام برد (شکل ۲-۷).



شکل ۲-۶- نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه کانسار القیابی برگرفته از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن، کاشمر، ششتمد و شامکان جعفری و جلالی (۱۳۷۹)، طاهری و شمغانیان (۱۳۸۰)، شهرابی و همکاران (۱۳۸۵)، نادری میقان (۱۳۷۷)، که موقعیت کانسار و اندیس‌های معدنی نشان داده شده است.

۲-۳-۱-۲- واحد متاریولیت، ریوداسیت (Pe^t)

ریولیت‌ها و ریوداسیت‌های سازند تکنار، بخش ولکانیک این سازند را تشکیل می‌دهند.



شکل ۲-۷- واحد آهک کرتاسه که بر روی واحدهای قدیمی تکنار به سن پالئوزوئیک با مرز گسلش قرار گرفته است دید به سمت شمال.

۲-۳-۲- کرتاسه پسین

براساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن، ششتمد، کاشمر و شامکان، بیشترین رخنمون‌های سنگی مربوط به واحدهای آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین است. واحدهای سنگی کرتاسه پسین در منطقه شامل انواع رسوبی، نفوذی، سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری (آگلومرا، برش و توف) هستند که داری سیماهای تپه ماهوری و ستیغ‌های مرتفع می‌باشد. آغاز کرتاسه پسین با قاعده فرسایشی جای گرفته است که در مرز آهک‌های زیرین و فوقانی یک سری نهشته‌های تخریبی وجود دارد که بی‌شک پیشروی و پسروی و نبود رسوبگذاری در این رخساره‌ها در محل تشکیل آنها متأثر از عملکرد رخداد‌های سیمین پسین و اتریشین بوده است.

۲-۳-۱- واحد آمیزه رنگین (cm):

واحد آمیزه رنگین مجموعه‌ای است در هم از سنگ‌های اولترابازیک، بازیک، دایک‌های ورقه‌ای (Sheeted dykes)، گدازه‌های بالشی (Pillow lava)، رادیولاریت، سنگ‌های آذرین اسیدی تا بازیک (گرانیت، دیوریت، میکروگابرو) و سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا بازیک (ریولیت، ریوداسیت، داسیت، تراکیت، تراکی آندزیت و بازالت) به همراه سنگ‌های رسوبی دگرگون شده مانند فلیت، اسلیت، شیل‌های فیلیتیک، شیست‌های سبز هستند که به دلیل اثر تکتونیک شدید حاکم بر سرزمین‌های افیولیتی، قابل تفکیک به واحدهای موجود در آن‌ها نیستند. رخنمون‌های این واحد را در شمال و شمال خاوری و باختری گسل تکنار در کوه‌های بیجورد، کوه قلعه توت، شمال تکنار، کوه زنگالو و بسیاری جاهای دیگر می‌توان دید که در هر حال همبری آن با واحدهای دیگر گسله است و در بعضی نقاط هم زیر پوشش نهشته‌های شبه فلیشی و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن یا جوانتر قرار دارند. در این مجموعه هم توده‌های کوچک و بزرگ آهک‌های پلاژیک صورتی رنگ فراوان یافت می‌شوند. سنگ‌های افیولیتی این منطقه جزء افیولیت‌های سبزوار طبقه بندی می‌شوند (شکل ۲-۸).

۲-۳-۲- واحد اولترابازیک (ub):

سنگ‌های یاد شده اولترابازیک در مجموعه آمیزه رنگین در بسیاری نقاط دیده می‌شود که بیشترشان قابل نمایش در مقیاس نقشه نیستند ولی در بعضی نقاط گسترش به نسبت گسترده‌ای دارند که از جمله رخنمون‌های کوه بیجورد به طرف روستای کاسف را می‌توان نام برد. سنگ‌های اولترابازیک یاد شده در این ناحیه شامل هارزبورژیت، سرپانتینیت و پریدوتیت هستند که پریدوتیت‌ها اغلب به سرپانتینیت تجزیه شده و دیگر سنگ‌ها نیز به شدت خرد و برشی شده هستند و اغلب دارای رنگ‌های سبز تیره، تا زیتونی می‌باشد ترکیب کانی شناختی آن‌ها بیشتر اولیوین و ارتوپروکسن می‌باشد.

۲-۳-۳- واحد بازالت پورفیری، اسپیلیت (ba-sp):

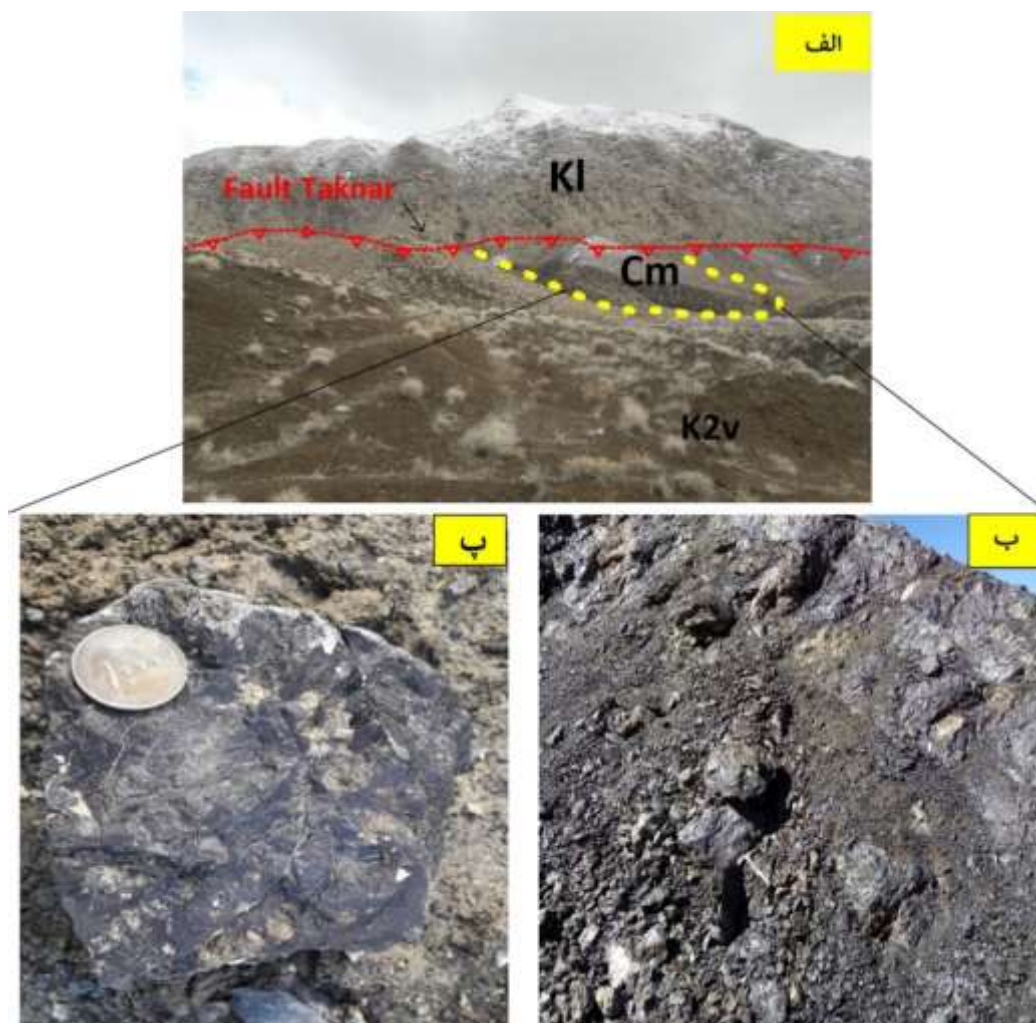
این رخساره تیره رنگ از بازالت و اسپیلیت با مرزهای گسله و روند شمال شرقی- جنوب غربی به طول ۱۱ کیلومتر و پهنای ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ متر پدید آمده است. بازالت‌های اسپیلیتی شده در بخش‌هایی دارای ساخت بالشی می‌باشد.

۲-۳-۴- واحد آهک کرتاسه Kl:

رخنمون واحد آهکی کرتاسه زیرین (Kl) در منطقه بردسکن را در کوه‌های بیجورد و برون‌زدهای پراکنده آن را در دو سوی این کوه، کوه بیجورد، شمال بردسکن روستای بیجورد، و به ویژه کوه‌های کلاغ پر و ادامه آن در کوه-های شاداب، و کوه زرد، تا شمال درونه می‌توان پی‌جویی نمود. این واحد که از توده‌های آهکی ضخیم لایه تا توده‌ای تشکیل شده، و از دیدگاه ریخت‌شناختی صخره‌های بلند و پرتگاه‌های مرتفعی را در مناطق یاد شده به وجود آورده است. این آهک‌ها به گونه تدریجی، تبدیل مارن و آهک‌های مارنی به آهک، و با همبری عادی و هم شیب روی مارن و آهک‌های مارنی واحد زیرین (کنگلومرا-ماسه سنگ) قرار دارند (۲-۸).

۲-۳-۵- واحد (K2v) سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری:

در پهنه ای گسترده در شمال بردسکن میان گسله‌های تکنار و مارو، سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری مربوط به کرتاسه پسین در مناطقی چون جنگل کاسف، تک حوض، جنگل هدک و کلاته القبایی، گسترش دارند که به طرف شمال و شمال خاوری در چهار گوش‌های مجاور نیز این گسترش ادامه دارد و شامل تناوب‌هایی از سنگ-های آتشفشانی مانند ریولیت، ریوداسیت، آندزیت، تراکی آندزیت، و سنگ‌های آذر آواری مانند توف، لاپیلی توف، ماسه سنگ‌های توفی، توف‌های آندزیتی و همراه با آهک گلبوترونکانا صورتی رنگ و شیل سیلیسی آهن‌دار هستند. در آهک‌های گلبوترونکانا‌دار موجود در این مجموعه ریز فسیل‌هایی وجود دارند که دیرینه کامپانین-ماستریشین را نشان داده‌اند (شکل ۲-۹).



شکل ۲-۸-الف- نمایی از سنگ‌های افیولیتی در شمال غرب روستای بیجورد که واحد آهکی کرتاسه بر روی واحد افیولیتی رانده شده است. ب) واحد دونیت و هارزبورژیت، پ- نمونه دستی از دونیت، دید به سمت جنوب غرب.

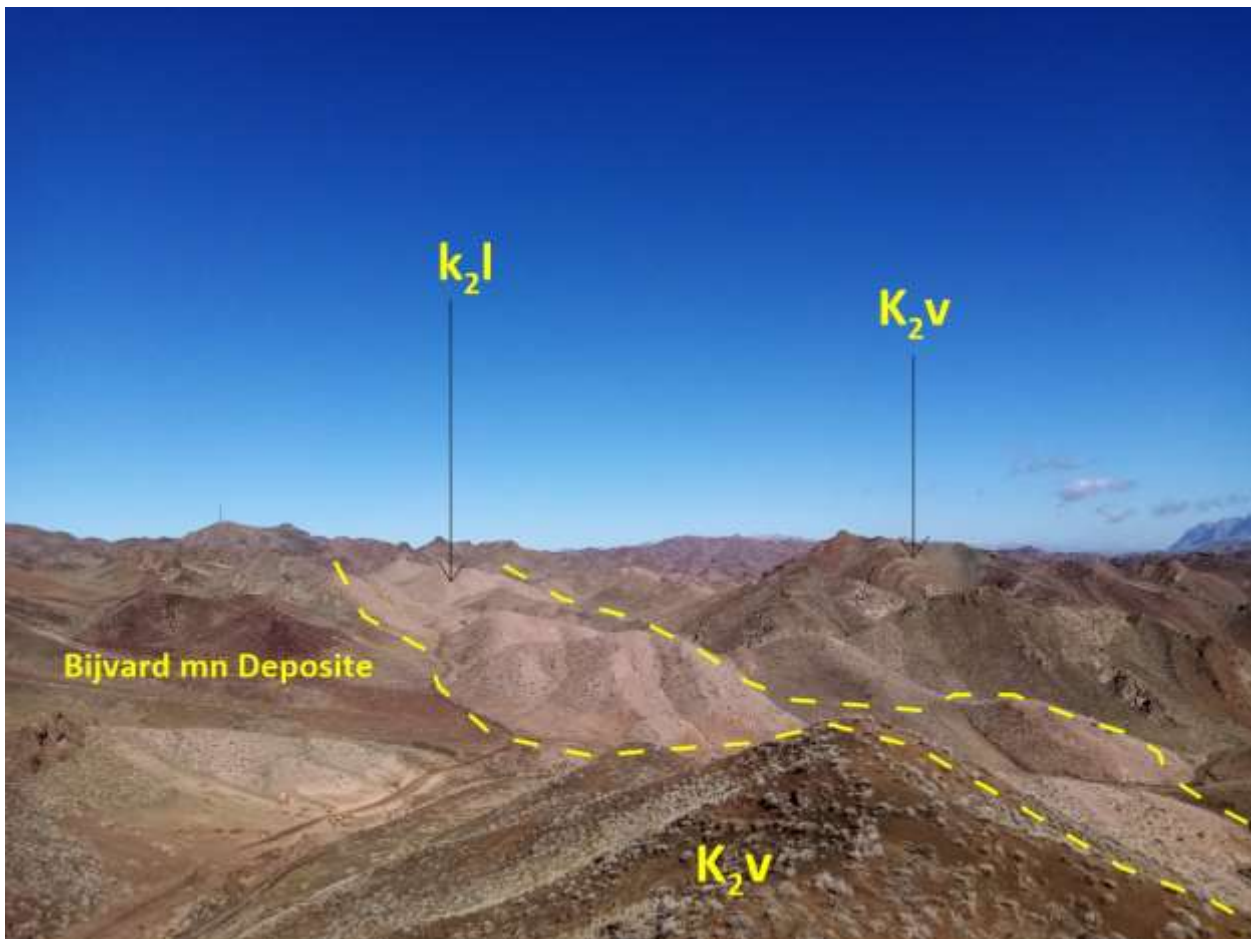
۲-۳-۲-۶- واحد K_2L : آهک گلوبوترونکانا

افزون بر نقاطی که آهک‌های پلاژیک در همبری سنگ‌های آتشفشانی هستند، در بعضی جاها این آهک‌ها توده-های به نسبت بزرگی هستند و با رنگ صورتی تا کرم و خاکستری روشن، ریز دانه (میکریت) و بسیار متراکم هستند. در این واحد نیز افزون بر فسیل‌های یاد شده در بالا، بعضی گونه‌های دیگر مانند *Globotruncana*, *Globorotalia*, *Rugoglobigerina*, نیز یافت شده‌اند که در هر حال سنی معادل کامپانین-ماستریشترین را نشان داده‌اند. این واحد در ساختمان‌های ناودیس و تاقدیس بگونه‌ای متناوب با واحد K_2v قرار گرفته است که ریخت ظاهری تپه ماهوری و ملایم به سبزی میانه‌ای ۲۰۰ متر دارد (شکل ۲-۹).

۲-۳-۳- پالتوسن

۲-۳-۱- واحد (pg)

نهمشته‌های حد فاصل کرتاسه-پالتوسن متأثر از رخداد لارامید هستند و از واحدهای کنگلومرای- ماسه‌سنگی و آهک نواحی کم عمق تشکیل شده‌اند. کنگلومرای کرمان در پهنه‌هایی گسترده از حوضه‌های ایران مرکزی با ضخامت‌های متفاوت حضور دارند. در منطقه بردسکن نیز این واحد چینه‌ای در رخنمون‌های متعددی در کوه مارو (شمال کلات نو کاریز) و گرماب و هم‌چنین کلات ابری، دیده می‌شوند.



شکل ۲-۹-نمایی از واحد آهگ گلوبوترونکانادار در کانسار منگنز بیجورد بر روی واحد گدازه و توف (K_2v), (دید عکس به سمت شمال).

۲-۳-۴- ائوسن

۲-۳-۴-۱- واحد El

آهک نومولیتی که در شرق روستای بیجورد رخنمون دارد.

۲-۳-۴-۲- واحد Et₂

این واحد در غرب روستای بیجورد رخنمون دارد و شامل شیل سبز تا خاکستری با میان لایه‌های توف و ماسه سنگ تشکیل شده است.

۲-۳-۵- کواترنری

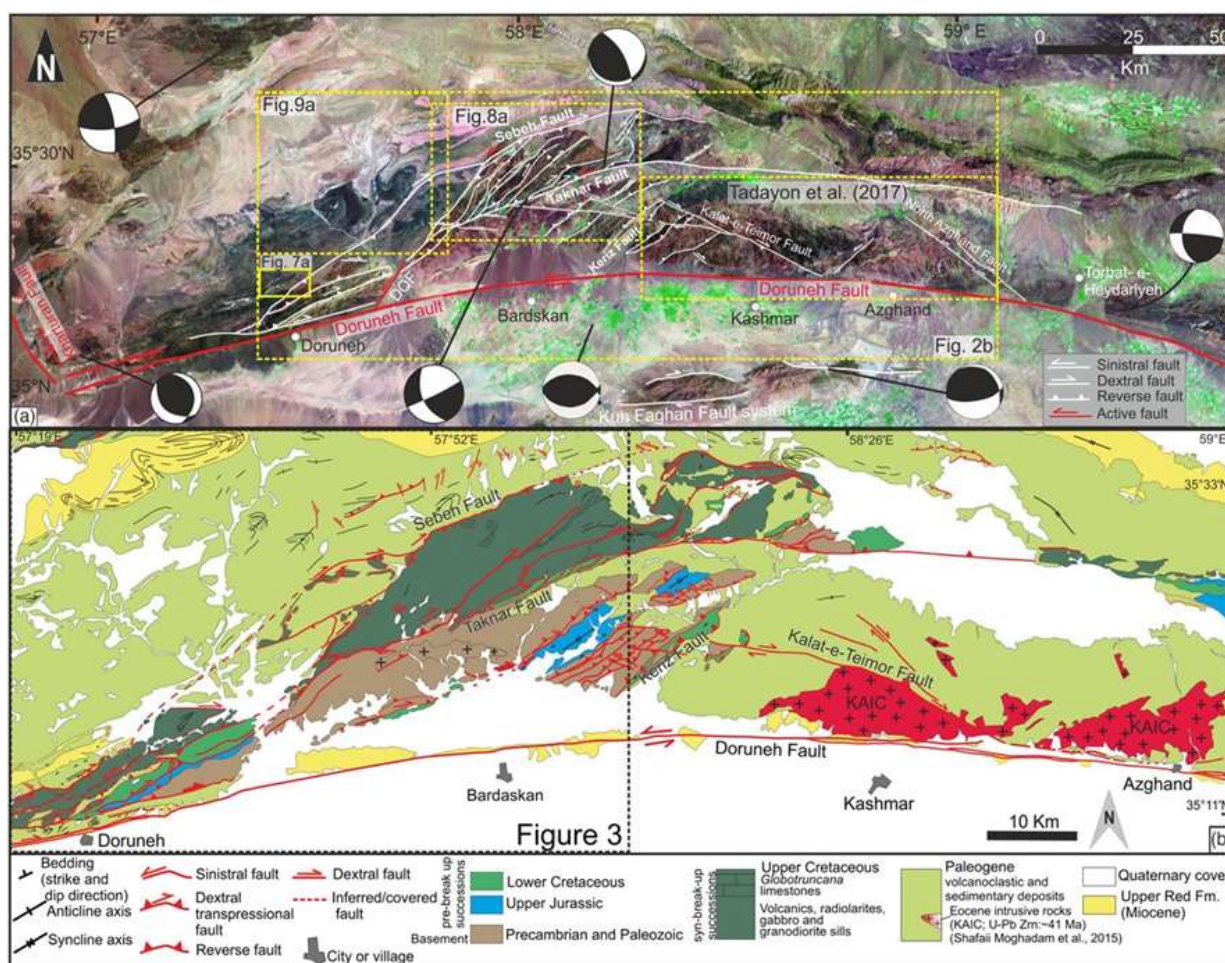
۲-۳-۵-۱- واحد (Q^{t1})

این انباشته‌ها مخلوطی از قلوه‌های درشت و ریز آبرفتی دامنه کوه‌ها تا دشت را تشکیل داده‌اند که در دو سوی- شمالی و جنوبی- کال شور توسعه دارند.

۲-۴- زمین‌شناسی ساختمانی

کمر بند سبزوار از شمال توسط گسل‌های میامی و نیشابور - تربت جام (گسل بزرگ میامی- تربت جام)، از جنوب شرق توسط گسل ریوش و از جنوب غرب توسط گسل درونه محصور شده است. از این رو ساختارهای زمین- شناسی محدوده مورد مطالعه از ساختارهای گسلی محصورکننده کمر بند سبزوار متأثر گشته، به نحوی که باعث بوجود آمدن گسل‌های اصلی با روندهای شرقی- غربی و شمال شرق- جنوب غرب با ساز و کار امتداد لغز و مولفه معکوس و هم‌چنین گسل‌های رانده در منطقه مشاهده می‌شود، برخورد صفحه عربی و اوراسیا نمونه قاره‌ای بر روی زمین، از دیدنی‌ترین مناطق همگرایی است. محیط ژئودینامیکی مربوط به حوزه صفحه فوقانی سیستم فرورانش نئوتتیس، در گذار از فرورانش اقیانوسی در امتداد منطقه همگرایی زاگرس، پشت کمان و گسترش در

زمان مزوزوئیک، و برخورد قاره‌ای در مرز ائوسن-الیگوسن که منجر به بسته شدن این حوضه شده است. واحدهای افیولیتی بیشتر در یک روند شمال شرق - جنوب غرب قرار گرفته است ساختارهای بلند، توسط مرز گسل‌های اصلی نیمه عمودی تکنار و ریوش در جنوب و گسل سبه در شمال به ترتیب در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است گسل تکنار با زاویه زیاد در تماس با زون تکنار قرار دارد. گسل سبه از شمال شرق شروع می‌شود که تا جنوب غربی با تماس میان واحد افیولیت و نهشته‌های آتشفشانی- رسوبی سنوزوئیک کنترل می‌شود (Tadayon et al., 2019)



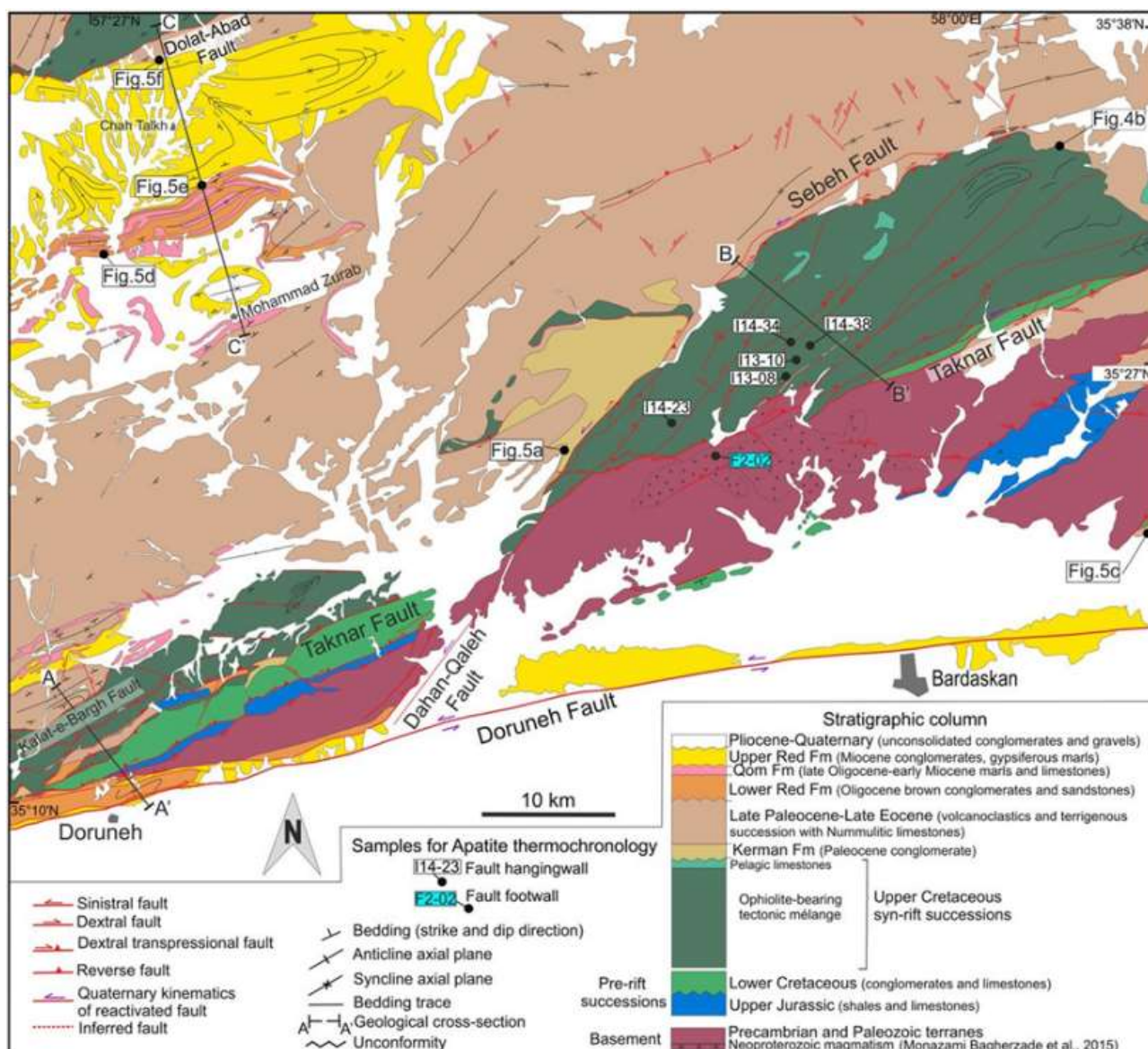
شکل ۲-۱۰-الف تصویر ماهواره‌ای پایگاه داده تصویری Seamless از ناحیه درونه با سیستم گسلی اصلی سفید، سیستم گسلی که در این مطالعه توضیح داده شد؛ فلش‌های قرمز نشان دهنده سیستماتیک گسل فعال و ساز و کار کانونی زمین‌لرزه‌ها هستند. مستطیل با خط فاصله، نشان دهنده موقعیت‌های منطقه مورد بررسی، تدین و همکاران (۲۰۱۷) است. نقشه زمین‌شناسی منطقه گسل درونه با ساختارهای اصلی تکتونیکی. موقعیت منطقه مورد مطالعه با مستطیل خط چین (شکل ۸a) نشان داده شده است (Tadayon et al., 2019)

۲-۴-۱- سطح مقطع B-B':

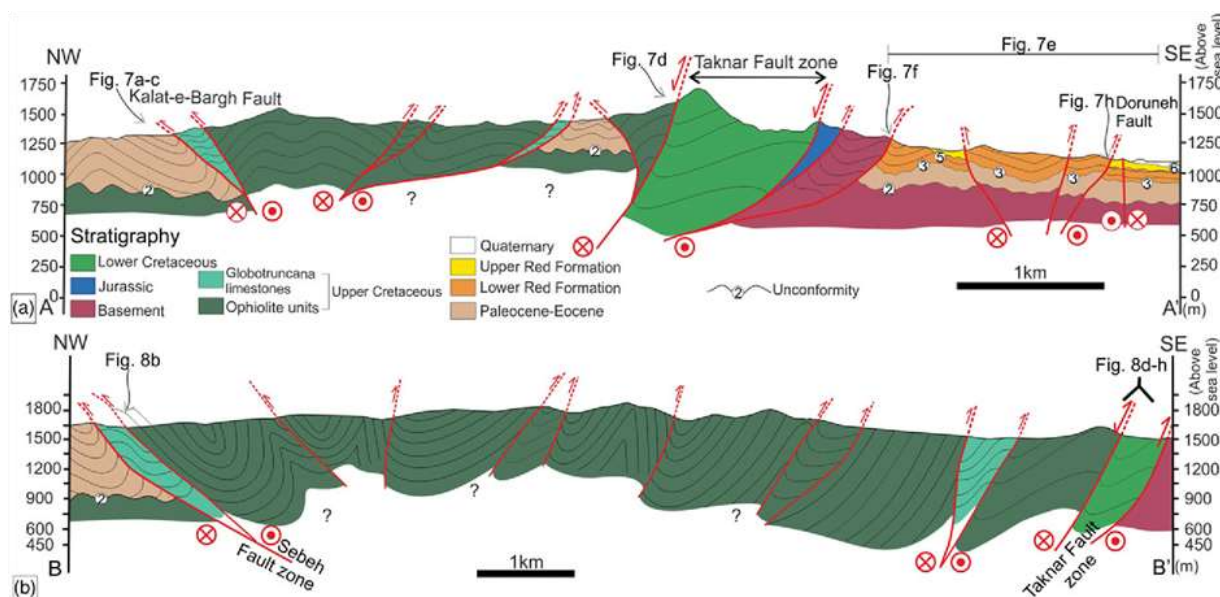
طرح ساختاری حاکم بر مقطع عرضی B-B' یک ساختار هورست و گرابنی دارد که در اثر فشردگی و حرکت رو به بالا تشکیل شده است (Woodcock and Rickards., 2003). (شکل ۲-۱۱ و ۱۲). ساختارها عمدتاً تاقدیس می‌باشد که به صورت ناپیوسته توسط توالی‌های آتشفشانی-تخریبی پالتوسن-ائوسن پوشیده شده است، در راستای گسل سبه ساختار S-C با ضخامت چند ده متر تشکیل شده است. این ساختارها در سنگ آهکی گلوبوترونکانادار کرتاسه بالایی تشکیل شده اند و فابریک‌های S-C نشان‌دهنده جهت برش معکوس چپ گرد اشاره می‌کند (Tadayon et al., 2019) (شکل ۲-۱۲).

۲-۴-۲- سیستم چین‌خوردگی و کوه‌زایی منطقه

در اواخر دوره کرتاسه و آغاز سنوزوئیک، جنبش کوه‌زایی لارامید، در چهره یک فاز فشارشی، سبب چین‌خوردگی و بیرون آمدن منطقه از آب شده است. پس از فاز فشارشی و چین‌خوردگی شدید پایان کرتاسه، با پیش روی دریا در پالتوسن پیشین ابتدا کنگلومرای واحد پالتوسن (کنگلومرای کرمان)، به دنبال آن با ژرف‌تر شدن دریا در پالتوسن پسین سنگ آهک‌ها و ماسه‌سنگ‌های ائوسن نهشته شده‌اند. پیشروی دریا در ائوسن زیرین-میانی، همراه با بازشدگی بیشتر پوسته و فوران آتشفشانی در آن، حجم زیادی کنگلومرا، ماسه سنگ، شیل، مارن، سنگ آهک نومولیت‌دار به همراه خاکستر توف و توفیت تشکیل شده است. در ادامه، به دنبال جنبش کوه‌زایی پاسادنین و در پلیوسن و شروع کواترنری، منطقه به تمامی از آب خارج شده و شکل کنونی خود را به دست آورده است. در ادامه، لازم به ذکر است که بیشتر ساختمان‌های چین‌خوردگی در منطقه به طوری با گسله‌های فشارشی در ارتباط هستند.



شکل ۱۱-۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (بر اساس کار میدانی اولیه و اقتباس از بهروزی و همکاران (۱۹۸۷) مجدداً اقتباس شده است؛ وحدتی دانشمند (۱۹۹۹) شهرابی و همکاران (۲۰۰۵)؛ جعفریان و همکاران (۲۰۰۰)؛ قائمی و موسوی هرامی (۲۰۰۸)؛ طاهری و همکاران (۱۹۹۸)؛ فرید و همکاران (۲۰۱۱)؛ جوادی و همکاران (۲۰۱۳) با سیستم‌های اصلی گسل و چین نشان داده‌اند. نقاط سیاه نشانگر محل نمونه‌گیری برای ترموکرونومتري AFT و AHe است و نتایج سن مربوط به آن نشان داده شده است (Tadayon et al., 2019).



شکل ۲-۱۲- مقاطع زمین‌شناسی با روند NE-SW از ساختار محدوده که شامل گسل‌های سبه - کلات - برق و تکنار است (در شکل ۲-۱۱ موقعیت مقاطع نشان داده شده است). (a) پیمایش A'-A و (b) پیمایش B'-B (Tadayon et al., 2019).

۲-۵- زمین‌شناسی اقتصادی

حوضه پشت کمانی سبزوار با داشتن رخساره‌های رسوبی دریایی عمیق، توده‌های اولترامافیک - مافیک، گدازه‌ها و توالی آتشفشانی - رسوبی خاستگاه مناسبی برای کانی‌زایی‌های نوع بستر اقیانوسی می‌باشد. ذخایر معدنی بخش شرقی پهنه سبزوار می‌توان به ۳ گروه تقسیم کرد که بیان‌گر جایگاه‌های ژئودینامیکی و توزیع فضایی متفاوت می‌باشد (Maghfouri et al., 2016):

- ۱- کانسار پلی متال غنی از آهن تکنار است که سنگ میزبان آن‌ها پرکامبرین پایانی-پالئوزوئیک زیرین می‌باشد.
- ۲- کانسار کرومیت همراه با پریدوتیت‌های سرپانتینیزه شده، نهشته‌های سولفید توده‌ای (VMS) و نهشته‌های معدنی منگنز برون‌دمی در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه.

۳- کانسارهای مس، طلا و منگنز به همراه سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین

- ۴- کانه‌زایی پالئوژن در شرق پهنه سبزوار که شامل نهشته‌های پورفیری و کانه‌زایی مس در مارن ماسه‌ای قرمز است. در مطالعات ژئوشیمیایی که در سال ۱۹۹۵ توسط شرکت چینی جیانکسی (Jiangxi) طرف قرار داد سازمان زمین‌شناسی کشور در ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده سمنان - تربت حیدریه به عمل آمده است. از جمله این ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه بردسکن است که در آن آنومالی‌های متعدد ژئوشیمی مس شناسایی شده است که

منطبق بر کانسارها و اندیس‌های مورد مطالعه مس در توالی آتشفشانی رسوبی کرتاسه پسین واحد (K2v) می‌باشند. از جمله این کانه‌زایی‌های مس و منگنز می‌توان به کانسارهای زیر اشاره کرد. همان طور که در شکل (۲-۱۳) ملاحظه می‌شود حجم عمده ماده معدنی در منطقه مورد مطالعه مس می‌باشد که در واحدهای سنگی مختلف با سن متفاوت تشکیل شده است. مهم‌ترین این کانسارها، کانسار پلی متال غنی از آهن تکنار است که در شیست‌های اردوویسین تشکیل شده است (Karimpour et al, 2005). ملک زاده شفارودی و همکاران، (۱۳۸۳).

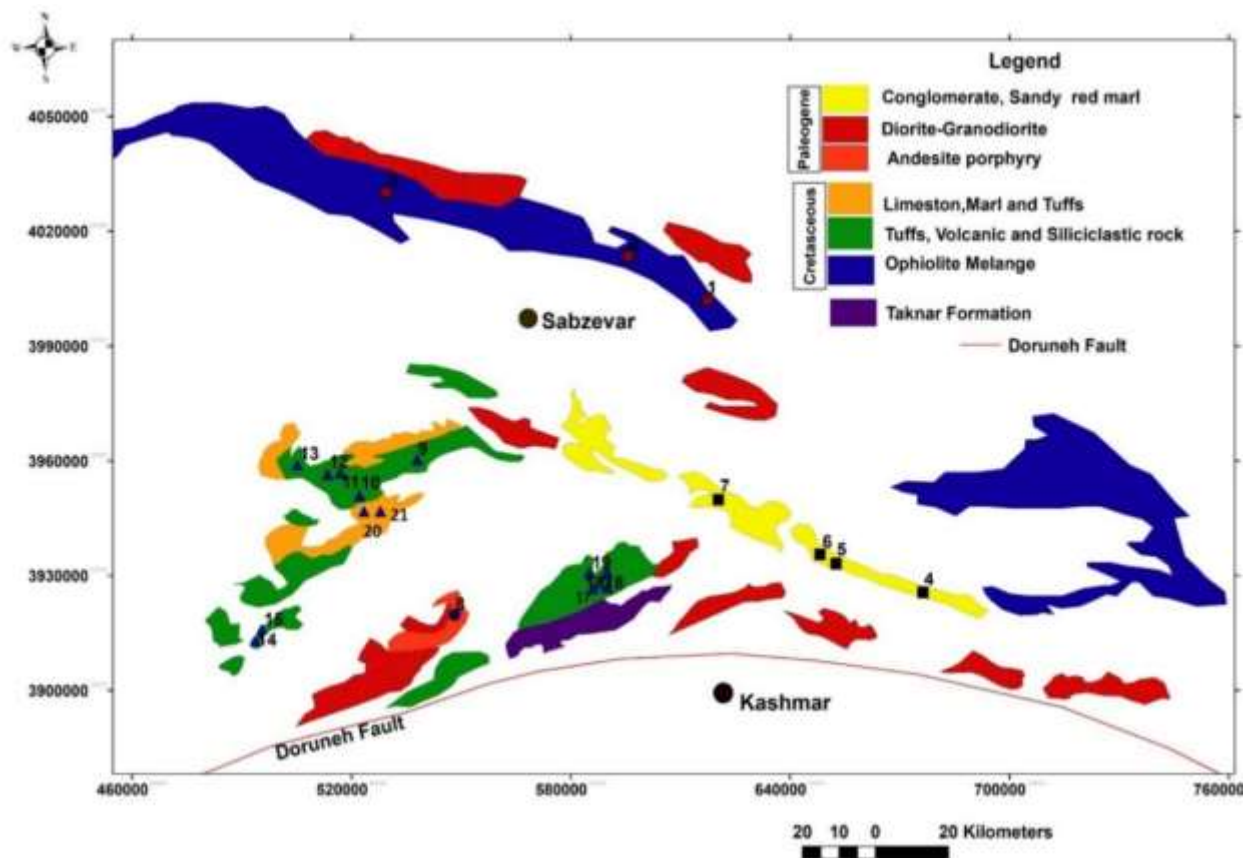
در توالی آتشفشانی- رسوبی کمپلکس K2v، به علت وجود شرایط مناسب (سنگ میزبان، محیط تکتونیکی، ولکانیسم زیر دریایی و ...) پتانسیل خوبی برای تشکیل مس بصورت همزمان با سنگ‌های آتشفشانی فراهم شده است که می‌توان کانسارها و اندیس‌های مس نوده، چون، کلاته لالا و گراب را نام برد (شکل ۲-۱۳). همراه با گدازه‌های بازالتی شمال سبزوار اندیس‌های مس گزارش شده است که در ارتباط با کمپلکس افیولیتی (تیپ قبرس) منطقه می‌باشد بعنوان نمونه می‌توان اندیس‌های مس گود ایثاق، سوزنده و اولنگ سر را نام برد (شکل ۲-۱۳ و جدول ۲-۱) (روزبه کارگر و همکاران، ۱۳۷۷: عشق آباد و همکاران، ۱۳۷۷).

کانسار هلاک‌آباد یکی دیگر از کانسارهای مس در جنوب سبزوار است که در داخل آندزیت‌های پورفیری نفوژن تشکیل شده است. پناهی و همکاران (۱۳۸۹) آن را کانسار مس طلای پورفیری معرفی کرده‌اند (شکل ۲-۱۳ و جدول ۲-۱). از کانسارهای پورفیری دیگر در منطقه کانسار دهن قلعه می‌باشد که از نوع مونزونیتی معرفی شده است (روح‌بخش و همکاران، ۱۳۸۹).

در شمال تربت حیدریه تا جنوب ششتمد افق‌های کانه‌سازی مس رسوبی در واحدهای سنگی الیگوسن تشکیل شده است. این واحدها به صورت رخساره‌های آواری از تناوب میکروکنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلت و مارن تشکیل شده است از جمله این کانه‌زایی می‌توان کانسار مس رودخانه، کدکن، مس اسفیز و اندیس ده میان جنوب ششتمد را نام برد (شکل ۲-۱۳ و جدول ۲-۱)، کانسار مس نوده در توالی آتشفشانی رسوبی کرتاسه پسین (مغفوری، ۱۳۹۱)، مس نقره گرماب پایین (طاشی، ۱۳۹۴).

منگنز: کانی‌سازی منگنز در جنوب غرب سبزوار از گستردگی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است که در سه واحد چینه‌ای متفاوت تشکیل شده است. کانسارهایی که در ارتباط با فعالیت آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین (کانسار منگنز بنسبرد، نوده و گف) ($K2v$) و هم در ارتباط با واحد ($k2vts$) بخش کربناتی کرتاسه پسین و پیروکلاستیک‌های همراه آن‌ها (کانسارهای چشمه سفید) می‌باشد (شکل ۲-۱۳) و (جدول ۲-۱). یک سری دیگر از کانه‌زایی منگنز در داخل کمپلکس‌های افیولیتی شمال سبزوار گزارش شده‌اند (مانند کانسار منگنز گود ایثاق). (روزبه کارگر و همکاران، ۱۳۷۷: عشق آبادی و همکاران، ۱۳۷۷).

کرومیت: عمده‌ترین نوع کانه‌سازی در ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ سبزوار مربوط به عنصر کروم است که همراه با افیولیت‌ها به شکل کانسارهای انبانی کرومیت در بالاترین بخش گوشته فوقانی از مجموعه افیولیتی سبزوار رخنمون یافته است که می‌توان کانسارهای کرومیت گودایثاق، تنداک و اولنگ سر را نام برد (شکل ۲-۱۳ و جدول ۲-۱) (روزبه کارگر و همکاران، ۱۳۷۷: عشق آبادی و همکاران، ۱۳۷۷).



شکل ۲-۱۳- نقشه زمین‌شناسی اقتصادی و توزیع پراکندگی مواد معدنی مس، منگنز در مقیاس ناحیه‌ای. مبنای نقشه از تلفیق نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر، سبزوار و تربت حیدریه می‌باشد و جدول پراکندگی کانسارها و اندیس معدنی در مقیاس ناحیه‌ای در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین.

جدول ۱-۲- کانسارها و اندیس‌های معدنی در زیر پهنه سبزوار

کانسارهای با سنگ میزبان آتشفشانی رسوبی	کانسارهای مس رسوبی	کانسار پورفیری	نشانه های معدنی سولفید توده ای تیپ قبرس
۹-اندیس چون	۴-کانسار رودخانه	۸-کانسار دهن قلعه	۱-اولنگ سر
۱۰-کانسار نوده	۵-کانسار کدکن		۲-سوزنده
۱۱-اندیس فریزی	۶-کانسار اسفیز		۳-گود ایتاق
۱۲-اندیس کلاته لالا	۷-اندیس ده میان		
۱۳-اندیس گراب			
۱۴-منگنز نخلک			
۱۵-کانسار مس گرماب			
۱۶-اندیس القبایی			
۱۷-منگنز بیجورد			
۱۸-سه بندون			
۱۹-اندیس سبه			

فصل سوم

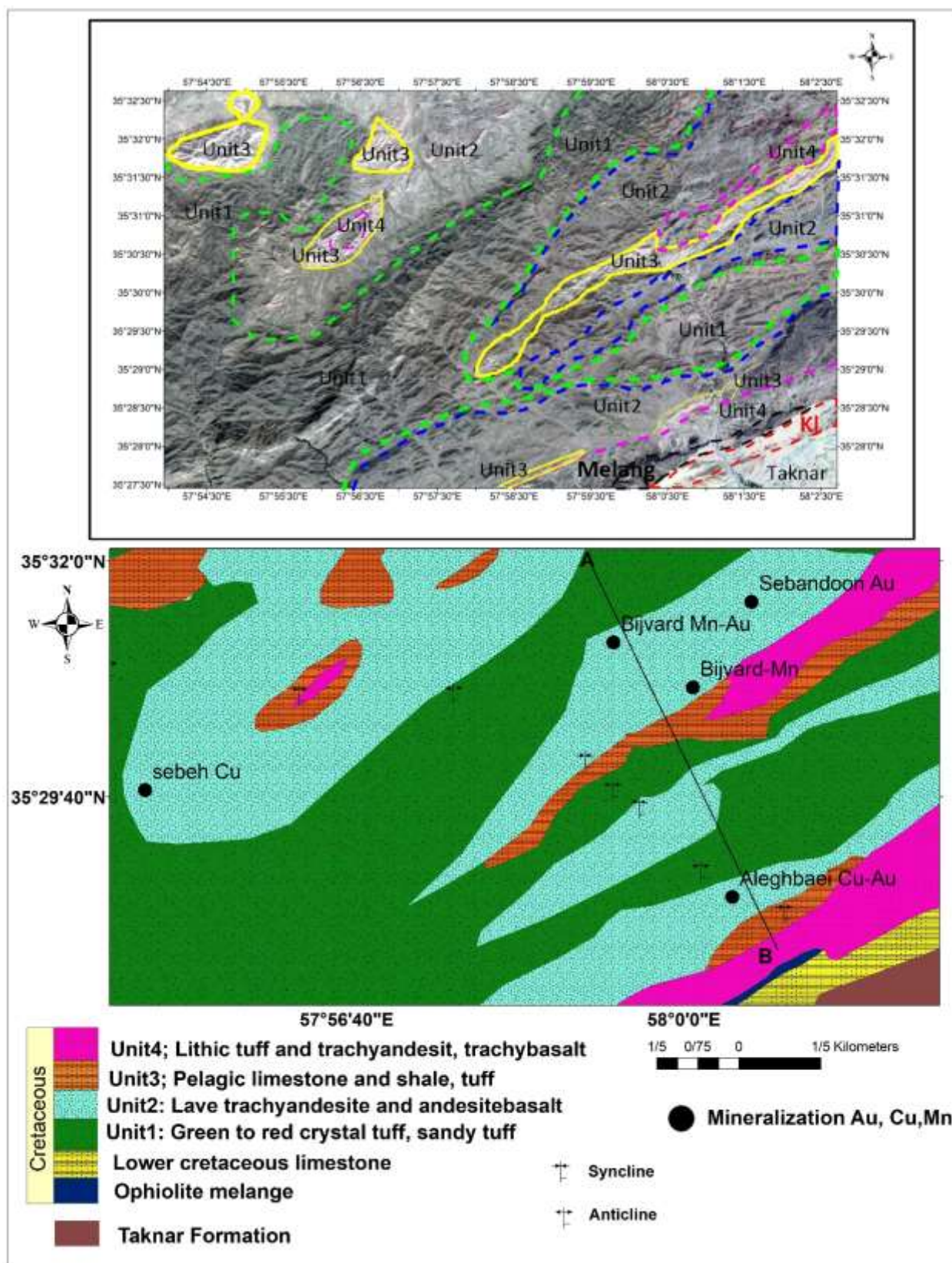
زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه معدنی

۳-۱- مقدمه

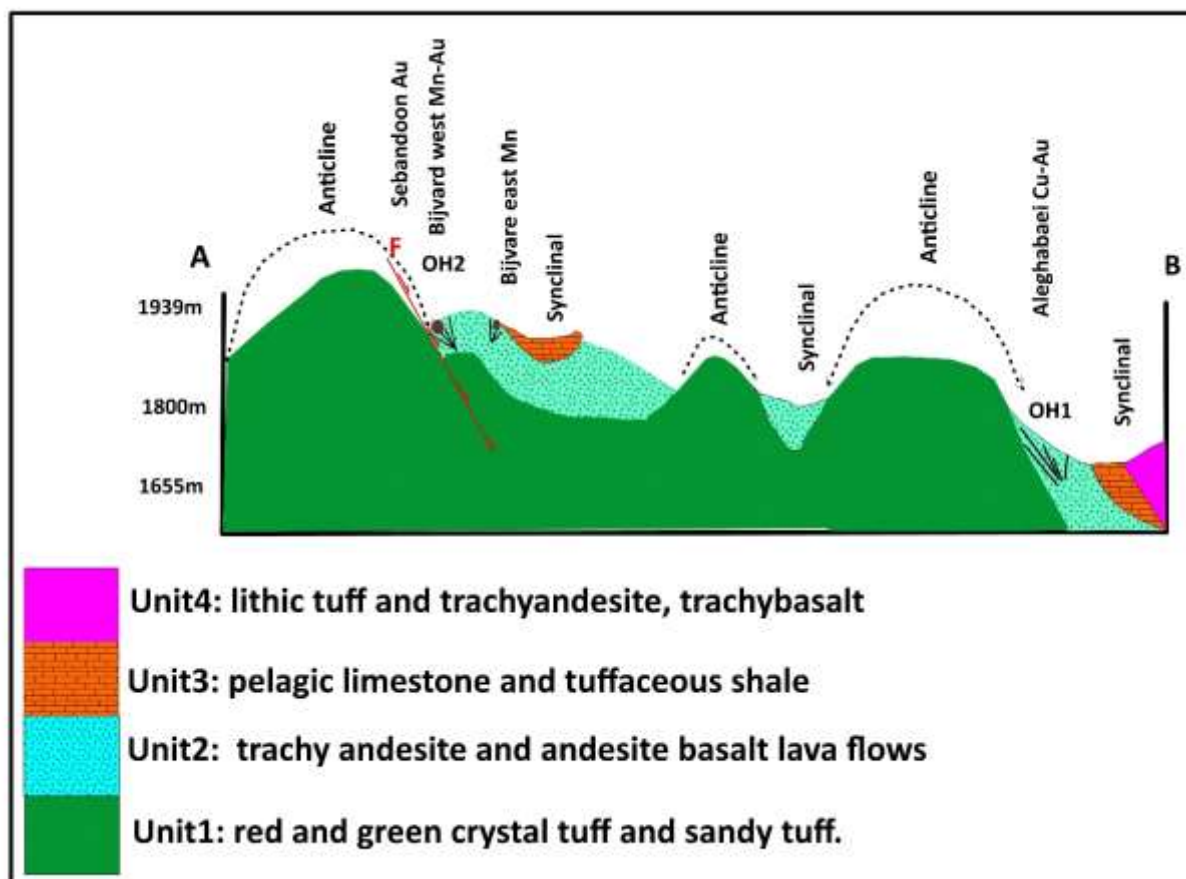
از هدف‌های اصلی بررسی زمین‌شناسی یک منطقه معدنی، مطالعه واحدهای سنگی، زمین‌ساخت و ارتباط هر یک از این پدیده‌ها با کانی‌سازی می‌باشد. بررسی این پدیده‌ها و ویژگی‌ها، کمک زیادی به شناخت موقعیت زمانی و مکانی و پی‌جویی آن در دیگر نقاط مشابه خواهد کرد. به دلیل قرارگیری کانه‌زائی مس-طلا و منگنز در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین، سعی گردید تا با استفاده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ بردسکن، کاشمر، ششتمد، شامکان، تصاویر ماهواره‌ای و پیمایش صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه بر روی کانسارهای القبایی، سه بندون، سبه و منگنزدهنه بی‌جورد نقشه واحدبندی و نیمرخ تهیه شود (شکل ۳-۱ و ۳-۲) و نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰، ستون چینه‌شناسی عمومی از محدوده مورد مطالعه (شکل ۳-۴) (شکل ۳-۳) و نیمرخ عمومی از واحدهای سنگی تهیه شود (شکل ۳-۵). اکنون، بطور جامع به بررسی وضعیت زمین‌شناسی این مجموعه پرداخته می‌شود.

۳-۲- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه

واحدهای سنگی کرتاسه پسین در محدوده مورد مطالعه، بر حسب جایگاه چینه‌شناسی و تغییرات ترکیب سنگ-شناسی، از پایین به بالا، به چهار واحد اصلی unit1, unit2, unit3, unit4 تقسیم می‌شود. واحد کانه‌زایی مس-طلا-کلاته القبایی و مس سبه در افق OH1 در بخش زیرین واحد اصلی دوم (unit2) تشکیل شده است. کانسار طلای سه بندون و منگنز-طلای بی‌جورد در افق OH2 و مرز واحد دوم و سوم (unit2 و unit3) رخ داده است (برای توضیحات بیشتر به فصل بعد مراجعه شود).



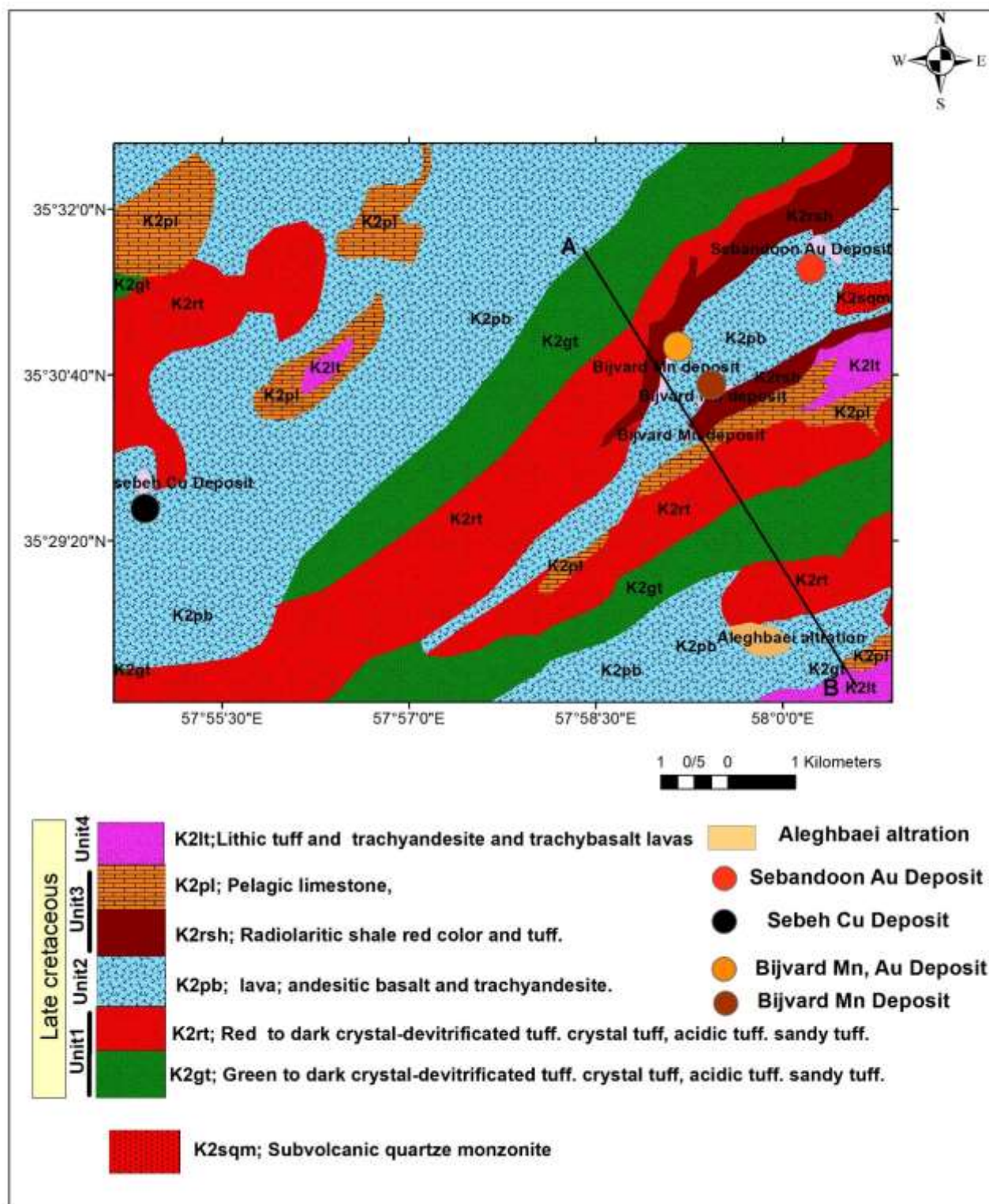
شکل ۳-۱- نقشه واحدهای توالی میزبان و کانسارهای مورد مطالعه توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن و موقعیت‌های تاق‌دیس و ناودیس‌های منطقه



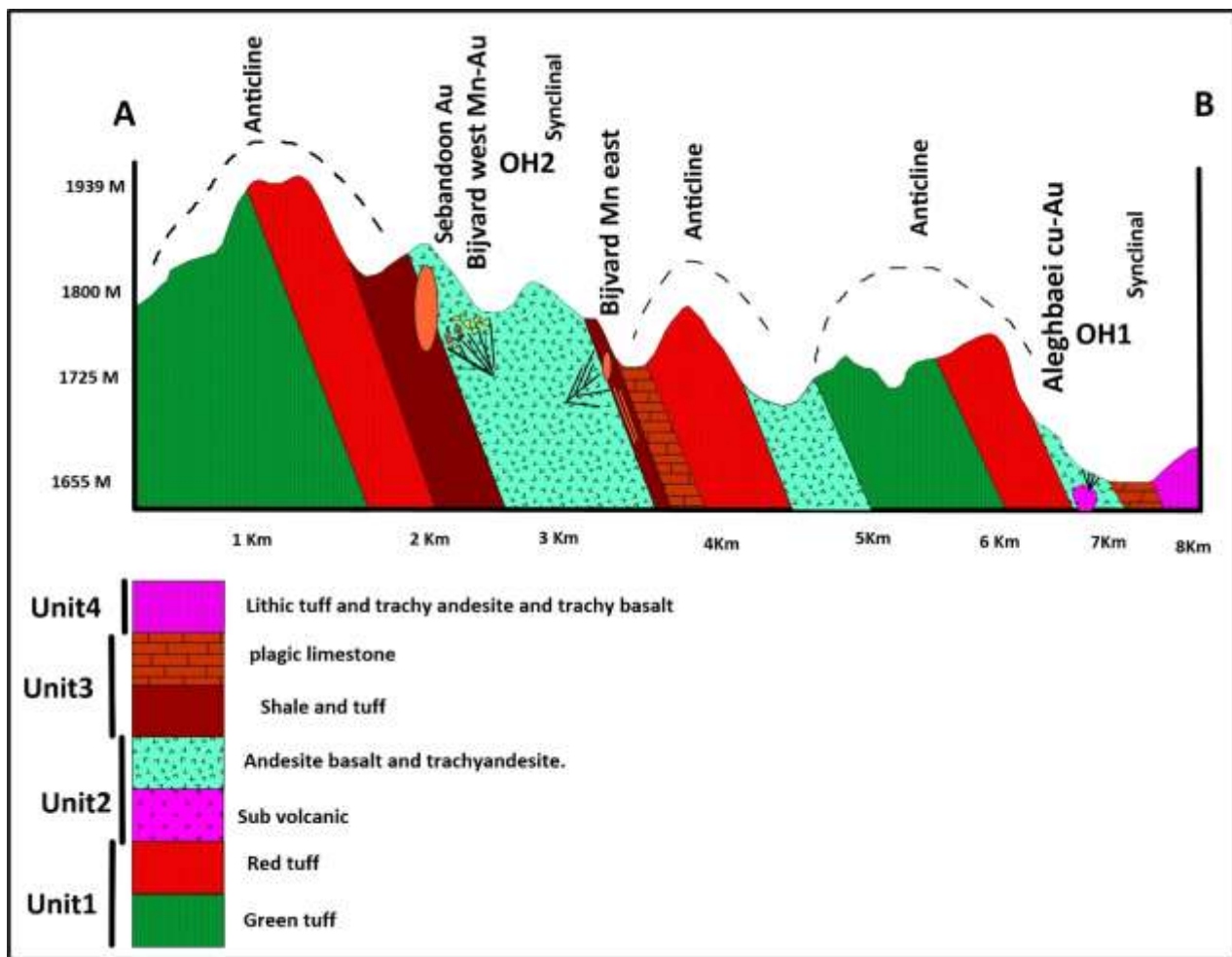
شکل ۳-۲-مقطع عرضی و موقعیت کانه‌زایی در واحدهای میزبان از منطقه مورد مطالعه

Age	SYMBOL	Lithology
Late Cretaceous	Unit4	K2lt; lithic tuff, lava flows with trachyandesite and trachy basalt
	Unit3	K2l; Pelagic limestone, (Globotruncana)
		K2rsh; Tuffaceous shale
	Unit2	OH2-Bijvard Mn-Au deposit OH2- sebandoon Au deposit OH1- alghabaei and sebeh Cu-Au K2sqm; Subvolcanic olivine- basalt K2pb; Pillow lava, andesitic basalte and trachyandesite, Agglomerate and lapilli tuff.
	Unit1	K2rt; Red to dark crystal tuff K2gt; green to dark crystal tuff

شکل ۳-۳-ستون چینه شناسی عمومی از واحدهای سنگی توالی کرتاسه پسین (شمال بردسکن).



شکل ۳-۴- نقشه زمین شناسی بزرگ مقیاس منطقه معدنی و موقعیت کانسارها و اندیس های معدنی در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین (شمال بردسکن).



شکل ۳-۵- مقطع عرضی از واحدهای زمین‌شناسی و موقعیت افق‌های کانهدار در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه (پسین شمال بردسکن).

۳-۲-۱- واحدهای اصلی: (unit¹)

زیر واحدهای سنگی این واحد شامل ویتریک کریستال توف سبز و قرمز با ترکیب ریولیتی و ریوداسیت و تناوبی از گدازه با ترکیب ریولیت تا داسیت می‌باشد. در این واحد تغییرات سنگ‌چینه‌ای در جهت قائم از پایین به سمت بالا با توجه به ترکیب و ماهیت سنگی می‌توان اینطور تصور نمود در فوران‌های آتشفشانی ابتدا مواد آذرآواری بیرون می‌ریزد و بعد گدازه‌ها بیرون می‌آید و بر روی آن جریان می‌یابد. با بالا رفتن شدت فوران ذرات تخریبی به همراه دیگر ذرات آتشفشانی به سرعت ته نشست شده است.

۳-۲-۱-۱- واحد ویتریک کرسنال توف سبز و قرمز

این زیر واحد خود در زیر واحد گدازه تراکیتی آندزیتی تا آندزیت بازالت قرار گرفته و از نظر کانی‌شناسی بیشتر از بلورهای کوارتز، پلاژیوکلاز و کلریت تشکیل شده است. این واحد با حالت گل و ماسه ای با میان لایه‌هایی از گدازه با ترکیب اسیدی تا حدواسط تشکیل شده و در راستای شمال شرق- جنوب غرب کشیده شده است. بیشترین حجم سنگی مربوط به توف سبز می‌باشد و توف‌های قرمز تا قهوه‌ای تقریباً از نظر رخنمون حجم کمتری را دارند. بر اساس مطالعات میکروسکوپی زمینه این توف‌ها بیشتر از شیشه، خاکستر، پلاژیوکلاز در زمینه و حاوی رگه‌های کلسیت ثانویه می‌باشد که در بعضی قسمت‌ها تکتونیزه شده است. رگه‌های سیلیسی-کلسیتی در شکستگی‌های تکتونیکی ایجاد شده‌اند (شکل ۳-۶الف، ب، پ و ت). و در مرحله بعد به دلیل پایین بودن شدت فوران میزان مواد تخریبی کم بوده و توف‌ها به حالت لایه‌بندی تشکیل شده است (شکل ۳-۶ث و ج). در شکل (۳-۸ الف) تصویر صحرایی از این واحد نمایش داده شده است.

۳-۲-۱-۲- گدازه‌های با ترکیب ریولیت تا داسیت

بر اساس مطالعات پتروگرافی بخش گدازه‌ای، که به صورت میان لایه‌هایی با ضخامت ۲۰ متر در واحد ۱ برون‌زد دارد، ریولیت تا داسیت است که در تماس با توف‌ها به علت سریع سرد شدن دارای بلورهای دانه ریز می‌باشند. زمینه این گدازه‌ها شیشه، و حاوی کانی‌های درشت کوارتز که با خلیج خردگی است. وجود پلاژیوکلاز با بافت غربالی، کانی‌های دگرسانی نظیر کلریت و بافت هیالو میکروولیتی فلسیتی پورفیری از ویژگی‌های این گدازه‌ها است (شکل ۳-۷).

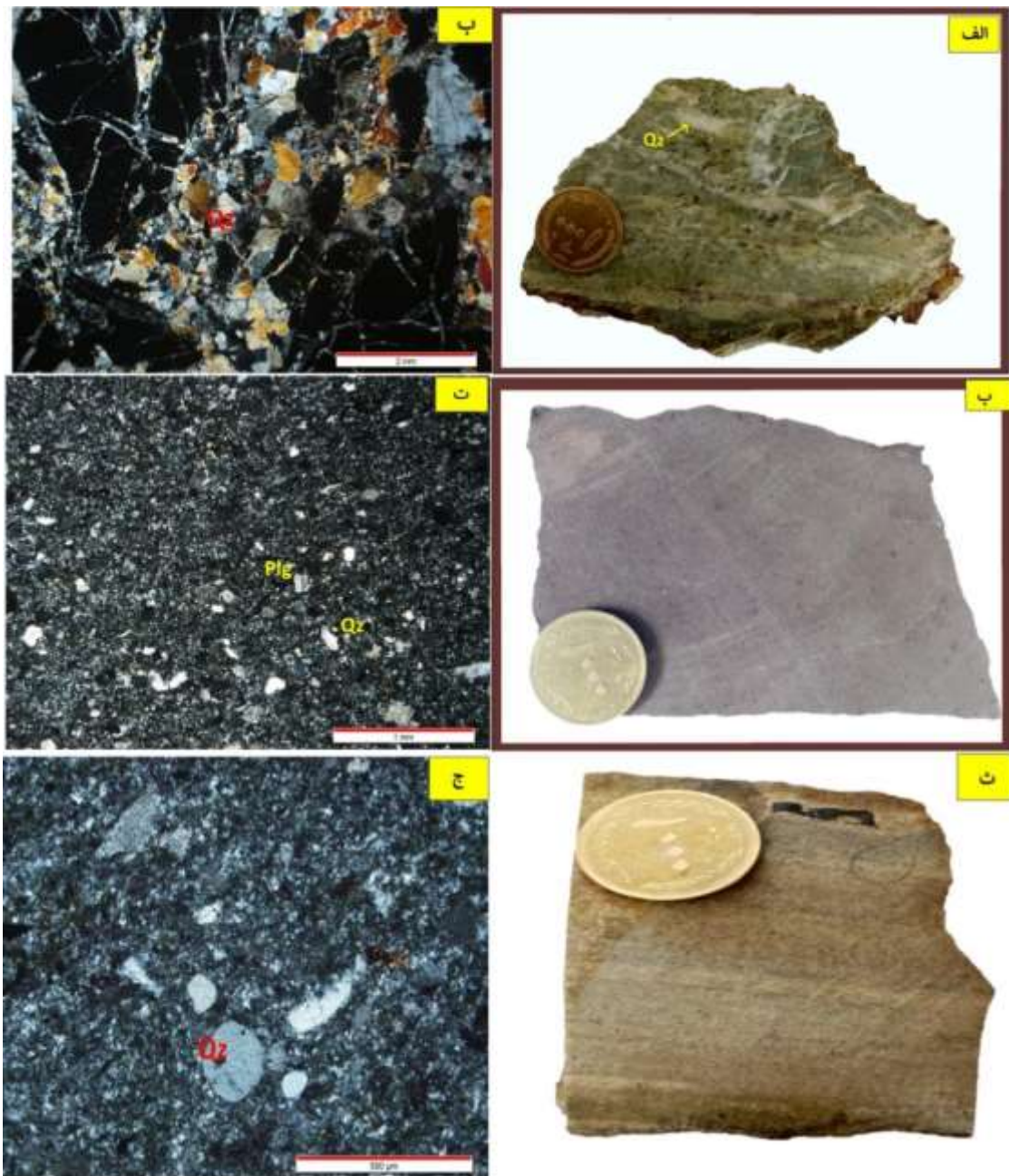
۳-۲-۲- واحد اصلی ۲: (unit2)

این واحد که واحد اصلی کانه‌زایی را تشکیل داده است، از رخنمون قابل توجهی در منطقه برخوردار است. از نظر سنگ‌شناسی بیشتر شامل گدازه با ترکیب تراکی آندزیت تا آندزیت بازالت، آگلومرا، لاپیلی توف، توف ماسه‌ای و دایک الیوین بازالت، می‌باشد. سنگ‌های با ترکیب تراکیت و تراکی-آندزیت بیشترین فراوانی را دارند. این واحد حجم اصلی سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی محدوده را تشکیل داده و با رنگ سبزه تیره دیده می‌شود. در شکل (۳-۵)

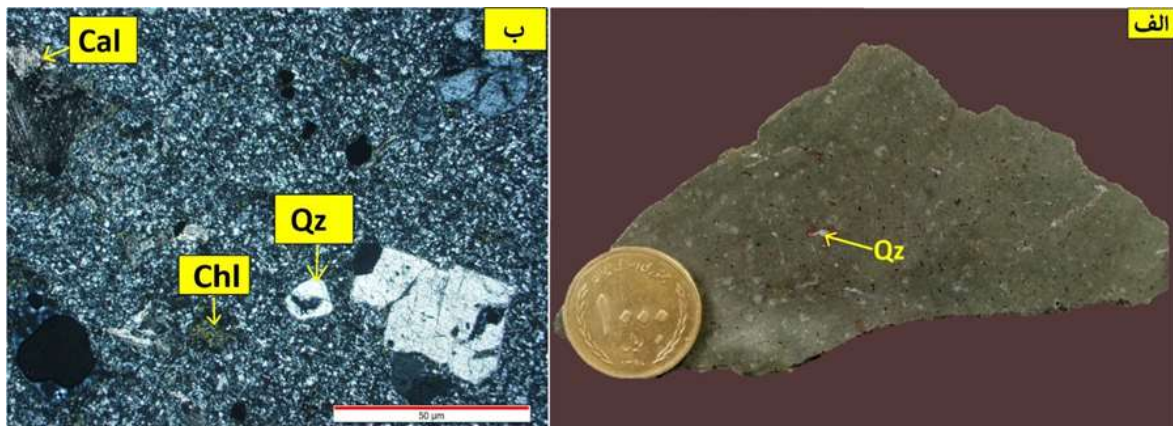
۸) توالی محدوده کلاته القبایی نشان داده شده است. با توجه به تصاویر صحرایی و تقسیم‌بندی به بخش‌های مختلف که شامل چهار واحد می‌باشد. واحد ۲ دارای کان‌زایی می‌باشد. همانطور که در تصویر صحرایی مشخص است واحد دوم از گدازه تراکی آندزیت، آندزیت بازالت، توف ماسه‌ای، آگلومرا، لاپیلی توف گدازه بالشی و واحد نیمه خروجی الیوین بازالت تشکیل شده است (۳-۸ ب). با توجه به بررسی‌های انجام شده در منطقه ارتباط کان-زایی با واحدهای سنگی که به حالت چین‌خوردگی محلی جابجا شده‌اند می‌باشد کان‌زایی در محدوده منگنز-طلای بی‌جورد شمالی و منگنز بی‌جورد جنوبی در واحدهای سنگی گدازه و شیل توفی رخ داده است (شکل ۳-۹). که به توصیف پتروگرافی این واحد گدازه خواهیم پرداخت.

۳-۲-۱- گدازه‌های تراکی آندزیت و آندزیت بازالت

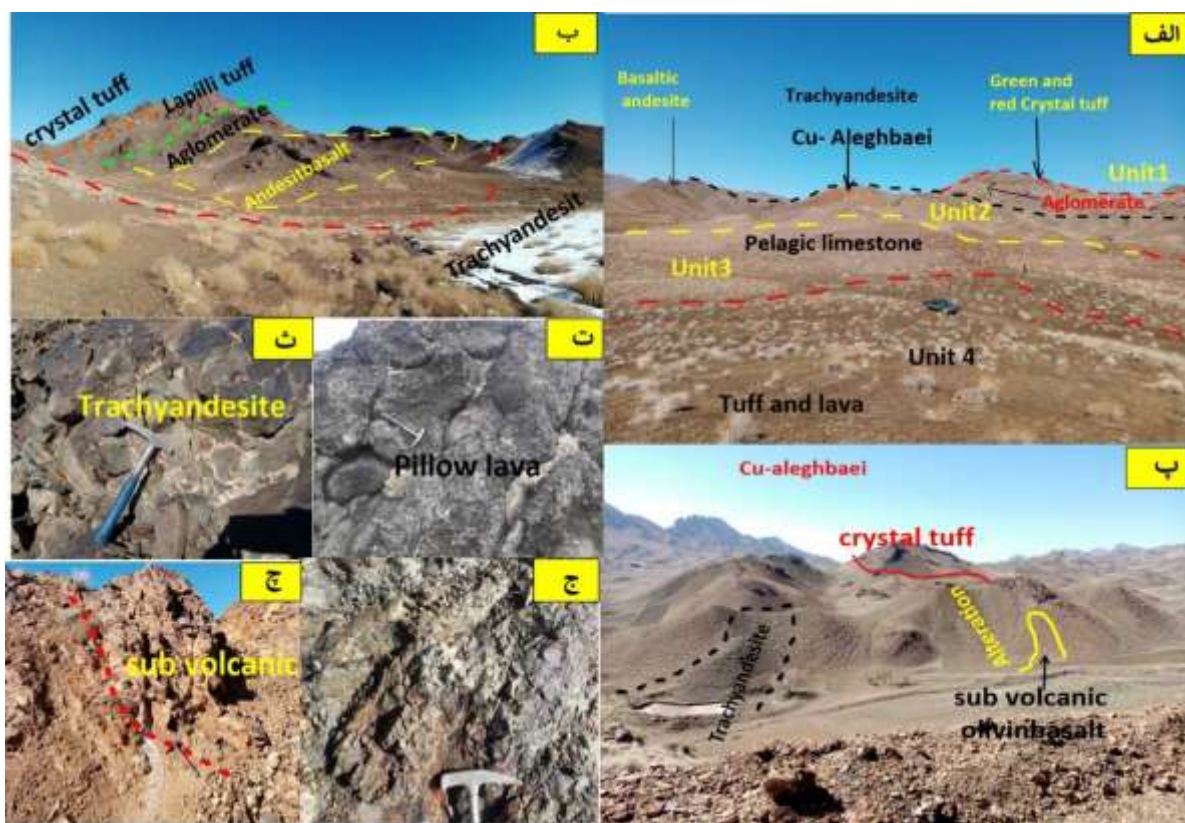
گدازه‌های تراکی آندزیت و آندزیت بازالت به صورت هم‌شیب و هم‌رند با لایه‌های آهک پلاژیک دیده می‌شوند و میزبان اصلی کان‌زایی در این زیر واحد هستند که از رخنمون قابل توجهی در منطقه برخوردار شده‌است. سنگ-شناسی این واحد شامل تناوبی از گدازه‌های آتشفشانی با ترکیب تراکی آندزیت و آندزیت بازالت و الیوین بازالت است که با رنگ سبز تیره رخنمون دارد. بررسی میکروسکوپی نمونه‌های برداشت شده از این واحد نشان می‌دهد که بافت غالب سنگ‌ها هیالومیکرولیتی پورفیری همراه بلورهای پلاژیوکلاز از نوع (ساندین) به صورت سوزنی کشیده که ماکل کالسباد دارند و بلورهای پلاژیوکلاز به صورت خوشه‌ای گلومروپورفیری (شکل ۳-۱۰) (شکل ۳-۱۱ الف و ب) می‌باشند. در این واحد زمینه شیشه‌ای متحمل شیشه‌زدایی (دوتریفیکیشن) شده است که به شکل اسفرولیت درآمده و دچار دگرسانی اپیدوتی به شکل شعاعی شده است و پلاژیوکلازها با خلیج خوردگی نیز در نمونه‌ها دیده می‌شود (شکل ۳-۱۱ پ).



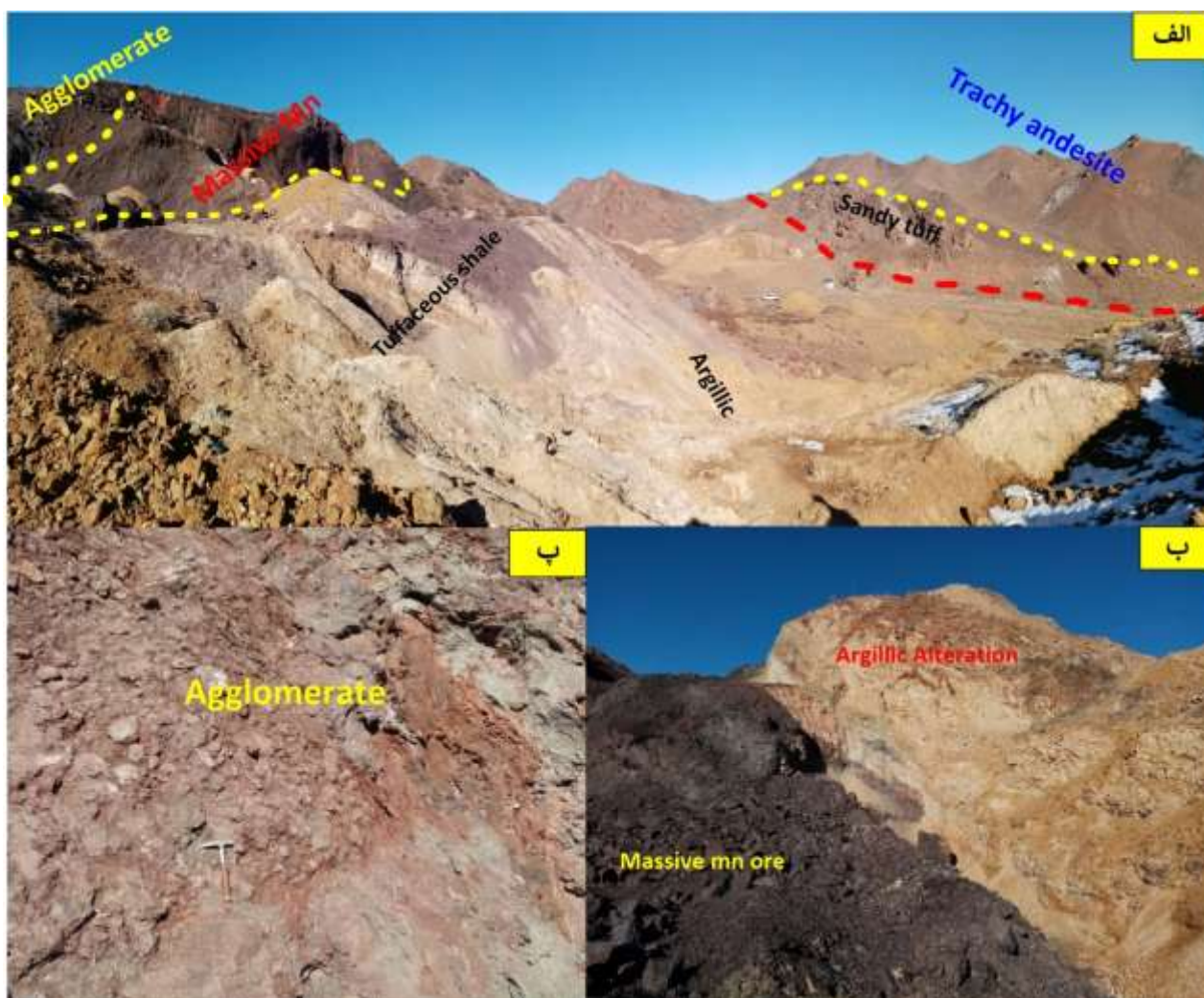
شکل ۳-۶-الف- تصویر نمونه دستی از واحد توفی سبز، ب-تصویر نمونه میکروسکوپی که توسط رگه‌های سیلیسی - کلسیتی قطع شده است. پ- تصویر نمونه دستی و میکروسکوپی از واحد کریستال توف قرمز ت-نمونه میکروسکوپی که دارای بلورهای پلاژیوکلاز و کوارتز می‌باشد. پلاژیوکلاز (Plg)، کوارتز (Qz) ث- تصویر نمونه دستی واحد ویتریک کریستال توف ماسه‌ای که حالت لایه‌بندی دارد، ج- نمونه میکروسکوپی کانی کوارتز که به همراه گل و ماسه ته‌نشست شده است. علائم اختصاری شکل‌ها بر اساس (Whitney., 2000) و (Chace., 1956) می‌باشد.



شکل ۳-۷-الف-تصویر نمونه دستی از واحد ریوداسیتی، ب- تصویر نمونه میکروسکوپی از واحد ریوداسیتی که کوارتز خلیج خردگی پیدا کرده و سنگ دچار دگرسانی کلریتی شده است. کلریت (Chl)، کلسیت (Cal)، کوارتز (Qz).



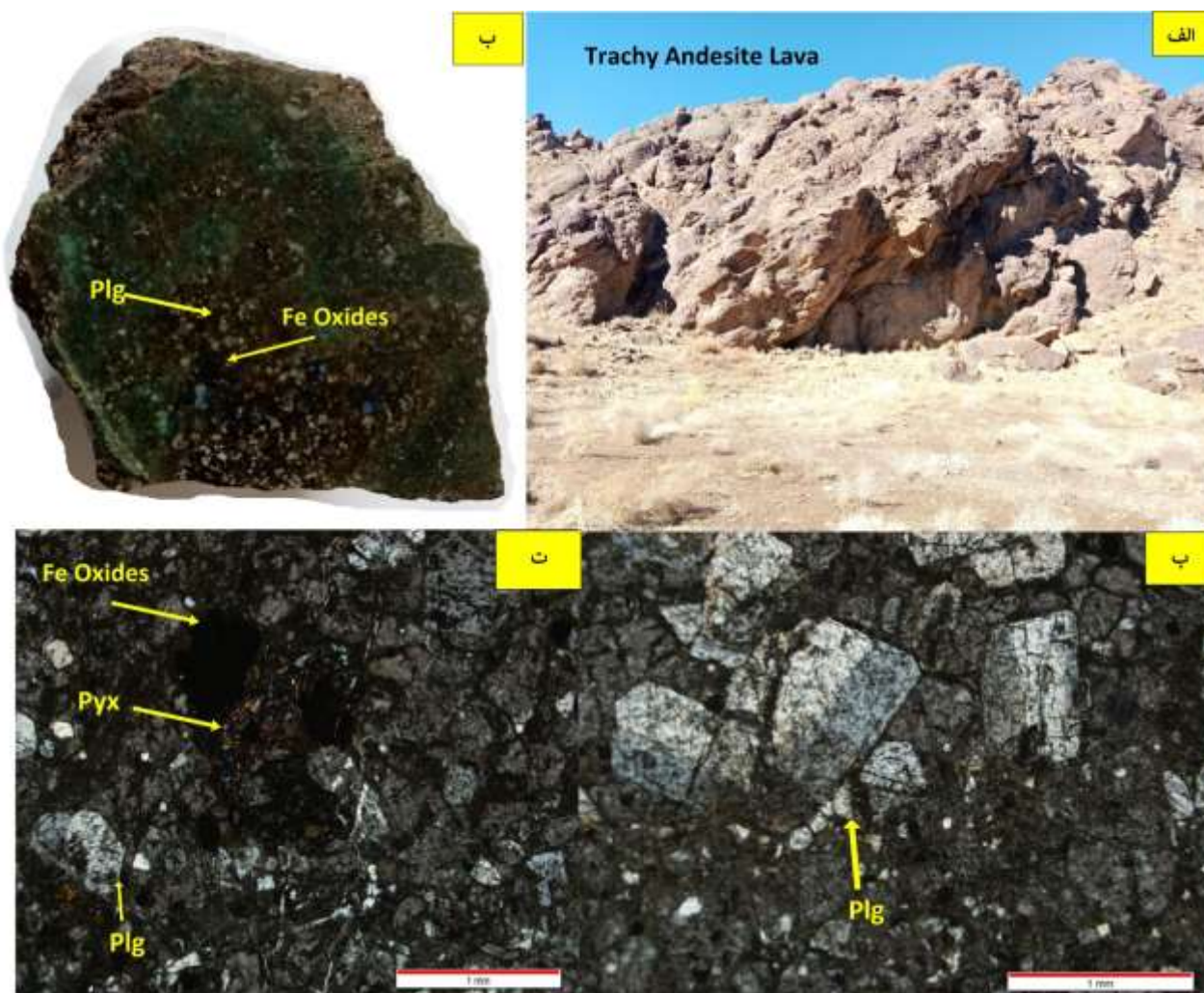
شکل ۳-۸-الف- تصویر از توالی سنگی محدوده کلاته القبایی که به چهار واحد تقسیم شده است که شامل واحد های آهک پلاژیک، واحد تراکی آندزیت، واحد کریستال توف، آندزیت بازالت و کانسار القبایی (دید عکس به سمت شمال). ب-نمای نزدیک از واحد گدازه و توف که میزبان کانه‌زایی القبایی می‌باشد. پ- واحد گدازه تراکیتی آندزیتی میزبان کانه‌زایی محدوده القبایی که در شکل بعد نمای نزدیک قابل مشاهده می‌باشد و واحد نیمه خروجی الیوین بازالت که در این واحد نفوذ کرده است. ت- تصویر گدازه پیلولوا آندزیت بازالت، ث - تصویری نزدیک از گدازه آندزیتی که میزبان کانه‌زایی است، ج - نمای نزدیک از واحد دگرسان شده میزبان کانه‌زایی، چ - واحد نیمه خروجی الیوین بازالت که در واحد تراکی آندزیت نفوذ کرده است.



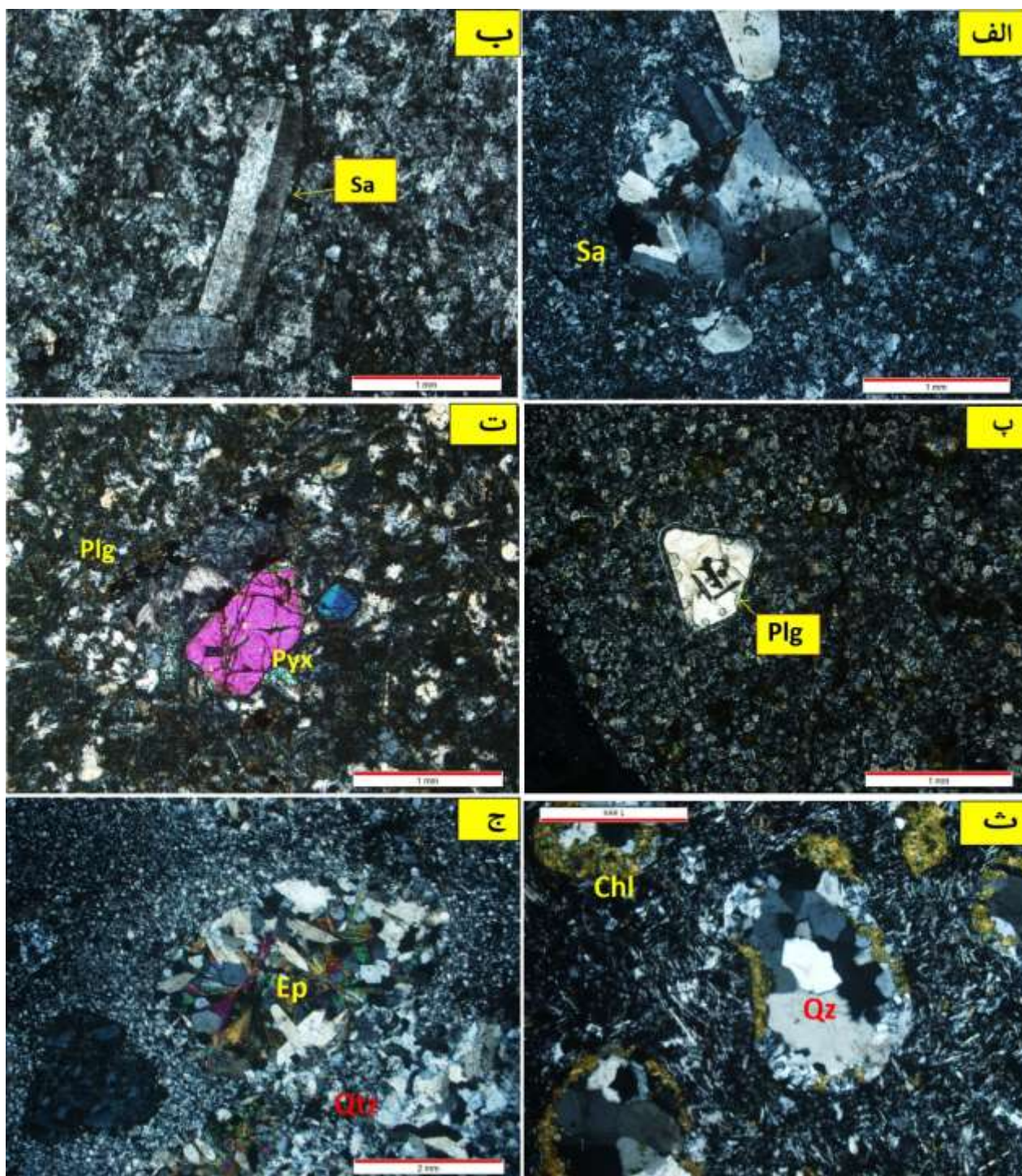
شکل ۳-۹-الف-تصویر صحرایی از محدوده کانسار منگنز-طلائی بیجورد شمالی و توالی سنگ چینه‌ای که کانه‌زایی منگنز در عمق با گدازه‌های تراکی‌آندزیتی تا آندزیت بازالت همراه است و در سطح با میزبانی شیل و توف میزبانی می‌شود ب-تصویر صحرایی از رخساره توده‌ای منگنز و دگرسانی آرژیلیکی ثانویه که با کانه‌زایی طلا همراه می‌باشد، پ-تصویر صحرایی از واحد آگلومرا.

درشت بلورهای پلاژیوکلاز و کانی مافیک (آمفیبول و پیروکسن) در یک زمینه هیالوپورفیری بوده و کانی‌های مافیک تجزیه شده‌اند (شکل ۳-۱۱ ا). گدازه با بافت میکرولتی جریان و بافت بادامکی که حفرات آمیگدال توسط کوارتز پر شده است (شکل ۳-۱۱ ث). گدازه تراکیتی با بافت هیالومیکرولتی جریان در اثر نفوذ رگه کوارتز، بافت هیالو را قطع کرده است و دگرسانی سیلیسی، کلسیتی و اپیدوتی از نوع کلینوزوئیزیت، پیستاسیت را ایجاد کرده است کانی پیروکسن نیز تجزیه شده است (شکل ۳-۱۱ ج). از کانی‌های ثانویه مشاهده شده در مقاطع نازک این واحد می‌توان به کلریت، اپیدوت، اکسید آهن، کانی‌های رسی و کلسیت اشاره کرد که به صورت جانشینی در قالب کانی‌های مافیک (آمفیبول و پیروکسن)، و نیز به صورت پرکننده فضای خالی و جانشینی در زمینه سنگ قابل مشاهده است. ژئولیت به عنوان دیگر کانی ثانویه مشاهده شده در این واحد به صورت پرکننده فضای خالی

حفرات بادامکی و شکستگی‌ها دیده می‌شود. لازم به ذکر است در بعضی از قسمت‌های این واحد، بر اثر نفوذ آب دریایی به داخل گدازه‌ها، سیالات گرمایی ایجاد شده که با واکنش با سنگها موجب رخداد دگرسانی کلریتی و اپیدوتی در این سنگها شده است. این واحد سنگی همان طور که در نمونه میکروسکوپی قابل مشاهده است به شدت اپیدوتی و کلریتی شده و حفره‌ها و فضاهای خالی توسط سیلیس و کربنات پر شده است (شکل ۳-۱۱).



شکل ۳-۱۰-الف-تصویر صحرایی از واحد تراکی آندزیت، ب-نمونه دستی از واحد تراکی آندزیت که بلور پلاژیوکلاز دارد و آغستگی اکسید آهن دارد، پ-نمونه میکروسکوپی که بافت هیالومیکروولیتی پورفیری بلورهای درشت پلاژیوکلاز با ماکل پلی سنتتیک و بافت گلومروپورفیری که دچار شکستگی شده‌اند. ت-نمونه میکروسکوپی از واحد تراکی آندزیت که پلاژیوکلاز و پیروکسن‌ها تجزیه شده و اکسیدهای آهن جانشین شده است.



شکل ۳-۱۱-الف-تصویر میکروسکوپی از واحد تراکی آندزیت با بافت گلومروپورفیری، ب-تصویر از واحد تراکی آندزیت با بافت هیالومیکروولیتی پورفیری، پ-تصویر از واحد گدازه آندزیتی که دچار شیشه زدایی (دویتریفیکیشن) شده است، ت-تصویر از واحد آندزیت بازالت که دارای کانی های مافیک پیروکسن و پلاژیوکلاز که تجزیه شده است می باشد، ث- تصویر میکروسکوپی از واحد تراکی آندزیت که بافت میکروولتی جریانی دارد متحمل دگرسانی کلریتی و حفرات توسط کلریت، کوارتز و اپیدوت پر شده است، ج- تصویر میکروسکوپی از واحد تراکی آندزیتی که توسط رگه سیلیسی قطع شده است و دگرسانی اپیدوتی را متحمل شده است. ساندین (Sa)، پلاژیوکلاز (Plg)، پیروکسن (Pyx)، کلریت (Chl)، اپیدوت (ep).

۳-۲-۲-۲-واحد کریستال توف ماسه‌ای

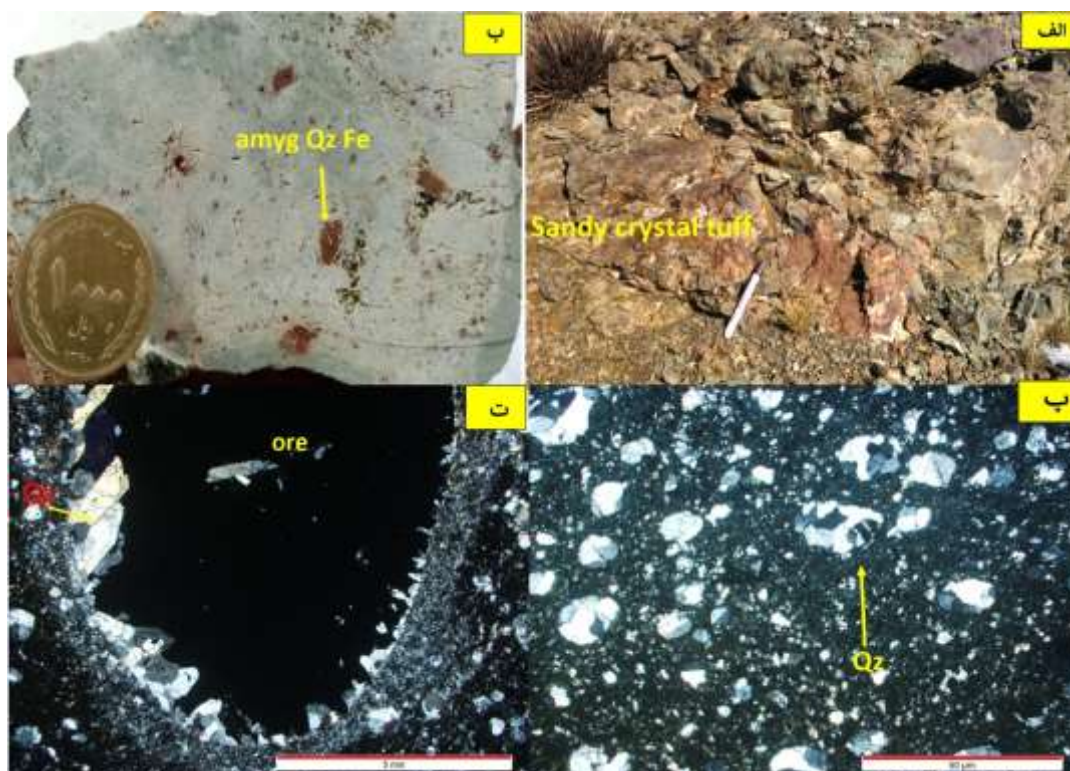
این زیر واحد، هم روند با گدازه‌های تراکی آندزیتی و دارای کانه‌زایی و دگرسانی سیلیسی-سریسیتی می‌باشد و بیشتر به رنگ سبز، خاکستری و دارای ضخامت ۲۰ متر می‌باشد که در راستای شرقی-غربی کشیده شده است. بر اساس مطالعات پتروگرافی نمونه‌های برداشت شده از این واحد تناوبی از کریستال توف، سیلت توفی و زمینه توف بافت شیشه‌ای و میکروولیتی دارد که اطراف بلورهای پلی کریستالین کوارتز چرخیده است. ترکیب این توف‌ها تراکیت تا داسیت اسیدی حدواسط می‌باشد و حفرات آن توسط کانه‌های معدنی پر شده است (شکل ۳-۱۲).

۳-۲-۲-۳-آگلومرا با لایه‌هایی از لاپیلی توف و توف نازک لایه

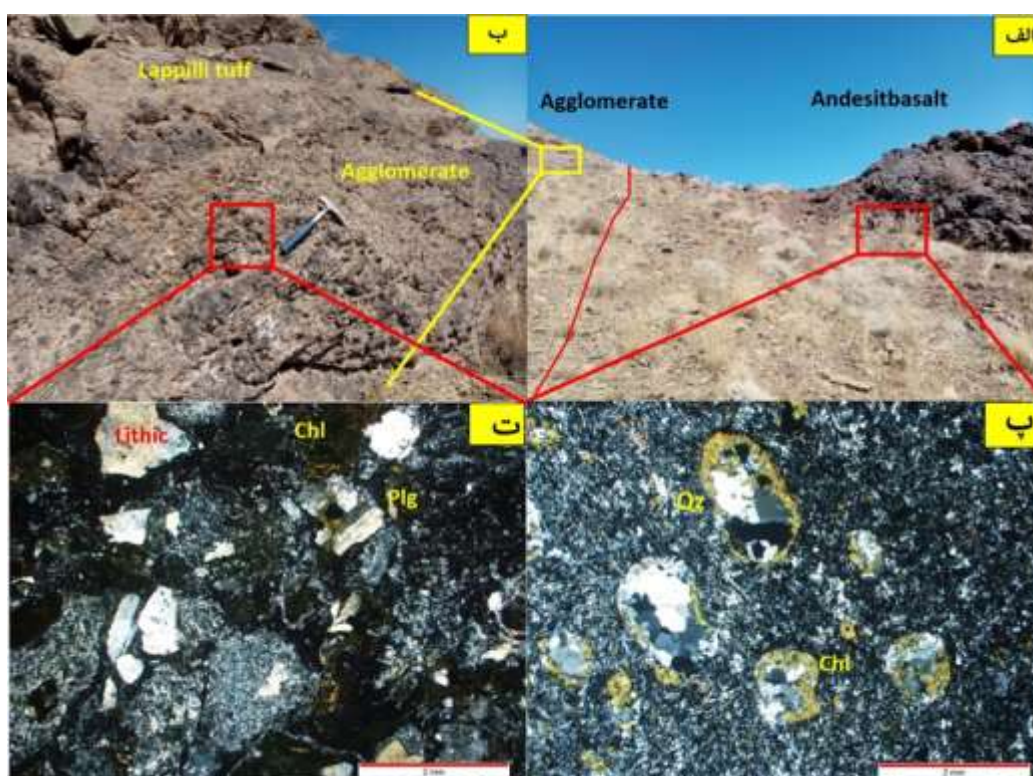
این واحد شامل قطعات نسبتاً گرد در اندازه ۱-۱۰ سانتی متر بوده که به صورت هم روند و هم شیب نسبت به لایه‌های بالا و پایینی خود قرار گرفته است و در بخش‌های بالایی به توف نازک لایه تغییر می‌کند. این واحد که بر روی واحد گدازه آندزیت بازالت و گدازه بالشی قرار دارد، اندازه قطعات سنگی آن به سمت بالا کوچک‌تر و تبدیل به توف نازک لایه می‌شود. ضخامت این واحد حدود ۳۰ متر و همراه دگرسانی کلریتی بوده و از قطعات سنگی که در زمان فوران ته‌نشست پیدا کرده‌اند، تشکیل شده است (شکل ۳-۱۳). واحد گدازه آندزیتی تحت‌تأثیر توده نفوذی نیم عمیق و سیالات کانه‌دار دچار دگرسانی کلریتی شده و حفرات آمیگدال توسط کوارتز و کلسیت پر شده است (شکل ۳-۱۴).

۳-۲-۲-۴-واحد گدازه بالشی تراکی آندزیت بازالت

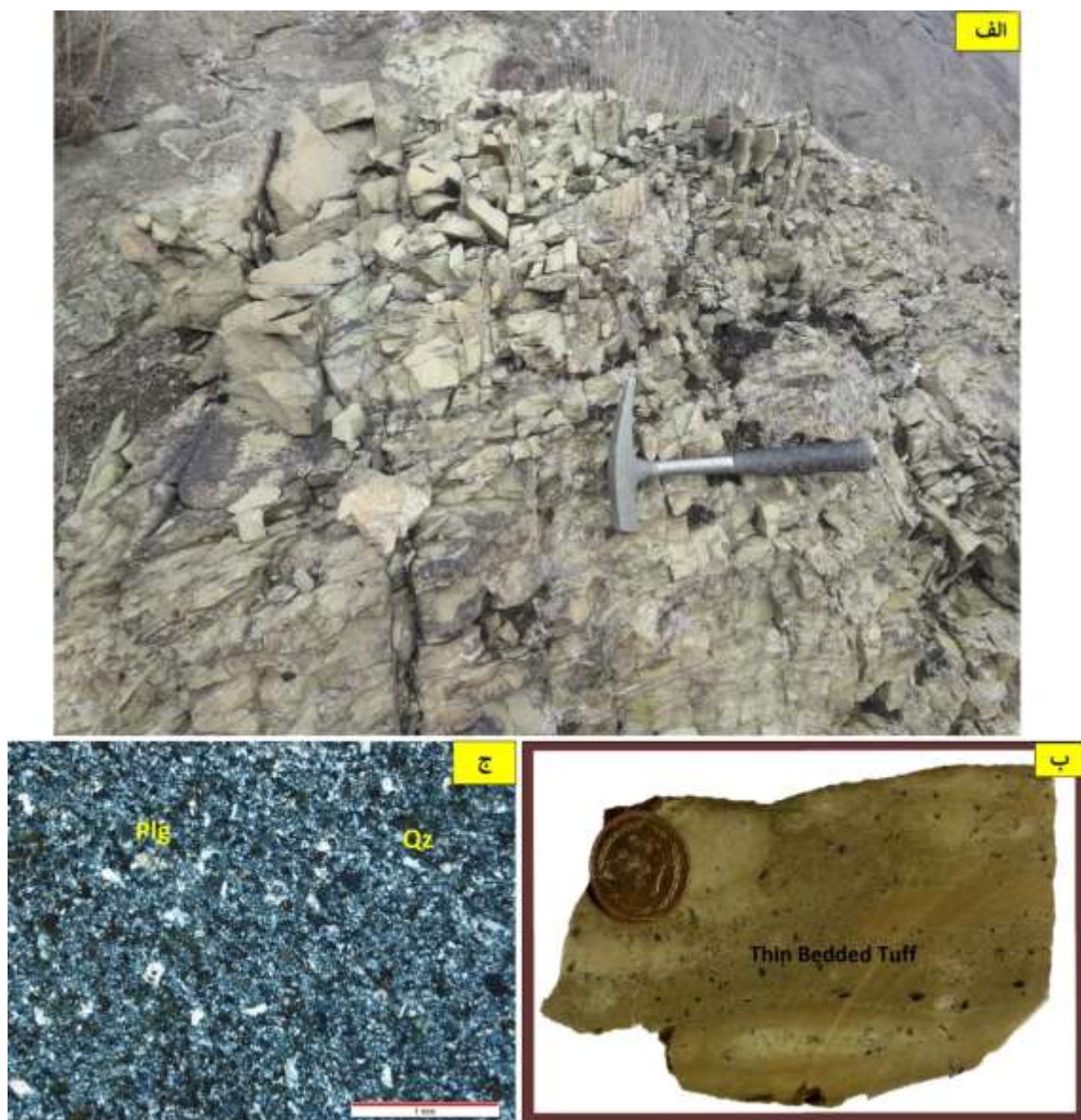
این واحد به صورت گدازه بالشی در محدوده کلاته القبایی رخنمون دارد، ضخامت این واحد متغیر بین ۳ تا ۸ متر در منطقه گسترش دارد. این واحد از لحاظ موقعیت چینه‌ای در واحد K2v قرار دارد و ترکیب این واحد تراکی آندزیت تا آندزیت بازالت با بافت هیالومیکروولیتی پورفیری می‌باشد. در بعضی از قسمت‌های این واحد در اثر حرکت سیال کانه‌دار دگرسان شده و دگرسانی شدید کلریتی اطراف پیروکسن‌ها دیده می‌شوند و حفرات توسط کوارتز پر شده است (شکل ۳-۱۵).



شکل ۳-۱۲-الف-تصویر نمونه صحرایی از واحد کریستال توف ماسه‌ای، ب- تصویر نمونه دستی که حفرات توسط کوارتز و اکسید آهن پر شده است، پ و ت- تصویر میکروسکوپی از واحد توف ماسه‌ای که حفرات توسط کوارتز پلی کریستالین و کانه پر شده است.



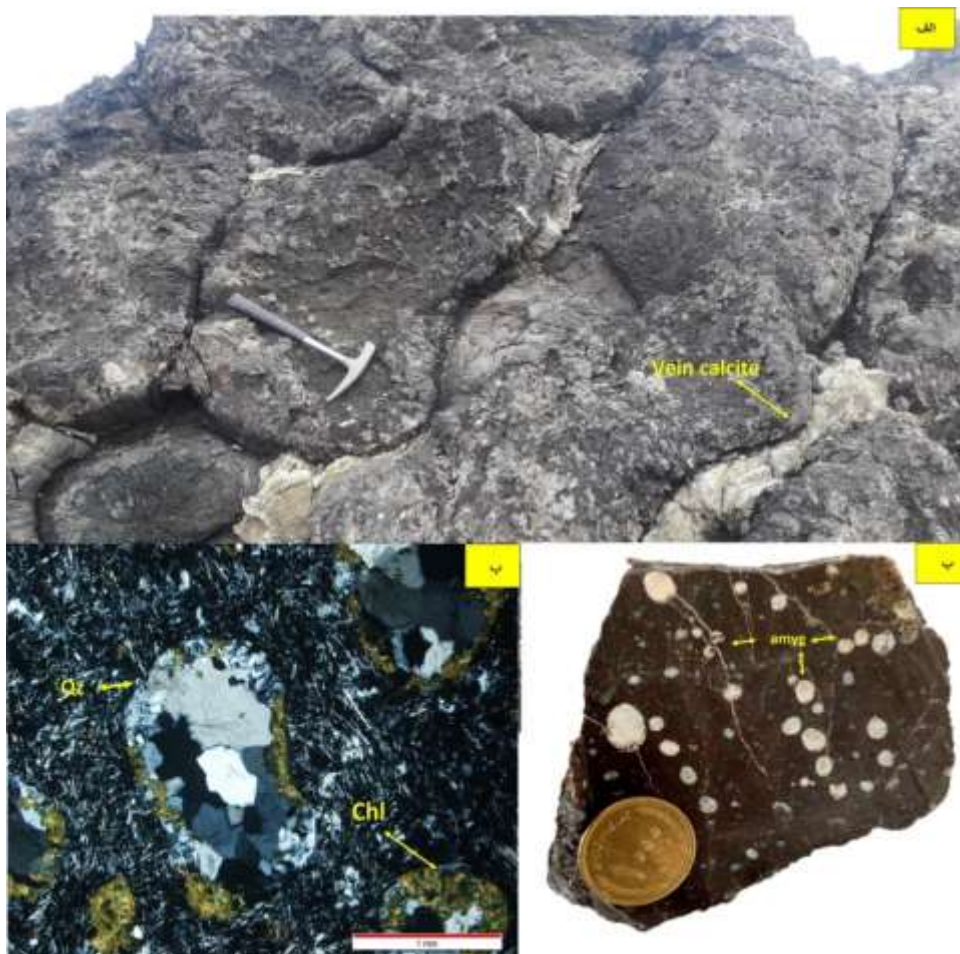
شکل ۳-۱۳-الف-تصویر صحرایی از واحد آگلومرا با واحد آندزیت بازالت که هم شیب هستند، ب-نمای نزدیک از واحد آگلومرا با واحد لاپیلی توف، پ-تصویر میکروسکوپی از واحد آندزیت بازالت که دگرسانی کلریتی و حفرات توسط کوارتز پر شده است، ت- تصویر میکروسکوپی از واحد لاپیلی توف که دگرسانی کلریتی و قطعات سنگی و پلاژیوکلاز دارد.



شکل ۳-۱۴-الف-تصویر صحرایی از توف نازک لایه، ب-نمونه دستی توف نازک لایه، ج-نمونه میکروسکوپی که دارای کانی‌های پلاژیوکلاز و کوارتز می‌باشد.

۳-۳-۱- واحد اصلی ۳ (unit3):

این واحد شامل آهک پلاژیک به همراه شیل توفی کربناته است. ذکر این نکته ضروری که واحد شیل کربناته در محدوده کلاته القبابی رخنمون ندارد و فقط در محدوده منگنز دهنه بیجورد به صورت شیل توفی و آهک پلاژیک رخنمون دارد.



شکل ۳-۱۵-الف- تصویر صحرایی گدازه پیلولاوا تراکی آندزیت بازالت که در اثر دگرسانی قرار گرفته است، ب- تصویر نمونه دستی که آمیگدال قابل مشاهده است، پ- تصویر میکروسکوپی که دگرسانی کلریتی و حفرات توسط کوارتز پر شده است.

۳-۱-۱-۳- آهک پلاژیک

این زیر واحد آهک پلاژیک صورتی رنگ و شیل توفی قهوه‌ای رنگ به طول چند کیلومتر و ضخامت مختلف بر روی واحد ۲ قرار گرفته و در راستای شمال شرقی - جنوب غربی گسترش یافته است. این واحد تحت تأثیر هوازدگی دچار آغستگی اکسید آهن شده و به رنگ قرمز تا قهوه‌ای دیده می‌شود. در زمینه آهک پلاژیک و شیل توفی، کربناته بلورهای ریز پلاژیوکلاز وجود دارند که کمتر از یک میلی‌متر مشاهده می‌شوند. هم‌چنین در بیشتر موارد مرز زیرین و بالایی این واحد با واحدهای آتشفشانی کرتاسه پسین هم شیب و پیوسته یا تدریجی است. تدریجی بودن مرز این دو واحد در منطقه نشان از تغییر رژیم رسوب‌گذاری در این حوضه کششی از حالت آتشفشانی به حالت رسوبی و افول فعالیت را حکایت می‌کند که بلورهای پلاژیوکلاز حاصل از فوران در آهک

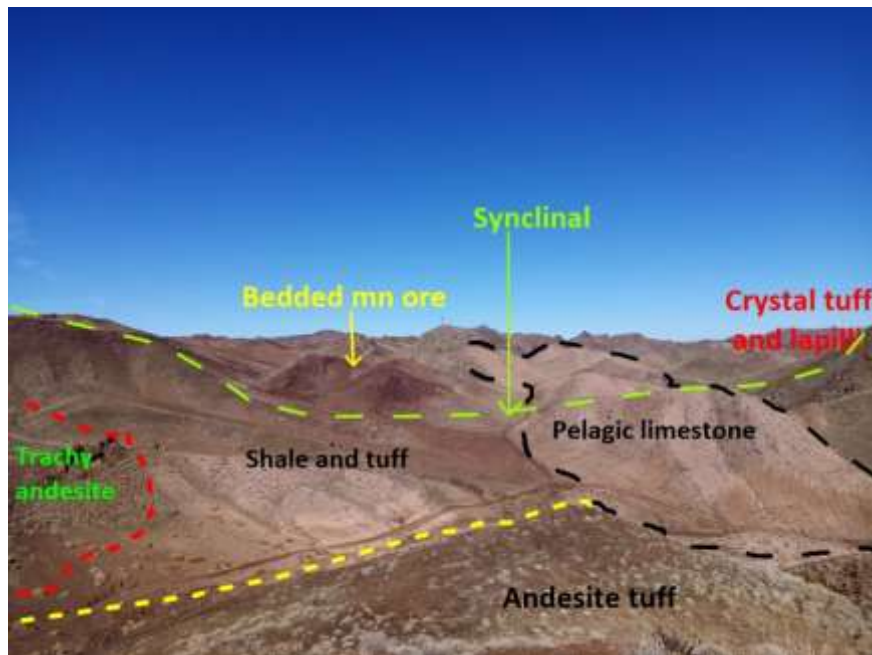
گلوبوترونکانا ریخته شده است (شکل ۳-۱۶). همراهی بلورهای پلاژیوکلاز و آهک توفی، در زمان فوران گدازه و توف در محیط دریا با این تفسیر بیان می‌شود که همزمان با ته‌نشست آهک گلوبوترونکانادار، بلورهای پلاژیوکلاز ناشی از فوران زیر آبی در زمینه آهک ریخته شده است (شکل ۳-۱۶ ت).

۳-۱-۲-۳- شیل توفی - کربناته همراه با چرت (فسیل رادیولاریت)

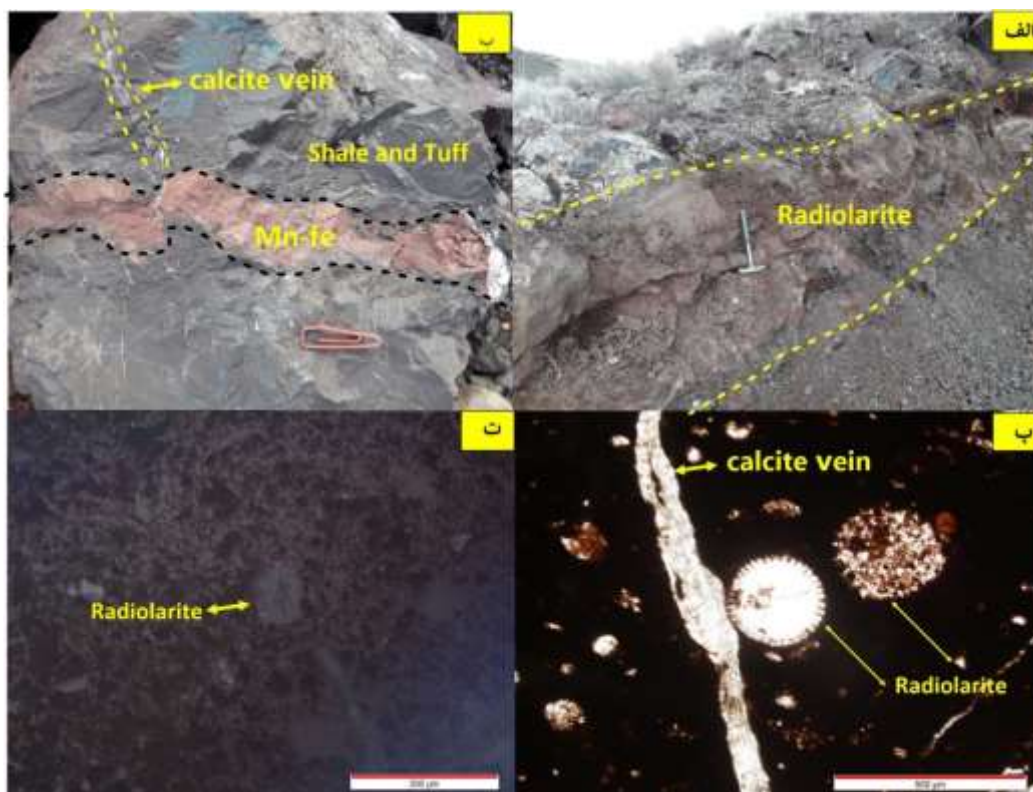
این زیر واحد به صورت یک لایه رسوبی با طول حدود ۳ کیلومتر و با ضخامت ۱۰ تا ۵۰ متر بر روی واحد K2V، قرار گرفته است. به دلیل همراهی اکسید آهن در زمینه سنگ، به رنگ قرمز تا قهوه‌ای دیده می‌شود. این زیر واحد در معدن طلای سه بندوق و منگنز-طلای دهنه بیجورد رخنمون دارد و بین واحد گدازه تراکی آندزیت و واحد آهک پلاژیک و کریستال توف سبز قرار دارد (شکل ۳-۱۷). فسیل رادیولاریت همراه با کانه‌زایی منگنز می‌باشد که نشان از همزمانی این دو رخداد دارد. در بعضی قسمت‌ها کوارتز جایگزین حفرات فسیل رادیولاریت شده است و فسیل بدون تغییر شکل به ندرت وجود دارد که در (شکل ۳-۱۸) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۶- الف- تصویر صحرایی از آهک پلاژیک که شکستگی زیاد دارد، ب- تصویر نمونه دستی از آهک پلاژیک که پلاژیوکلاز دارد پ و ت- وجود بلورهای پلاژیوکلاز در آهک پلاژیک و وجود فسیل گلوبوترونکانا خیلی ریز



شکل ۳-۱۷- تصویر صحرایی از واحد آهک پلاژیک (گلوبترونکانا) و ناودیس منطقه که کانه‌زایی منگنز در یال شرقی تشکیل شده است، واحد شیل توفی و K2v که کانه‌زایی رخساره نواری منگنز و دگرسانی طلای سه بندون در این واحد اتفاق افتاده است.



شکل ۳-۱۸- الف- تصویر صحرایی از فسیل رادیولاریت به همراه اکسیدهای آهن و منگنز در واحد شیل توفی از محدوده منگنز بیجورد جنوبی، ب- تصویر نمونه دستی از شیل توفی که نوار آهن و منگنز دار در آن تشکیل شده است و توسط رگه کلسیت قطع شده است، پ و ت- تصویر میکروسکوپی از فسیل رادیولاریت در واحد شیل توفی همراه اکسید آهن و منگنز.

۳-۴-۱- واحد اصلی ۴: (unit⁴)

زیر واحدهای سنگی این واحد شامل لیتیک کریستال توف با ترکیب ریولیتی و ریوداسیت، تناوبی از گدازه با ترکیب تراکی آندزیت و تراکی بازالت می‌باشد، بر اساس مطالعات میکروسکوپی زمینه این توف‌ها بیشتر از شیشه و خاکستر می‌باشد.

۳-۴-۱-۱- کریستال لیتیک توف

کریستال لیتیک توف که بیشترین رخمون این واحد در نزدیک واحد الترامافیک و نزدیک به مرغداری کنار جاده آسفالته بردسکن - سبزوار قابل مشاهده بوده و دارای حدود ۴۰۰ متر ضخامت می‌باشد. واحد کریستال توف از بلورهای کوارتز و پلاژیوکلاز تشکیل شده است (شکل ۳-۱۹ الف، ب). این زیر واحد در راستای شمال شرق - جنوب غرب کشیده شده و رنگ رخساره آن بیشتر به رنگ سبز تیره و خاکستری تیره می‌باشد (شکل ۳-۱۹ پ، ت). بافت سنگ، تخریبی پیروکلاستیک می‌باشد. زیر واحد کریستال لیتیک توف از قطعات سنگی مختلف تشکیل شده است.

۳-۴-۱-۲- واحد گدازه آندزیت بازالتی

این واحد از نظر چینه‌شناسی بر روی لیتیک کریستال توف قرار گرفته است و ضخامت این لایه در بخش‌های مختلف متفاوت است و تا ۱۰۰ متر می‌رسد و بیشترین رخمون این واحد در محدوده کوه بیجورد و محدوده کلاته القبایی می‌باشد. بر اساس مطالعات میکروسکوپی زمینه سنگ شیشه‌ای با بافت هیالوپورفیری و کانی‌های اصلی سنگ شامل فلدسپار و پیروکسن می‌باشد، فنوکریست‌های پلاژیوکلاز تحت تاثیر سیالات دگرسان کننده به کانی‌های ثانویه مانند کلسیت و زئولیت تبدیل شده‌اند (شکل ۳-۱۹ ث و ج).

۳-۵- واحد نیمه خروجی الیوین بازالت

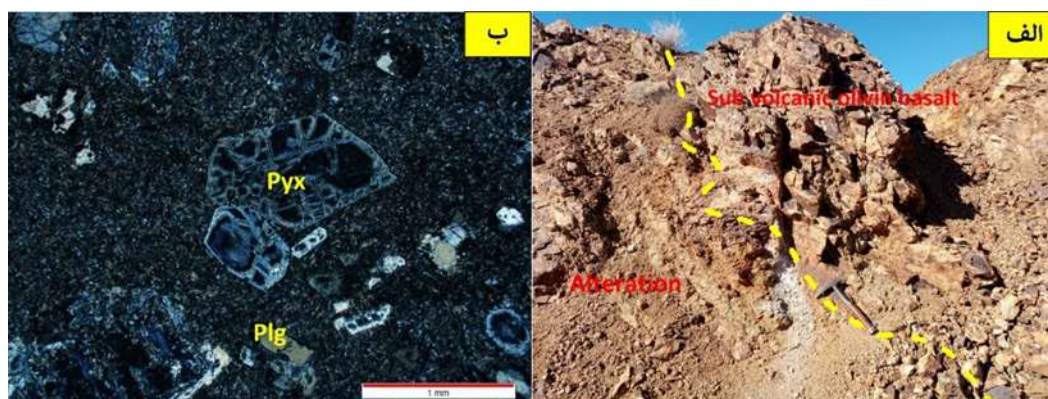
دایک با بافت میکرولیتی پورفیری و ترکیب الیوین بازالت که در محدوده القبایی در ضخامت‌های مختلف از یک متر تا چند متر در واحد K2V کرتاسه پسین نفوذ کرده است (شکل ۳-۲۰).

۳-۶- نهشته کواترنری

نهشته‌های آبرفتی جوان، که متشکل از قلوه سنگ، ماسه، سیلت و رس است، به صورت پوشش کم ضخامتی بر روی واحدهای سنگی محدوده، در دامنه و بستر آبراهه‌ها قابل مشاهده هستند.



شکل ۳-۱۹- الف- تصویر نمونه دستی از واحد کریستال توف. ب- تصویر نمونه میکروسکوپی از واحد کریستال توف، که دارای کانی-های پلاژیوکلاز و کوارتز، پ- تصویر نمونه دستی از واحد لیتیک توف، ت- تصویر میکروسکوپی از واحد لیتیک توف ث- تصویر صحرایی از واحد پیلولاوا آندزیت بازالت، ج- تصویر میکروسکوپی که فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در زمینه شیشه قرار دارد، که این پلاژیوکلازها دگرسان شده و توسط کانی‌های اپک جانشین می‌شوند.



شکل ۳-۲۰-الف- تصویر صحرایی از واحد دایک الیوین بازالت، ب- تصویر میکروسکوپی از دایک ساب ولکانیک الیوین بازالت که پیروکسن‌ها و آمفیبول‌ها تجزیه شده و بافت زمینه بصورت میکرولیتی پورفیری می باشد.

فصل چهارم

کانه‌زایی و دگرسانی

در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن معادن متعدد از قبیل مس-طلائی القبایی، طلائی سه بندون، مس- سبه و طلا- منگنز دهنه بیجورد و ... وجود دارد. در این منطقه علاوه بر مطالعات و اجرای فعالیت- های اکتشافی در مقیاس ناحیه‌ای، مطالعات اکتشافی در مقیاس معدن نیز در معادن یاد شده به انجام رسیده است. زیر پهنه سبزوار از نظر تنوع کانه‌زایی به خصوص کانه‌زایی مس بسیار حائز اهمیت می‌باشد. مطالعاتی که در چند سال اخیر توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و همچنین محققین دانشگاهی صورت گرفته است، منجر به شناسایی و بازنگری رخدادهای متنوعی از کانه‌زایی فلزات پایه به ویژه مس در این ناحیه گردیده است. از جمله این کانه‌زایی‌ها و اندیس‌های شناخته شده می‌توان به کانسار سولفید توده‌ای پلی متال تکنار (Karimpour and Malekzadeh., 2005). کانسار سولفید توده‌ای غنی از آهن کبودان (مهرابی، ۱۳۹۰)، کانسار مس- طلائی پورفیری هلاک آباد (پناهی شهری، ۱۳۸۹)، اندیس مس رسوبی منطقه ششتمد (سپهری راد، ۱۳۸۸)، کانسار سولفید توده‌ای مس نوده (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۱)، کانسارهای منگنز ذاکری و نوده (تقی زاده، ۱۳۹۲) نام برد. در این فصل، بر اساس اطلاعات موجود، ابتدا برخی از ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی کانسارهای مس - طلائی کلاته القبایی، سبه، طلائی سه بندون و منگنز-طلائی دهنه بیجورد (شامل سنگ میزبان، شکل و رخساره کانه‌دار) توصیف شده و در ادامه، دگرسانی‌های رخ داده در محدوده این کانسارها مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

۴-۲- رخدادهای کانه‌زایی آتشفشانی - رسوبی در ناحیه جنوب سبزوار

بررسی‌ها نشان داده است که ناحیه جنوب و جنوب غرب سبزوار، تعداد قابل توجهی از کانسارها و اندیس‌های مس و منگنز وجود دارند که دارای جایگاه چینه‌شناسی ویژه ای می‌باشند. این کانسارها و اندیس‌ها را می‌توان بر

اساس نوع ماده معدنی، موقعیت چینه‌شناسی و سنگ میزبان به دو گروه تقسیم کرد (شکل ۴-۱) (جدول ۴-۱)

۱- کانسارها و اندیس‌های مس: این ذخایر که در توالی ستون چینه‌ای سنگ‌های بخش زیرین کرتاسه بالائی تشکیل شده‌اند بر حسب نوع سنگ میزبان و جایگاه چینه‌ای به سه زیر گروه تقسیم می‌گردند (مغفوری، ۱۳۹۰):

الف) ذخایر مس با سنگ میزبان آندزیتی مانند اندیس‌های فریزی و گراب (شکل ۴-۱) (مغفوری، ۱۳۹۰).

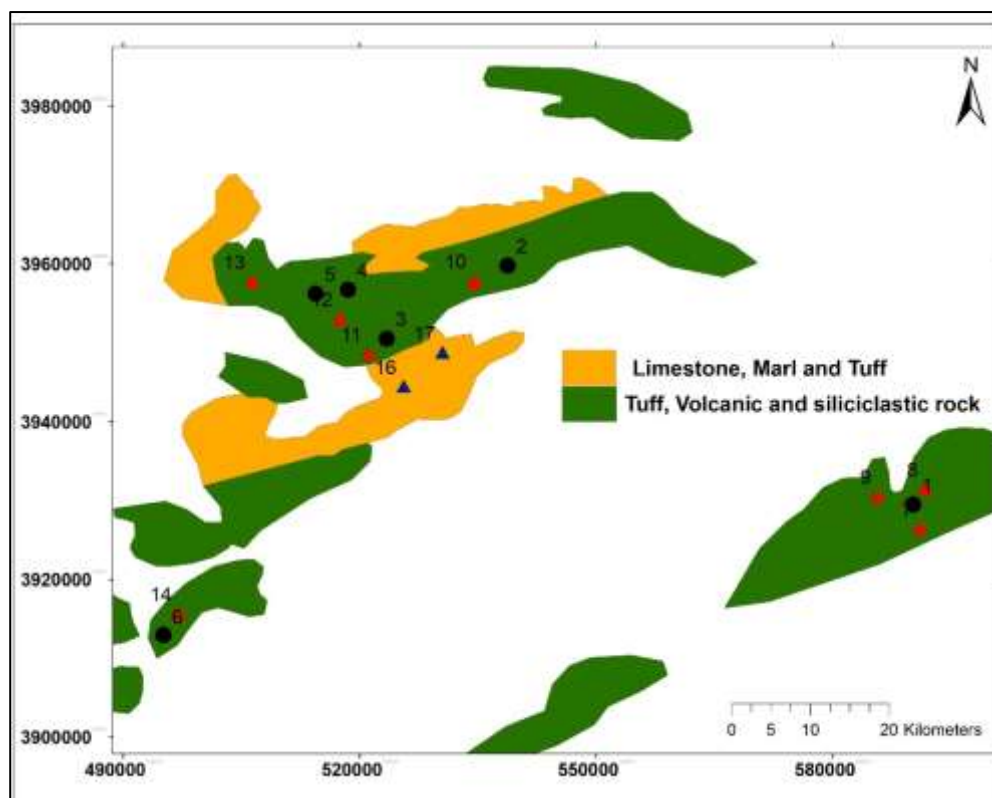
ب) ذخایر مس با سنگ میزبان ماسه‌سنگ‌های سیلیسی توفی، مانند کانسار نوده و اندیس‌های مس کلاته لاله (نیران) و چون (جدول ۴-۱) و (شکل ۴-۱).

ج) ذخایر مس با سنگ میزبان آلکالی الیوین بازالت، مانند کانسار نوده (جدول ۴-۱) و (شکل ۴-۱).

۲- کانسارها و اندیس‌های منگنز: این ذخایر نیز بر حسب نوع سنگ میزبان و جایگاه آن‌ها در توالی چینه‌ای به دو زیر گروه تقسیم می‌گردند (جدول ۴-۱) و (شکل ۴-۱): (مغفوری، ۱۳۹۰)

الف) ذخایر منگنز با سن بخش زیرین کرتاسه بالائی و سنگ میزبان توفی، مانند کانسارهای بنسبرد، فریز، گفت و نوده (جدول ۴-۱) و (شکل ۴-۱).

ب) ذخایر منگنز با سن بخش بالائی کرتاسه بالائی و با سنگ میزبان توف آندزیتی و توف کربناته مانند کانسارهای منگنز ذاکری، چشمه سفید و چاه ستاره (جدول ۴-۱) و (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱- موقعیت اندیس‌ها و ذخایر مس، طلا و منگنز با میزبان توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین در جنوب سبزوار
جدول ۴-۱- کانسارها و اندیس‌های مس-طلا و منگنز با میزبان توالی آتشفشانی-رسوبی جنوب سبزوار.

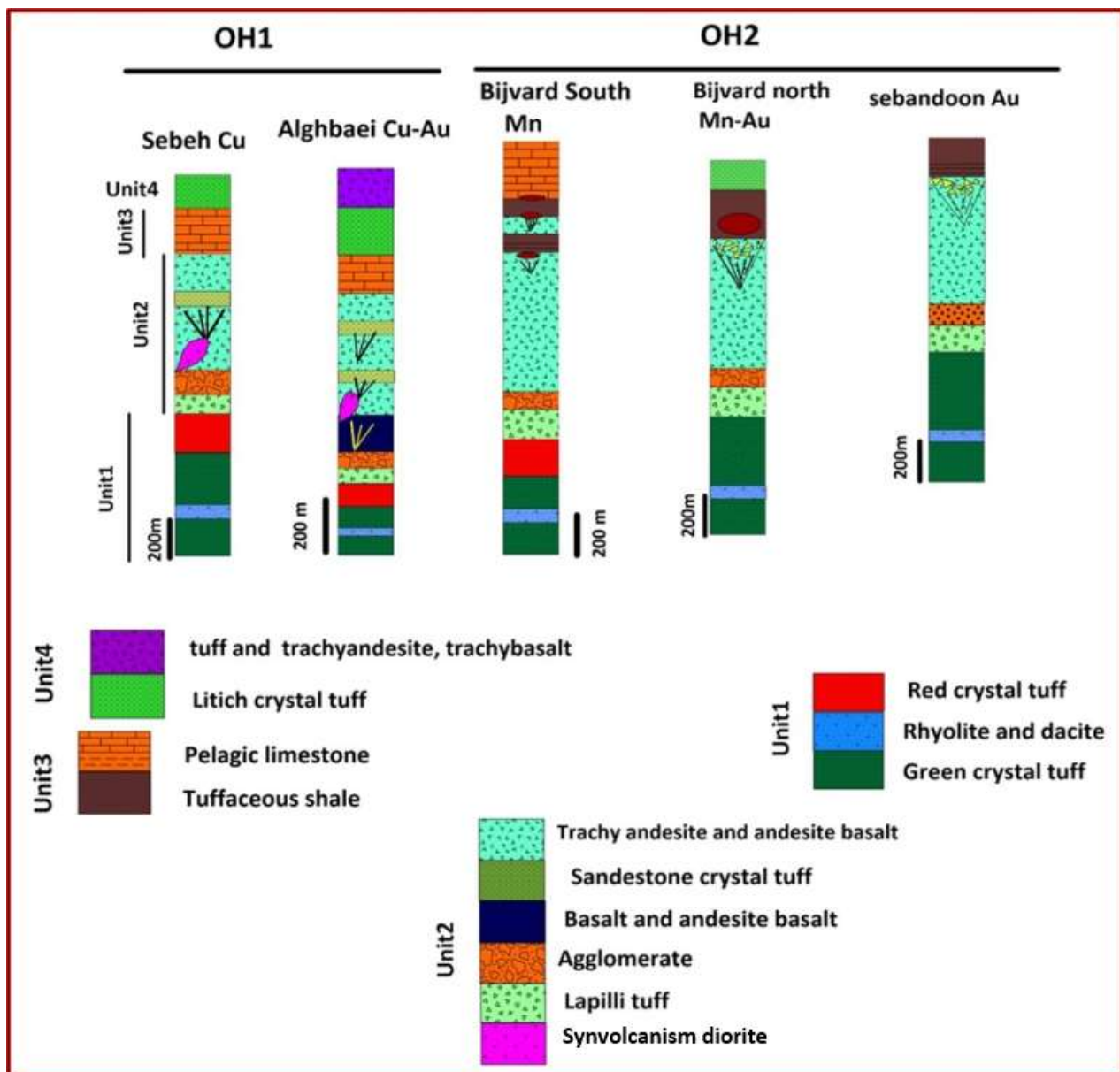
کانسارها و اندیس های منگنز		کانسارها و اندیس های مس و طلا
با سنگ میزبان توفی- کربناتی، بخش بالای کرتاسه پسین.	با سنگ میزبان توفی بخش زیرین کرتاسه پسین	با سنگ میزبان آتشفشانی- رسوبی (کرتاسه پسین)
۱۶- منگنز چشمه سفید	۱- منگنز بیجورد	۷- اندیس مس-طلا القبایی
۱۷- منگنز ذاکری	۲- کانسار گفت	۸- کانسارمس-طلای سه بندون
	۳- کانسار نوده	۹- اندیس مس سبه
	۴- اندیس فریزی	۱۰- اندیس مس چون
	۵- کانسار فریزی	۱۱- کانسارمس نوده
	۶- منگنز نخلک	۱۲- اندیس مس فریزی
		۱۳- اندیس مس کلاته لالا
		۱۴- کانسار مس گرماب

۴-۳- رخداد کانه‌زایی مس- طلا در توالی آتشفشانی _ رسوبی کرتاسه پسین (شمال بردسکن)

بررسی‌های انجام گرفته در توالی آتشفشانی _ رسوبی کرتاسه پسین در شمال بردسکن حاکی از وجود قابل توجهی از کانسار مس- طلا و منگنز که دارای جایگاه چینه‌شناسی مشخص تشکیل شده‌اند. که از سنگ‌های آتشفشانی رسوبی با ترکیب کریستال توف، آگلومرا، لاپیلی توف، گدازه با ترکیب ریولیت داسیت و تراکیت آندزیت، آندزیت بازالت، دایک‌های با ترکیب الیوین بازالت آهک پلاژیک و شیل توفی که مربوط به اواخر کرتاسه هستند، تشکیل شده است که به عنوان کلید اکتشافی مورد توجه زمین‌شناسان و اکتشافات کانسارهای آتشفشانی- رسوبی قرار می‌گیرد. کانه‌زایی در محدوده القبایی و سبه در واحد گدازه تراکی آندزیت و آندزیت بازالت با میان لایه توف ماسه‌ای کریستالی درافق (OH1) تشکیل شده است و در محدوده سه بندوق و دهنه بیجورد در واحد شیل توفی، گدازه با ترکیب تراکی آندزیت و آهک پلاژیک درافق (OH2) رخ داده است که از نظر جایگاه چینه‌شناسی در افق خاصی رخ داده است. این کانسارها و اندیس‌های معدنی را بر اساس نوع ماده معدنی، موقعیت چینه‌شناسی و سنگ میزبان به دو گروه می‌توان تقسیم کرد:

۱- کانسار ها و اندیس‌های مس- طلا: این ذخایر در قسمت میانی تا زیرین واحد K2v، با سنگ میزبان تراکی آندزیتی و آندزیت بازالت مربوط به کرتاسه پسین قرار گرفته‌اند، به طور مثال کانسار مس- طلای القبایی و مس سبه که در افق اول (OH1) قرار دارند (شکل ۴-۲).

۲- کانسار طلا و طلا-منگنز: این ذخایر در قسمت بالایی واحد گدازه آندزیت بازالت، تراکی آندزیت، شیل توفی و آهک پلاژیک مربوط به دوره زمانی کرتاسه پسین قرار گرفته‌اند. به طور مثال کانسار منگنز بیجورد جنوبی و کانسار طلا- منگنز دهنه بیجورد شمالی و کانسار طلای سه بندوق که در افق دوم (OH2) رخ داده‌اند (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲- ستون‌های چینه‌ای و موقعیت افق‌های کانهدار در کانسارهای کلاته القبابی، سبه، سه بندوق و بیجورد. در این شکل تغییر رخساره قائم سنگ‌های میزبان و کان‌زائی در کانسارها و اندیس‌های معدنی در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است، واحد میزبان کان‌زایی مس-طلا در محدوده القبابی و سبه گدازه تراکی آندزیت و آندزیت بازالت و در محدوده سه بندوق و بیجورد شامل گدازه تراکی آندزیت و آندزیت بازالت، شیل توفی و آهک پلاژیک می‌باشد.

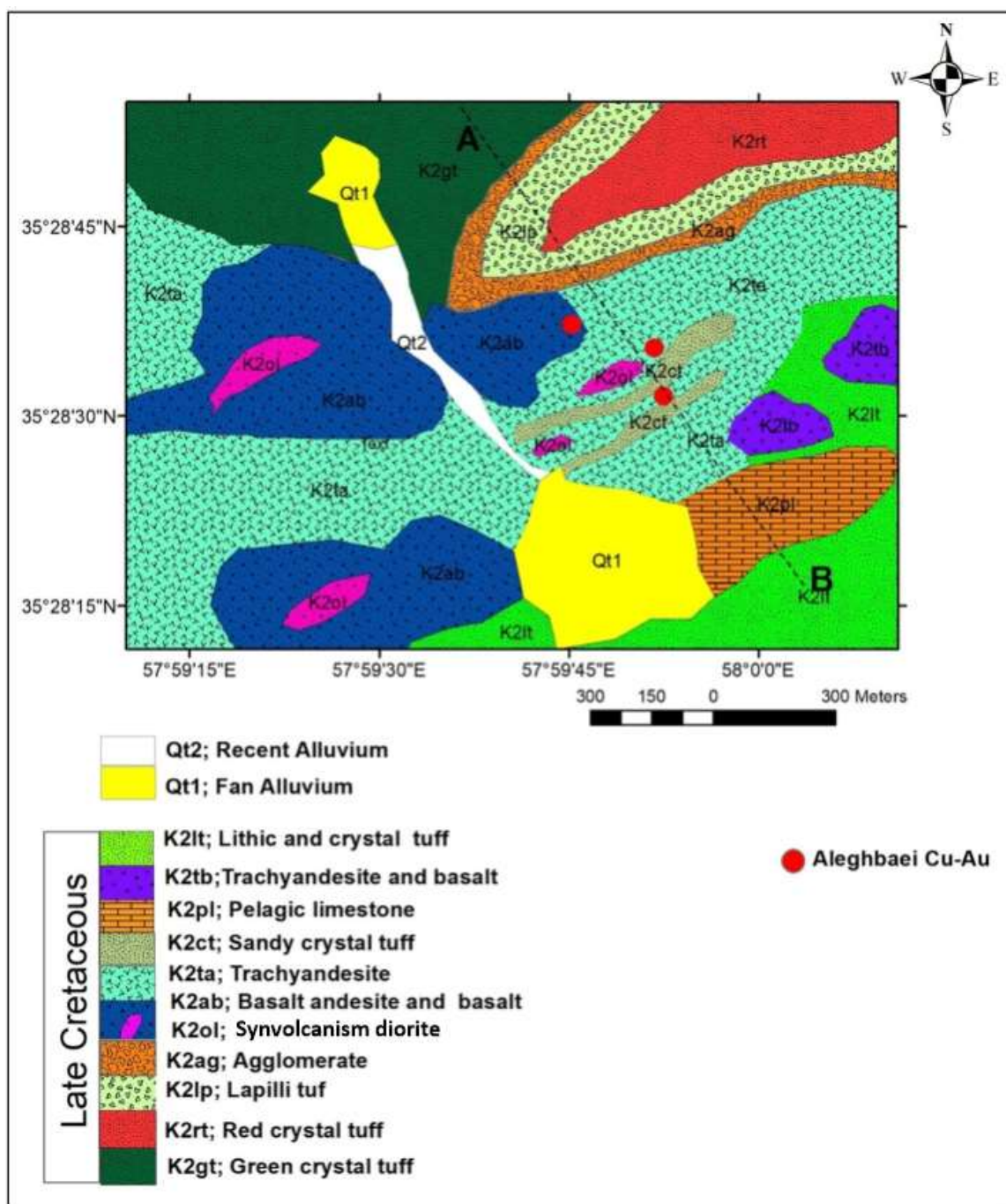
۴-۴- ویژگی‌های کانی زائی مس-طلا در کانسار القبابی در مقطع شمال غرب- جنوب شرق

با توجه به نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس کانسار القبابی و مشخص نمودن نیمرخ رسم شده بر روی نقشه به بررسی این کانسار خواهیم پرداخت (شکل ۴-۳). با حرکت از قسمت جنوب شرقی کانسار که واحد آهک پلاژیک می‌باشد به قسمت شمال غربی کانسار مس-طلای القبابی می‌توان به طور دقیق توالی سنگی مختلف و تعیین

حدود دگرسانی‌ها و کانه‌زایی سولفیدی را مورد بررسی قرار داد. لذا براساس پیمایش از قسمت جنوبی کانسار آهک گلوبوترونکانا به سمت شمال، واحد تراکی آندزیتی (میزبان کانه‌زایی) و کمرباین کانسار واحد آگلومرا، لاپلی توف و کریستال توف سبز و قرمز دیده می‌شود (شکل ۴-۴). فعالیت‌های معدن کاری و شدادی در کانسار مس القبایی غالباً به صورت حفر چاهک در امتداد واحد سنگی کانه‌دار صورت گرفته است. ابعاد رخنمون سطحی ماده معدنی در افق کانه‌دار ۲۰۰ متر می‌باشد. در اثر هوازدگی، رخنمون سطحی کانسنگ متحمل هوازدگی سوپرژن شده است که با رنگ‌های کرم تا قهوه‌ای برون‌زد دارند که در واحد تراکی آندزیت رخ داده است. مقطع عرضی از واحدهای سنگی منطقه و موقعیت افق کانه‌دار مس-طلا در منطقه القبایی (مقطع شمالی - جنوبی) در شکل ۴-۴ نشان داده شده است. در شکل ۴-۵ نمایی کامل از ماهیت و شدت و ضعف دگرسانی سنگ میزبان اصلی کانسار القبایی نشان داده شده است و چنین به نظر می‌رسد که بر اثر واکنش سیالات گرمابی کانه‌ساز با سنگ میزبان غالب تراکی آندزیت، آندزیت بازالت و کریستال توف با ترکیب اسیدی حد واسطه، نهشت کانه‌های مس-طلا همراه با دگرسانی رخ داده است.

۴-۵- رخساره‌های کانه‌دار کانسنگ در معدن القبایی افق (OH1)

در کانه‌زایی مس-طلا در محدوده معدنی کانسار القبایی، بر اساس ساخت و بافت و کانی‌شناسی و نوع ارتباط با سنگ میزبان، تنها رخساره رگه -رگچه‌ای در واحد تراکی آندزیت و آندزیت بازالت به دلیل خصوصیات شکننده تشکیل شده است، و در بخش بالایی به صورت دانه پراکنده در واحد کریستال توف دیده می‌شود. طرح نمادین از رخساره‌های کانه‌دار بر اساس ترانسه، نمونه دستی و میکروسکوپی و بررسی صحرایی در شکل ۴-۴ نشان داده شده است.

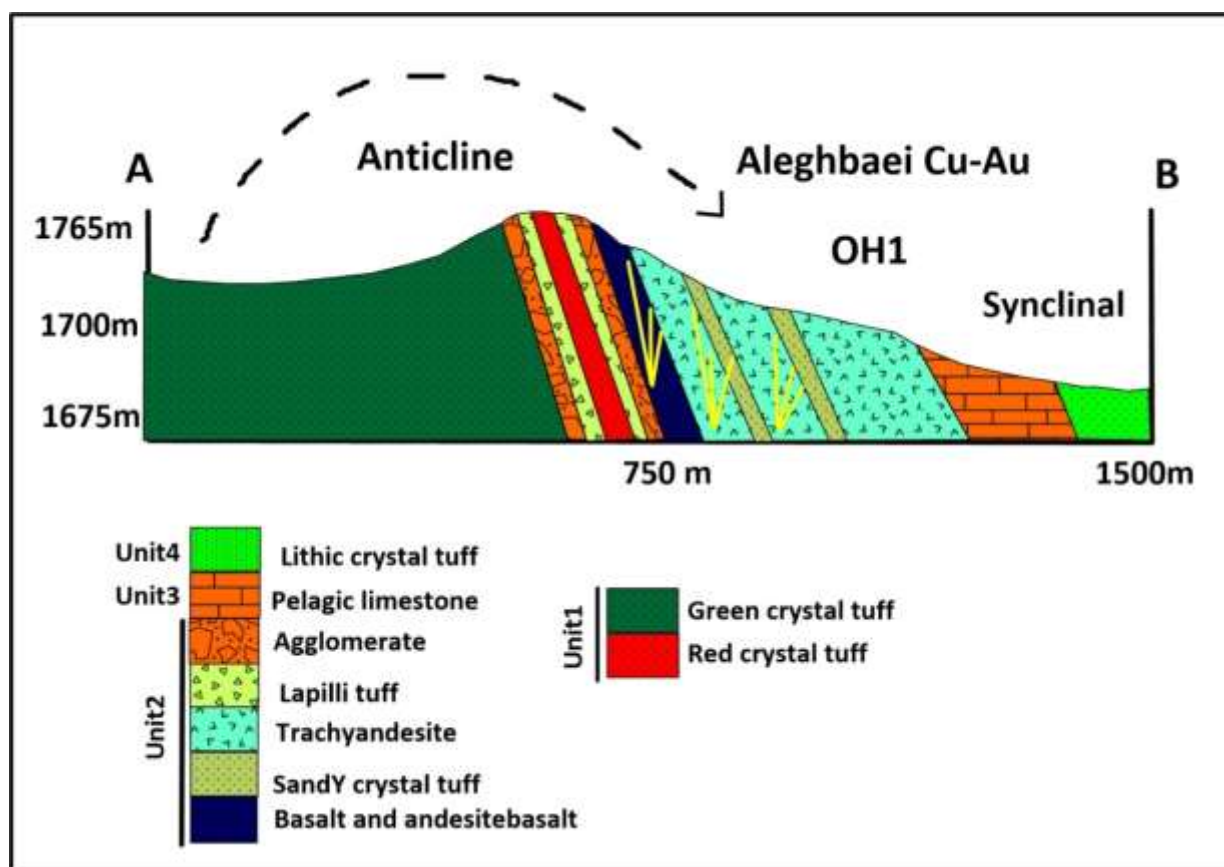


شکل ۴-۳- نقشه زمین شناسی محدوده معدنی مس-طلائی القبابی و مسیر نیمرخ رسم شده

۴-۵-۱- رخساره کانسنگ رگه-رگچه‌ای

سیلیس به عنوان مهم‌ترین عامل توسعه دهنده ساختار رگه-رگچه‌ای در بر دارنده عناصر ارزشمند فلزی مس، طلا، نقره و غیره شناخته شده است. شناسایی دقیق و تفکیک فازهای گرمابی-سیلیسی اولیه و تأخیری مرتبط با فعالیت‌های گرمابی بهترین راه تشخیص مراحل مختلف کانه‌زائی در کانسار می‌باشد. مطالعه صحرایی نمونه‌های

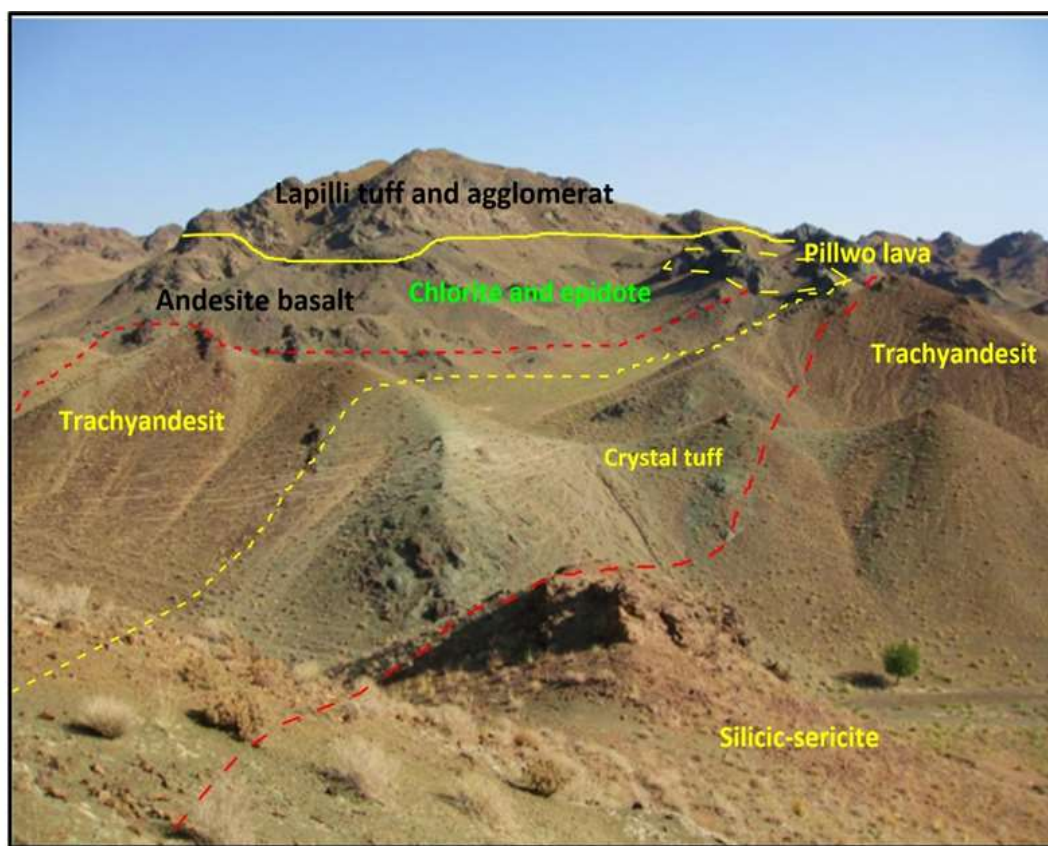
دستی و میکروسکوپی نشان می‌دهد که این رخساره در کانسار مس- طلای القبایی، از دو بخش با عیار مس و طلای متفاوت تشکیل شده است، بخش جنوبی که در سنگ تراکی آندزیت و کریستال توف رخ داده است و دچار فرآیند سوپرژن شده است و بخش شمالی که در واحد آندزیت بازالت تشکیل شده است. با توجه به پاراژنز کانی- شناسی، ساخت و بافت و دگرسانی‌های سیلیسی-سریسیتی سولفیدی که در فاز تاخیری به سیلیسی- کربناته تغییر ماهیت داده است، می‌توان بیان نمود که این قسمت از کانسار مربوط به رخساره رگه-رگچه‌ای می‌باشد و حاکی از محل عبور سیالات کانه ساز از این مجاری بوده است که حاوی کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، و به مقدار کمتر مگنتیت بوده که به مالاکیت، هماتیت و گوتیت تبدیل شده اند. کوارتزها در دو نسل تشکیل شده- اند که نسل یک دانه ریزتر و نسل دوم درشت دانه تر و با بافت موزائیکی می‌باشند (شکل ۴-۶).



شکل ۴-۴-مقطع جنوب شرق- شمال غرب در کانسار مس -طلای القبایی و افق کانه‌دار

۴-۵-۲- ساخت و بافت حفره پرکن مس-طلای القبایی

ساخت و بافت حفره پرکن و دانه پراکنده در کانسار مس طلای القبایی در رخساره رگه -رگچه‌ای و کمر بالای کانسار در توف‌های آندزیتی ماسه‌ای قابل مشاهده است که پیریت به صورت دانه پراکنده و بی شکل در این رخساره شکل گرفته است و به مقدار کمتر کالکوپیریت قابل مشاهده می‌باشند که معمولاً به صورت نیمه شکل‌دار تا بی شکل می‌باشند. همچنین این بافت نشان دهنده، نهشت اولیه ماده معدنی در حین تشکیل سنگ دربر گیرنده و همراه با سایر ذرات تشکیل دهنده آن است. در رخنمون سطحی، کانیهای سولفیدی که معمولاً پیریت است تحت تاثیر سوپرژن قرار گرفته و به ترکیبات هیدروکسیدی آهن تبدیل شده است (شکل ۴-۷).

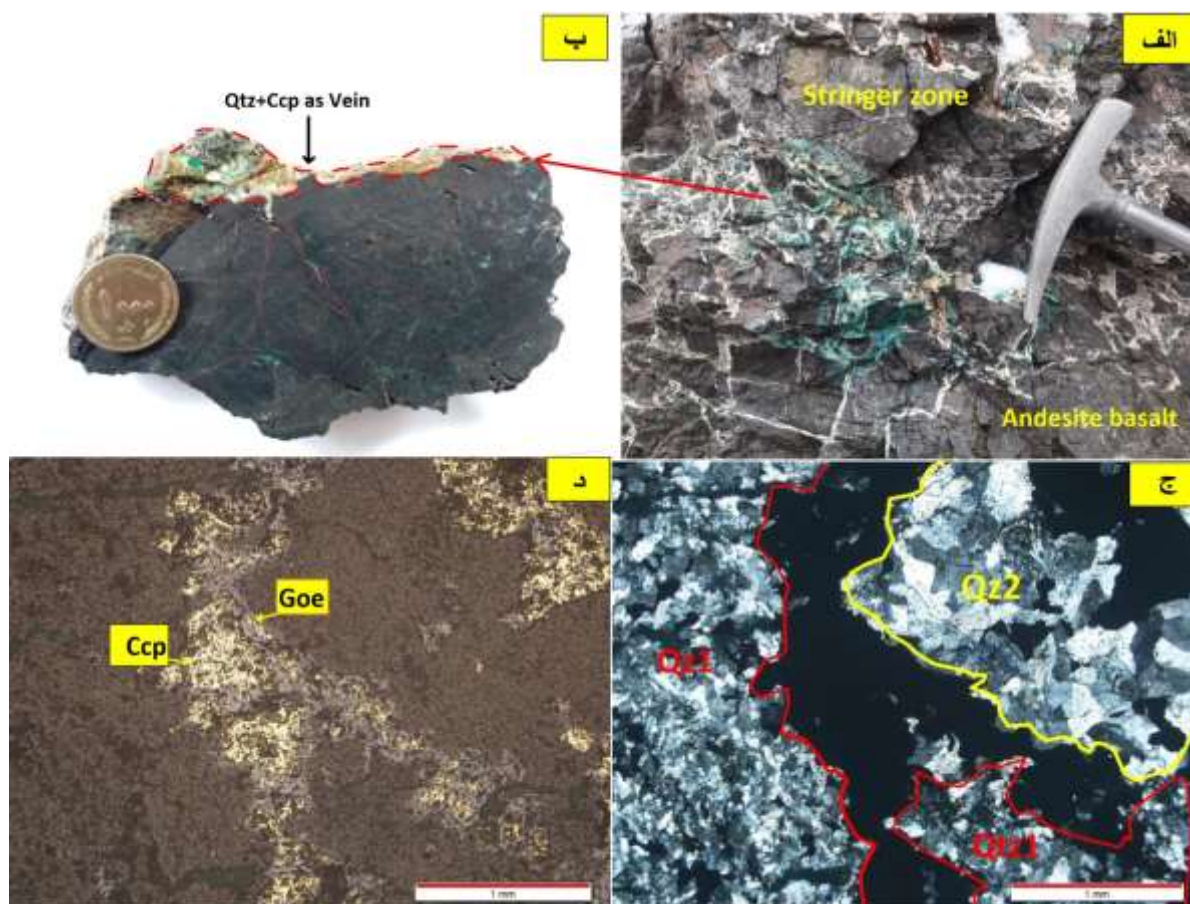


شکل ۴-۵-نمایی از دگرسانی در محدوده معدنی مس-طلای القبایی (دید به سمت شمال شرقی)

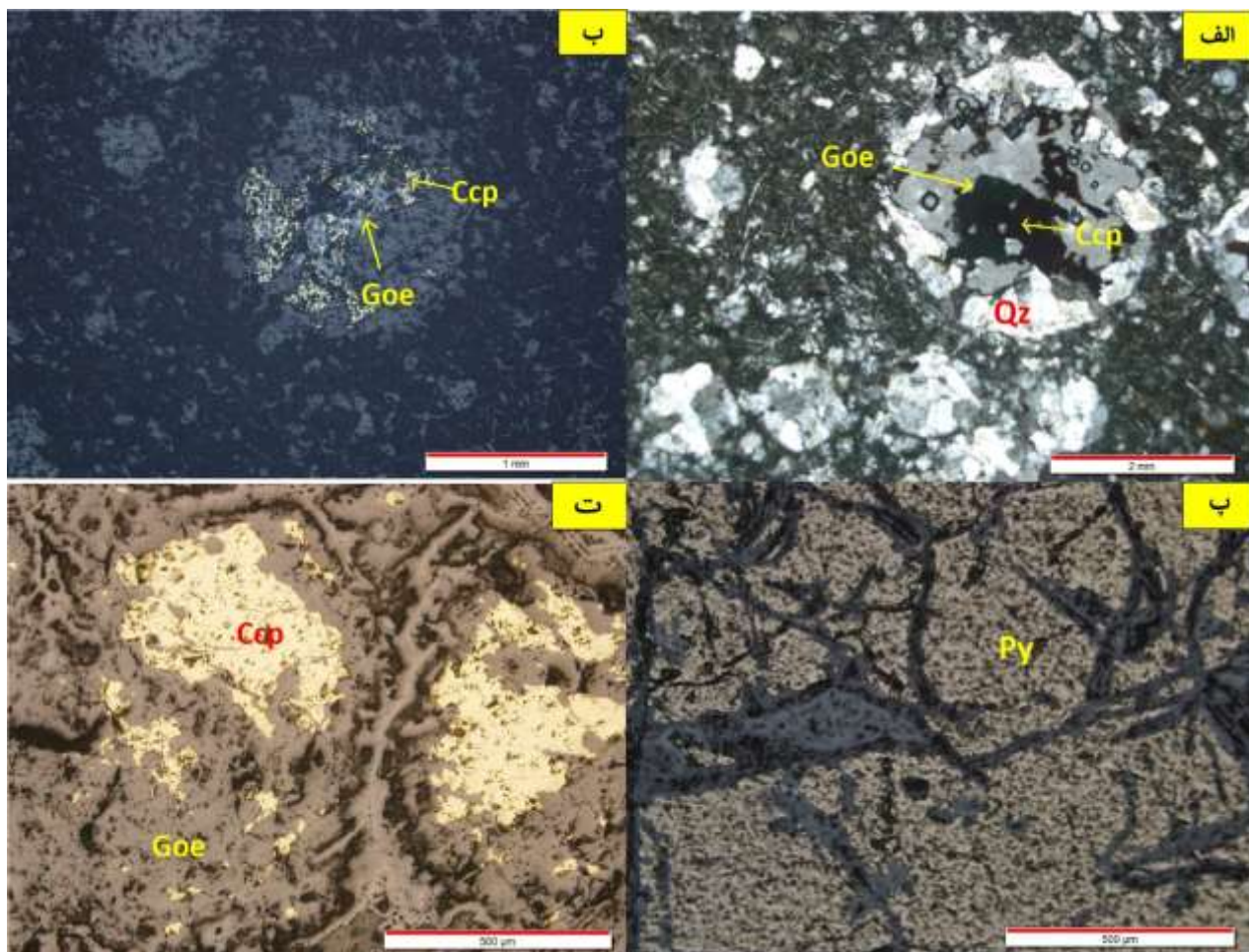
۴-۶- شکل هندسی ماده معدنی در کانسار القبایی

بر اساس مطالعات صحرایی ساخت و بافت، شکل هندسی ماده معدنی در کانسار مس-طلای القبایی، کانه زایی به صورت چینه کران و رگه-رگچه‌ای بوده و سنگ درونگیر تراکی آندزیت و آندزیت بازالت را قطع کرده است و

براساس کانی‌شناسی و نوع ارتباط ماده معدنی با سنگ میزبان، تنها رخساره کانه دار در کانسار القبایی رگه-رگچه‌ای می‌باشد (شکل ۴-۴).



شکل ۴-۶-الف-تصاویری از رخساره رگه-رگچه‌ای در پهنه استرینگر، ب)عکس نمونه دستی از پهنه استرینگر در معدن القبایی ج)تصویر میکروسکوپی از رگه رگچه‌های سیلیسی که دو نسل کوارتز دارد؛ نسل یک دانه ریز و نسل دوم درشت بلور، و اینکه بیشتر میزان کالکوپیریت همراه با کوارتز نسل دوم است که حالت کریستالین دارد، د) کالکوپیریت‌ها (Ccp) به صورت رگه-رگچه و حفره پرکن که از حاشیه به گوتیت (Goe) تبدیل می‌شوند. علائم اختصاری شکل‌ها بر اساس (Whitny., 2000) می‌باشد.



شکل ۴-۷-الف- عکس میکروسکوپی در نور عبوری که از اطراف توسط سیلیس دربر گرفته شده و در مرکز کانی اپک قرار دارد، ب، پ، ت- تصاویر میکروسکوپی در نور عبوری از حفرات که توسط کالکوپیریت و پیریت پر شده که به گوتیت تبدیل شده‌اند پیریت (py)، کالکوپیریت (Ccp)، گوتیت (Goe).

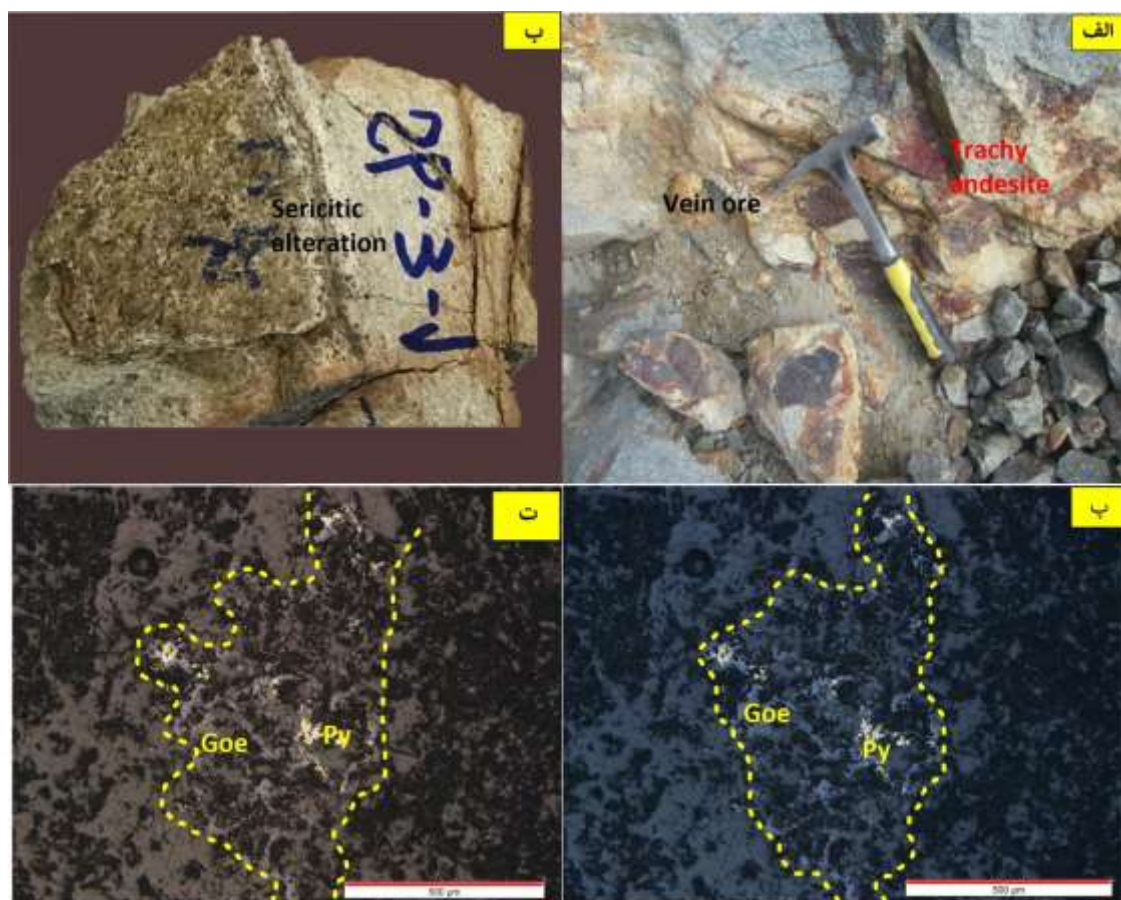
۴-۷- رخساره‌های کانه‌دار کانسنگ در اندیس سبه افق OH1

در کانه‌زایی مس در اندیس سبه، بر اساس ساخت و بافت و کانی‌شناسی و نوع ارتباط با سنگ میزبان، تنها رخساره رگه -رگچه‌ای دیده می‌شود که در واحد تراکی آندزیت به دلیل خصوصیات شکننده آن تشکیل شده است، و در بخش بالایی به صورت دانه پراکنده در واحد کریستال توف قابل مشاهده است.

۴-۷-۱- رخساره رگه-رگچه‌ای

مطالعه صحرایی نمونه‌های دستی و میکروسکوپی نشان می‌دهد که این رخساره در کانسار مس سبه وجود دارد و با توجه به پارائز کانی‌شناسی، ساخت و بافت، دگرسانی سیلیسی-سریسیتی-سولفیدی، مربوط به مرکز سیستم

و دگرسانی کلریتی در حاشیه سیستم قرار دارد که متشکل از کانی‌های پیریت و گوتیت به همراه سیلیس است (شکل ۴-۸).



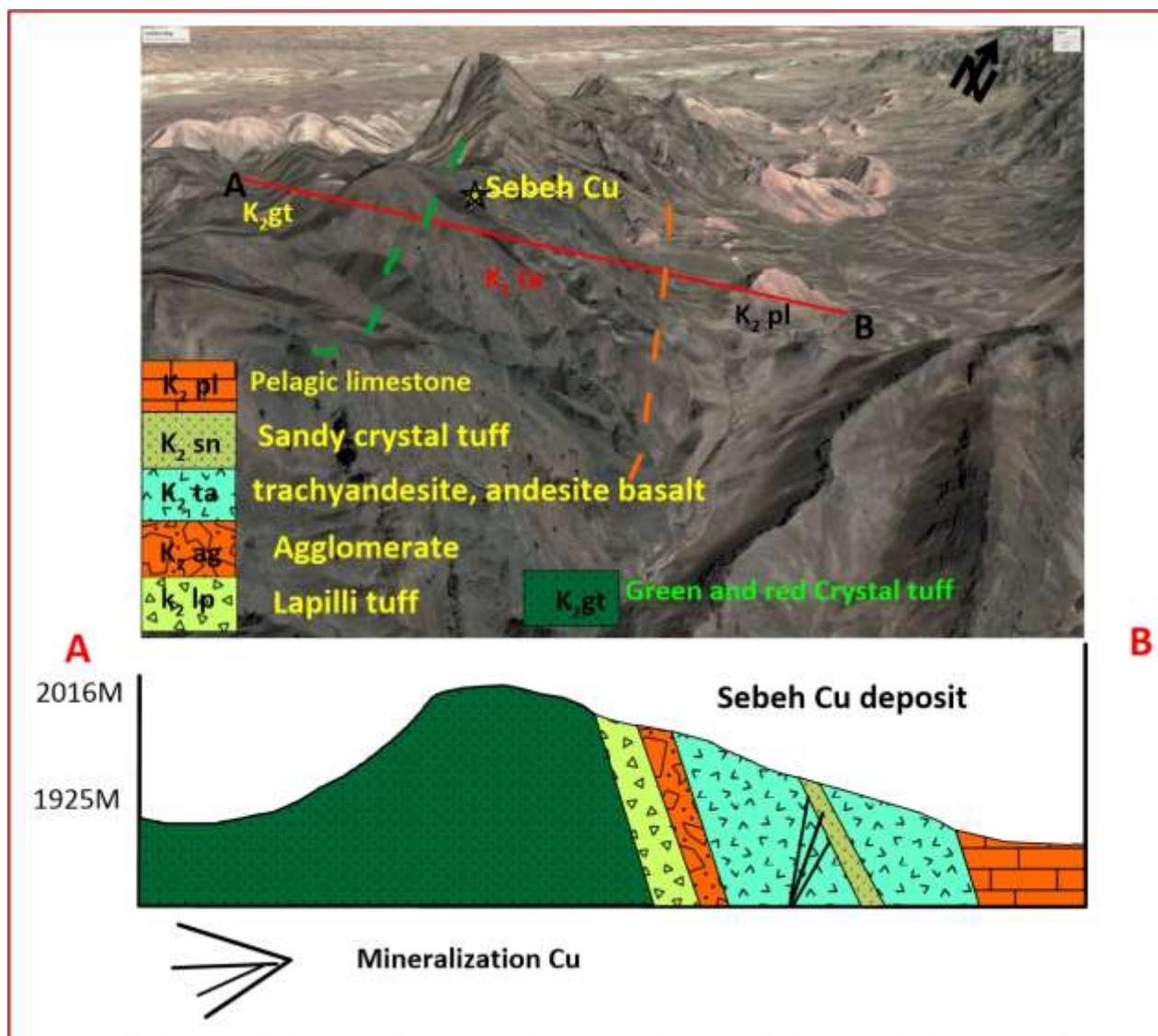
شکل ۴-۸-الف- تصویر صحرایی از رخساره رگه-رگچه‌ای و دگرسانی سریسیتی در واحد تراکی آندزیت ب تصویر نمونه دستی، ج و د- تصویر میکروسکوپی که کانی پیریت (Py) همراه سیلیس بوده و به و گوتیت (Goe) تبدیل شده است.

۴-۸- شکل هندسی ماده معدنی در کانسار مس-طلای سبه

بر اساس مطالعات صحرایی، شکل هندسی ماده معدنی در کانسار مس-طلای سبه به صورت چینه کران است و براساس کانی‌شناسی و نوع ارتباط ماده معدنی با سنگ میزبان، تنها رخساره کانه‌دار رگه-رگچه‌ای در سبه می-باشد. طرح نمادین از رخساره‌های کانه دار بر اساس پیمایش صحرایی، نمونه دستی و میکروسکوپی در شکل (۴-۹) و شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است.



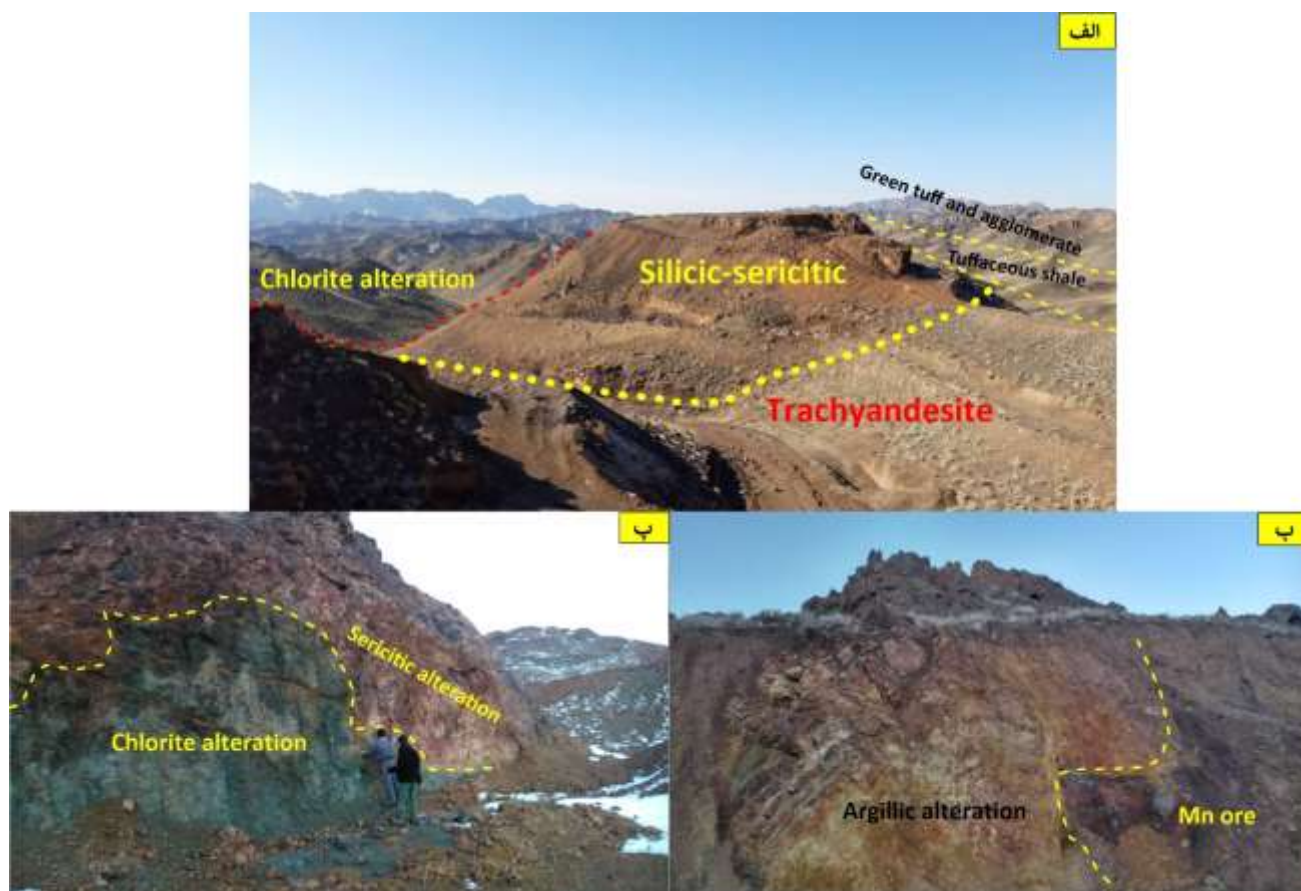
شکل ۴-۹- الف و ب- تصویر صحرایی از واحدهای سنگی و رخساره کانه‌دار در محدوده مس سبه



شکل ۴-۱۰- مقطع شمال غرب-جنوب شرق در کانسار مس سبه و افق کانه‌زایی

۹-۴- رخساره‌های کانهدار کانسنگ در کانسار طلای سه بندوق افق OH2

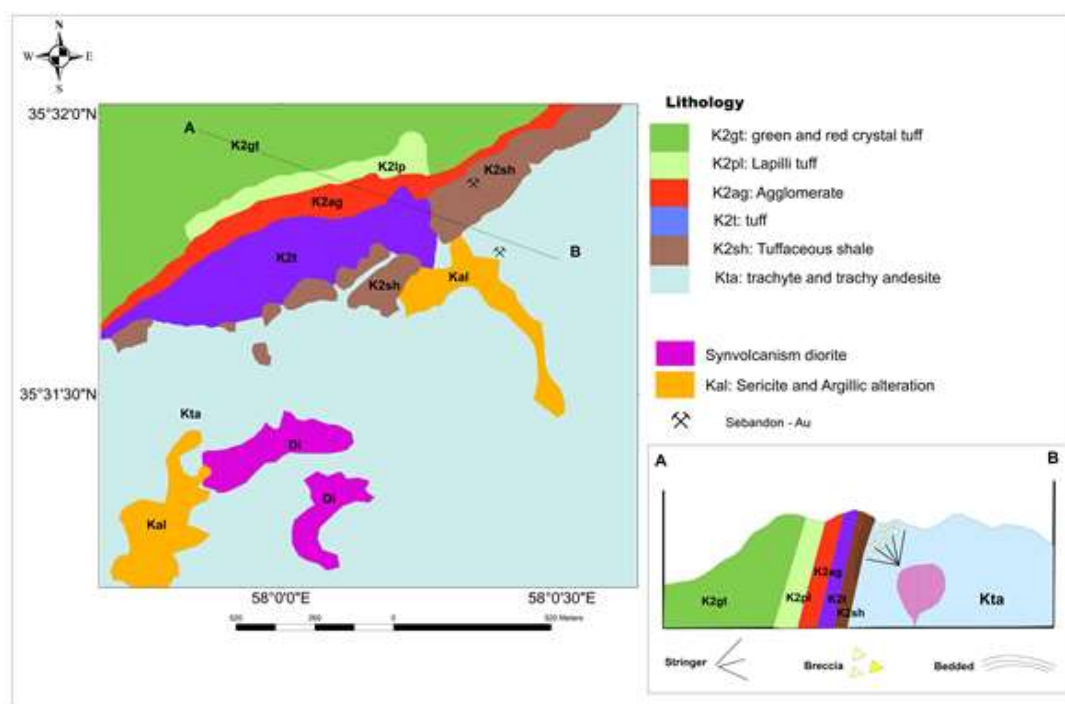
رخساره‌های کانهدار در کانسار معدن سه بندوق براساس بررسی صحرایی، نمونه دستی و مطالعه میکروسکوپی به سه رخساره رگه-رگچه ای، برشی و لایه ای (بروندمی) قابل تفکیک می‌باشد. بیشترین کانهازایی و دگرسانی در واحد تراکی آندزیت رخ داده است که با دگرسانی سیلیسی-سریسیتی سولفیدی در مرکز سیستم و دگرسانی کلریتی، اپیدوتی در حاشیه احاطه شده‌اند (شکل ۴-۱۱). با توجه به نیمرخ رسم تهیه شده (شکل ۴-۱۲) به بطور اختصاصی هر یک از این رخساره‌ها شرح داده می‌شود.



شکل ۴-۱۱-الف-تصویر صحرایی از واحدهای میزبان کانهازایی در محدوده سه بندوق و دگرسانی‌های تشکیل شده در این منطقه، ب-تصویری از دگرسانی آرژیلیک ثانویه که کانهازایی منگنز را همراهی می‌کند ب- تصویر از دگرسانی سیلیسی-سریسیتی سولفیددار که از حاشیه توسط دگرسانی کلریتی اپیدوتی در برگرفته شده است.

۴-۹-۱- رخساره رگه-رگچه‌ای

رخساره رگه-رگچه‌ای در کانسار سه بندون، به شکل شبکه‌ای از رگه-رگچه‌های سیلیسی-سولفیدی است که شامل کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، بورنیت و پیریت بوده که پیریت به گوتیت و کالکوپیریت به کوولیت تبدیل شده است. این رگه‌های سیلیسی-سریسیتی سولفیدی سنگ میزبان را قطع کرده است و ترکیب سنگ میزبان تراکی آندزیت می‌باشد. در رگه‌های اصلی سیلیسی-سولفیدی، از بیرون به سمت داخل رگه هاله واکنشی و جانشینی سولفیدها بجای کانی‌های تشکیل دهنده سنگ درون‌گیر رخ داده است. در رگه‌های کوارتزی-سولفیدی دو نسل کوارتز تشخیص داده شد که نوع یک ریز بلور و ارتباط کمتری با کانه‌زایی دارد و نوع دوم درشت بلور با بافت موزائیکی ارتباط بیشتری با کانه‌زایی دارد (شکل ۴-۱۳).



شکل ۴-۱۲- نقشه زمین شناسی رسم شده از محدوده کانسار طلای سه بندون و رخساره‌های کانه‌دار

۴-۹-۲- رخساره کانسنگ برشی (Vent complex)

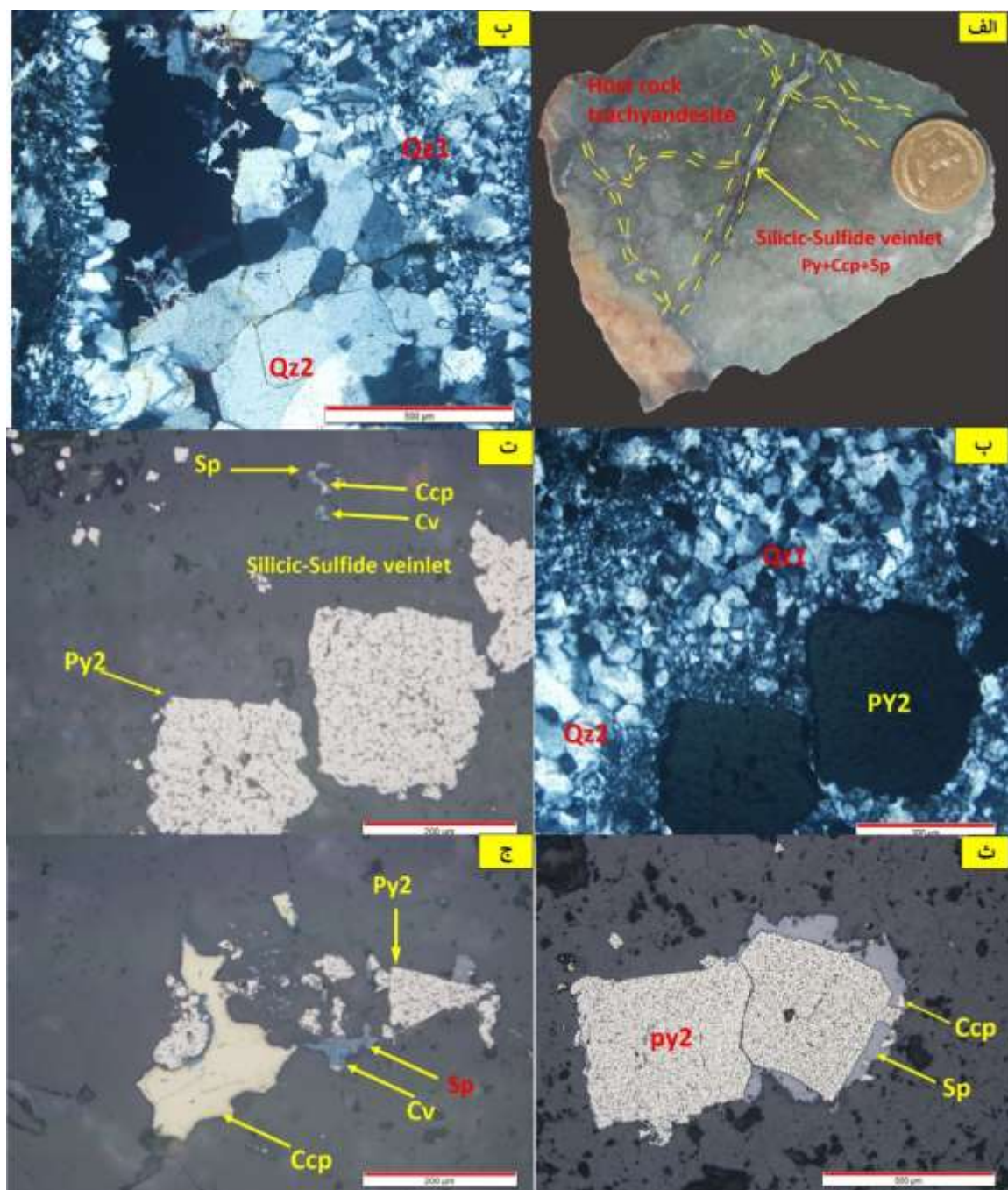
رخساره کانسنگ برشی در معدن طلای سه بندون در واحد گدازه‌های آتشفشانی تراکی آندزیت تا آندزیت بازالت دیده می‌شود که دگرسان شده و زمینه پرکننده بین آن‌ها از کوارتز و سولفید تشکیل شده است. قطعات سنگی

جورشدگی ضعیف دارند و به صورت قطعات زاویه‌دار تا گرد شده با اندازه‌های کوچک‌تر از ۴ سانتی‌متر دیده می‌شوند. که این فضا توسط کوارتز و سولفید پر شده است (شکل ۴-۱۴).

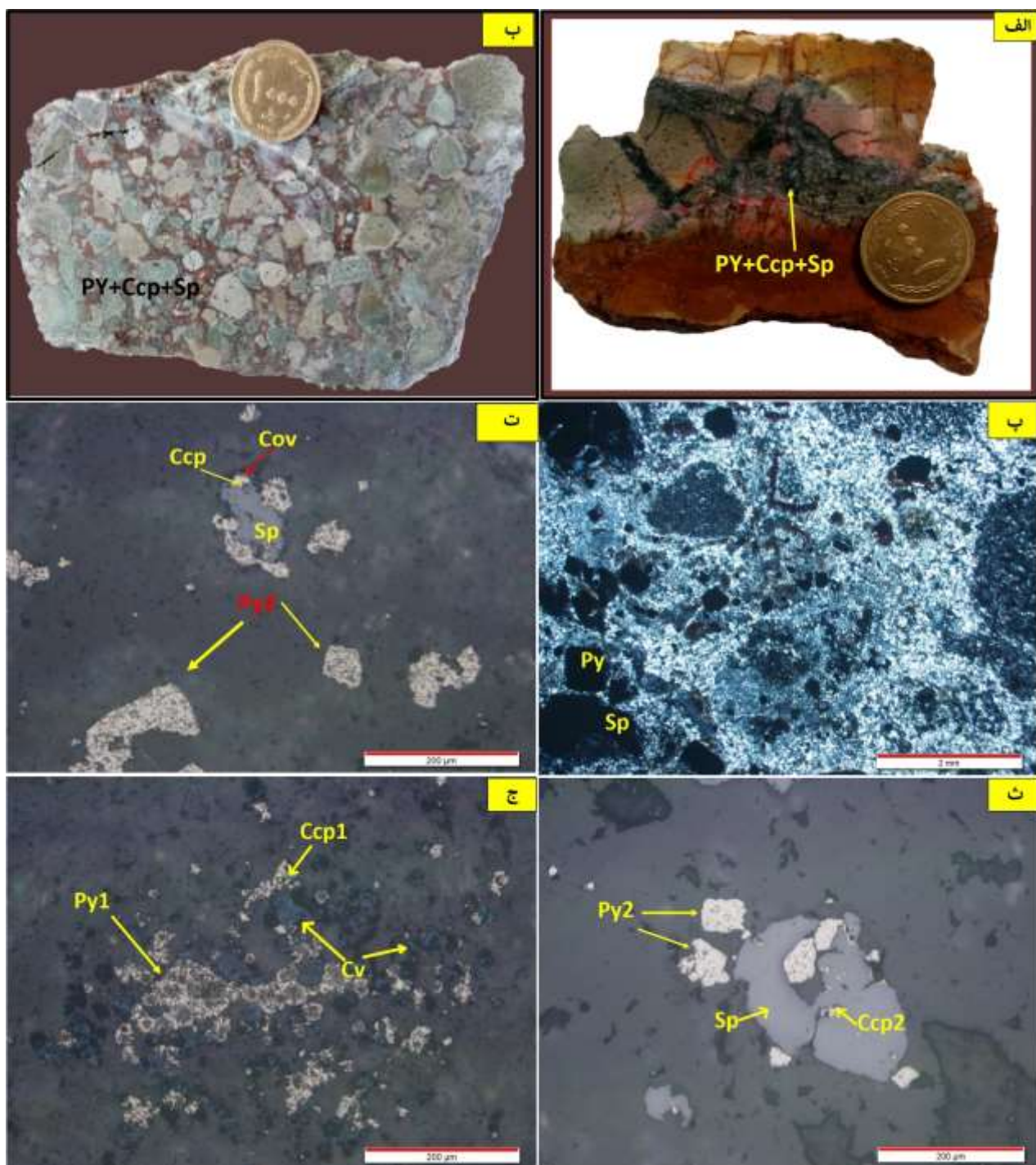
این برش‌ها در کانسار طلای سه بندون محصول فرایندهای تکتونیکی و سیالات گرمایی می‌باشد. کانه‌های این رخساره شامل پیریت (Py)، کالکوپیریت (Cpy)، اسفالریت (Sph) و کوولیت است. بافت برشی سولفیدها به همراه قطعات سنگ میزبان در رخساره توده‌ای و رگه-رگچه‌ای کانسارهای سولفیدی در ارتباط مستقیم با فعالیت گسل همزمان با رسوب‌گذاری و فعالیت گرمایی است (Maghfouri et al., 2016). توزیع کانسارهای VMS به توزیع گسل‌های هم‌زمان با آتشفشان و توده نفوذی زیر آن بستگی دارد. این گسل‌ها سیالات گرمایی فلزدار، دمابالا و اسیدی را برای تشکیل کانسارهای VMS به سمت کف دریا هدایت می‌کنند (Galley et al., 2007).

۴-۹-۳- رخساره لایه‌ای

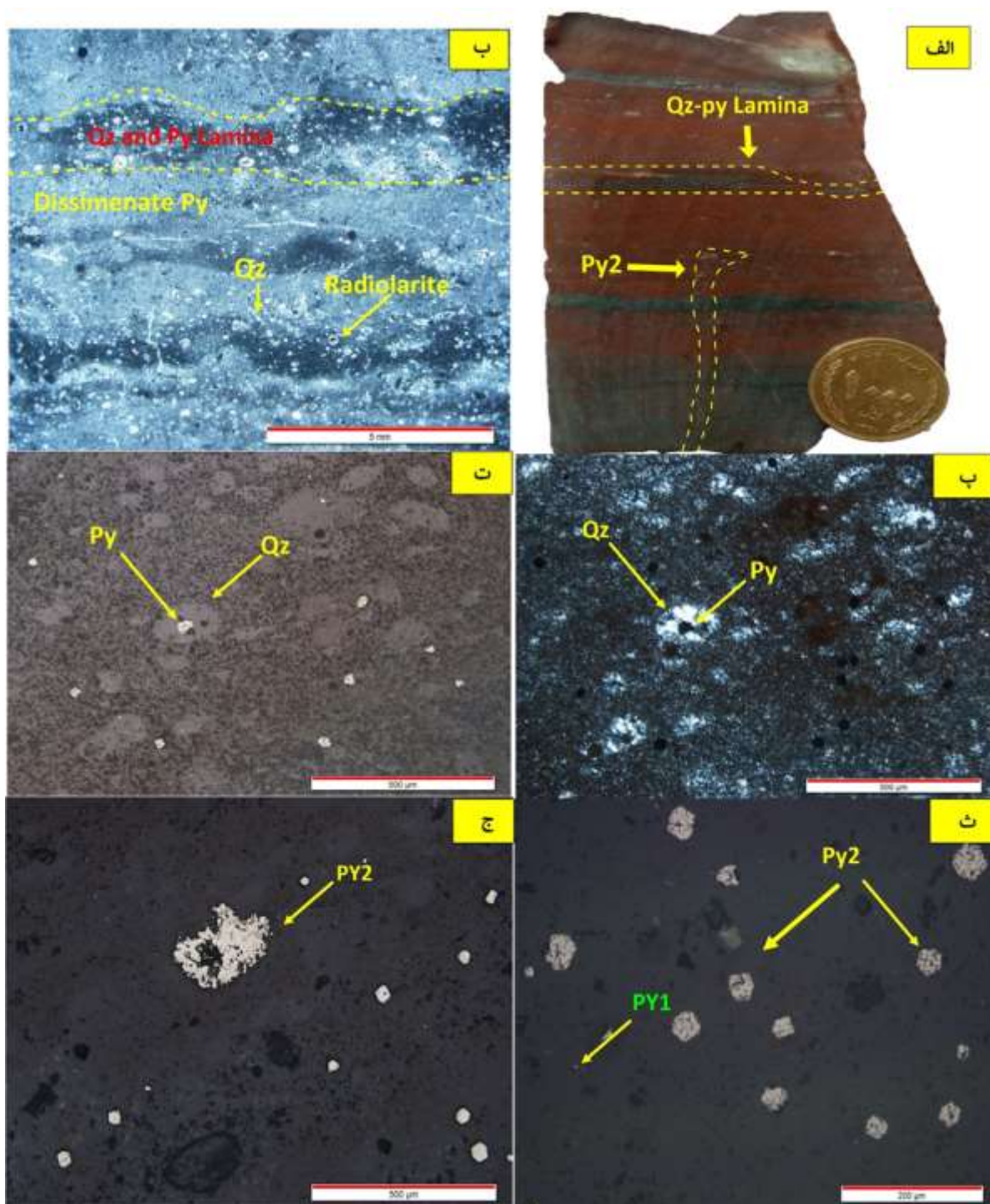
این رخساره شامل لایه‌ها و لامینه‌های سولفیدی است که ناشی از ته‌نشست همزمان کانی‌های سولفیدی با ذرات تشکیل دهنده سنگ میزبان توف شیلی در کف دریا است (Devine et al., 2002). همچنین ته‌نشست سولفیدها در امتداد لایه بندی و به صورت پراکنده در کنار هم و تشکیل لایه‌های غنی از پیریت نشان از شرایط رسوبگذاری در یک محیط آرام و ته‌نشست سولفیدها در یک محیط رسوبی پایدار می‌باشد. پیریت‌های نسل سوم و شش وجهی کانی اصلی این رخساره بوده و پیریت کلوفرمی که جزء پیریت نسل اول می‌باشد حضور دارد (شکل ۴-۱۵). سولفیدها در این رخساره بیشتر دارای بافت لامینه، نواری، دانه‌پراکنده، فرامبوئیدال و اسفروئیدی هستند (شکل ۴-۱۵). وجود لامینه‌های سولفیدی در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد منطقه چاه گز (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۸)، کانسار بوانات (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۲)، کانسار نوده (Maghfouri 2016) (S et al., و کانسار گرماب پایین (طاشی و همکاران، ۱۳۹۶) نیز گزارش شده است.



شکل ۴-۱۳-الف- تصویر نمونه دستی از رخساره رگه-رگچه‌ای در کانسار طلای سه بندون. ب) عکس میکروسکوپی از رخساره رگه رگچه ای که دو نسل کوارتز مشاهده شده است: نسل اول دانه ریز و نسل دوم دانه درشت و بوده و در حاشیه رگه‌ها کوارتز دانه ریز و در مرکز دانه درشت می‌باشد. پ- تصویر میکروسکوپی در نور انعکاسی از رگه سیلیسی که به همراه پیریت خود شکل می‌باشد. ت- تصویر از هم‌رشدی کالکوپیریت و اسفالریت که به کوولیت تبدیل شده است و پیریت نسل دوم خود شکل. ث- عکس میکروسکوپی در نور انعکاسی از پیریت (PY) نسل دوم در پهنه استرینگر که به همراه اسفالریت و کالکوپیریت هم‌رشدی دارد که پیریت‌ها در اثر تبلور مجدد خود شکل شده است. ج- هم‌رشدی پیریت (PY) اسفالریت (Sp) و کالکوپیریت (Ccp) در پهنه استرینگر محدوده سه بندون، پیریت نسل اول به نسل دو تبدیل شده و کالکوپیریت و اسفالریت هم‌رشدی دارد که به کوولیت تبدیل شده است.



شکل ۴-۱۴ الف و ب- تصویر نمونه دستی از رخساره برشی در کانسار سه بندوق که توسط سولفیدها و اکسیدهای آهن منگنز در بر گرفته است. پ- تصویر در نور عبوری که کانی‌های اپک مشخص شده است، ت، ج و ج- تصویر نمونه میکروسکوپی از همین رخساره که کانی‌های پیریت (Py)، اسفالریت (Sp)، کالکوپیریت (Ccp) و کوولیت (Cov) به صورت هم‌رشدی و جانشینی تشکیل شده است و پیریت‌های نسل اول کلوفرمی به نسل دوم خود شکل تا نیمه شکلدار تبدیل شده‌اند و کالکوپیریت نسل دوم در درون اسفالریت رشد کرده است.



شکل ۴-۱۵- رخساره کانسنگ نواری- برون‌دمی که پیریت و سیلیس همزمان رسوب کرده و حاوی فسیل رادیولاریت است. پیریت‌های دیاژنتیک سنگ چرتی را قطع کرده است نمونه دستی از رخساره نواری معدن سه بندوق تناوب لامینه‌های سولفیدی (لامینه تیره) با لامینه‌های سیلیسی و اکسیدهای آهن و منگنز (لامینه روشن)، ب- تصویر میکروسکوپی (نور عبوری) از لامینه‌های سولفیدی دانه پراکنده. پ و ت- تصویر میکروسکوپی از فسیل رادیولاریت که حفرات به جا مانده توسط سیلیس و پیریت پر شده است. ث و ج- بلورهای پیریت، دارای دو نسل که به صورت همراه ذرات تشکیل دهنده سنگ میزبان ته‌نشست پیدا کرده است که دارای پیریت نسل یک کلوفرمی، بی شکل و خودشکل نسل دوم می‌باشد. فاز سیلیسی سولفیدی در امتداد لایه بندی همزمان با لایه بندی تشکیل شده است.

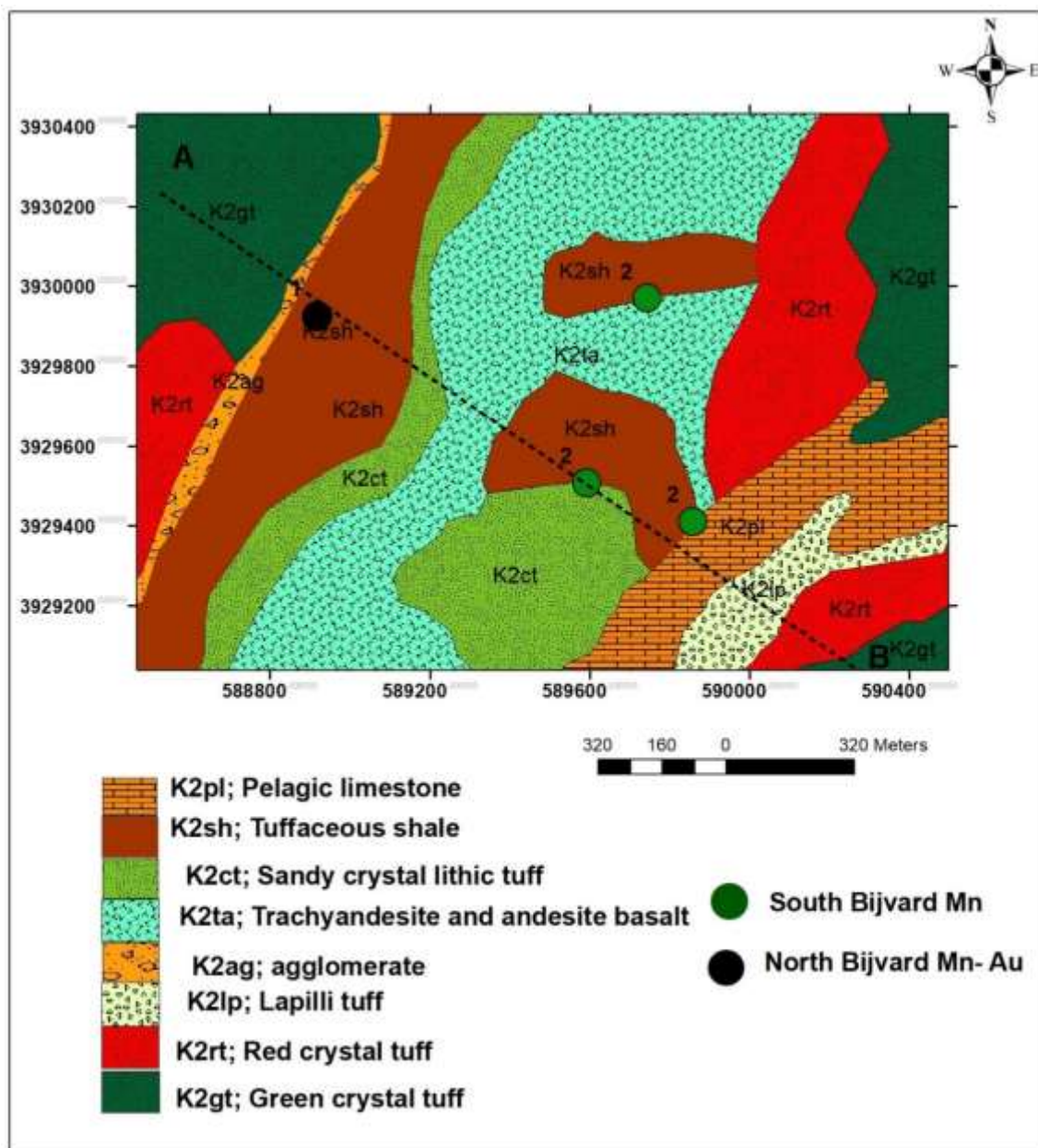
۴-۱۰- شکل هندسی ماده معدنی در کانسار طلای سه بندون

بر اساس مطالعات صحرایی ساخت و بافت، شکل هندسی ماده معدنی در کانسارهای طلای سه بندون به صورت چیننه کران بوده که پهنه کانه‌دار برشی و رگه-رگچه‌ای سنگ درون‌گیر را قطع کرده است و پهنه کانه‌دار نواری هم روند با واحد شیل توفی تشکیل شده و به صورت چیننه سان است که از گسترش خیلی کمی برخوردار می‌باشد (شکل ۴-۱۵).

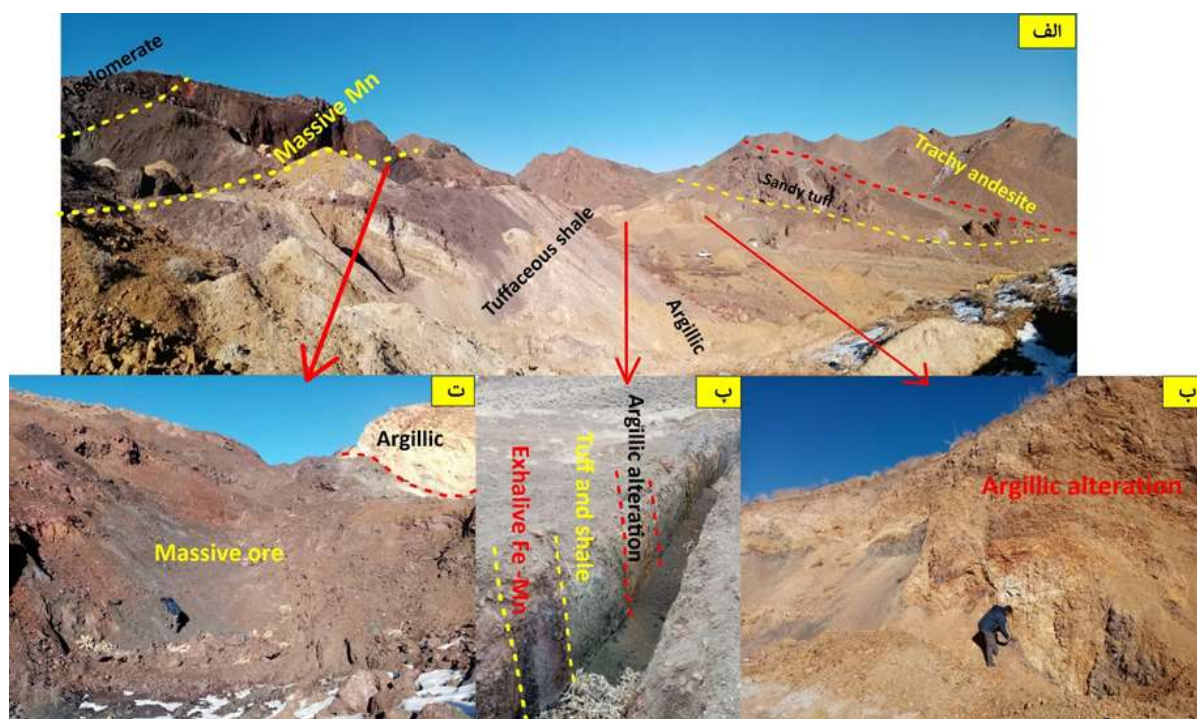
۴-۱۱- رخساره‌های کانه‌دار کانسنگ در کانسار جنوبی و شمالی منگنز دهنه بیجورد (افق OH2).

با توجه به نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس از محدوده بیجورد که مسیر نیمرخ نشان داده شده است (شکل ۴-۱۶). در مقطع شمال شرقی - جنوب غربی حدوده ۲ کیلومتر پیمایش این مسیر که نزدیک به راه مواصلاتی معدن می‌باشد انجام شد و وجود سینه کارهای عمیق و وجود ترانشه، دسترسی مناسبی از توالی واحدهای سنگی ارائه می‌دهند به طوری که می‌توان شمال شرق تا جنوب غرب کانسار را مورد ارزیابی و پی‌جویی قرار داد. بر اساس ساخت و بافت و کانی‌شناسی و نوع ارتباط با سنگ میزبان، در مسیر پیمایش از شرق به غرب کانسار، واحدهای سنگی منطقه از ویتریک کرسنال توف سبز و قرمز، آگلومرا، لاپلی توف، آهک پلاژیک (گلوبوترونکانا)، لایه شیل توفی و کربناته، توف آندزیتی و گدازه با ترکیب تراکی آندزیت تا آندزیت بازالت قابل مشاهده است. کانه‌زایی در واحد سنگی شیل توفی، آهک پلاژیک گدازه تراکی آندزیت تا آندزیت بازالت قابل پی‌گیری است. در یال جنوبی شرقی تاق‌دیس به صورت رگه رگچه‌ای و نواری و نیم توده‌ای قابل مشاهده است و در یال شمالی غربی بیشتر به صورت توده‌ای در سطح و برشی در عمق گسترش دارد. کانه‌زایی طلا در یال شمال غرب با منگنز در واحد شیل توفی به همراه کانی پیریت دیده می‌شود و طبق حفاری انجام شده کانه‌زایی طلا فقط مختص واحد شیل توفی بوده که پیریت دانه پراکنده طلا را همراهی می‌کند و از نظر فاز تشکیل طلا شباهت زیادی به معدن سه بندون دارد، کانه‌زایی منگنز در عمق در واحد گدازه به صورت برشی و استرینگر مشاهده می‌شود که پیریت-های فاز اول را دربرگرفته است و در سطح به صورت توده‌ای، نیم توده‌ای، نواری بروندمی تشکیل شده است

(شکل ۴-۱۷). با توجه به مطالعه صحرایی انجام شده طرح نمادین از رخساره‌های کانه‌دار بر اساس ترانشه، نمونه دستی و میکروسکوپی و بررسی صحرایی در شکل (۴-۱۸) نشان داده شده است.



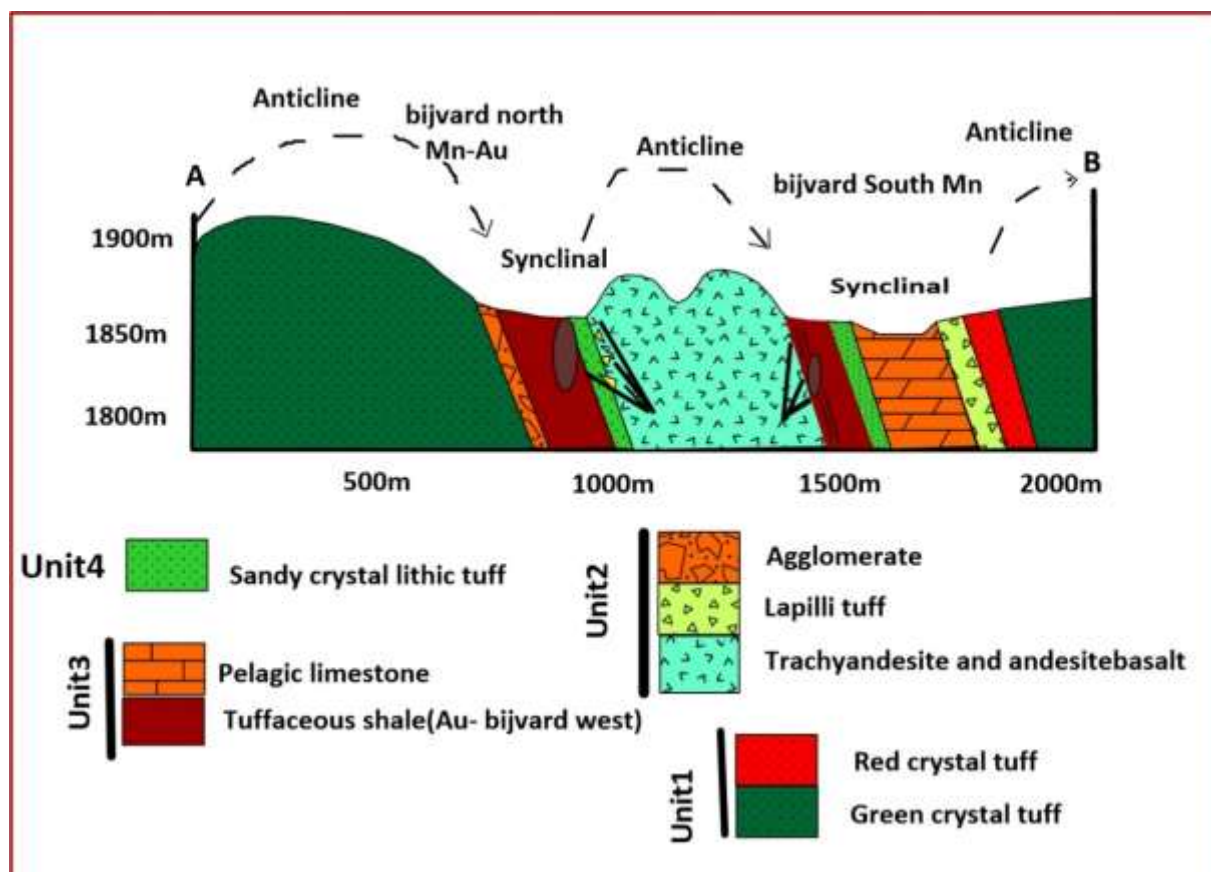
شکل ۴-۱۶- نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس محدوده معدنی منگنز- طلا دهنه بیجورد



شکل ۴-۱۷-الف-تصویر صحرایی از واحد کانه‌زایی منگنز-طلای بیجورد شمالی بر اساس پیمایش انجام شده و نیم‌رخ رسم شده از سمت شرق به سمت غرب واحدهای تراکی‌آندزیت، توف ماسه‌ای، شیل توفی و در بالای این واحد آگلومرا و کریستال توف سبز و قرمز قرار دارد ب، پ، ت- واحد شیل توفی میزبان منگنز به صورت اگزالات و در گدازه و شیل توفی به صورت توده‌ای تشکیل شده است و واحد شیل توفی دچار هوازدگی سوپرژن تحت تاثیر آب جوی قرار گرفته و کانی‌های سولفیدی اسید سولفوریک تولید کرده و باعث آرژیلیک ثانویه در سطح کانسار شده است که دارای عیار بالاتر طلا می‌باشد. در واحد شیلی کانه‌زایی طلا همراه پیریت رخ داده است که پیریت‌ها بعداً در اثر فروپاشی باعث رخداد پهنه سوپرژن در کانسار شده است.

۴-۱۱-۱- رخساره رگه-رگچه‌ای در کانسار جنوبی منگنز بیجورد

رخساره رگه - رگچه‌ای در کانسار منگنز دهنه بیجورد در سنگ درون‌گیر توف و گدازه در کمر پایین کانسار قابل مشاهده است که حاکی از عبور سیال کانه‌دار می‌باشد و متشکل از کلسیت ثانویه، اکسید آهن و پیرولوژیت می‌باشد. و در زیر کانسنگ توده‌ای تا نیمه توده‌ای دیده می‌شود که محل عبور سیال کانه‌دار می‌باشد و باعث دگرسانی سریسیتی، کلریتی، اپیدوتی و آرژیلیکی ثانویه در سنگ میزبان کانه‌زایی شده است (شکل ۴-۱۹).

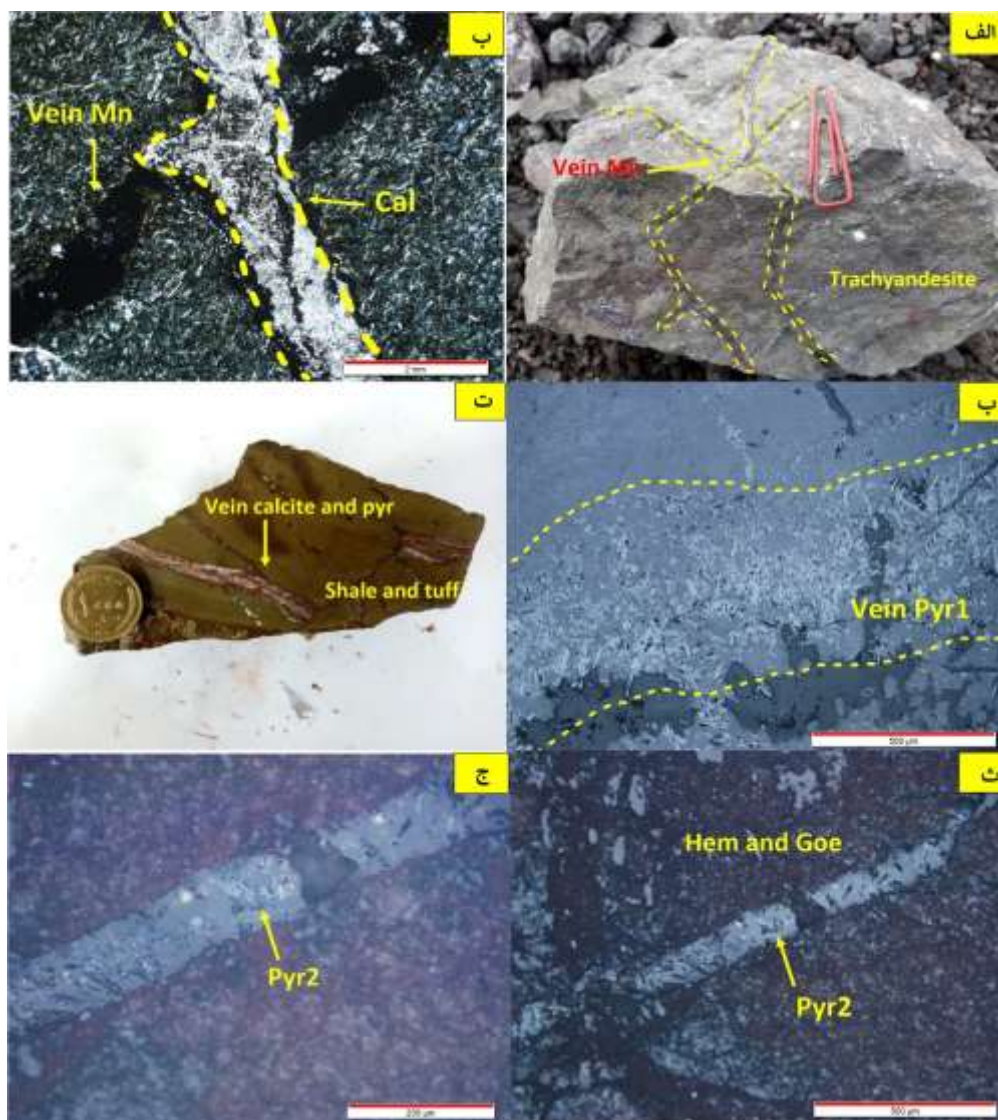


شکل ۴-۱۸- مقطع شمال غرب-جنوب شرق در کانسار منگنز- طلای دهنه بیجورد و رخساره‌های کانه‌دار و شکل هندسی ماده معدنی

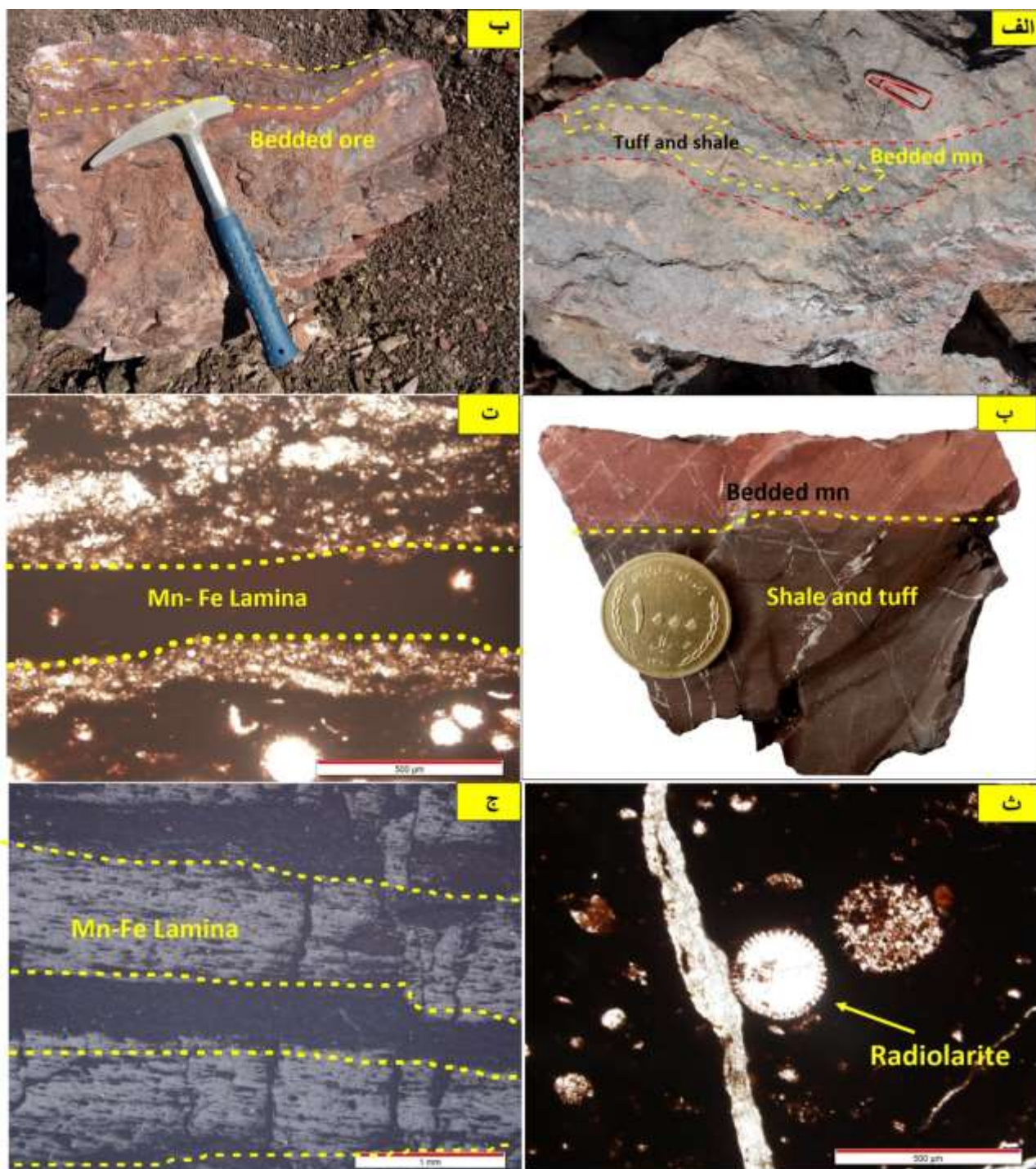
۴-۱۱-۲- رخساره نواری-بروندی غنی از منگنز کانسار بیجورد جنوبی

رخساره لایه‌ای در کانسار منگنز دهنه بیجورد در یال جنوب شرقی بیشترین گسترش را دارد و گسترش کمتری نسبت به بخش نیم توده‌ای دارد که لایه‌های متعددی از اکسید آهن و منگنز دارا می‌باشد. رخساره کانسنگ لایه‌ای، همروند با لایه‌بندی واحد آتشفشانی-رسوبی و به صورت (چینه سان) بوده و سنگ در برگیرنده این رخساره کانه‌دار شیل توفی کمر بالای کانسار، و توف آندزیتی و گدازه تراکیت آندزیتی کمرپایین کانسار است. در این بخش از کانسار کانه اصلی پیرولوویت می‌باشد که از نظر اقتصادی به دلیل گسترش قابل توجه می‌تواند مورد استخراج قرار بگیرد. طبق بررسی صحرایی و میکروسکوپی کانه‌زایی منگنز با یک شاهد خیلی خوب که دلیل بر یک محیط زیر دریایی می‌باشد همراهی می‌شود که این شاهد، فسیل رادیولاریت است که شاخص محیط دریایی عمیق بوده که در مقاطع میکروسکوپی مشاهده گردید و در قسمت سطحی کانسار همراه با اگزالات آهن و منگنز

قرار گرفته است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، کانه‌های تشکیل‌دهنده این رخساره بیشتر شامل پیرولولزیت و اکسید آهن می‌باشد (شکل ۴-۲۰). نکته خیلی مهم در این قسمت که ذکر آن ضرورت دارد وجود فسیل رادیولاریت در معادن طلای سه بندون در قسمت اگزالات و معدن طلا-منگنز بیجورد می‌باشد که در هر دو معدن تکرار شده و تنها اختلاف در کانه‌های تشکیل شده در بخش اگزالات می‌باشد که در معدن سه بندون بیشتر به همراه پیریت ولی در معدن بیجورد بیشتر به همراه آهن و منگنز تشکیل شده است.



شکل ۴-۱۹-نمایی از رخساره رگه-رگچه‌ای در کانسار منگنز بیجورد جنوبی، الف- نمونه دستی از سنگ تراکی آندزیتی که رگه-رگچه‌های منگنز در آن تشکیل شده است. ب- تصویر میکروسکوپی رگه منگنز که دارای کانی اکسید آهن و منگنز می‌باشد که توسط رگه کلسیتی (Ca) جوان ماده معدنی را قطع کرده است و دچار دگرسانی کلریتی شده است. پ-تصویر میکروسکوپی در نور انعکاسی از رگه پیرولولزیت که با بافت شعاعی و تیغه‌ای، ت- تصویر نمونه دستی از رگه کلسیتی ثانویه همراه با منگنز در سنگ شیل توفی ث- و ج- تصویر میکروسکوپی در نور انعکاسی از رگه کلسیت ثانویه که کانه پیرولولزیت فاز تاخیری با بافت تیغه‌ای همراه با گوتیت و هماتیت تشکیل داده است.



شکل ۴-۲۰-الف، ب و پ- تصویر صحرایی از رخساره نواری -بروندمی در کانسار منگنز دهنه بیجورد که در واحد توف شیلی تشکیل شده است، ت و ث- تصویر میکروسکوپی در نور عبوری از لامینه‌های آهن و منگنز همراه با فسیل رادیولاریت که نشان از محیط زیر دریایی می‌باشد و کانه‌زایی منگنز با واحد چرتی همزمان بوده است، ج- تصویر میکروسکوپی در نور عبوری از نوارهای غنی از آهن و منگنز که هم‌رند با شیل توفی قرار گرفته است.

۴-۱۱-۳- شکل هندسی ماده معدنی در کانسار جنوبی منگنز دهنه بیجورد

بر اساس مطالعات صحرایی ساخت و بافت، شکل هندسی ماده معدنی در کانسار جنوبی منگنز دهنه بیجورد به صورت چینه کران و چینه سان بوده که پهنه کانه‌دار رگه-رگچه‌ای و نیمه توده‌ای سنگ درون‌گیر را قطع کرده است و پهنه کانه‌دار نواری هم روند با سنگ درون‌گیر به صورت چینه سان تشکیل شده است (شکل ۴-۱۸).

۴-۱۱-۴- رخساره مجموعه دهانه‌ای (vent complex) بیجورد شمالی

رخساره کانسنگ برشی در معدن منگنز-طلای بیجورد در واحد گدازه‌های آتشفشانی آندزیت بازالت دیده می‌شود که دگرسان کلریتی را متحمل شده است و زمینه پرکننده بین آن‌ها از پیریت (و اکسید آهن و منگنز ثانویه) تشکیل شده است و در زیر رخساره توده‌ای قرار دارد که شامل کانی‌های بخش احیایی می‌باشد و این طور می‌توان بیان کرد که در ابتدا دما بالاتر بوده و محیط احیایی حاکم بوده است و کانی‌های سولفیدی مانند پیریت تشکیل شده و در ادامه به سمت کف دریا به فاز اکسیدان تبدیل شده و کانی‌های پیرولولزیت و هماتیت در کف دریا را تشکیل داده است (شکل ۴-۲۱).

۴-۱۱-۵- رخساره توده‌ای کانسار بیجورد شمالی

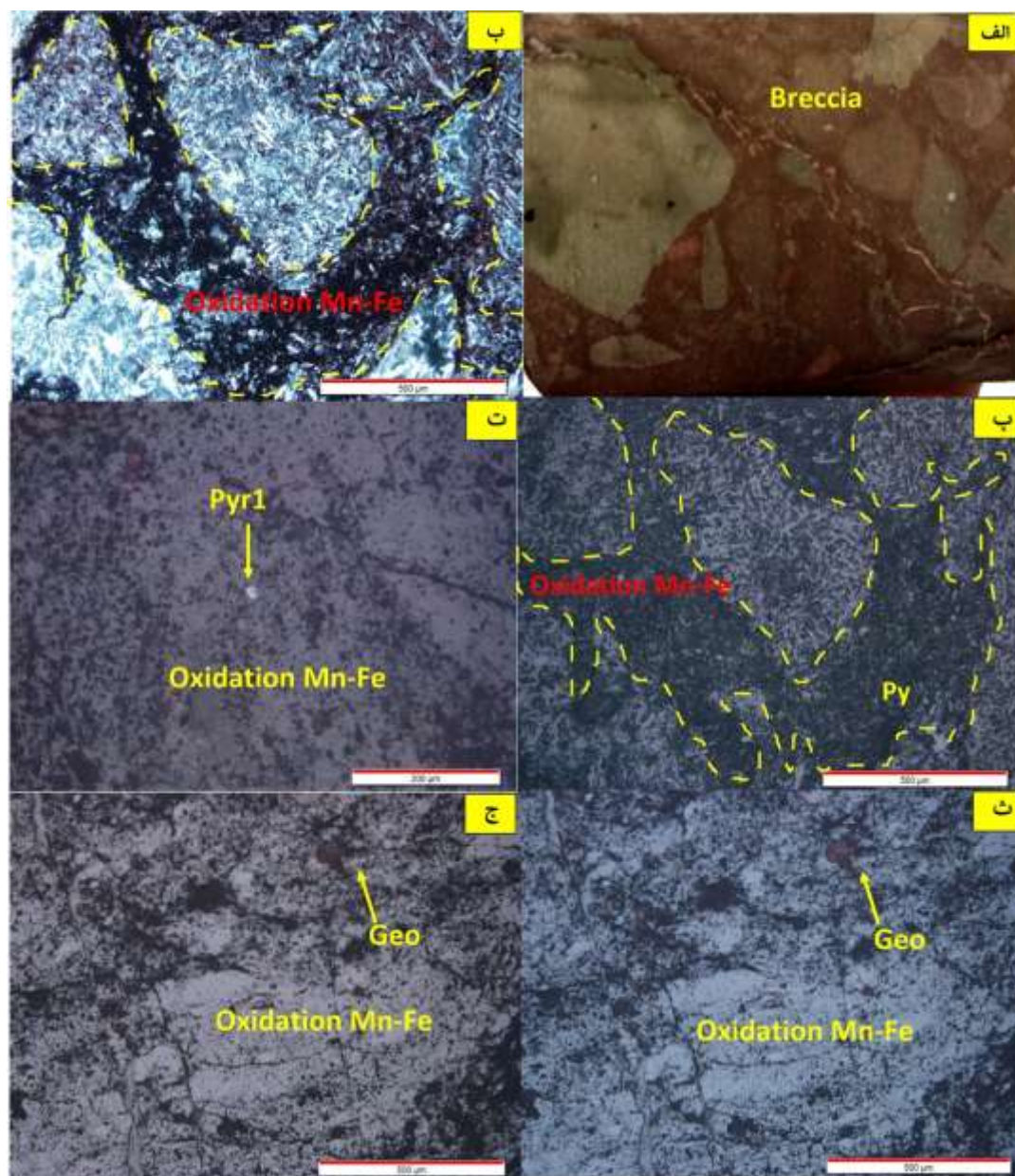
این رخساره در کانسار منگنز-طلای دهنه بیجورد که در یال شمال غرب بیشترین گسترش را دارد و بخش ضخیم و پرعیار کانسار را تشکیل می‌دهد. این رخساره کانسنگ در مقایسه با رخساره‌های دیگر منگنز دارای بافت توده‌ای تا نیمه توده‌ای و تقریباً چینه کران می‌باشد. این رخساره به طور غالب با کانی پسیلوملان و پیرولولزیت همراهی می‌شود که حدود ۷۰ درصد رخساره را در بر گرفته است و در تماس با دگرسانی آرژلیک ثانویه قرار دارد که این بخش دگرسان شده دارای عیار طلا در حدود ۱ پی پی ام می‌باشد (شکل ۴-۲۲).

۴-۱۱-۶- شکل هندسی ماده معدنی در کانسار شمالی منگنز دهنه بیجورد

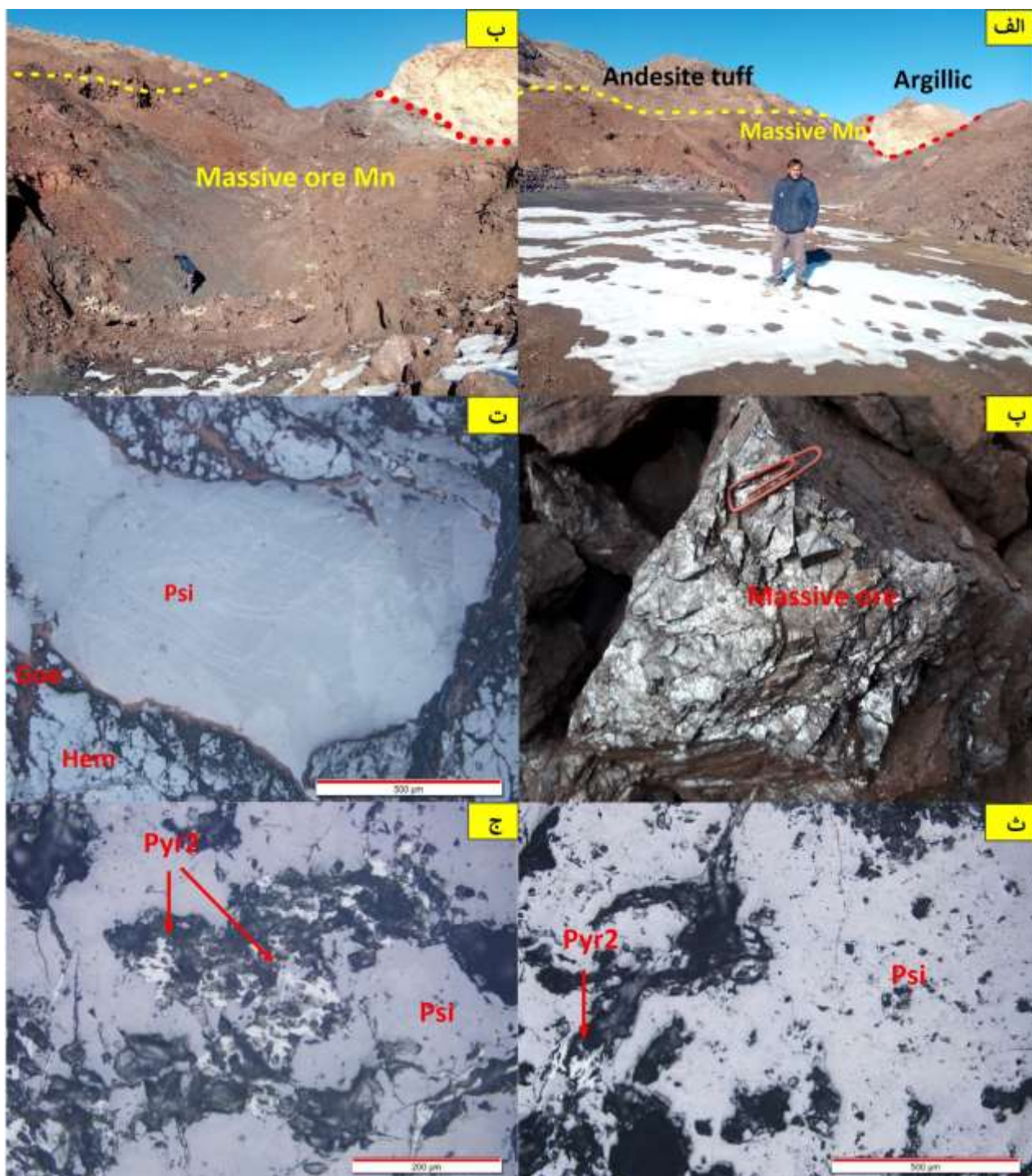
بر اساس مطالعات صحرایی و ساخت و بافت، شکل هندسی ماده معدنی در کانسار شمالی منگنز دهنه بیجورد به صورت چینه کران بوده که پهنه کانه‌دار رگه-رگچه‌ای، برشی و توده‌ای سنگ درون‌گیر را قطع کرده است.

۱۲-۴- شکل هندسی طلا در کانسار منگنز دهنه بیجورد شمالی

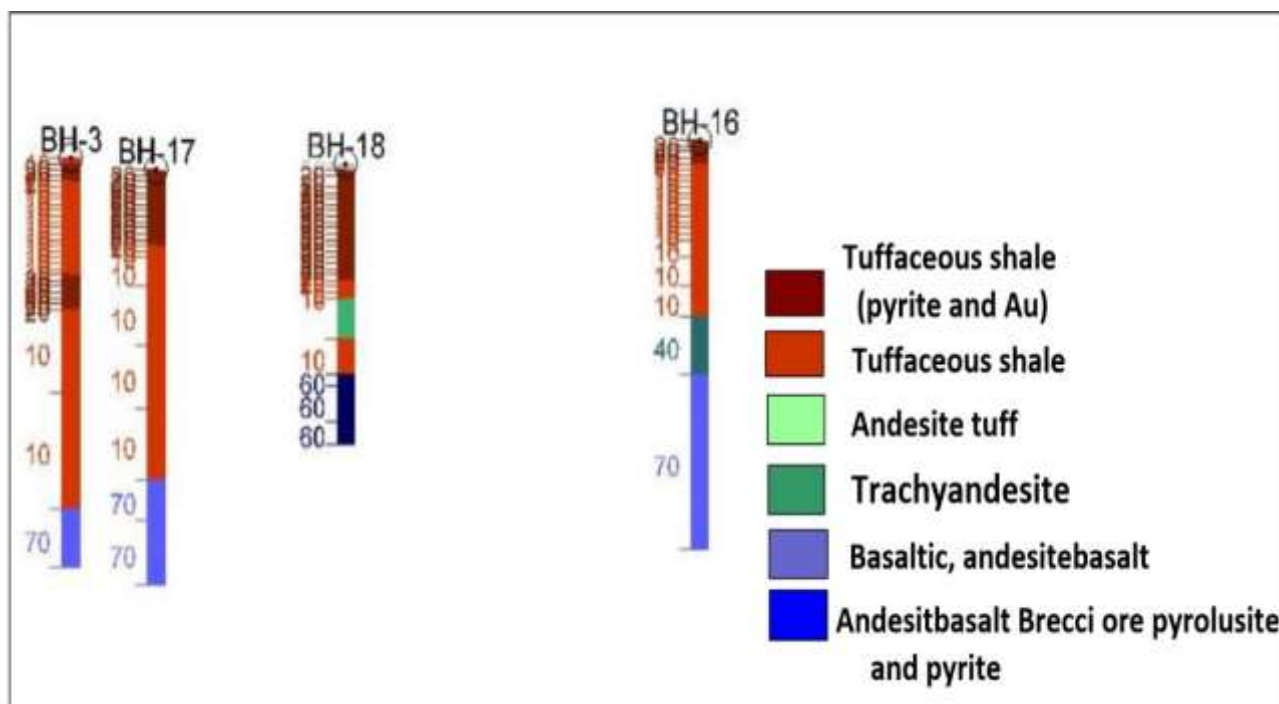
براساس مشاهدات صحرایی و مغزه‌های حفاری، ماده معدنی در کانسار مورد مطالعه بصورت چینه سان در واحد شیل توفی همراه پیریت دانه پراکنده بوده که در روی این رخساره، رخساره برشی منگنز قرار دارد تشکیل شده است (شکل ۴-۲۳).



شکل ۴-۲۱-الف- تصویر نمونه دستی از رخساره برشی در معدن منگنز-طلای بیجورد شمالی، ب- تصویر میکروسکوپی از واحد آندزیت بازالت که بافت‌های میکرولیتی، پورفیری وزیکولار دار که زمینه کلریتی شده و پلاژیوکلاز پراکنده تشکیل شده است. پ- تصویر میکروسکوپی از واحد برشی در نور انعکاسی و کانه‌های پیریت، ت- تصویر میکروسکوپی از پیرولوزیت و اکسیدهای آهن، ث و ج- تصویری از بخش اکسیدی آهن گوتیت و هماتیت



شکل ۴-۲۲ الف و ب -نمایی از رخساره توده‌ای منگنز دهنه بیجورد که دگرسانی آرژیلیکی در تماس با رخساره توده‌ای منگنز بیجورد و امتداد شمالی- جنوبی دارد که کانه‌زایی طلا در این بخش اتفاق افتاده است (دید عکس به سمت شمال). پ- تصویر نمونه دستی از رخساره توده‌ای که کانه پیرولولزیت و پسیوملان دارد، ت- تصویر میکروسکوپی در نور انعکاسی از کانسنگ توده‌ای منگنز که دارای کانه پسیوملان و هماتیت و گوتیت در اطراف می‌باشد که حاسیه واکنش را نشان می‌دهد، ث و ج- تصویر میکروسکوپی از کانه‌های پسیوملان و پیرولولزیت که پیرولولزیت ها توسط پسیوملان جانشین شده اند.

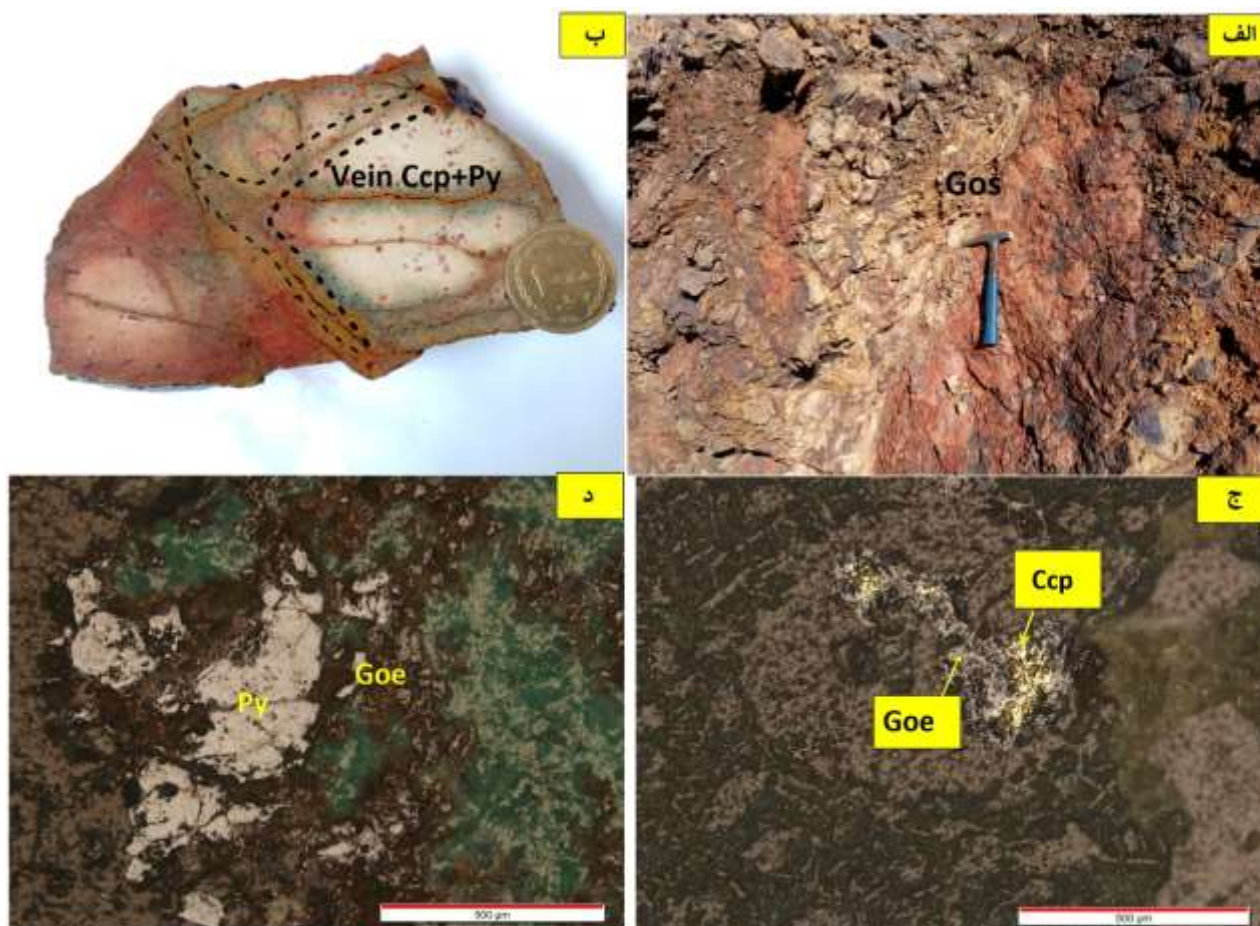


شکل ۴-۲۳- موقعیت کانه‌زایی طلا در واحد شیل توفی همراه پیریت که از لحاظ چینه‌شناسی بر روی رخساره کانسنگ برشی منگنز قرار دارد که البته گمانه‌ها از کمرپایین به سمت کمربالا حفر شده‌اند، لذا در گمانه‌ها بخش سولفیدی در بالای بخش اکسیدی دیده می‌شود. در تعدادی از گمانه‌هایی که کانه‌زایی طلا را قطع کرده وارد شده است کانه‌زایی در عمق گسترشی ندارد و بیشتر در سطح و همراه لایه شیلی توفی می‌باشد که به صورت دانه پراکنده از پیریت تشکیل شده است و طلا همراه پیریت و به شکل صفحه‌ای می‌باشد.

۴-۱۳- هوازدگی

۴-۱۳-۱- بخش اکسیدان (لیمونیت و گوتیت)

این رخساره در کانسار مس القبایی بر روی کانسنگ رگه-رگچه‌ای قرار گرفته است. کانی‌های موجود در این بخش شامل لیمونیت و گوتیت (شکافه پرکن فضای خالی)، مگنتیت ماریتیتی شده به صورت حفره پرکن و پیریت هوازده که هماتیتی شده است. پیریت و کالکوپیریت در شرایط اکسیدان و در مجاورت سیالات جوی دچار شرایط سوپرژن شده و آب‌های اسیدی و اکسیدان حاصل این واکنش موجب انحلال فلزات پایه گردیده و این کانی‌ها را انتقال داده و به صورت کانی اکسیدی لیمونیت، گوتیت و کربناته مس مالاکیت ته‌نشست می‌دهد که موجب تشکیل بخش اکسیدان (هماتیت و گوتیت) در بخش کمر بالای کانسار می‌شود (شکل ۴-۲۴ ج، د).



شکل ۴-۲۴-الف- تصویر صحرایی از بخش اکسیدان در معدن القبابی، ب- تصویر نمونه دستی از دگرسانی سریسیتی که کانی‌های سولفیدی اولیه دگرسان شده و به اکسیدها تبدیل شده است. ج- تصویر میکروسکوپی از بخش سولفیدی اولیه کانی کالکوپیریت که از کناره به هماتیت تبدیل شده است د- تصویر میکروسکوپی از بخش اکسیدان که پیریت (Py) به گوتیت (geo) تبدیل شده است.

۴-۱۴- دگرسانی

اجزای سازنده سیال کانه‌دار در اثر تغییرات شرایط فیزیکوشیمیایی سیال (دما، فشار، ترکیب شیمیایی سیال و خصوصیات سنگ میزبان)، نهشته می‌شوند. این تغییرات در نتیجه واکنش سیال با سنگ میزبان، جوشش و یا واکنش با سیالات با شوری و دمای متفاوت ایجاد می‌شود. سنگ‌های دربرگیرنده کانسارهای گرمابی تقریباً همیشه آثار واکنشی نشان می‌دهند، که توسط نسبت کاتیون‌های فلزی به یون هیدروژن در محلول دگرسان-کننده کنترل می‌شود. اگر نسبت یون‌های قلیایی به یون هیدروژن در محلول پایین باشد، فلدسپات‌ها و سایر سیلیکات‌ها ناپایدار شده و فرایند هیدرولیز روی می‌دهد که منجر به خروج کاتیون‌ها شده، در جریان این فرایند سیال‌ها و سنگ‌ها خود را با شرایط جدید تطبیق می‌دهند که دگرسانی گویند. آثار دگرسانی ممکن است در حد

پهنای یک یا چند دانه کانی در دیواره رگه بوده یا تا کیلومترها در اطراف، شبکه‌ای از رگه‌ها گسترش داشته باشد. از آنجا که هاله‌های دگرسانی‌های گرمابی در خارج از محدوده کانسنگ‌های معدنی گسترش قابل توجهی دارند، از این رو مطالعه دگرسانی‌ها در اکتشاف کانسارها اهمیت زیادی داشته و تمرکز فعالیت‌های اکتشافی به طرف مرکز کانی‌سازی را امکان پذیر خواهد ساخت (Pirajno, 2009). دگرسانی گرمابی در کانسار مس القبابی، بیشتر در واحد تراکیت- تراکی آندزیت رخ داده است و نوع دگرسانی‌ها با توجه به جنس سنگ میزبان و فاصله از مرکز دگرسانی به سمت اطراف متفاوت بوده و شامل سیلیسی-سریسیتی-کربناته، کلریتی، اپیدوتی، آرژیلیکی (ثانویه) می‌باشد.

۴-۱۴-۱- عوامل موثر بر دگرسانی

عوامل موثر بر دگرسانی عبارتند از:

۱- خصوصیات سنگ دیواره

۲- خصوصیات سیال مهاجم (که تعیین‌کننده فاکتورهای چون pH, Eh, فشار بخار، ترکیب آنیون- کاتیون و درجه آبکافت)

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

یکی از خصوصیات جالب توجه دگرسانی، منطقه‌بندی آن است. بیشتر محدوده‌های معدنی مس- طلا، دگرسانی- های شاخص و نسبتاً مشابهی دارند که با مطالعات عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای قابل تشخیص است که این خود در اکتشاف کانسارهای مس - طلا همراه با دگرسانی بسیار استفاده می‌شود (Lentz, 1998). میزان دگرسانی بر حسب فاصله از افق معدنی متفاوت بوده و بیشترین میزان دگرسانی مربوط به کمربند و نزدیک به افق معدنی است، و شدت دگرسانی به سمت کمر بالا کاسته می‌شود (Peter et al., 1999). براساس مطالعات صحرایی، میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD، بر روی تعدادی از نمونه‌های برداشت شده از کانسار مس-طلای القبابی و کانسار طلا-مگنز دهنه بی‌جورد نشان می‌دهد به طور عمده بیشترین حجم دگرسانی‌ها مربوط به دگرسانی کلریتی، اپیدوتی، سیلیسی-سریسیتی- کربناته و آرژیلیتی می‌باشد (شکل ۴-۲۵). همچنین این که توالی آتشفشانی - رسوبی در منطقه حاکی از رخداد آتشفشانی در محیط زیر دریایی است. بنابراین کانه‌زایی در محیط

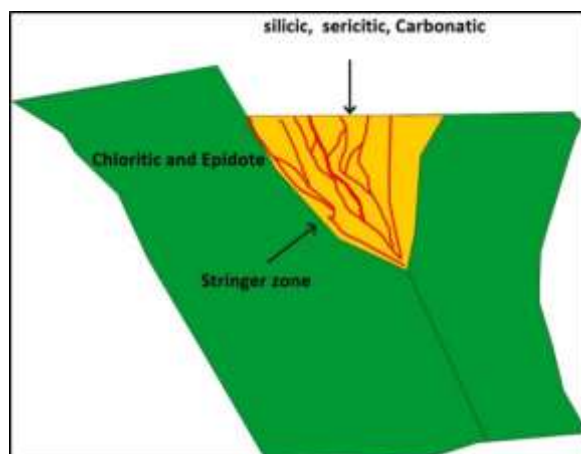
زیردریایی عمده‌ترین دگرسانی‌ها عبارتند از کلریتی، سیلیسی و سریسیتی می‌باشد. در این قسمت دگرسانی‌های موجود در منطقه به اختصار توضیح داده می‌شود.

۴-۱۴-۲- دگرسانی کلریتی

این دگرسانی گسترده‌ترین نوع دگرسانی در کانسار مس القبایی و دیگر کانسارهای مس، طلا و منگنز در توالی آتشفشانی رسوبی کرتاسه پسین در شمال بردسکن است که دارای رخساره‌های توده‌ای، برون‌دمی، برشی و پهنه استرینگر می‌باشد. دگرسانی کلریتی نوعی دیگر از دگرسانی پروپیلیتیک است که به دلیل درصد بالای کلریت آن را دگرسانی کلریتی می‌نامند که در اثر محلول‌های گرمابی غنی از آهن و منیزیم ایجاد می‌شود. سنگ‌های کم‌پایین و میزبان ماده معدنی به شدت دچار دگرسانی کلریتی شده و به رنگ سبز-تیره می‌باشد (شکل ۴-۲۶). در کانسارهای سولفید توده‌ای بخش مرکز کانه‌زایی دارای دگرسانی سیلیسی می‌باشد و در حالی که بخش حاشیه‌ای دارای کلریت‌های غنی از منیزیم و سریسیت می‌باشند (Franklin et al., 2005). بخشی از کلریتی شدن در ارتباط با کانی‌های مافیک اتفاق افتاده، و همچنین به صورت پراکنده همراه دگرسانی سریسیت و اپیدوت در بخش‌های مختلف کانسار قابل مشاهده است (شکل ۴-۲۶).

۴-۱۴-۳- دگرسانی اپیدوتی

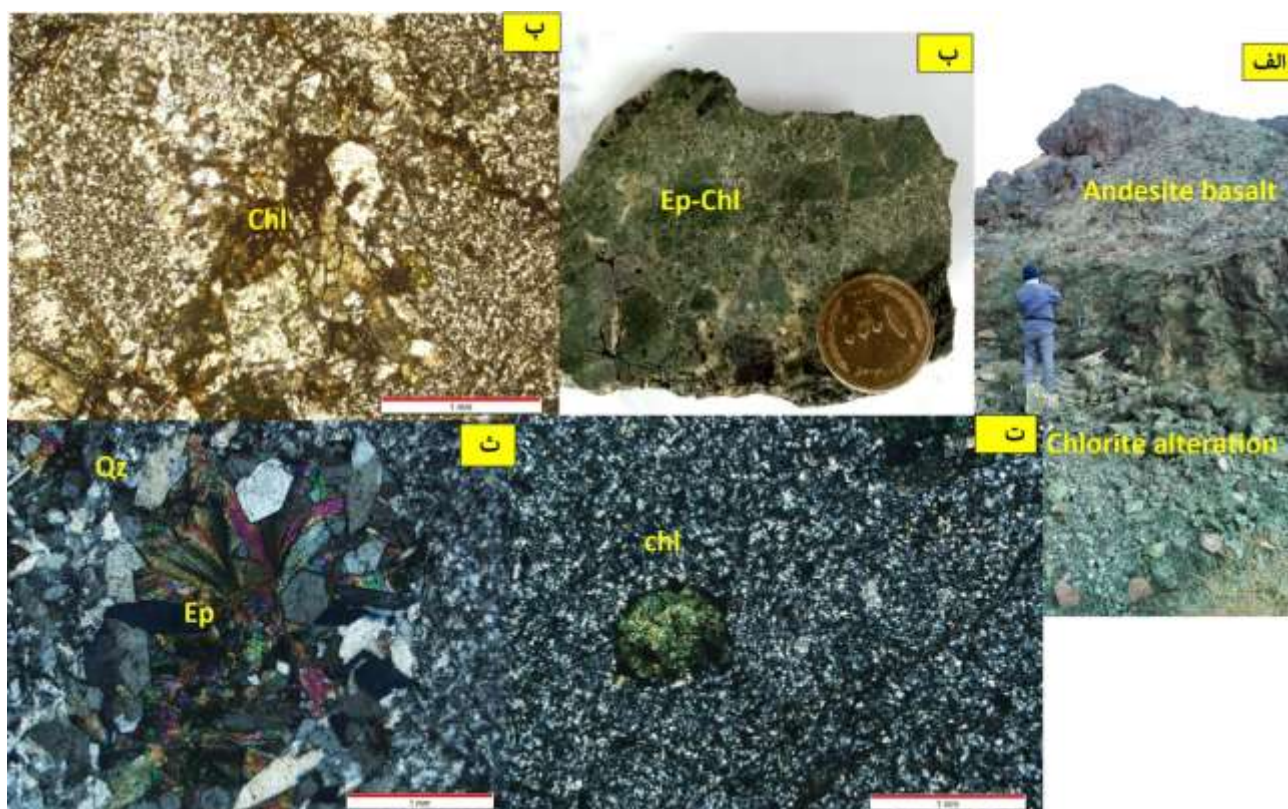
آثار دگرسانی اپیدوتی همراه با دگرسانی کلریتی در کمر پایین کانسار قابل مشاهده است. به طور کلی حضور اپیدوت در بخش‌های حاشیه‌ای و دور از مناطق اصلی کانه‌زایی در سنگ میزبان تعلق دارد و همراه کوارتز حالت شعاعی دارد و حفرات را پر کرده است (شکل ۴-۲۶). نتیجه آنالیز XRD بر روی این نمونه در شکل (۴-۲۷) نشان داده شده است.



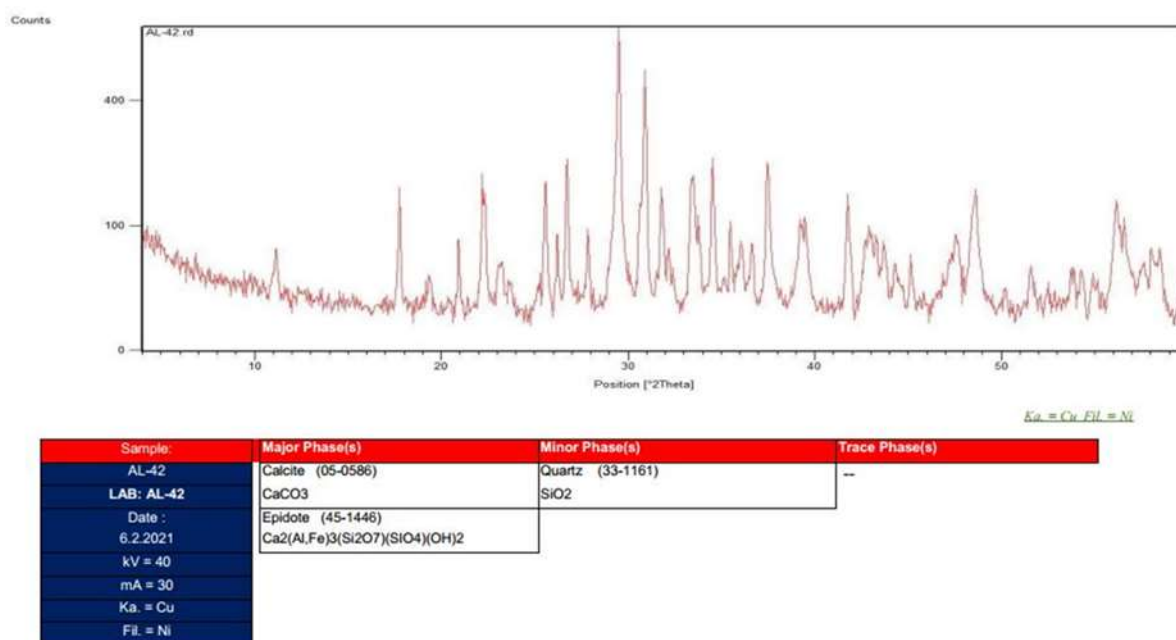
شکل ۴-۲۵- تصویر شماتیک از پهنه‌بندی دگرسانی در کانسار القبایی

جدول ۴-۲- مشخصات و نتایج نمونه‌های آنالیز شده به روش XRD

کانسار	شماره نمونه	نوع نمونه دستی	نتایج حاصل از آنالیز XRD	محل نمونه برداری
مس القبایی	Al-39	واحد تراکی-آندزیت دگرسانی سیلیسی-سریسیتی	کوارتز، آلبیت، اسمکتیت، هالوسیت	پهنه سیلیسی-سریسیتی کانسار القبایی
مس القبایی	Al-40	واحد تراکی-آندزیت دگرسانی سیلیسی-سریسیتی	کوارتز، هالوسیت، گوتیت	پهنه سیلیسی-سریسیتی و گوسن کانسار القبایی
مس القبایی	Al-42	واحد آندزیت بازالت دگرسانی اپیدوتی - کلریتی	کلسیت، اپیدوت، کوارتز	پهنه کلریتی-اپیدوتی کانسار القبایی
طلا-منگنز بیجورد	Mo-17	دگرسانی آرژیلیکی	آلبیت، اسمکتیت، جاروسیت	پهنه آرژیلیکی طلا منگنز بیجورد



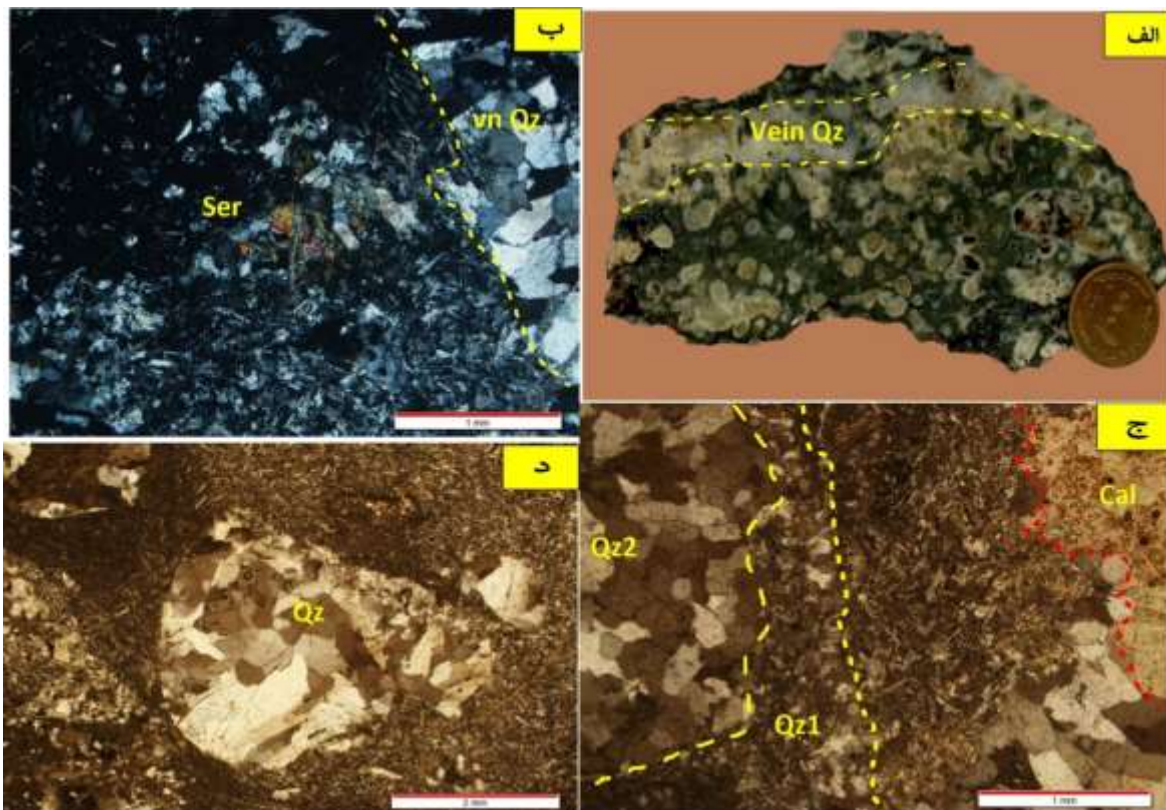
شکل ۴-۲۶-الف- تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی و اپیدوتی در حاشیه پهنه استرینگر کانسار القبایی، ب تصویر نمونه دستی از دگرسانی کلریتی و اپیدوتی، پ و ت- تصویر میکروسکوپی از دگرسانی کلریتی (Chl)، ث- تصویر میکروسکوپی از دگرسانی اپیدوتی (Ep) و سیلیسی (Qz)



شکل ۴-۲۷-نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده در کانسار مس القبایی

۴-۱۴-۴- دگرسانی سیلیسی - سریسیتی - کربناته سولفیددار

این دگرسانی در کانسار سه بندون و القبابی بخش رگه -رگچه‌ای (استرینگر) را تشکیل می‌دهد. این بخش از دگرسانی در سنگ‌های تراکی آندزیتی رخ داده است. تفاوت دگرسانی سیلیسی - سریسیتی سولفیدی با دگرسانی سیلیسی، در مقدار سولفید، جنس سنگ دگرسان شده و ابعاد دگرسانی می‌باشد. سولفیدهای موجود در بخش سیلیسی - سریسیتی سولفیدی، معمولاً ۳ تا ۵ درصد (گاه تا ۲۰ درصد) از محتوی کانسنگ را تشکیل داده‌اند که شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، می‌باشند. ساخت و بافت‌های شاخص کانه‌زایی در این دگرسانی رگه -رگچه‌ای و برشی بوده و براساس مطالعات میکروسکوپی کانی‌های تشکیل‌دهنده این دگرسانی شامل کوارتز، کربنات و مقدار کم کانی‌های رسی می‌باشد. بیشتر کوارتزها دانه درشت و با بافت موزائیکی و دانه‌ریز می‌باشند. دگرسانی سیلیسی -سریسیتی در اثر شستشوی محلول‌های اسیدی با انحلال و خروج کاتیون‌های Mg, Ca, Na و کاتیون K از سیستم خارج می‌شود. در طی سریسیتی‌شدن، فلدسپات‌ها، هورنبلند، بیوتیت متلاشی شده و کوارتز آزاد شده باعث سیلیسی‌شدن سنگ می‌گردد که در واقع در طی دگرسانی سریسیتی، فلدسپارهای اولیه موجود در سنگ در طی فرآیند هیدرولیز، کاتیون‌هایی از جمله Si, Ca, Na, K از پلاژیوکلازها حذف شده و سریسیت تشکیل شده است دگرسانی سریسیتی کم و بیش در واحدهای کمرپایین، کمر بالا و میزبان ماده معدنی مشاهده می‌شود (شکل ۴-۲۸) (شکل ۴-۲۹ و ۴-۳۰).

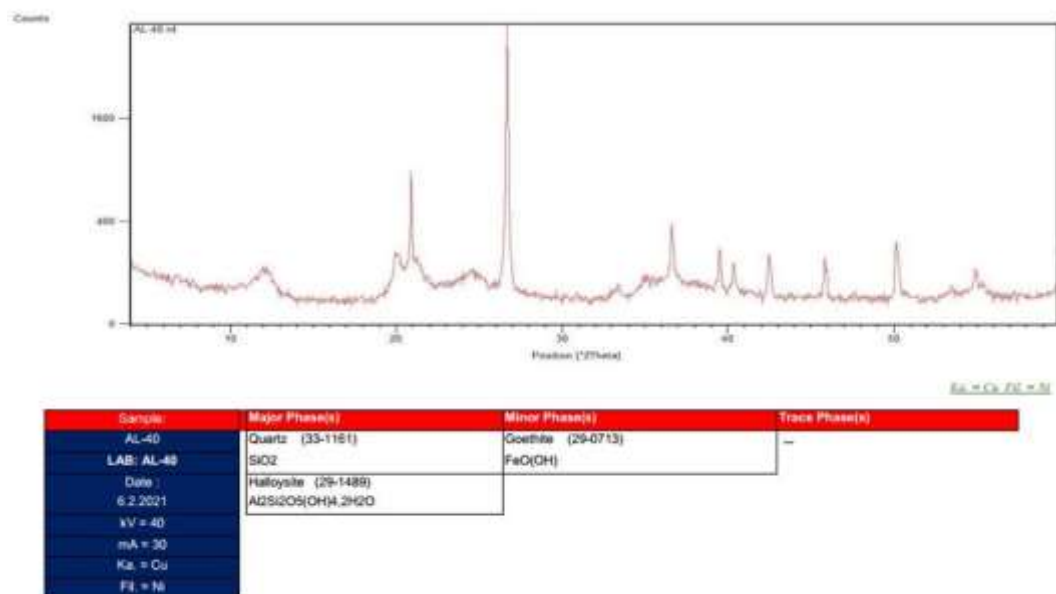


شکل ۴-۲۸-الف تصویر نمونه دستی از دگرسانی سیلیسی-سریسیتی - کربناته در کانسار القیایی، ب تصویر میکروسکوپی از دگرسانی سیلیسی - سریسیتی (Ser)(Qz) در واحد تراکی آندزیت، ج- تصویر میکروسکوپی از دگرسانی سیلیسی- کربناته (cal) که سیلیس ها دوفازی می باشند، د - تصویر میکروسکوپی از دگرسانی سیلیسی که به صورت آمیگدال حفرات داخل سنگ را پر کرده است.

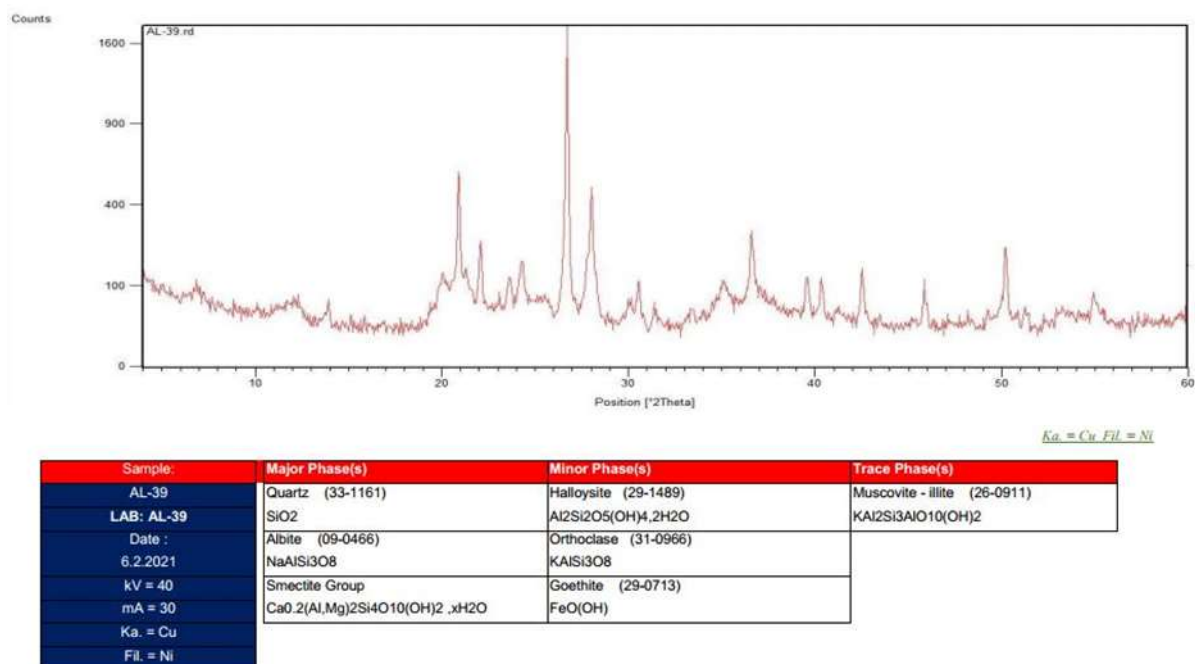
۴-۱۴-۶- دگرسانی آرژیلیکی

دگرسانی آرژیلیکی در کانسار منگنز بیجورد در یال شمال غرب به صورت ثانویه در اثر نفوذ آب های جوی اتفاق افتاده است زیرا کانی های رسی همراهی نزدیکی با اکسیدهای آهن ناشی از فروپاشی پیریت دارند. در این افق دگرسانی آرژیلیکی ثانویه بر روی کمرپایین که غنی از پیریت بوده است تشکیل شده است و رنگ سنگ کاملاً سفید و حالت رسی و نرم دارد. دگرسانی آرژیلیکی با حضور کانی های رسی مشخص می شود این نوع دگرسانی شبیه دگرسانی سریسیتی می باشد تحت تاثیر محلول های اسیدی سنگ میزبان آذرین بیشتر پلاژیوکلازها و به مقدار کم فلدسپات های پتاسیم دگرسان شده و به کانی های دیکیت، کائولینیت، مونتموریونیت تبدیل می شود (شکل ۴-۳۱)(۴-۳۲). در شکل (۴-۳۳) مدل شماتیک از پهنه بندی دگرسانی و کانه زایی در محدوده طلا- منگنز

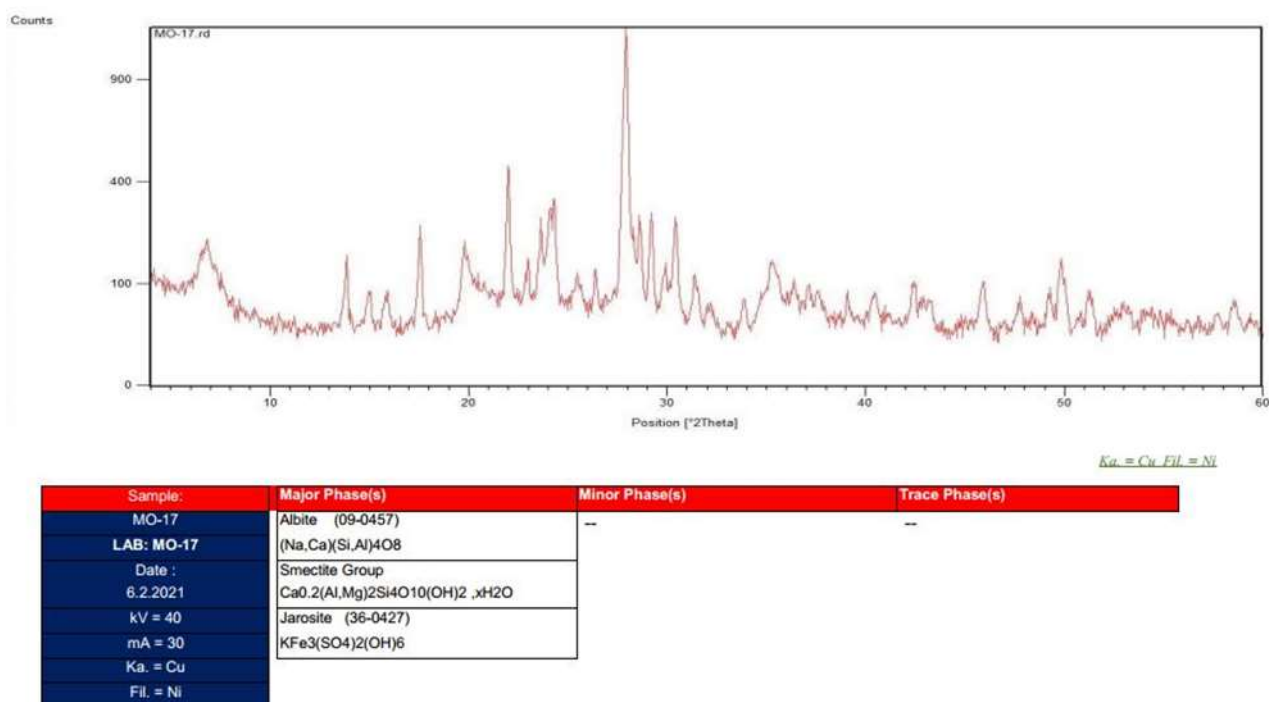
بیجورد قابل مشاهده می‌باشد و در (شکل ۴-۳۴) مدل شماتیک از پهنه دگرسانی و کانه‌زایی طلای سه بندون نمایش داده شده است.



شکل ۴-۲۹- نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده در کانسار مس القبابی



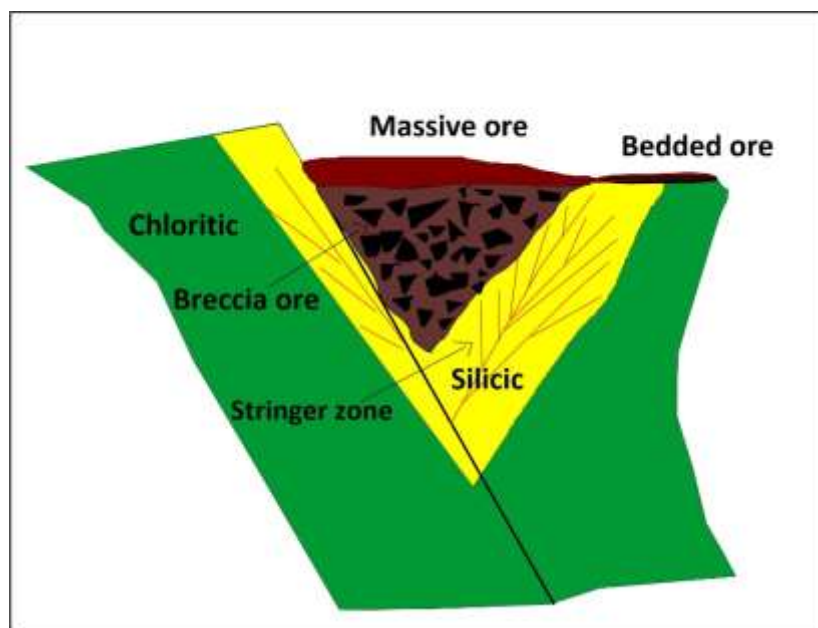
شکل ۴-۳۰- نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده در کانسار مس القبابی



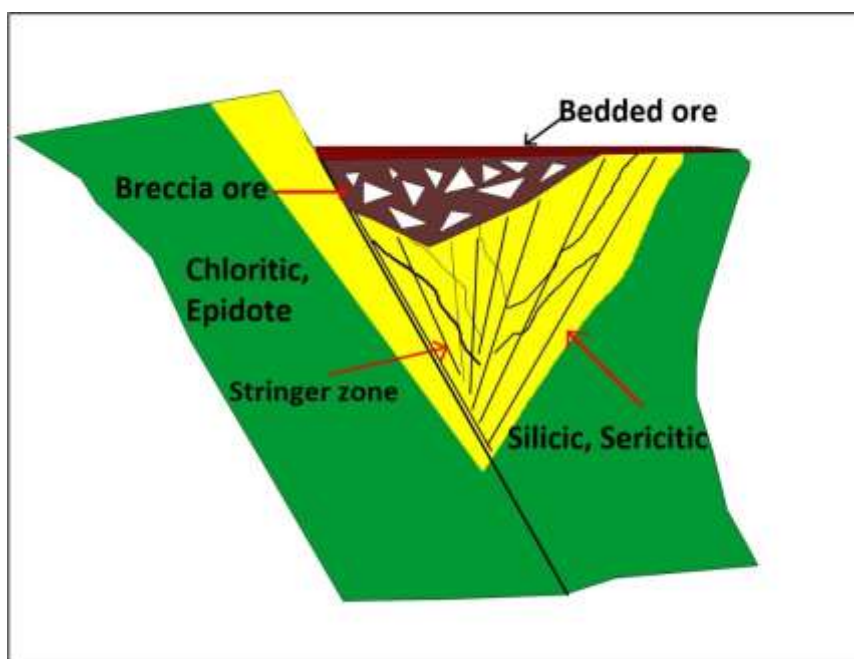
شکل ۴-۳۱- نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده در کانسار طلا منگنز دهنه بیجورد



شکل ۴-۳۲- تصویر صحرایی از دگرسانی آرژیلیکی بر روی کمربلین در کانسار طلا منگنز دهنه بیجورد



شکل ۴-۳۳- تصویر شماتیک از پهنه‌بندی دگرسانی در کانسار طلا - منگنز بیجورد



شکل ۴-۳۴- تصویر شماتیک از پهنه‌بندی دگرسانی در کانسار طلای سه بندوق

فصل پنجم

ساخت و بافت، کانی‌شناسی

و توالی پاراژنری کانی‌ها

۵-۱- مقدمه

هدف از کانی‌شناسی مشخص کردن وجود ارتباط بین کانه‌ها و سنگ دربرگیرنده آن‌ها می‌باشد. مطالعه ویژگی‌های ساخت و بافت ماده معدنی، سنگ‌های درون‌گیر و کانسنگ می‌تواند در شناخت محیط تشکیل و شرایط حاکم به هنگام تشکیل یک کانسار مفید باشند. ماده معدنی با منشأ مختلف، ساخت و بافت‌های یکسانی ندارند و مطالعه ساخت و بافت و کانی‌شناسی در تعیین نوع کانسار و الگوی کانه‌زایی، فرایندهای اعمال شده بر روی کانسار در طول زمان (تکوین کانسار و غیره) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بدین منظور در منطقه مورد مطالعه، نیمرخ‌های رسم شده در کانسارها و اندیس‌های معدنی به طور دقیق از واحدهای دربرگیرنده ماده معدنی و رخساره‌های مختلف کانه‌زایی آنها تعداد ۲۵ مقطع نازک، ۵۰ مقطع نازک-صیقلی، ۲۰ مقطع صیقلی، بررسی و مطالعه گردید.

۵-۲- ساخت و بافت ماده معدنی و کانی‌شناسی در توالی کرتاسه پسین شمال بردسکن

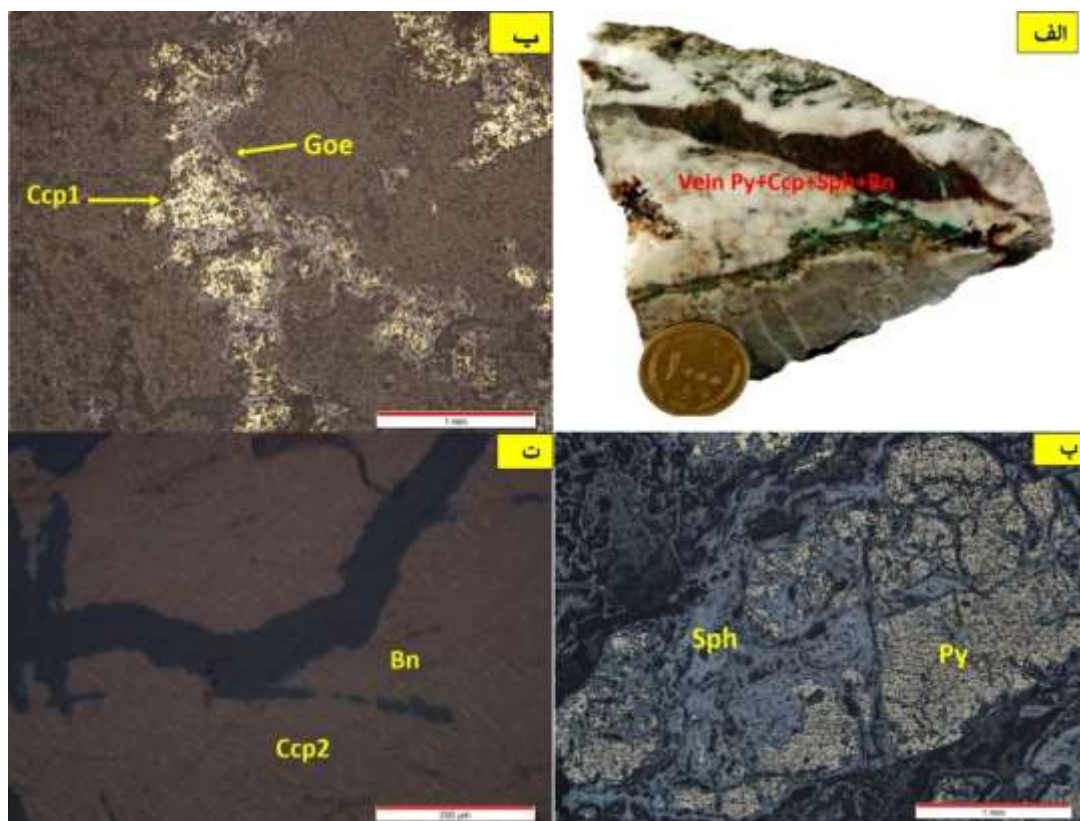
از دیدگاه شکل هندسی، کانه‌زایی در منطقه معدنی مورد مطالعه، به صورت چینه کران در رخساره رگه-رگچه‌ای در معدن القبایی، سبه، طلای سه بندون و منگنز رخنمون دارند و رخساره توده‌ای تا نیم توده‌ای در کانسار بیجورد رخنمون دارد و رخساره نواری برون‌دومی در کانسار منگنز دهنه بیجورد و طلای سه بندون به صورت چینه سان قابل مشاهده و پی‌جویی است. ماده معدنی در رخساره‌های مختلف بافت‌های گوناگونی نشان می‌دهند. در ابتدا به ساخت و بافت کانی‌های اولیه (سولفیدی) پرداخته می‌شود و در ادامه به کانی‌شناسی اکسیدی اولیه که شامل منگنز می‌باشد و در آخر به بخش‌های سوپرژن و باطله کانسار مورد بررسی در توالی آتشفشانی رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن پرداخته می‌شود. کانی‌های سولفیدی شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، بورنیت و مارکاست، کوولیت می‌باشد. کانی‌های اکسیدی آهن و منگنز شامل پیرولوزیت، هماتیت، به مقدار کم مگنتیت هستند.

۵-۲-۱- ساخت و بافت رگه-رگچه‌ای

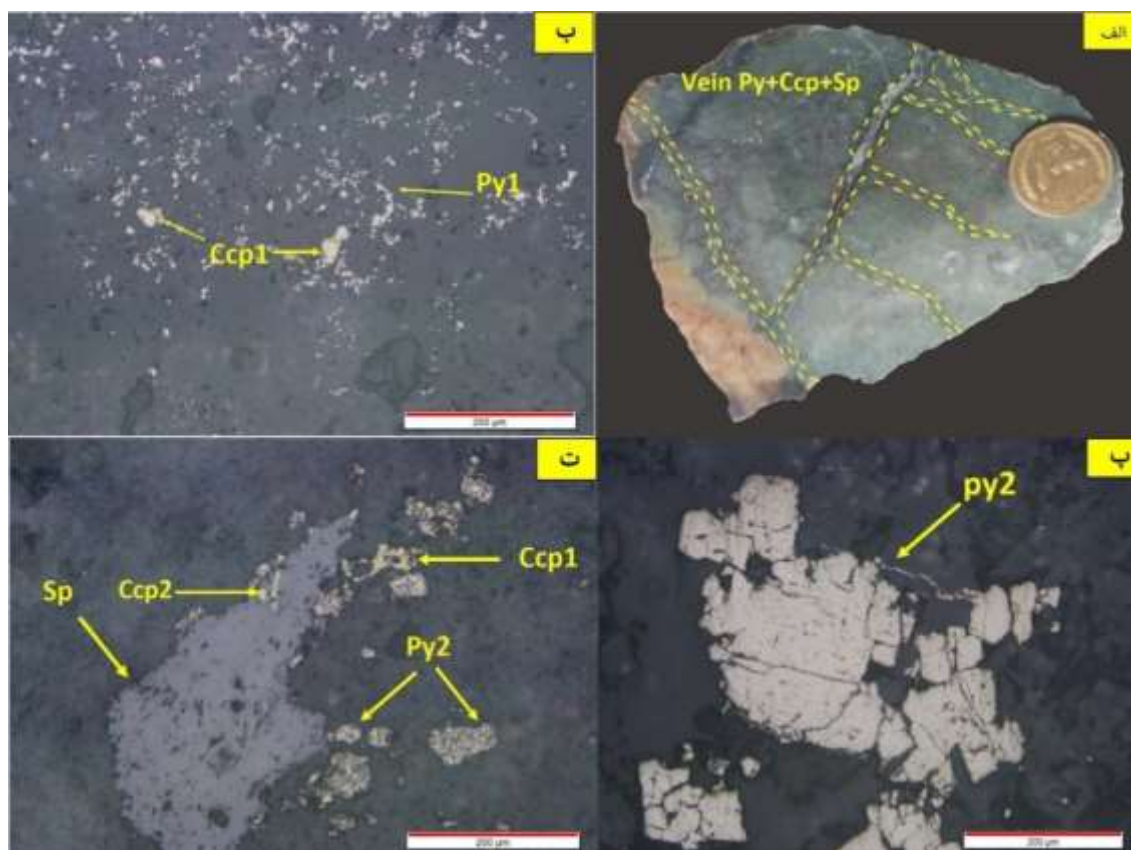
کانی‌های سولفیدی موجود شامل پیریت، کالکوپیریت و بورنیت هستند. مالاکیت و به مقدار کمی مگنتیت که به هماتیت و گوتیت تبدیل شده است. کوارتزها در دو نسل تشکیل شده‌اند که نسل یک دانه ریزتر و نسل دوم درشت دانه‌تر و با بافت موزائیکی می‌باشد. کالکوپیریت و پیریت از اطراف به هماتیت تبدیل شده است و کالکوپیریت در بورنیت با بافت اکسلوشن تشکیل شده است (شکل ۵-۱). کالکوپیریت مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی اقتصادی موجود در رخساره رگه رگچه‌ای می‌باشد که دارای دو نسل می‌باشد نسل اول همراه پیریت و نسل دوم با بافت اکسلوشن در داخل بورنیت تشکیل شده است (شکل ۵-۱). بورنیت در زون‌های کانه‌زایی منطقه القبابی از لحاظ فراوانی بعد از کالکوپیریت، پیریت و هماتیت قرار دارد و مهم‌ترین کانی اقتصادی بعد از کالکوپیریت می‌باشد. که بیشترین میزان در رخساره استرینگر می‌باشد. بافت رگه-رگچه‌ای در معدن سه بندون به طور عمده از پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت تشکیل شده است (شکل ۵-۲) از نظر اندازه بلور، دو نسل کوارتز تشخیص داده شد که نوع یک ریز بلور و ارتباط کمتری با کانه‌زایی دارد و نوع دوم درشت بلور با بافت موزائیکی ارتباط بیشتری با کانه‌زایی دارد و پیریت و کالکوپیریت به صورت نیم توده‌ای تشکیل شده است. پیریت نسل اول به نسل دوم تبدیل شده است و کالکوپیریت، اسفالریت و پیریت هم‌رشدی دارند (شکل ۵-۲).

۵-۲-۲- ساخت و بافت حفره پرکن

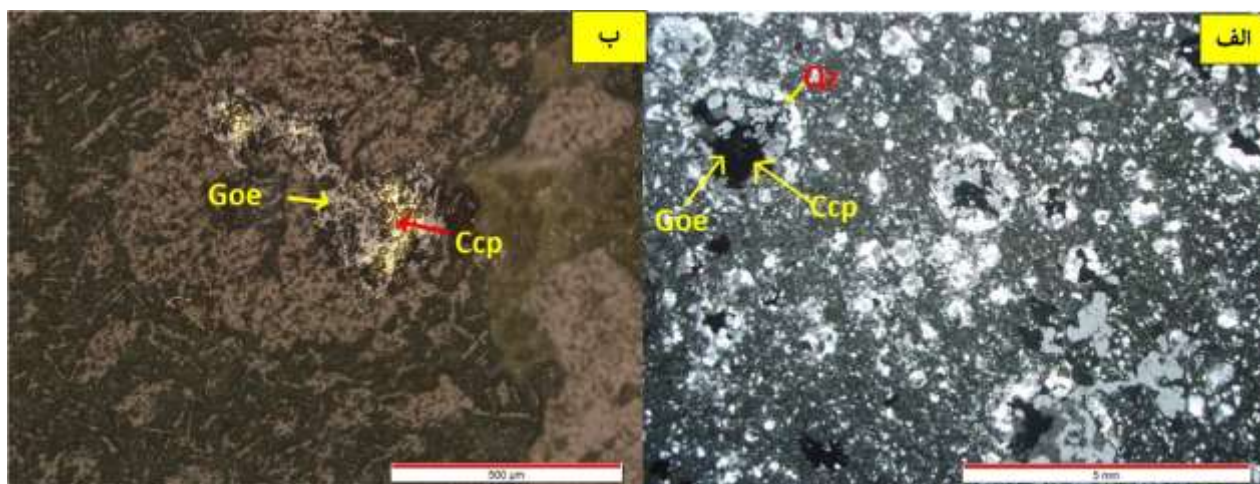
پیریت به صورت دانه پراکنده و بی‌شکل در این رخساره شکل گرفته است و به مقدار کمتر کالکوپیریت قابل مشاهده می‌باشند که مربوط به نسل اول می‌باشد. همچنین این بافت نشان‌دهنده، نهشت اولیه ماده معدنی در حین تشکیل سنگ دربر گیرنده و همراه با سایر ذرات تشکیل‌دهنده آن است. رخنمون سطحی سولفیدی معمولاً پیریت که تحت تاثیر سوپرژن قرار گرفته و به ترکیبات هیدروکسیدی آهن تبدیل شده است (شکل ۵-۳).



شکل ۵-۱-الف- تصویر میکروسکوپی از رگه رگچه‌های سیلیسی که دونسل کوارتز دارد: نسل یک دانه‌ریز و نسل دوم درشت بلور و اینکه بیشتر میزان کالکوپیریت همراه با کوارتز نسل دوم که حالت کریستالین دیده می‌شوند. کوارتز نسل یک دانه‌ریز، کوارتزهای نسل دوم دانه درشت و کوارتزهای نسل اول را قطع کرده است. ب- کالکوپیریت‌ها (Ccp1) به صورت رگه-رگچه و حفره پرکن که از حاشیه به هماتیت (Hem) تبدیل می‌شوند، ب- پیریت (Py) که توسط هماتیت در بر گرفته شده است. ت- اکسلوشن کالکوپیریت (Ccp2) در داخل بورنیت (Bn).



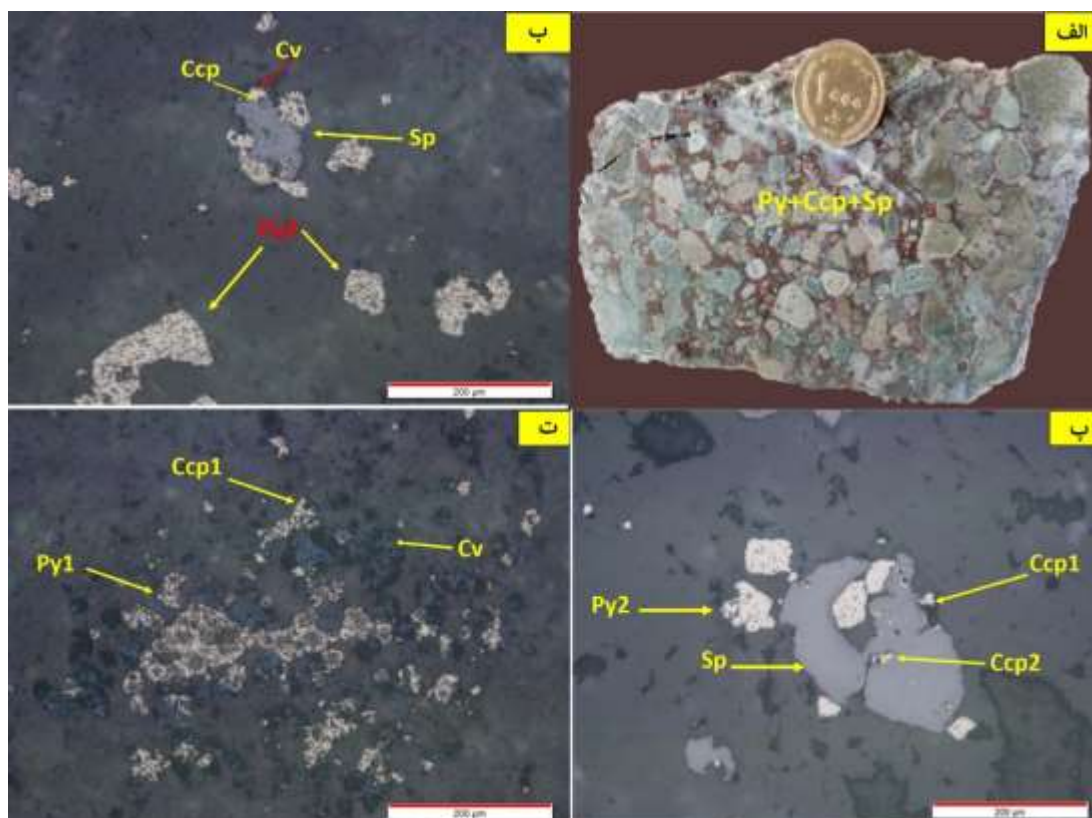
شکل ۵-۲-الف- تصویر میکروسکوپی از رخساره رگه -رگچه ای که دو نسل کوارتز مشاهده شده است: نسل اول دانه ریز و ارتباط کمتری با کانه زایی دارد و نسل دوم دانه درشت و موزائیکی و ارتباط نزدیکی به کانه زایی دارد. ب- پیریت های نسل اول بی شکل و همراه با کالکوپیریت نسل اول که پیریت بافت کلوفرمی دارد، پ- عکس میکروسکوپی در نور انعکاسی از پیریت (Py) نسل دوم در پهنه استرینگر. ت- هم رشدی پیریت (Py) اسفالریت (Sp) و کالکوپیریت (Ccp) در پهنه استرینگر محدوده سه بندوق، پیریت نسل اول به نسل دو تبدیل شده و کالکوپیریت در داخل اسفالریت رشد کرده که نشان از هم رشدی می باشد.



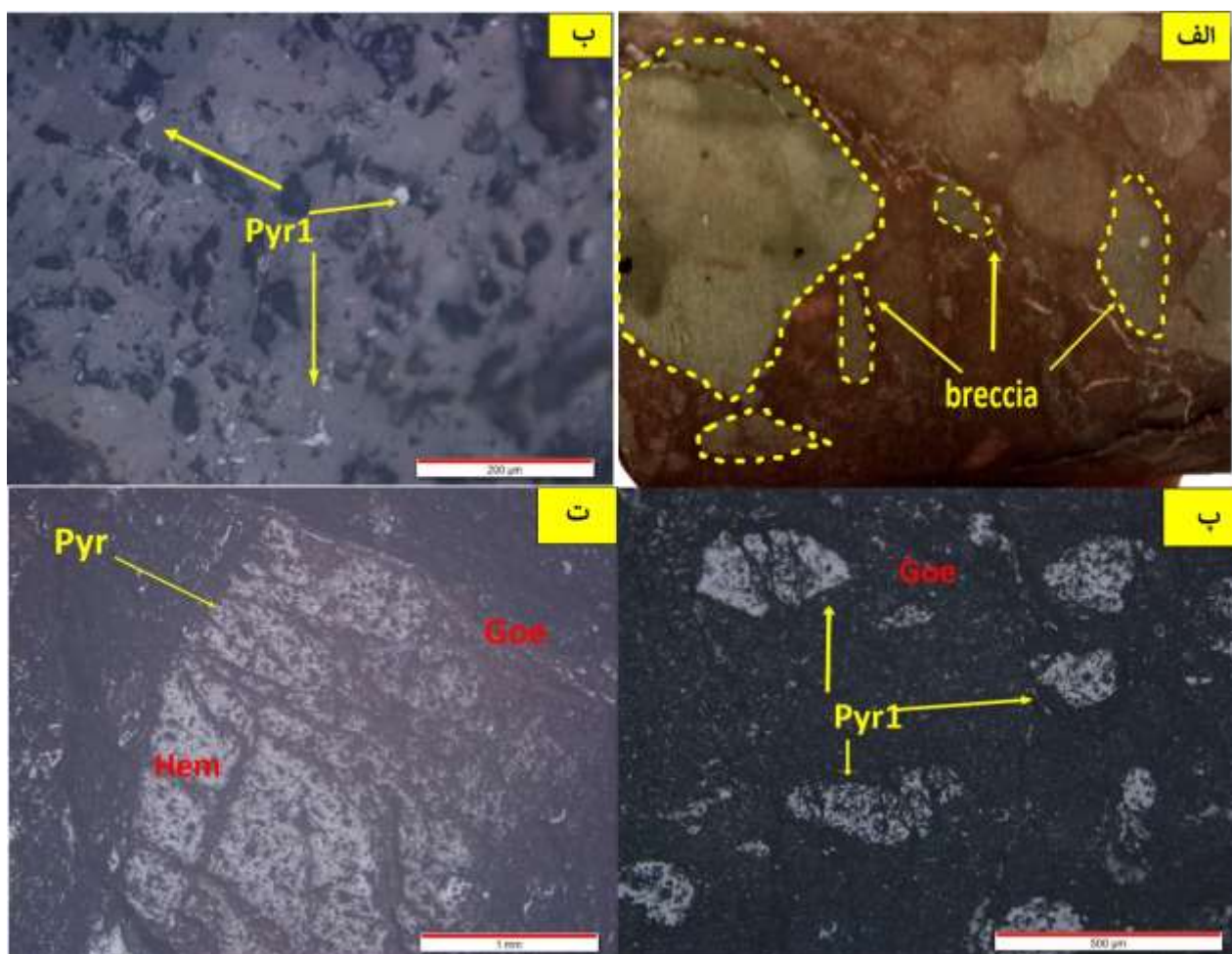
شکل ۵-۳-الف- عکس میکروسکوپی در نور عبوری که از اطراف توسط سیلیس دربر گرفته شده و در مرکز کانی اپک قرار دارد و حفرات را پر کرده است. ب) تصویر میکروسکوپی در نور انعکاسی که حفرات توسط کالکوپیریت (Ccp) و هماتیت (Hem) پر شده است.

۵-۲-۳- ساخت و بافت برشی

بافت برشی سولفیدها به همراه قطعات سنگ میزبان در رخساره توده‌ای و رگه- رگچه‌ای کانسارهای سولفیدی در ارتباط مستقیم با فعالیت گسل همزمان با رسوب‌گذاری و فعالیت گرمایی بوده و در کانسارهای روی- سرب رسوبی- برون‌دمی کوشک و چاه میر (Rajabi et al., 2012, 2015) و کانسارهای سولفید توده‌ای نوع بثورست کانادا (Goodfellow, 2007) نیز دیده می‌شود. زمینه پرکننده بین قطعات عمدتاً از کوارتز، سولفید و اکسیدها می‌باشد. قطعات سنگی در زمینه برش‌ها به شدت سیلیسی شده‌اند، ولی آثاری از بافت اولیه سنگ در آن‌ها قابل تشخیص هستند. سولفیدهای موجود شامل پیریت، اسفالریت، کالکوپیریت و کوولیت می‌باشد (شکل ۵-۴). رخساره کانسنگ برشی در معدن طلا-مگنز بیجورد دچار دگرسانی کلریتی شده و زمینه پرکننده بین آن‌ها از سولفید و اکسید آهن و مگنز تشکیل شده است و در زیر رخساره توده‌ای قرار دارد. که شامل کانی‌های پیریت، هماتیت، گوتیت و پیرولوزیت می‌باشد (شکل ۵-۵).



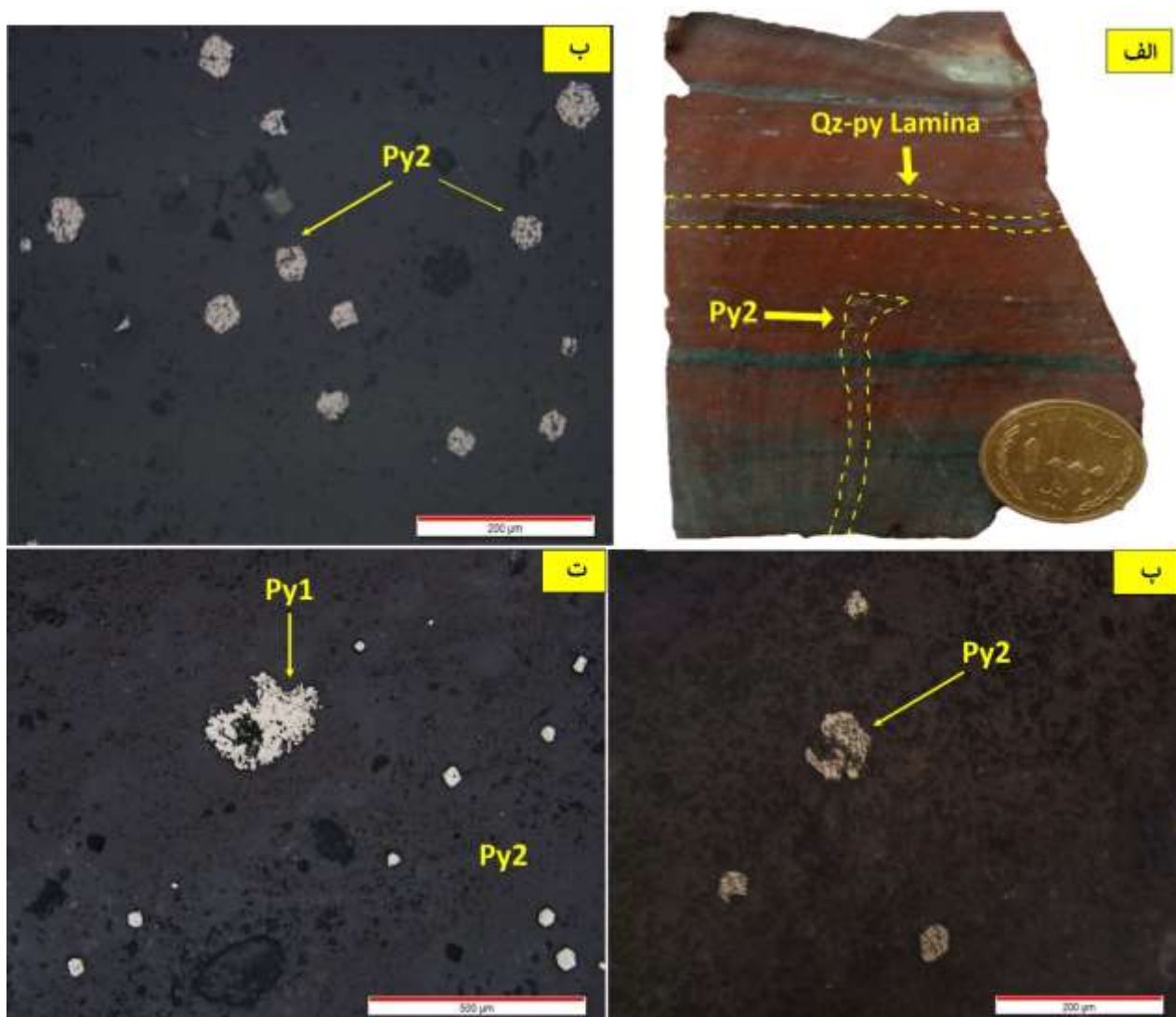
شکل ۴-۵-الف-تصویر میکروسکوپی در نور عبوری از ساخت و بافت برشی. ب و پ- هم‌رشدی کالکوپیریت، اسفالریت و پیریت که اسفالریت و کالکوپیریت به کوولیت تبدیل شده‌اند و جانشینی اتفاق افتاده است. ت- نمونه از بافت جانشینی کالکوپیریت به کوولیت تبدیل شده است و پیریت بافت کلوفرمی که جزء پیریت نسل اول می‌باشند.



شکل ۵-۵-الف- تصویر نمونه دستی از ساخت بافت برشی در کانسار منگنز بیجورد، ب، پ، ت- تصویر میکروسکوپی در نور انعکاسی که پیرولولزیت‌ها در اندازه ریز در داخل اکسیدهای آهن هماتیت و گوتیت تشکیل شده است و بیشتر فضای سنگ را اکسیدهای آهن در بر گرفته است.

۵-۲-۴- ساخت و بافت نواری برون‌دمی

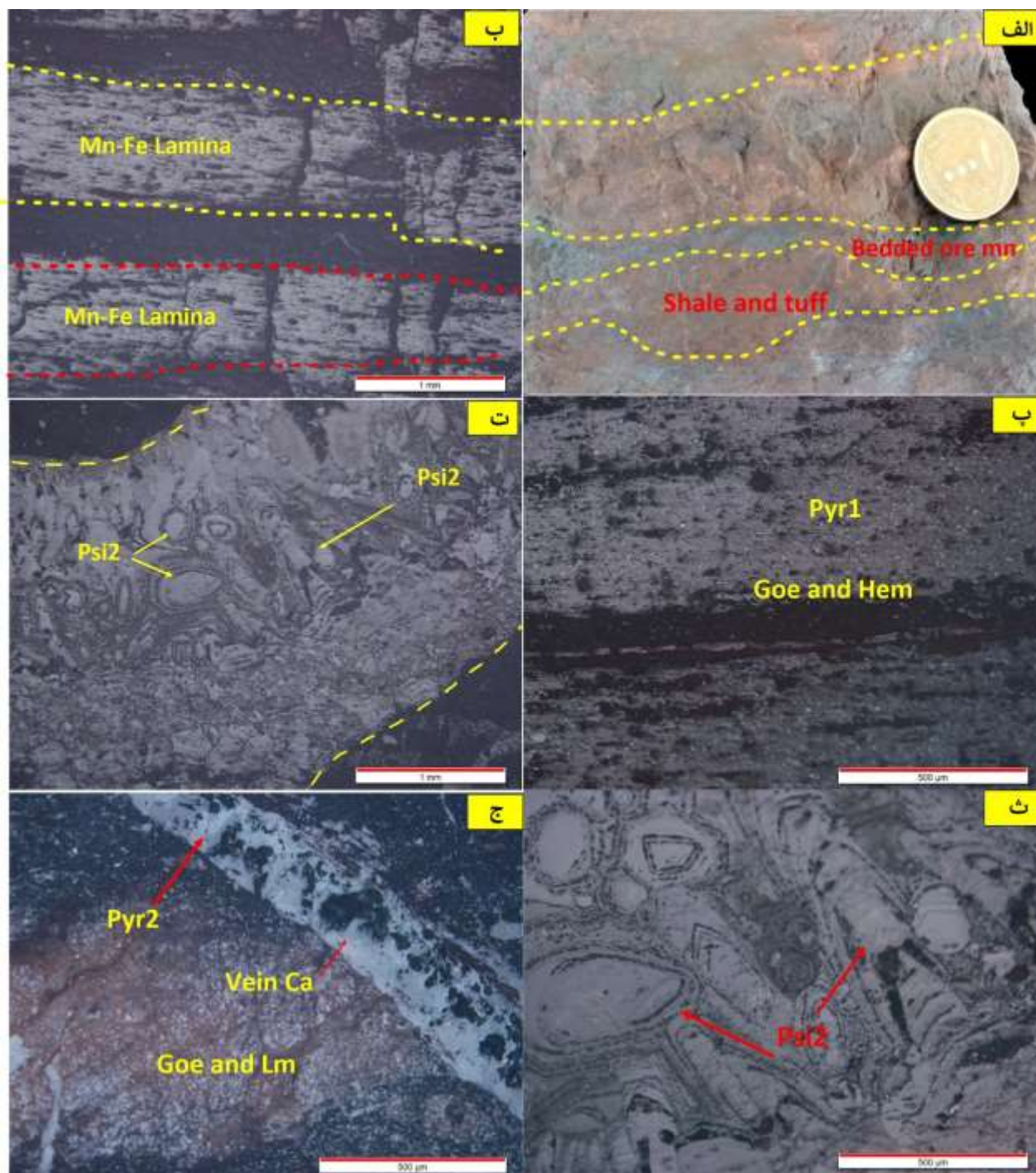
در این رخساره از نظر بافتی، پیریت‌ها دارای بافت فرامبوئیدال می‌باشد. بافت نواری در کانسار سه بندون شامل تناوبی از نوارهای غنی از پیریت با سنگ میزبان شیل توفی است (شکل ۵-۶). بافت نواری معدن بیجورد به صورت نوارها و لایه‌های متعدد اکسیدی متشکل از کانی پیرولولزیت و اکسیدهای آهن در داخل سنگ میزبان توف شیلی و توف‌های آندزیتی دیده می‌شوند (شکل ۵-۷). نکته قابل توجه در این ساخت و بافت حضور فسیل رادیولاریت می‌باشد که در هر دو منطقه در واحد کانه‌زایی نواری رخ داده است که در فصل چهارم به این موضوع پرداخته شده است.



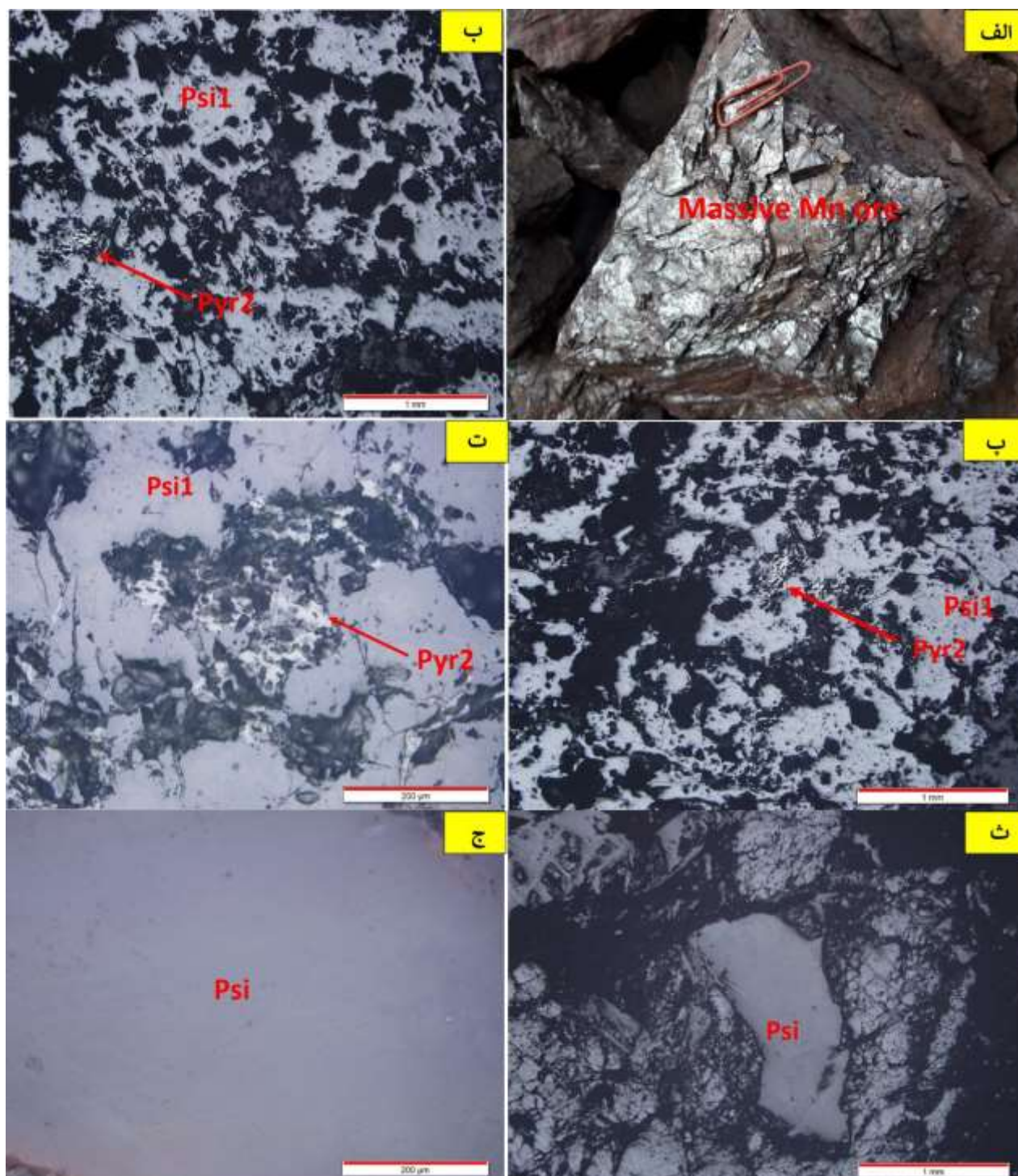
شکل ۵-۶-الف- تصویر نمونه دستی از ساخت و بافت نواری سه بندوق همراه با پیریتی که در اثر دیاژنز رشد کرده و قطع کننده روند اولیه تشکی می باشد. پ و ت- تصویر میکروسکوپی از پیریت شکل دار تا نیمه شکل دار در رخساره نواری و پیریت نسل اول که کلوفرمی می باشد در برونمی طلای سه بندوق

۵-۲-۵- ساخت و بافت توده ای منگنز بیجورد

این رخساره در کانسار منگنز دهنه بیجورد دارای گسترش زیادی می باشد و بخش های ضخیم و عیار بالای کانسار را تشکیل می دهد. از نظر شکل، ماده معدنی به شکل عدسی های با ضخامت ۳ تا ۵ متر و طول بیش از ۵۰ متر دیده می شود. که یکی از ویژگی های منگنز آتشفشانی رسوبی می باشد، کانی شناسی منگنز در این رخساره شامل پسیلوملان و پیرولوژیت می باشد (شکل ۵-۸).



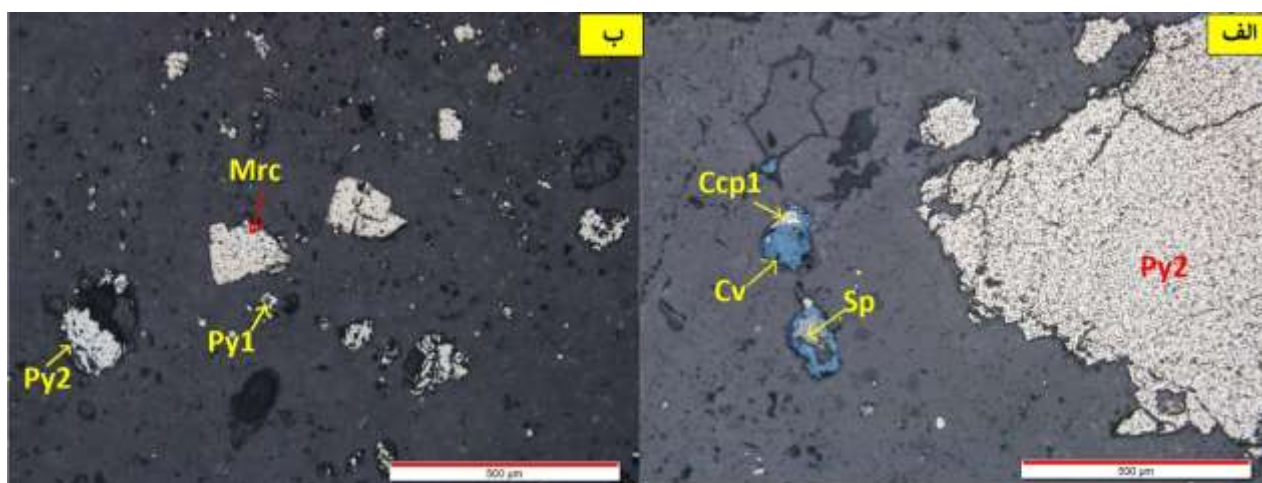
شکل ۵-۷- تصویر نمونه دستی از ساخت و بافت نواری برون‌دمی معدن منگنز بی‌جورد جنوبی که لامینه‌های آهن و منگنز تشکیل شده است. ب و پ- تصویر میکروسکوپی از نوارهای آهن و منگنز که همزمان با واحد رسوبی تشکیل شده است که توسط کانه پیرولوزیت همراهی می‌شود. ت و ث- تصویر میکروسکوپی از بافت تیغه‌ای و کلوفرمی منگنز نسل اول که در بخش برون‌دمی تشکیل شده است، ج- تصویر میکروسکوپی از ساخت و بافت نواری که اکسیدهای آهن و احتمالاً منگنز حالات لایه‌بندی دارد و توسط رگه کلسیت ثانویه قطع شده است و این رگه همراه با پیرولوزیت تیغه‌ای نسل دوم می‌باشد.



شکل ۵-۸-الف- تصویر صحرایی از منگنز توده‌ای ب، پ، ت- تصویر میکروسکوپی از ساخت و بافت توده‌ای منگنز در معدن بیجورد شمالی که توسط کانی پسیلوملان و پیرولولزیت همراهی می‌شود که کانی پیرولولزیت حاشیه واکنشی دارد و بیشترین بخش مقطع کانی پسیلوملان دربر گرفته است ث و ج- تصویر میکروسکوپی از کانی پسیلوملان که همراه با اکسیدهای آهن و احتمالاً پیرولولزیت می‌باشد.

۵-۲-۶- ساخت و بافت جانشینی

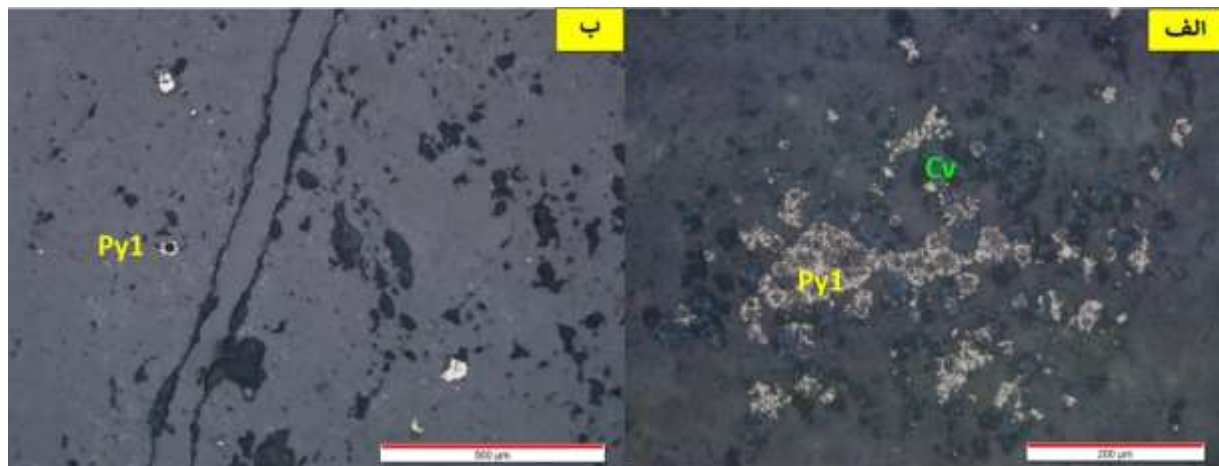
بافت جانشینی از جمله بافت‌های شاخص در رخساره کانسنگ برشی و رخساره کانسنگ رگه-رگچه‌ای کانسار مس- طلا در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین در شمال بردسکن می‌باشد. بافت جانشینی در بسیاری از کانسنگ‌ها طی هوازدگی رخ می‌دهد، بافت جانشینی سولفیدهای فلزی (نظیر پیریت)، اکسیدها (نظیر هماتیت، گوتیت، لیمونیت) اشاره می‌کند. در کانسار طلای سه بدون بافت جانشینی در رخساره رگه-رگچه‌ای و برشی قابل مشاهده است، که جانشینی کالکوپیریت، اسفالریت به کولیت و مارکاسیت به پیریت می‌باشد (شکل ۵-۹).



شکل ۵-۹-الف- تصویر میکروسکوپی در نور انعکاسی که اسفالریت (Sp) و کالکوپیریت (Ccp) به کولیت (Cv) تبدیل شده است. ب- تصویر میکروسکوپی که مارکاسیت (Mrc) با پیریت (Py) هم‌رشدی خوبی نشان می‌دهد.

۵-۲-۷- بافت کلوفرمی

این بافت شامل تجمع پیریت‌های ریزدانه است که به صورت کلوفرمی در کنار هم قرار گرفته‌اند و تبلور پیدا کرده‌اند. پیریت‌های فرامبوئیدال جزء پیریت‌های نسل اول هستند و این فرم پیریت‌ها بیان‌گر محیط دریایی هستند. بافت پیریت چشم پرنده‌ای در رخساره کانسنگ برشی که جزء پیریت‌های نسل اول هستند در مقاطع صیقلی دیده می‌شود (شکل ۵-۱۰). در کانسار منگنز بی‌جورد در رخساره نواری و توده‌ای بافت کلوفرمی منگنز قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۵-۷ ت و ث).



شکل ۵-۱۰-الف-تصویری از بافت جانشینی و فرامبوائیدال پیریت‌های چشم پرنده‌ای در کانسار طلا سه بندون در رخساره برشی.
ب-پیریت‌های با بافت چشم پرنده‌ای در رخساره لایه‌ای به صورت دانه پراکنده.

۵-۳-۳-کانی‌شناسی

مطالعات کانی‌شناسی بر روی مقاطع صیقلی، نازک- صیقلی نمونه‌های معدنی در منطقه مورد مطالعه منجر به شناسایی کانی‌های سولفیدی کربناته و سیلیکاته شده است. از لحاظ کانی‌شناسی حاوی کانی‌های اولیه پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، بورنیت، مارکاسیت، آرسنوپیریت، گالن، طلا و کانی‌های اکسیدی اولیه شامل پیرولوزیت و مگنتیت می‌باشد و کانی‌های ثانویه هماتیت، گوتیت، ملاکیت و کوولیت و هیدرواکسیدهای آهن و منگنز و کانی باطله کلسیت، کوارتز و اپیدوت می‌باشد. و همچنین نتایج آزمایش آنالیز FESEM بر روی ۲ نمونه صورت گرفته منجر به شناخت کانی‌های سولفیدی مس‌دار شده است.

۵-۳-۱-کانی‌های اولیه

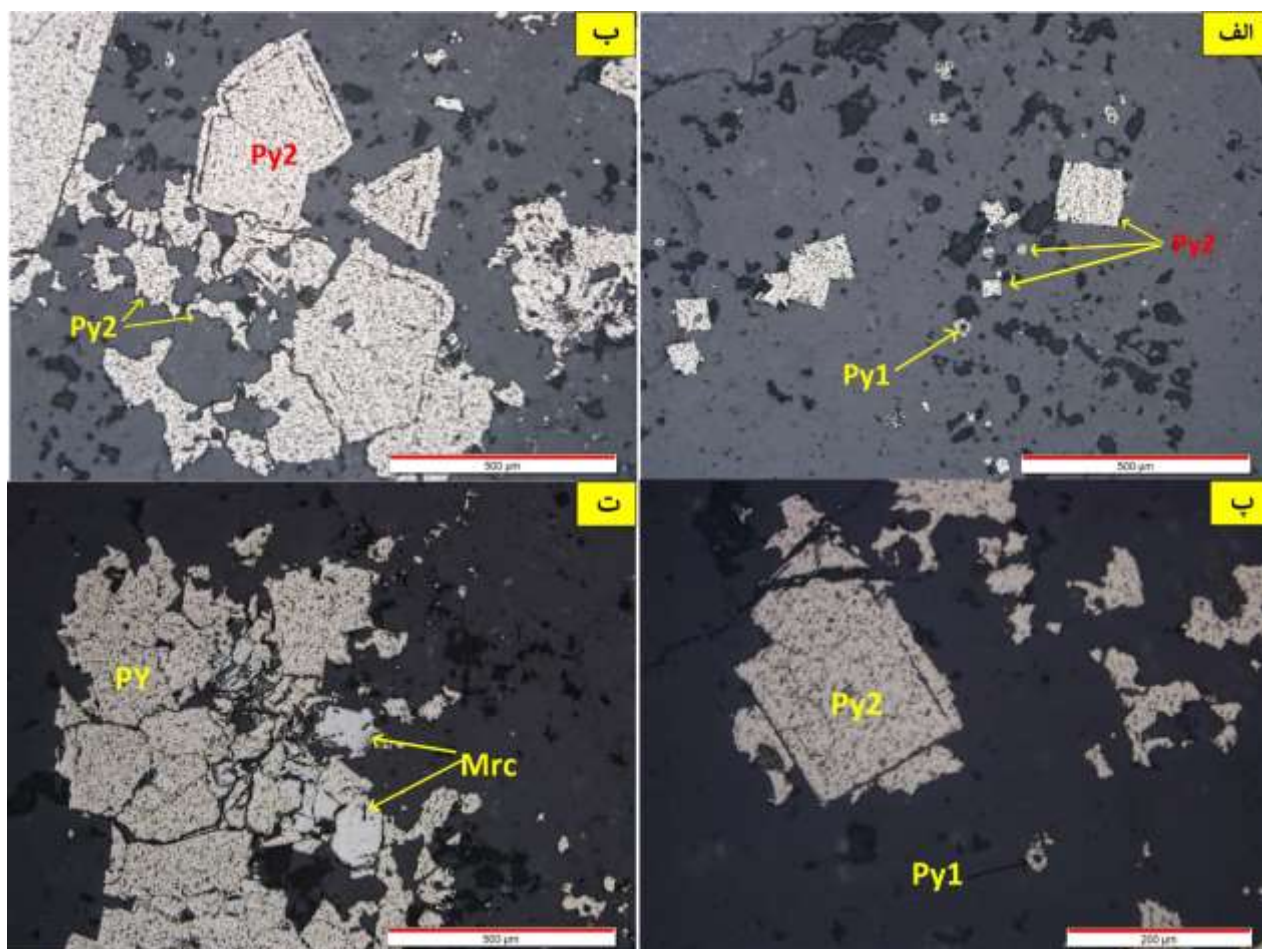
کانی‌های اولیه در کانسار القبابی و معادن مورد مطالعه و دیگر اندیس‌های معدنی در محدوده مورد مطالعه پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، اسفالریت، مارکاسیت، آرسنوپیریت، گالن، بورنیت طلا و پیرولوزیت می‌باشد و در ادامه به اختصار پرداخته می‌شود.

۵-۳-۱-۱-پیریت

پیریت به عنوان فراوان‌ترین کانی سولفیدی در کانسار مس القبایی، طلای سه بندون، اندیس مس سبه و طلا منگنز دهنه بیجورد دیده می‌شود. این کانی در تمامی رخساره‌های کانسار به صورت بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار و شکل‌دار در اندازه‌های متفاوت به وضوح دیده می‌شود. پیریت تمایل زیادی برای تبلور اشکال ائوهدرال دارد، در کانسار القبایی و سه بندون پیریت‌های نسل دوم در اکثر موارد دچار تبلور مجدد شده و موجب تشکیل بافت‌های خودشکل پیریت شده است، که عمدتاً شکل کوبیک دارند (شکل ۵-۱۱). این کانی در هر رخساره با ویژگی‌های بافتی متفاوتی به وضوح دیده می‌شود. براساس مطالعات کانه‌نگاری پیریت به صورت دو نسل می‌باشد. پیریت‌های نسل اول ریزدانه و بصورت کلوفرمی می‌باشد. پیریت دوم نیم شکل‌دار تا کوبیک می‌باشند. ساخت و بافت دانه پراکنده در کانسار مس القبایی در رخساره استرینگر قابل مشاهده است و به صورت کلی می‌توان گفت این بافت‌ها نشان‌دهنده همزمانی اولیه سولفیدها در حین تشکیل سنگ دربرگیرنده و به همراه سایر ذرات سنگ میزبان می‌باشد. پیریت به صورت دانه پراکنده و بی‌شکل در این رگه -رگچه‌های سولفیدی شکل گرفته است که در معرض بیشترین تأثیر هوازدگی و دگرسانی است، به طور گسترده به هماتیت و هیدروکسیدهای آهن تجزیه شده است. بافت فرامبوئیدال شامل تجمع پیریت‌های ریزدانه می‌باشد که به حالت خوشه‌ای در کنار هم قرار گرفته‌اند و تبلور پیدا کرده است این بافت جزء بافت‌های اولیه است که تحت دیاژنز به پیریت نسل دوم تبدیل شده است (شکل ۵-۱۱ الف، ب و پ).

۵-۳-۱-۲-مارکاسیت

کانه‌زایی مارکاسیت بیشتر در پهنه استرینگر و برشی محدوده معدن طلای سه بندون به همراه پیریت که همرشدی دارند دیده می‌شوند و حالت دوکی شکل و کشیده دارند و نسبت به پیریت رنگ پریده، پلی کروئیسیم و آنیزوتروپ دارد (شکل ۵-۱۱ ت).



شکل ۵-۱۱-الف، ب و پ- تصویری از پیریت‌های خودشکل در رخساره رگه-رگچه‌ای، مطالعات مینرالوگرافی و بررسی مقاطع میکروسکوپی متعدد بر روی نمونه‌های مختلف حاکی از وجود دو نسل مختلف پیریت در این محدوده می‌باشد که نسل اول عموماً به صورت کلوفرمی، نسل دوم بی‌شکل تا خوششکل و چند وجهی تشکیل شده است. ت- تصویر میکروسکوپی از مارکاسیت که با پیریت هم‌رشدی دارد.

۵-۳-۱-۳- اسفالریت

کانه‌زایی اسفالریت در کانسار طلای سه بندوق بیشترین گسترش را دارد و در دیگر اندیس‌های معدنی گسترش قابل توجهی ندارد. از نظر درصد کانه‌ها پیریت، اسفالریت و کالکوپیریت بیش‌ترین هم‌پوشانی دارند و هم‌رشدی اسفالریت در داخل پیریت و هم‌رشدی کالکوپیریت در داخل اسفالریت قابل مشاهده است. گاهی اسفالریت جایگزین پیریت شده است پیریت با بافت کلوفرمی و اسفالریت با بافت فضای خالی پرکن قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۵-۱۲ الف و ب).

۵-۳-۱-۴- کالکوپیریت

کالکوپیریت مهم‌ترین کانی سولفیدی مس است که در رخساره رگه-رگچه‌ای و برشی یافت می‌شود. کالکوپیریت بصورت رگه-رگچه‌ای نامنظم می‌باشد. بافت رگه-رگچه‌ای به طور عمده از پیریت و کالکوپیریت و مقدار کمتری اسفالریت و کوولیت تشکیل شده است. کالکوپیریت‌ها بیشتر بافت اکسلوشن، جانشینی و هم‌رشدی نشان می‌دهند و این بافت بیشتر در پهنه استرینگر و برشی معدن سه بندون قرار دارد (شکل ۵-۱۲ الف و ب). در پهنه استرینگر معدن القبایی کالکوپیریت همراه با هماتیت و پیریت تشکیل شده است و در بعضی قسمت‌ها به صورت انحلال جامد و تیغه‌ای در داخل بورنیت قرار گرفته و بورنیت از حاشیه به کوولیت تبدیل شده است و به صورت هم‌رشدی نیز تشکیل شده است که در داخل اسفالریت تشکیل شده است (شکل ۵-۱۲ پ، ت، ث، ج).

۵-۳-۱-۵- مگنتیت

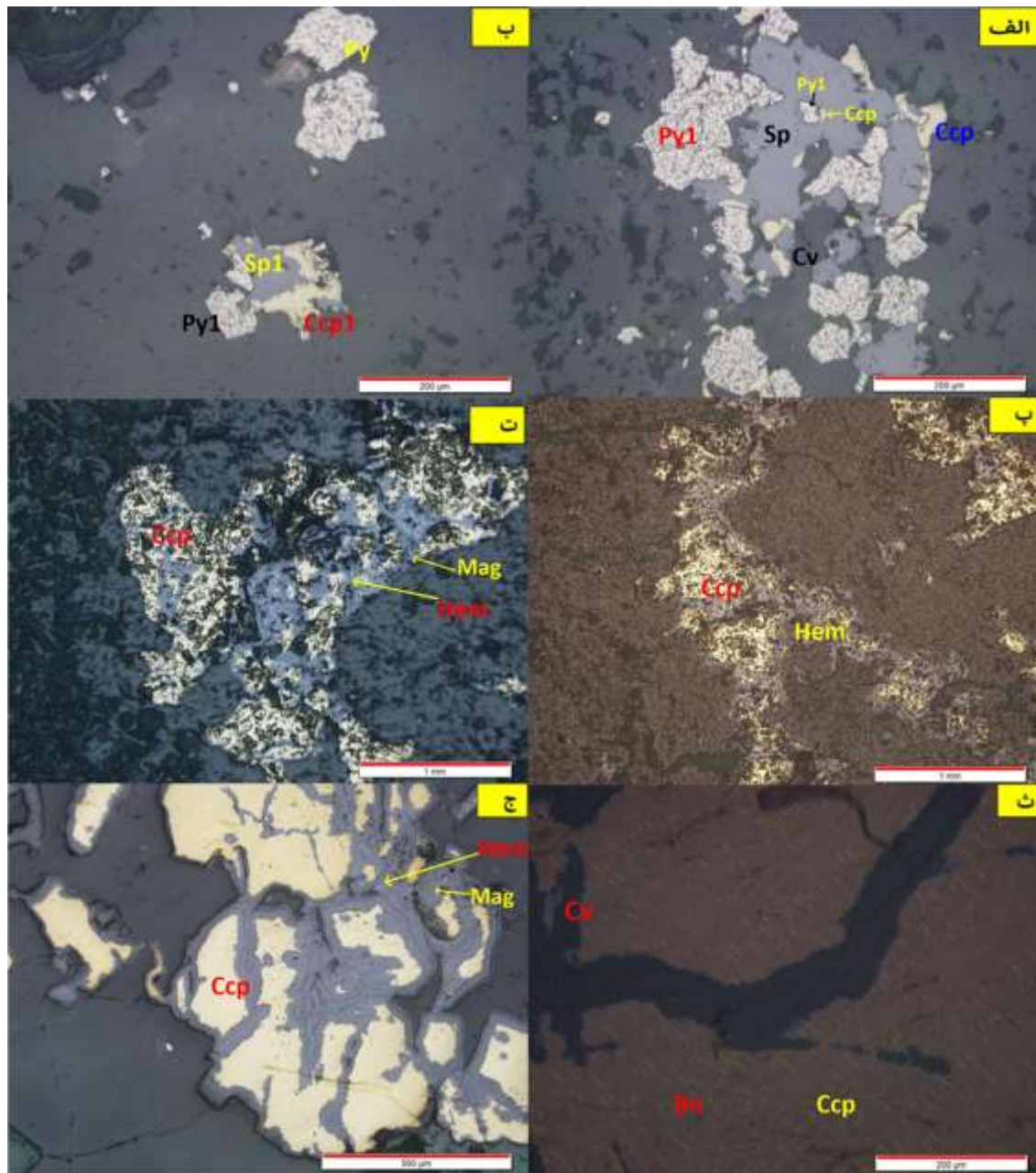
مگنتیت در کانسار مس القبایی در رخساره رگه-رگچه‌ای دیده می‌شود. مگنتیت‌ها از حاشیه به اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن تبدیل شده است و دارای بافت جانشینی مارتیتی می‌باشد و از فراوان‌ترین کانی‌های اکسیدی اولیه محسوب می‌شوند. می‌توان این طور بیان کرد که هر جا که پیریت‌های اولیه دیده شوند مگنتیت نیز در این مناطق وجود دارد. علت این ویژگی به غنی بودن سیال اولیه از آهن برمی‌گردد که با توجه به گسترش دگرسانی کلریتی موجب بالا رفتن کانه‌های مگنتیت در پهنه کانه‌زایی شده است (شکل ۵-۱۲ ت و ج).

۵-۳-۱-۶- طلا

طلا در پهنه استرینگر و برشی معدن سه بندون به صورت ادخال و در مرز پیریت و کالکوپیریت تشکیل شده است که همراه با رگه‌های سیلیسی به صورت آزاد در کوارتزهای دگرسانی مشاهده شده است و طلا در اندازه‌های ۶۰ میکرون و کوچکتر تشکیل شده است (شکل ۵-۱۳ الف، ب) (حامی پور بارنجی، ۱۳۹۷).

۵-۳-۱-۷- آرسنوپیریت و گالن

آرسنوپیریت در رخساره رگه‌ای و برشی در محدوده سه بندوق همراه با پیریت، گالن و بورنیت هم‌رشدی دارد (شکل ۵-۱۳ پ، ت) (حمای پور بارنجی، ۱۳۹۷).



شکل ۵-۱۲ الف و ب- تصویر میکروسکوپی از بخش برشی کانسار سه بندوق که کانی‌های اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت با هم هم‌رشدی دارند و اسفالریت و کالکوپیریت به کوولیت تبدیل شده‌اند. هم‌رشدی اسفالریت، پیریت و کالکوپیریت در اسفالریت قابل مشاهده می‌باشد. پ و ت) تصویر میکروسکوپی از رخساره رگه رگچه‌ای در معدن القبابی که کانی کالکوپیریت و مگنتیت به هماتیت و گوتیت تبدیل شده است. ث، ج- تصویر از رخساره رگه رگچه‌ای که اکسلوشن کالکوپیریت در داخل بورنیت تشکیل شده

است. و کالکوپیریت از کناره به گوتیت و هماتیت تبدیل شده است. پیریت (Py)، اسفالریت (SP)، کالکوپیریت (Ccp)، کولیت (Cv)، بورنیت (Bn) و هماتیت (Hem)، گوتیت (Goe).

۵-۳-۱-۸- پیرولوزیت

این کانی در معدن بیجورد و در رخساره‌های توده‌ای، نواری و برشی به همراه اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن منگنز وجود دارد و در پهنه برشی همراه با پیریت اولیه به همراه ژل‌های سیلیسی تشکیل شده است (شکل ۵-۵) و (شکل ۵-۷) (۵-۸).

۵-۳-۱-۹- پسیلوملان

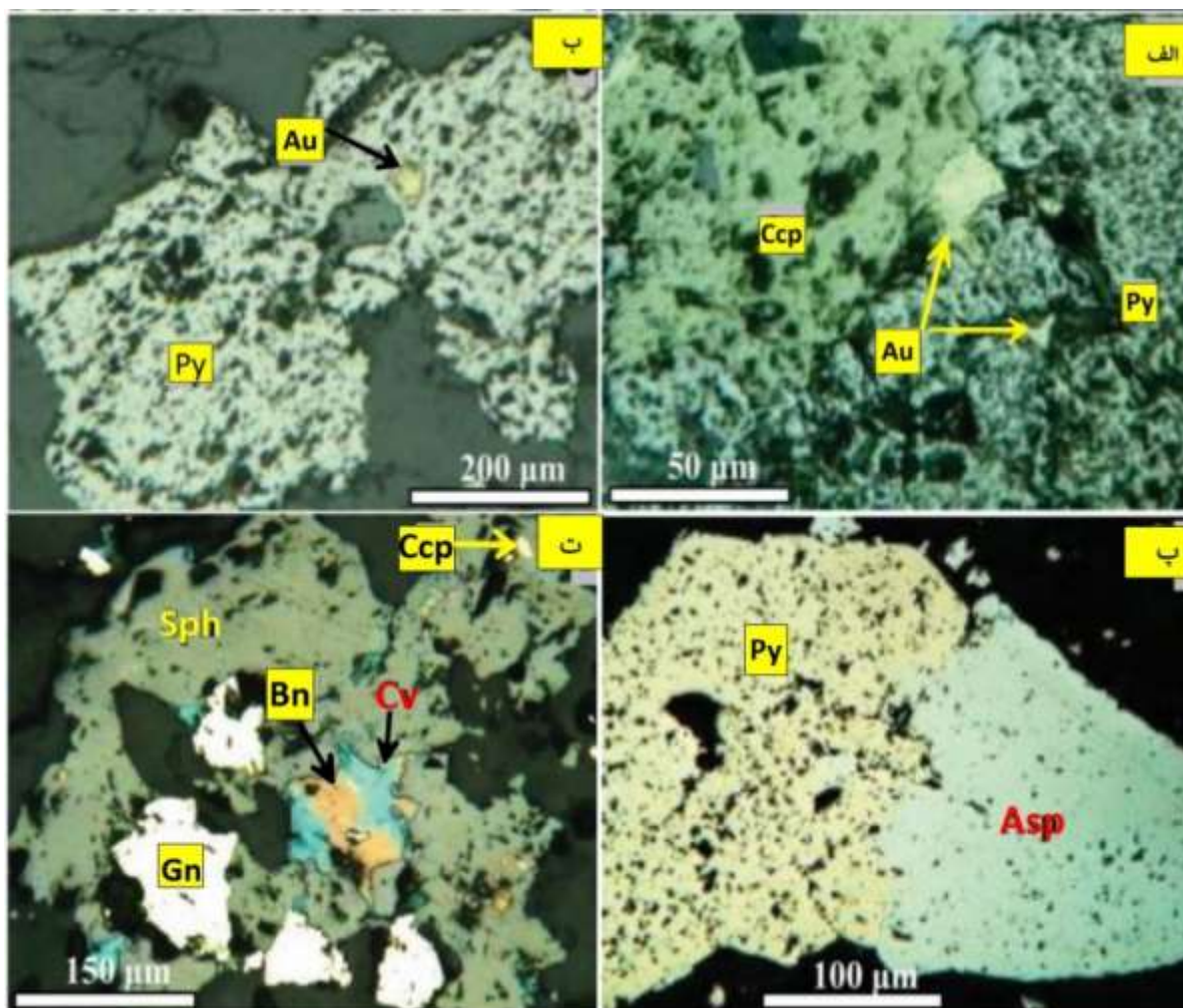
این کانی در معدن بیجورد شمالی و در رخساره توده‌ای به همراه پیرولوزیت تشکیل شده است و بخش عمده کانه‌زایی در این رخساره را دربر می‌گیرد (شکل ۵-۸).

۵-۳-۲- کانی‌های ثانویه

از کانی‌های ثانویه در کانسار القبایی می‌توان به مالاکیت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت نام برد.

۵-۳-۲-۱- مالاکیت

کربنات مس از جمله مالاکیت به عنوان یک کانی غیر سولفیدی به مقدار کم در نواحی اکسیدان در کانسار القبایی قابل مشاهده است و به صورت بافت جانشینی در واحد آندزیت بازالت دیده می‌شود. وجود کانی‌های ثانویه مس (مالاکیت) در کانسار مس القبایی ارتباطی با سیال کانه‌دار و کانه‌زایی سولفیدی ندارد و در ارتباط با سیالات جوی و اکسید شدن کالکوپیریت کانه مس‌دار در سنگ میزبان کانه‌زایی مس آندزیت بازالت اسپیلیتی می‌باشد.



شکل ۵-۱۳-الف- طلا در مرز پیریت و کالکوپیریت تشکیل شده است ب- طلا به صورت ادخال داخل پیریت، پ-همرشدی پیریت و آرسنوپیریت، ت- اسفالریت، گالن و بournیت هم‌رشدی نشان می‌دهند و بournیت از حاشیه به کوولیت تبدیل می‌شود و کالکوپیریت به صورت ادخال در پیریت قرار دارد. کالکوپیریت (Ccp)، پیریت (Py)، طلا (Au) گالن (Gn) آرسنوپیریت (Asp) بournیت (Bn) (حمای پور بارنجی، ۱۳۹۷).

۵-۳-۲-۲- هماتیت

پیریت و کالکوپیریت در رگه-رگچه‌ای معدن القبایی و دیگر اندیس‌های مس- طلای منطقه ناشی از اکسیداسیون بخش‌های سطحی (سوپرژن) از کناره‌ها به وجود هماتیت تبدیل شده و همچنین به صورت هماتیت آبدار و حاصل مارتیتی شدن مگنتیت هم دیده می‌شوند و بیشتر دارای بافت شکافه پرکن و رگه-رگچه‌ای می‌باشد که پیریت اولیه در این رگه‌ها تبدیل به هماتیت و گوتیت شده است (شکل ۵-۱۲، پ، ت، ج) و در محدوده منگنز بی‌جورد همراه با پیرولولزیت دیده می‌شوند (شکل ۵-۵ و ۵-۷).

۵-۳-۲-۳-گوتیت

بیشترین رخنمون این رخساره در بخش دانه پراکنده و رگه-رگچه‌ای که ناشی از فاز سوپرژن می‌باشد و کانی-های پیریت که هماتیتی شده به گوتیت تبدیل شده است و بعضاً کالکوپیریت از حاشیه گوتیتی شده است. کانه-های اولیه پیریت و کالکوپیریت در اثر سوپرژن به هماتیت، گوتیت و لیمونیت تبدیل شده است و در محدوده بیجورد همراه با هماتیت و پیرولولوزیت دیده می‌شود (شکل ۵-۵ و ۵-۷).

۵-۳-۲-۴-کولیت

در طی مراحل سوپرژن و در اثر جانشینی در سولفیدهای اولیه در اطراف کالکوپیریت و اسفالریت در کانسار سه بندون ایجاد شده است (شکل ۵-۱۲ الف).

۵-۳-۳-کانی‌های باطله

از کانی‌های باطله در کانسار القبایی شامل کوارتز، کلسیت و کلریت می‌باشد.

۵-۳-۳-۱-کلسیت

کلسیت که یکی از کانی‌های باطله، بیشترین فراوانی در رخساره‌های رگه-رگچه‌ای دارا می‌باشد.

۵-۳-۳-۲-کوارتز

کوارتز که یکی از کانی‌های باطله است، بیشترین فراوانی در رخساره‌های رگه-رگچه‌ای می‌باشد. تشکیل این کانی در اثر فعالیت گرمابی بوده و دارای دو نسل متفاوت، که کوارتز نسل یک دانه‌ریز و نسل دوم دانه درشت و موزاییکی می‌باشد.

۵-۳-۳-۳-کلریت

کلریت همراه با سیلیس، کربنات و در اطراف کانه‌زایی تشکیل شده است.

۵-۴- توالی پاراژنزی کانی‌ها

به مجموعه‌ای از کانی‌ها و باطله‌های همراه، که با یکدیگر و در حال تعادل نسبت به همدیگر تشکیل می‌شوند، پاراژنز می‌نامند و ترتیب زمانی و مکانی در تشکیل کانه‌ها را توالی پاراژنتیکی می‌نامند. توالی پاراژنتیک معرف ترتیب یا تقدم و تأخر نهشته‌شدن کانی‌ها به صورت فازهای جدا یا مجموعه کانی‌ها در یک کنسار است. وجود رخساره‌های کانه‌دار و نسل‌های مختلف کانی‌ها در توالی آتشفشانی رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن، نشان از رخداد کانسنگ در چند مرحله می‌باشد. براساس مطالعات صحرایی نمونه دستی، پاراژنز کانیایی و مطالعات میکروسکوپی، دو مرحله کانه‌زایی را می‌توان در توالی آتشفشانی رسوبی کرتاسه پسین تشخیص داد که شامل مراحل زیر می‌باشند:

۵-۴-۱- فعالیت‌های آتشفشانی - برون‌می

در منطقه مورد مطالعه کانه‌های سولفیدی در رخساره استرینگر، برشی، لایه‌ای و کانه‌های اکسید منگنز در بخش توده‌ای تشکیل شده است. بنابراین مطالعه توالی پاراژنتیک کانه‌ها و ساخت و بافت قابل انجام است که با مطالعه نسل‌های مختلف کانه‌ها و مقایسه فرآیندهای صورت گرفته در کنسارهای مورد مطالعه با کنسارهای مشابه نظیر Windy Craggy (Peter et al., 1999)، بوانات و چاه گز (موسیوند و همکاران ۱۳۸۴ و موسیوند و همکاران ۱۳۸۹) صورت گرفته است. براساس مطالعات بافتی و کانه‌شناسی تشکیل و تکوین کانه‌زایی مس طلا و منگنز در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن شامل دو مرحله می‌باشد که مرحله کانه‌زایی و مرحله پس از کانه‌زایی است.

۵-۴-۱-۱- مرحله کانه‌زایی

اولین مرحله کانه‌زایی در توالی آتشفشانی رسوبی کرتاسه پسین همزمان با فعالیت‌های آتشفشانی - رسوبی در زمان کرتاسه پسین بوده است. فعالیت سیل و دایک‌های دیوریت تا مونزودیوریت به داخل توالی تراکی آندزیت، آندزیت بازالت و توف‌های آندزیتی و ریوداسیتی در زیر کف دریا و فعال شدن جریان‌های همرفتی آب دریا در

طول گسل‌های همزمان با آتشفشان و رسوب‌گذاری که نتیجه این فرآیند موجب ایجاد سیالات داغ و شور شده است که عناصر فلزی مس -طلا و منگنز را از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی کمرباطین شسته و در زیر کف دریا در واحد آندزیتی ته‌نشست داده و عناصر منگنز را وارد دریا نموده است. نتیجه این سامانه گرمایی تشکیل کانسار سولفید توده‌ای در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین و ایجاد رخساره‌های استرینگر و برشی در زیر کف دریا و رخساره‌های لایه‌ای نواری سولفیددار در واحد شیل توفی در امتداد لایه بندر در زیر کف دریا تشکیل داده است. رخساره لایه و توده ای منگنز که حاوی کانه های پیرولولوزیت و پسیلوملان است در محیط اکسیدان که بخشی از رخساره برون‌دمی کانسار می‌باشد، تشکیل شده است. کانه های سولفیدی اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و مارکاسیت در رخساره استرینگر و برشی در محدوده مورد مطالعه قابل مشاهده است که توسط سیال کم دما اولیه تشکیل شده است و در رخساره لایه ای نواری تنها کانه سولفیدی پیریت می‌باشد که از کانه های سولفیدی دیگر کاسته شده است. در فاز بعدی تزریق سیال دما بالاتر و تاخیری به رخساره استرینگر و برشی باعث جانشینی کالکوپیریت و پیریت شده است که در رخساره نواری گسترش ندارد.

۵-۴-۱-۲- پس از کانه‌زایی (هوازگی و سوپرژن)

در این مرحله شامل فرآیندهای تکتونیکی ، بالآمدگی و سوپرژن می‌باشد (جدول های ۵-۱ ، ۵-۲ ، ۵-۳). با بالا آمدگی و گسل‌های بعد از کانه زایی اولیه سولفیدهای اولیه دچار تحرک دوباره شده اند و کانه‌های سولفیدی و اکسیدی ثانویه به صورت رگه رگچه ای و دانه پراکنده تشکیل شده است.

در این مرحله عملکرد فرایندهای هوازگی و سوپرژن باعث تحرک دوباره عناصر سولفیدی و اکسیدی اولیه و ته-نشست دوباره آن‌ها به صورت برخی سولفیدها نظیر کوولیت و اکسید-هیدروکسید آهن-کربناته (مالاکیت) و منگنز شده است. نتایج حاصل از بررسی و تفسیر مقاطع میکروسکوپی و آنالیزهای شیمیائی این کانسارها در قالب مجموعه‌ای شماتیک و جهت نمایش چگونگی پارائز کانی‌های اولیه و ثانویه، در (جدول ۵-۱) برای معدن القبایی و (جدول ۵-۲) برای معدن منگنز بیجورد و (جدول ۵-۳) برای معدن سه بندون ارائه شده است.

جدول ۵-۱- مراحل پاراژنتیک کانی‌ها در کنسار مس - طلای القبایی

Processes Mineral		Mineralization	Post-mineralization	
		Stringer ore	Diagenesis	Weathering and supergene
Ore	Quartz I			
	Quartz II			
	Pyrite			
	Chalcopyrite I			
	Chalcopyrite II			
	Bornite			
	Magnetite			
	Malachite			
	Hematite			
	Goethite			
Texture	Vein-veinlets			
	Disseminated			
	Replacement			
	Open space filling			

جدول ۵-۲- مراحل پاراژنتیک کانی‌ها در کانسار منگنز - طلای بیجورد

Processes Mineral		Volcanic-exhalative				Post-mineralization
		Stringer ore	Breccia/ Massive ore	Exhalite	Diagenesis	Weathering and supergene
Ore	Pyrite					
	Psilomelane					
	Pyrolusite I					
	Calcite					
	Pyrolusite II					
	Malachite					
	Hematite					
	Goethite					
Texture	Vein-veinlets					
	Brecciated					
	Massive					
	Laminated					
	Colloform					
	Disseminated					

جدول ۵-۳- مراحل پاراژنتیک کانی‌ها در کانسار طلای سه بندون

Processes Mineral		Volcanic-exhalative				Post-mineralization
		Stringer ore	Breccia	Exhalite	Diagenesis	Weathering and supergene
Ore	Pyrite I					
	Pyrite II					
	Marcasite					
	chalcopyriteI					
	Sphalerite					
	chalcopyriteII					
	Bornite					
	Arsenopyrite					
	Gold					
	Covelite					
	Malachite					
Texture	Vein-veinlets					
	Brecciated					
	Replacement					
	Laminated					
	Colloform					
	Disseminated					

فصل ۶

مطالعات ژئوشیمیایی

زمین شیمی در قرن بیستم شکل گرفت و یکی از بنیان‌گذاران برجسته‌ی آن گلداشمیت است. در یک تعریف دقیق، ژئوشیمی را علمی می‌داند. که با تعیین ترکیب کمی زمین و بخش‌های مختلف آن و از سوی دیگر، کشف قوانین کنترل‌کننده توزیع هر یک از عناصر سروکار دارد. ساده‌ترین شکل زمین شیمی را می‌توان به عنوان شیمی کل زمین و اجزای تشکیل‌دهنده آن تعریف کرد. جهت درک درست شیمی زمین، تا حد امکان باید از شیمی و تاریخ خورشید و سایر اجسام سیاره‌ای منظومه شمسی و همچنین شیمی ستارگان فضای بین سیاره‌ای، ستاره‌های نوترونی و ابرنواخترها مطلع باشیم، زیرا زمین قسمتی از منظومه شمسی است که ارتباط نزدیک به هم دارند و با هم تشکیل شده‌اند. مطالعات ژئوشیمیایی از جمله مهم‌ترین بخش‌های مورد مطالعه یک کانسار است که تحت تاثیر عوامل مختلفی تعادل شیمیایی سنگ برهم زده و باعث ایجاد شرایط جدیدی می‌شوند. یکی از مهم‌ترین جنبه‌هایی که معمولاً در مطالعات ژئوشیمیایی مد نظر می‌باشد بررسی فراوانی و توزیع عناصر مختلف موجود در توده سنگ و زون‌های کانهدار است که به منظور درک رفتار ژئوشیمیایی عناصر در کانی‌های اصلی و فرعی و عناصر تشکیل دهنده سیال انجام می‌گیرد و با استفاده از این داده‌ها می‌توان به ویژگی‌های محیط تشکیل و فرایندهای موثر در تشکیل یک ذخیره معدنی پی برد. بررسی فراوانی و توزیع عناصر اصلی، فرعی و کمیاب موجود در ذخایر سولفیدی، به منظور درک بهتر رفتار سولفیدها و ارتباط آن‌ها با یکدیگر، در ارائه الگوها و روش‌های مناسب، جهت اکتشاف ذخایر مشابه، سودمند می‌باشد (Piercey, 2010).

در مطالعه کانسارهای طلا بررسی‌های ژئوشیمیایی و نحوه پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی و زون‌های کانهدار و ارتباط عناصر با همدیگر از اعتبار ویژه‌ای برخوردار می‌باشد که می‌تواند ما را در پی بردن به محیط تشکیل و فرایندهای موثر در تشکیل ذخیره معدنی هدایت نماید.

پیشینه مطالعات ژئوشیمیایی در محدوده مورد مطالعه، مربوط به پروژه اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای است که در سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۴ در مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، توسط سازمان زمین‌شناسی و شرکت چینی جیانسینگ در محدوده‌ای به وسعت ۶۵۰۰۰ کیلومتر مربع و در ۲۶ ورقه یکصد هزار زمین‌شناسی انجام گرفته است. در این پروژه، که گستره‌ای از شرق گرمسار تا تربت حیدریه را پوشش داده است، چندین محدوده با ناهنجاری ژئوشیمی

عناصر فلزی شناسایی گردید که از این میان می‌توان به ناهنجاری‌های طلای معرفی شده در ورقه یکصد هزار شامکان (در محدوده کانسار طلای سه بندون) اشاره کرد. اهداف ژئوشیمیائی در این فصل بررسی ویژگی‌های شیمیائی سنگ‌های آذرین و رسوبی توالی میزبان کانه‌زایی، تعیین محیط تکتونیکی و ماهیت ماگمای سنگ‌های آذرین و طبقه‌بندی آن‌ها، مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی و توزیع عناصر در مواد معدنی می‌باشد.

۶-۲- نمونه‌برداری و آزمایشات انجام گرفته

پس از بازدیدهای انجام گرفته و شناسایی دقیق توالی سنگ چینه‌ای و جایگاه اصلی سنگ میزبان، بخش فرادیواره و فرودیواره، تفکیک دگرسانی و مطالعات میکروسکوپی بر روی نمونه‌های انتخاب شده تعداد ۲۹ نمونه جهت آنالیز AFMS (پکیج طلایی) به آزمایشگاه زرآزما فرستاده شده است که شامل رخساره‌های کانسار رگه-رگچه‌ای، از محدوده مس-طلای القبایی، رخساره نواری، توده‌ای و رگه-رگچه‌ای از کانسار منگنز دهنه بیجورد، و طلای سه بندون و مس سبه، و از سنگ میزبان سالم بدون هیچ نوع دگرسانی می‌باشد (جدول ۶-۱، ۶-۲، ۶-۳ و ۶-۴). همچنین تعداد ۴ نمونه از رخساره‌های دگرسان اولیه و ثانویه برداشته و برای انجام آنالیز XRD به آزمایشگاه زرآزما ارسال گردید تا بر اساس نتیجه و مقایسه با شواهد صحرایی، تشخیص حدود هر یک از دگرسانی‌ها مشخص گردد. به منظور شناسایی عیار طلا در بخش‌های کانه‌زایی تعداد ۹ نمونه از قسمت‌های مهم کانه‌زایی برداشته و به روش Fire Assay آنالیز تک عنصری طلا به آزمایشگاه ارسال گردید (جدول ۶-۵). آنالیزهای انجام شده بر روی مغزه‌های حفاری در معدن دهنه بیجورد در (جدول ۶-۶) نمایش داده شده است.

۶-۳- ژئوشیمی سنگ‌های آذرین

ماگماها، پس از تشکیل در مسیر حرکت و آشیانه ماگمایی دچار تغییرات ماگمایی همانند تبلور، تفریق، هضم و آلایش می‌شوند. اثبات و تأثیر هر کدام از این فرآیندها، موضوعی مهم برای سنگ‌شناسان می‌باشد. با نظر به اینکه عواملی همچون تبلور تفریقی و ذوب بخشی احتمال دارد در ایجاد ارتباط زایشی بین سنگ‌ها موثر باشند، در این تحقیق برای تشخیص نقش و تأثیر هر یک از این عوامل از نمودارهای تغییرات عناصر ناسازگار در مقابل یکدیگر و نمودارهای بر مبنای عناصر کمیاب استفاده شده است. سنگ‌های آذرین در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه

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

۶-۳-۱- تعیین سری ماگمایی و طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی

برای طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی و تعیین محیط تکتونیکی و سری ماگمایی آنها از عناصر کمیاب استفاده می‌شود. براساس نمودار Zr/Ti در مقابل Nb/Y (Pearce, 1996)، ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه در محدوده بازالت، آندزیت بازالت و ریولیت داسیت قرار می‌گیرد (شکل ۶-۱).

۶-۳-۲- تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آذرین

از آنجا که ارتباط خاصی بین عناصر نادر، با ماگمای سازده سنگ‌ها وجود دارد از نمودارهای ژئوشیمیایی برای تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌ها استفاده می‌شود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشتر سنگ‌های مولد میزبان کانه‌زائی در کانسار القابایی در سنگ‌های مربوط به جزایر کمائی قرار می‌گیرند (شکل ۶-۲). برای تخمین محیط تکتونیکی جای‌گیری ماگمای بازالتی در کانسار مورد نظر از نمودارهای نسبت‌های Ce/Yb _ Ta/Yb (Pearce, 1983) و Zr/Y در مقابل Th/Yb استفاده شده است. سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده سری تولییتی و تنها یک نمونه در محدوده انتقالی قرار گرفته است (شکل ۶-۳).

جدول ۶-۱- داده‌های آنالیز ICP-MS برای رخساره‌های کانسار مس- طلائی القبابی

کانسار	القبابی						
رخساره	رگه رگچه	رگه رگچه	رگه رگچه	رگه رگچه	رگه رگچه	رگه رگچه	رگه رگچه
Name	AL-7-1	AL-7-8	AL7-9	AL15	AL-17	AL-18	AL-19
Ag	0.3	0.3	0.1	0.2	0.1	5.9	2.2
Al	6.54	6.16	5.64	6.42	8.41	4.58	2.68
As	21.2	2.3	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
Ba	105	905	68	24	146	14	9
Be	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Bi	0.2	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
Ca	0.3	0.37	2.71	8.21	4.42	0.43	18.01
Cd	0.1	0.2	0.075	0.1	0.075	0.7	0.6
Ce	3	2	3	5	5	4	4
Co	43.1	49.1	18.7	10.4	35	12.5	14.2
Cr	44	45	67	70	12	13	74
Cs	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
Cu	1951	4059	232	1189	154	17926	14664
Dy	1.38	0.8	0.77	1.99	2.2	2.4	1.46
Er	1.02	0.89	0.8	2.07	1.77	2.31	1.15
Eu	0.11	0.19	0.1	0.24	0.28	0.24	0.14
Fe	9.72	8.78	6.3	3.8	8.95	7.46	4.28
Gd	0.98	0.98	0.74	1.54	1.62	1.58	1.17
Hf	0.65	0.66	0.59	0.8	1.17	0.9	0.5
In	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
K	8730	9210	4623	3125	8188	1699	903
La	2	2	2	3	2	2	3
Li	6	5	6	10	10	9	9
Lu	0.2	0.24	0.16	0.4	0.36	0.46	0.32
Mg	2.79%	2.75%	2.57%	8258	2.74%	4447	11059
Mn	838	817	953	538	1448	695	689
Mo	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
Na	13417	13978	13028	23992	17946	26115	8758
Nb	1.2	1.1	0.75	1	1.3	0.75	0.75
Nd	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
Ni	42	53	41	29	21	3	24
P	135	132	139	457	159	277	243
Pb	12	15	1	0.75	13	12	4
Pr	0.33	0.29	0.31	0.52	0.52	0.47	0.5
Rb	2	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
S	176	562	185	218	140	718	1640
Sb	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
Sc	39.8	42	34.5	27.5	59.1	29.7	22.1
Se	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
Si	31.13	32.54	34.72	30.09	26.52	36.39	20.41
Sm	0.54	0.83	0.46	0.76	1.05	0.86	0.67
Sn	0.5	0.6	0.8	0.4	0.4	0.4	0.4
Sr	16.7	15.4	18.6	27.2	69.4	32.6	33.9
Ta	0.17	0.18	0.17	0.15	0.17	0.17	0.15
Tb	0.28	0.2	0.21	0.34	0.35	0.37	0.29
Te	0.93	0.56	0.11	0.075	0.12	0.21	0.075
Th	0.78	0.53	0.49	0.51	0.53	0.47	0.46
Ti	1946	1777	1330	2044	4884	2699	1291
Tl	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
Tm	0.2	0.17	0.16	0.36	0.26	0.37	0.25
U	0.2	0.2	0.075	0.1	0.1	0.5	0.5
V	203	210	182	252	366	137	164
W	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Y	11.3	9.5	8.3	19.6	15.6	19.4	14.8
Yb	1.8	1.6	1.4	2.7	2.8	2.7	2.4
Zn	155	170	73	36	96	116	85
Zr	8	9	7	13	21	20	7

جدول ۶-۲- داده‌های آنالیز ICP-MS برای رخصاره‌های کانسار مس-طلای سه بندوق و سبه

کانسار	سه بندوق	سه بندوق	سه بندوق	سبه	سبه
رخصاره	نواری	رگه-رگچه	برشی	دانه پراکنده	دانه پراکنده
Name	SN-6	SN7	SN-10	SB4-2	SB-3
Ag	1.6	3.1	3	0.1	0.1
Al	1.13	4.20	3.84	6.89	7.15
As	12.3	3.2	4.7	0.075	0.075
Ba	35	23	54	205	192
Be	0.4	0.5	0.4	0.6	0.6
Bi	0.075	0.075	0.075	0.7	0.2
Ca	0.33	0.08	0.09	1.46	1.6
Cd	3.2	14.3	29.4	0.075	0.075
Ce	4	2	4	17	18
Co	6.9	22.2	21	14.2	15.2
Cr	46	51	10	9	10
Cs	0.375	0.375	0.375	1.6	2.2
Cu	134	149	445	3838	4663
Dy	0.69	0.24	1.22	4.86	5.38
Er	0.41	0.13	0.84	3.76	3.87
Eu	0.18	0.075	0.075	0.89	0.81
Fe	3.1	3.94	6.49	3.85	4.03
Gd	1.08	0.4	0.93	4.24	4.42
Hf	0.375	0.59	0.95	2.64	2.87
In	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
K	329	2053	2930	14292	11920
La	4	1	2	7	8
Li	34	27	16	12	13
Lu	0.075	0.075	0.15	0.6	0.65
Mg	15209	4.41%	2.68%	8739	8528
Mn	663	477	482	553	616
Mo	1	4	10	4	2
Na	243	208	255	24376	25961
Nb	1.1	1	0.75	2	2.1
Nd	0.375	0.375	0.375	8	8.9
Ni	32	27	10	0.75	0.75
P	708	88	120	451	479
Pb	51	176	34	1	0.75
Pr	0.77	0.23	0.41	2.27	2.53
Rb	0.75	0.75	0.75	24	20
S	23656	25720	4.33%	2294	2236
Sb	1	1.3	1.4	0.375	0.375
Sc	5.7	28.7	22.7	20.4	20.8
Se	0.375	0.375	0.375	0.71	0.375
Si	43.53	37.12	36.12	36.88	33.69
Sm	0.59	0.22	0.69	3.09	3.9
Sn	0.5	0.3	0.5	1	0.9
Sr	10	8.4	5.6	369.2	421.9
Ta	0.19	0.16	0.15	0.21	0.24
Tb	0.2	0.13	0.26	0.8	0.83
Te	0.21	0.075	0.27	2.38	1.15
Th	0.48	0.44	0.48	1.43	1.58
Ti	244	893	1798	3205	3283
Tl	0.52	4	0.73	0.43	0.35
Tm	0.075	0.075	0.15	0.56	0.59
U	1.2	6	0.4	0.3	0.3
V	54	140	196	52	50
W	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Y	8.4	3.3	9.9	28.5	30.3
Yb	0.7	0.6	1.4	2.7	2.8
Zn	675	1769	892	33	40
Zr	7	10	17	31	35

جدول ۶-۳- داده‌های آنالیز ICP-MS برای رخساره‌های کانسار منگنز بیجورد عناصر آهن، آلومینیوم، سیلیس و کلسیم بر حسب درصد می‌باشند

کانسار Au-Mn- Dahaneh Bijvard								
رخساره	Steringer	Massive	Bedded	Steringer	Bedded	Bedded	Massive	Massive
Name	MN-01	MN-03	MN-04	MN-06	MN-08	MN-09	MN-10	MN-11
Ag	0.3	4.3	6.1	0.075	4.5	5.3	4.5	2.6
Al	9.21	4.69	5.41	3.70	2.09	2.84	1.57	0.82
As	0.8	485.8	427.13	6.2	443.35	351.83	221.99	414.05
Ba	24	69	32	11	17	44	16	10
Be	0.15	1.3	1.5	0.15	0.7	0.9	0.6	0.5
Bi	0.2	0.8	0.7	0.2	1	0.9	0.9	1.4
Ca	5.52	8.2	13.45	17.61	11.86	9.72	6.75	9.59
Cd	0.075	1.9	1.3	0.2	1.4	1.6	1	1.4
Ce	6	14	14	7	11	13	9	8
Co	39.3	48.4	49.4	9.8	33.5	41.5	41.4	25.7
Cr	45	70	36	11	33	48	103	102
Cs	0.7	1.2	0.6	0.5	0.5	0.375	0.375	0.5
Cu	317	1085	1812	366	341	340	199	6670
Dy	2.48	7.64	6.37	1.55	6.91	6.32	8.1	7.38
Er	1.9	4.54	3.74	1.1	3.92	3.77	4.66	4.68
Eu	0.44	1.86	1.55	0.22	1.62	1.45	1.84	1.85
Fe	8.16	22.54	13.7	4.32	23.89	24.25	37.22	33.17
Gd	1.89	6.49	6.01	1.52	5.94	5.31	6.81	6.28
Hf	1.69	1.01	0.91	0.96	0.86	0.96	0.96	0.77
In	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.59	0.74
K	8566	8949	548	75	75	75	75	75
La	7	41	37	9	40	37	39	42
Li	15	19	11	13	8	7	6	8
Lu	0.29	0.57	0.45	0.19	0.55	0.42	0.64	0.55
Mg	28000	21000	19521	4707	4440	4522	2877	3128
Mn	1656	40000	52000	1186	36000	40000	40000	14526
Mo	0.075	14	21	0.075	13	14	6	15
Na	28044	2919	682	581	407	115	75	373
Nb	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.2	0.75	0.75
Nd	3.8	31.3	28	3.1	28	25.6	30.1	30.6
Ni	29	96	87	11	83	91	111	93
P	282	8147	16886	994	17816	8468	5329	20240
Pb	10	99	66	18	83	83	105	93
Pr	0.0375	7.33	6.48	0.0375	6.25	6.17	7.21	7.25
Rb	7	15	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
S	89	750	1193	230	888	761	476	627
Sb	0.375	0.6	0.375	<0.5	1.2	1.1	2.4	<0.5
Sc	43.1	24	10.2	9.9	6.2	14.1	10.2	5
Se	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
Si	21.5	12.81	13.65	17.11	13.71	15.64	10.99	10.59
Sm	0.86	6.07	5.38	0.39	6.06	5.21	6.28	6.12
Sn	0.5	0.7	0.5	0.4	1.2	0.8	1	1.4
Sr	135.1	147.2	163.5	70.7	145.7	84.8	50.8	159.3
Ta	0.47	0.44	0.4	0.36	0.39	6.35	0.4	0.36
Tb	0.45	1.11	0.96	0.34	1.02	0.94	1.14	1.12
Te	0.075	0.67	1.72	0.28	0.32	0.62	1.62	1.83
Th	<0.1	0.44	0.14	0.075	0.4	0.74	0.46	0.075
Ti	4403	1816	826	861	613	1196	853	458
Tl	0.25	0.6	0.12	0.11	0.075	0.075	0.075	0.075
Tm	0.28	0.7	0.46	0.19	0.56	0.54	0.65	0.64
U	0.1	1.1	1.4	0.2	1.5	1.4	1.1	2.5
V	316	755	921	172	380	634	418	233
W	0.75	1.4	3.3	0.75	3.6	2	2	3.6
Y	14.9	43.5	35.2	15.5	42.9	36	47.9	50
Yb	2.8	6.6	6.1	2.6	6.1	6	7.2	6.7
Zn	121	328	362	40	186	239	224	237
Zr	36	48	30	14	25	37	43	23

جدول ۴-۶- داده‌های آنالیز ICP-MS برای سنگ‌های آتشفشانی بدون کانه‌زایی

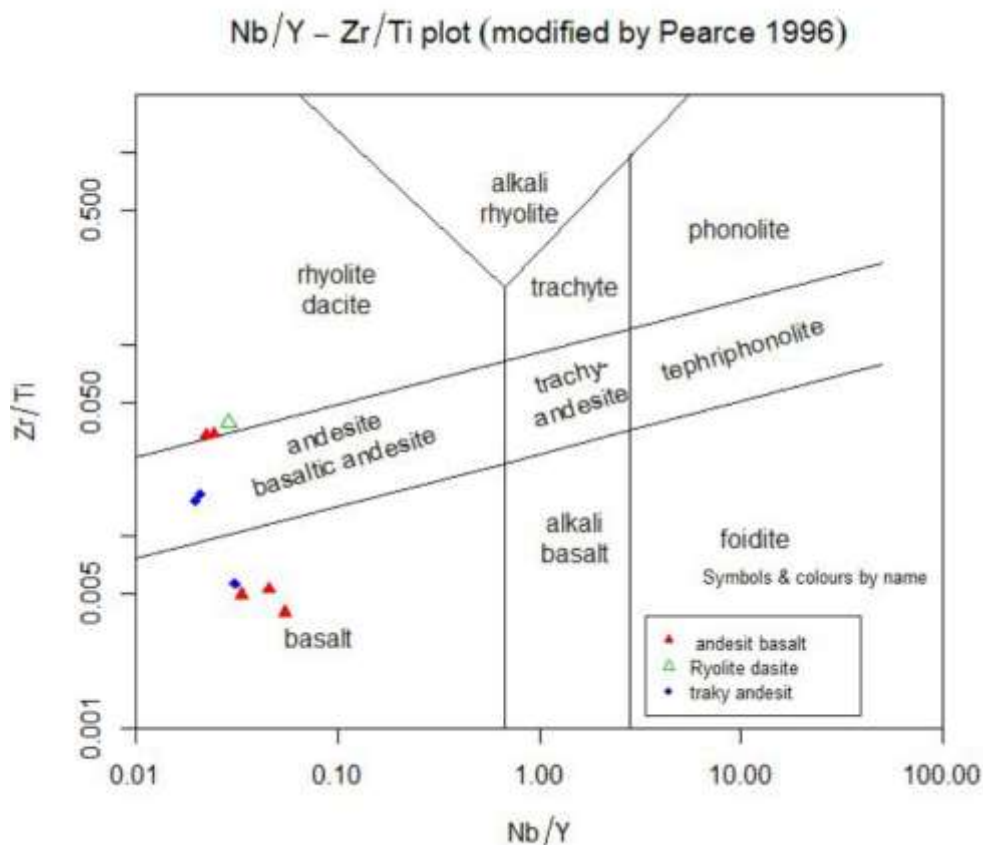
Rock type	Ryolite dasite	Andesit basalt	Traky andesit	Traky andesit	Traky andesit	Andesit basalt	Andesit basalt	Andesit basalt	Andesit basalt
Rock cod	AL-02	AL-08	AL-09-01	AL-11	AL-15	AL-32	AL-26	AL-34	AL-36-01
Ag	0.1	0.5	0.3	0.5	0.1	0.1	0.7	0.2	0.3
Al	7.97	8.39	6.04	6.55	6.54	5.61	10.14	6.53	6.68
As	0.3	2.3	1.9	0.5	2.7	4.9	4.1	6.6	0.7
Ba	254	16	11	16	4	257	84	153	5
Be	0.3	0.15	0.15	0.15	0.15	0.3	0.15	0.5	0.15
Bi	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
ca	2.4	4.41	0.76	1.59	2.24	0.5	6.07	2.96	4.66
Cd	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.1	0.1	0.075
Ce	18	3	8	7	5	17	9	22	4
Co	7.9	32.5	9.5	4.1	16.6	3.4	22.5	3.1	24.9
Cr	10	67	5	7	163	9	11	32	332
Cs	0.5	0.6	0.5	0.375	0.375	0.5	1	1.6	0.375
Cu	9	134	413	11	32	18	2315	17	26
Dy	4.59	1.87	6.03	12.4	3.19	4.94	3	6.62	2.81
Er	3.46	1.3	4.17	9.74	2.68	3.84	1.96	4.6	2.14
Eu	0.74	0.17	0.56	1.38	0.38	0.89	0.59	1.05	0.34
fe	2.74	6.95	4.94	4.8	4.97	2.64	6.86	2.69	5.99
Gd	3.39	1.25	3.66	6.81	2.12	3.71	2.32	4.64	1.72
Hf	4.31	1.29	2.28	3.27	1.1	2.74	1.43	3.84	1.2
In	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
K	18846	12691	1918	2878	169	18154	5496	7853	75
La	11	6	6	6	6	11	8	12	6
Li	7	22	12	16	11	15	9	19	9
Lu	0.58	0.27	0.67	1.61	0.4	0.54	0.34	0.67	0.35
Mg	5614	4.4%	10729	8191	15504	4166	2.25%	3808	2.13%
Mn	581	1259	749	958	898	905	1859	769	1372
Mo	0.075	0.075	1	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
Na	41560	10939	28029	30222	35108	30010	34825	16996	30504
Nb	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Nd	10.3	0.8	4.6	9.2	2.7	9.9	4.5	13.3	1.7
Ni	5	42	0.75	0.75	26	1	2	4	52
P	342	138	343	337	435	507	764	394	217
Pb	7	8	11	17	8	20	7	16	9
Pr	1.61	0.375	0.13	0.88	0.375	1.23	0.075	1.89	0.375
Rb	9	0.75	0.75	0.75	0.75	11	0.75	5	0.75
S	63	688	64	13.25	13.25	13.25	118	85	62
Sb	0.375	0.7	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
Sc	15.6	57.7	31.4	28.7	42	17.7	37.6	15.3	50.3
Se	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
Si	32.06	24.72	32.99	32.63	32.22	34.91	20.58	29.46	24.88
Sm	2.63	<0.02	1.45	3.75	0.59	2.74	1.04	3.32	0.41
Sn	0.9	0.4	0.6	1.5	0.5	0.9	0.4	1.1	0.5
Sr	50.6	87	70	29.5	22.6	31.2	239.4	639.2	40.6
Ta	0.4	0.44	0.34	0.37	0.36	0.36	0.36	0.38	0.35
Tb	0.67	0.34	0.76	1.45	0.5	0.73	0.56	0.9	0.45
Te	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
Th	0.42	0.075	0.075	0.075	0.075	0.17	0.075	0.42	0.075
Ti	2552	3261	3418	2762	2834	2982	4191	2994	3657
Tl	0.15	0.075	0.11	0.075	0.075	0.21	0.075	0.17	0.075
Tm	0.54	0.24	0.67	1.53	0.42	0.62	0.36	0.72	0.38
U	0.4	0	0.1	0.2	0.075	0.4	0.1	0.4	0.1
V	64	354	18	2	239	16	405	12	249
W	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Y	26.2	13.8	35.9	38	24.2	33.7	16.4	30.9	22.5
Yb	3.1	2.6	5	5.1	3	3.9	3	3.9	3.3
Zn	51	93	127	134	91	90	121	84	99
Zr	100	13	57	42	16	100	22	102	18

جدول ۵-۶- آنالیز طلا از نمونه‌های سطحی محدوده کلاته القبابی و دهنه بیجورد

Code	Assay	Location	Sample type
AL-	5	محدوده القبابی	از قسمت گوسن
AL-	5	محدوده القبابی	از قسمت گوسن
AL-	608	محدوده القبابی	استرینگر زون سولفیدی
Bj-1	397	محدوده بیجورد غربی	دگرسانی آرژیلیکی
Bj-2	6	محدوده بیجورد غربی	شیل توفی اکسید آهن منگنز
Bj-6	1086	محدوده بیجورد غربی	دگرسانی آرژیلیکی همراه اکسید آهن منگنز
Bj-7	366	محدوده بیجورد غربی	دگرسانی آرژیلیکی همراه اکسید آهن منگنز
Bj-8	2885	محدوده بیجورد غربی	دگرسانی آرژیلیکی همراه اکسید آهن منگنز
Bj-9	1131	محدوده بیجورد غربی	دگرسانی آرژیلیکی همراه اکسید آهن منگنز

جدول ۶-۶- نتایج آنالیز طلا از مغزه‌های حفاری در معدن دهنه بیجورد شمالی بر حسب (PPb). (آنالیز از شرکت معدنی بیجورد)

Hole id	Assay	Hole id	Assay	Hole id	Assay	Hole id	Assay	Hole id	Assay	Hole id	Assay	Hole id	Assay
BH-9	5	BH-18	5	BH-18	5	BH-1	5	BH-16	5	BH-2	5	BH-3	60
BH-9	5	BH-18	368	BH-18	5	BH-1	5	BH-16	5	BH-2	5	BH-3	77
BH-9	5	BH-18	190	BH-18	5	BH-1	5	BH-2	208	BH-2	5	BH-3	95
BH-9	5	BH-18	193	BH-1	5	BH-16	357	BH-2	378	BH-3	5	BH-3	173
BH-6	5	BH-18	426	BH-1	20	BH-16	24	BH-2	50	BH-3	47	BH-3	127
BH-6	5	BH-18	75	BH-1	122	BH-16	53	BH-2	188	BH-3	36	BH-3	63
BH-6	5	BH-18	1081	BH-1	173	BH-16	53	BH-2	163	BH-3	93	BH-3	5
BH-6	5	BH-18	130	BH-1	80	BH-16	15	BH-2	66	BH-3	39	BH-3	5
BH-20	5	BH-18	355	BH-1	28	BH-16	24	BH-2	61	BH-3	21	BH-3	5
BH-20	5	BH-18	285	BH-1	80	BH-16	35	BH-2	45	BH-3	25	BH-17	118
BH-20	5	BH-18	209	BH-1	40	BH-16	20	BH-2	50	BH-3	10	BH-17	139
BH-20	5	BH-18	579	BH-1	92	BH-16	19	BH-2	33	BH-3	43	BH-17	118
BH-20	5	BH-18	254	BH-1	97	BH-16	15	BH-2	33	BH-3	50	BH-17	72
BH-20	5	BH-18	170	BH-1	40	BH-16	11	BH-2	32	BH-3	25	BH-17	129
BH-20	5	BH-18	198	BH-1	66	BH-16	8	BH-2	57	BH-3	28	BH-17	163
BH-20	5	BH-18	74	BH-1	421	BH-16	6	BH-2	67	BH-3	42	BH-17	363
BH-20	5	BH-18	49	BH-1	865	BH-16	17	BH-2	53	BH-3	42	BH-17	370
BH-20	5	BH-18	53	BH-1	15	BH-16	16	BH-2	92	BH-3	54	BH-17	72
BH-22	5	BH-18	121	BH-1	552	BH-16	13	BH-2	95	BH-3	53	BH-17	68
BH-22	5	BH-18	57	BH-1	5	BH-16	9	BH-2	5	BH-3	49	BH-17	13
BH-22	5	BH-18	5	BH-1	14	BH-16	5	BH-2	5	BH-3	50	BH-17	58
BH-22	5	BH-18	5	BH-1	5	BH-16	5	BH-2	5	BH-3	44	BH-17	316
BH-17	5	BH-18	5	BH-1	5	BH-16	5	BH-2	5	BH-3	45	BH-17	5
BH-17	5	BH-17	5	BH-17	5	BH-17	5	BH-17	5	BH-17	5		



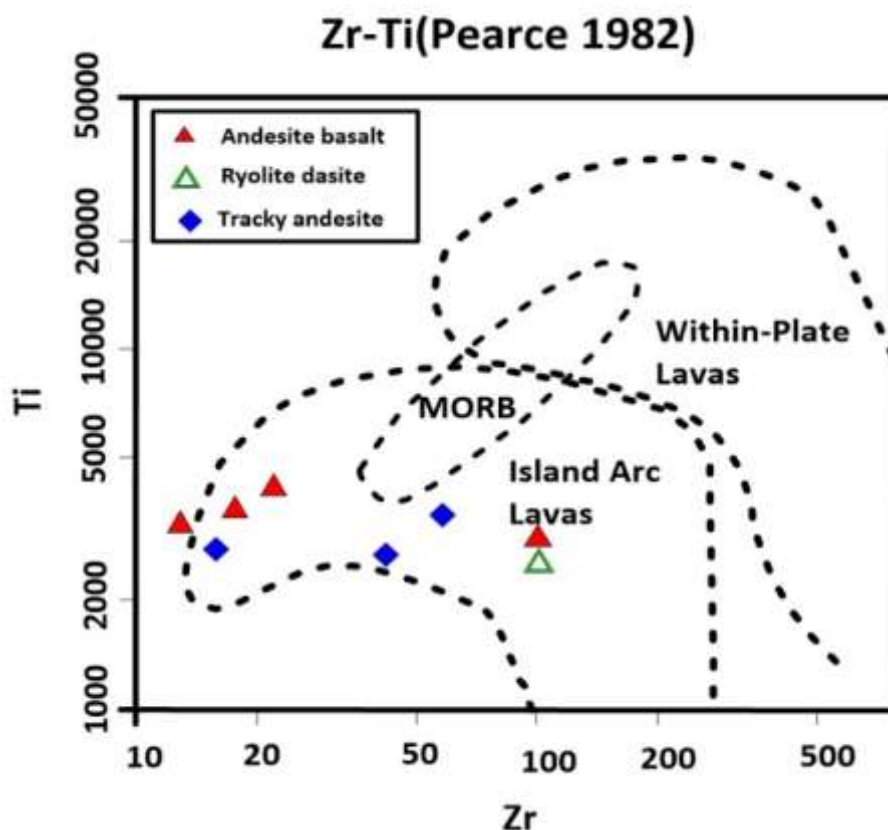
شکل ۶-۱- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن میزبان کانه‌زایی (Pierce, 1996)

۶-۴- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی

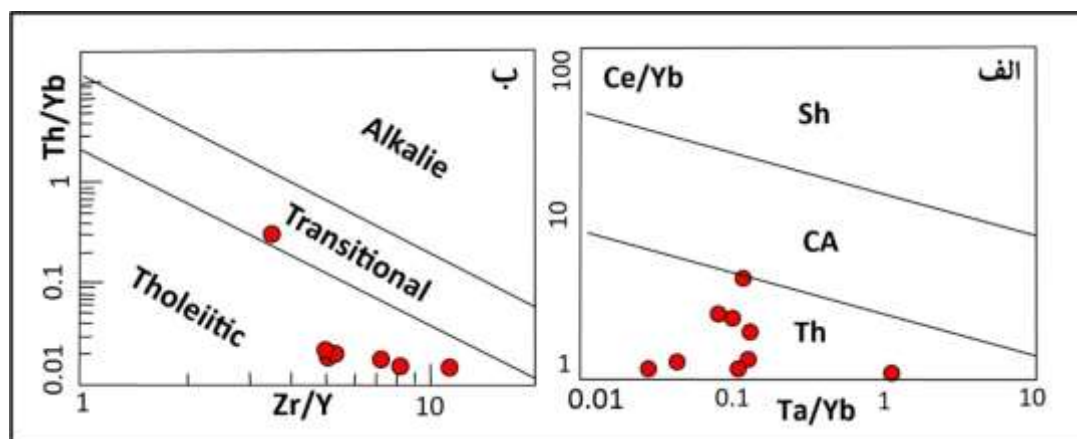
بررسی ژئوشیمی عناصر نادر خاکی موجود در کانی‌های سولفیدی منطقه، برای تکمیل نتایج تکتونیکی و مطالعه ژنز کانسار کاربرد زیادی دارد (Nail yildirim et al., 2012). عناصر نادر خاکی به دو گروه عناصر سبک (Sm, Nd, Pr, Ce, Lu, Eu) و عناصر خاکی سنگین (Gd, Yb, Tm, Er, Y, Ho, Dy, Tb) تقسیم می‌شود.

عناصر REE به دلیل دارا بودن یون‌های پایدار $+3$ با اندازه‌های مشابه، خصوصیات فیزیکیوشیمیایی مشابهی دارند. این عناصر دارای اختلافات کوچکی در رفتارهای شیمیایی خود هستند که دلیل آن کاهش یک‌نواخت اندازه یونی با افزایش عدد اتمی است. این رفتار در بین عناصر نادر خاکی باعث می‌شود که توسط برخی فرآیندهای زمین-شناسی از یکدیگر تفکیک شوند. تمرکز REE در کانی‌های متبلور شده در مراحل اولیه تبلور ماگما (همانند

الیوین و پیروکسن) پایین است اما تمرکز آن‌ها در کانی‌های فرعی که در طی مراحل آخر تبلور ماگما متبلور می‌شوند (از قبیل مونازیت، آلانیت، اسفن، آپاتیت و زیرکن) بالاست. به علاوه، این کانی‌های فرعی REE را تفکیک می‌کنند.



شکل ۶-۲- نمودار تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آندزیت بازالتی کرتاسه پسین شمال بردسکن نسبت $Ti-Zr$ در جزیره کمانی قرار دارد.



شکل ۶-۳- نمودارهای چند عنصری عناصر کمیاب و نادر خاکی نسبت‌های Ta/Yb _ Ce/Yb (Pearce, 1983) و Zr/Y در مقابل Th/Yb استفاده شده است که نمونه‌ها در محدوده تولییتی و انتقالی قرار گرفته است.

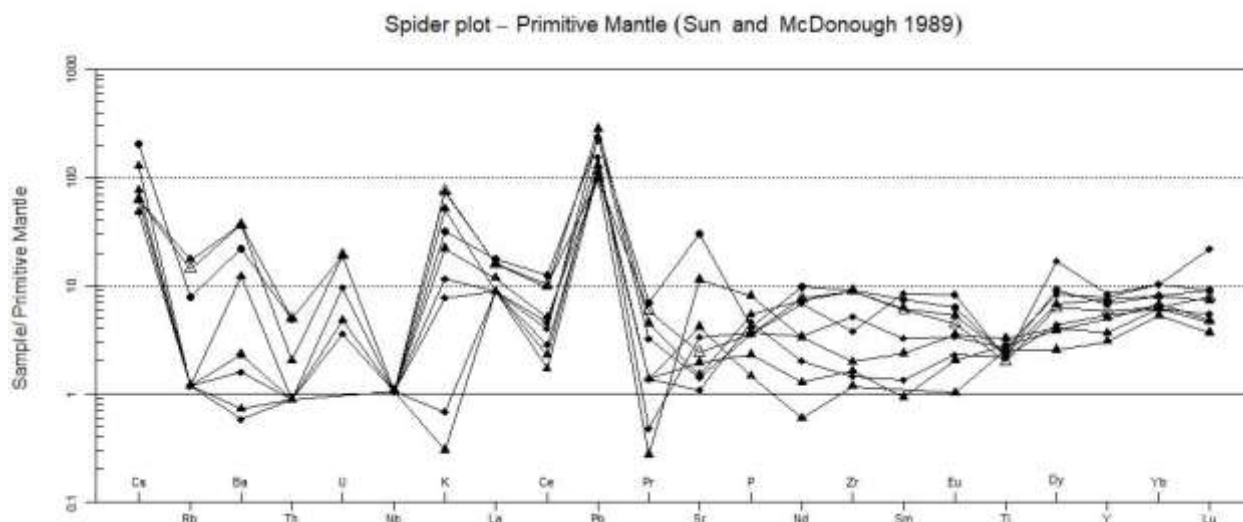
برای مثال، گارنت HREE را نسبت به LREE بیشتر در خود متمرکز می‌کند. همچنین، REE‌ها به دلیل شعاع یونی بزرگ به عنوان عناصر اصلی کانی‌های رایج سنگ‌های آذرین عمل نمی‌کنند. این عناصر کمتر تمایل به ساخت کانی‌های مخصوص به خود را دارند و بیشتر تمایل به جایگزینی در شبکه بلورین دیگر کانی‌ها را دارند. نخستین کانی شناسایی شده از این عناصر گادولینیت نام دارد که یک ترکیب شیمیایی از سریوم، ایتریوم، آهن سیلیسیم و دیگر عناصر دارا می‌باشد.

۶-۴-۱- الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در سنگ‌های آتشفشانی توالی میزبان

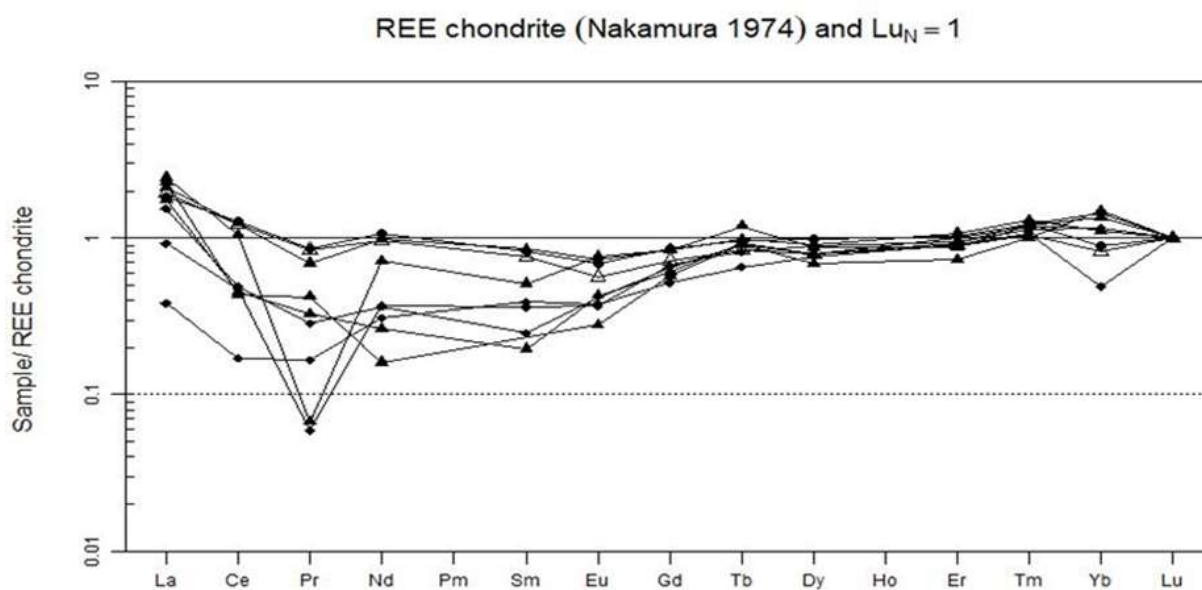
REE‌ها برای تعیین پتروژنز سنگ‌های آذرین و منشأ گوشته‌ای ماگما بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین، نمودار عناصر خاکی کمیاب یکی از مهم‌ترین نمودارهای جهت مطالعات پتروژنز است. عناصر خاکی کمیاب در طی دگرگونی درجه پایین، هوازدگی و دگرسانی گرمایی نسبتاً غیرمتحرک هستند. عناصر کمیاب رفتارهای متفاوتی در نمودارهای عنکبوتی از خود نشان می‌دهند. برای نمونه LILE شامل Sr, Rb, K, Ba و Cs نسبت به HFSE شامل Y, Hf, Zr, Ti, Nb, Ta و تحرک بیشتری دارند و رفتارهای متفاوتی نیز از خود نشان می‌دهند. رفتار LILE بیشتر در ارتباط با فاز سیال و در برابر آن غلظت HFSE‌ها بیشتر در کنترل شیمی سنگ و فرآیند تبلور است. غلظت عناصر کمیاب توسط کانی‌های ویژه‌ای کنترل می‌شود، برای نمونه غلظت Zr توسط زیرکن، غلظت Nb, Ti و Ta توسط ایلمنیت، روتیل و اسفن و غلظت P توسط آپاتیت و مونازیت کنترل می‌شود. عناصر گروه LILE بسیار متحرک می‌باشند و همان‌گونه که گفته شد در کنترل سیال‌های ماگمایی هستند، بیشتر تمرکزشان در پوسته قاره‌ای بوده و با بالا بودن غلظت آن‌ها در ماگما می‌تواند نشان‌گر آرایش پوسته‌ای باشد. در نمودار بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989)، نمونه‌ها از عناصر هم‌چون Ba, K, Pb, U غنی‌شدگی و از عناصر Nb, Ti, Th و Zr تهی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۶-۴). اگرچه ترکیبات ماگماهای کمانی در کمان‌های مختلف متفاوت است، اما معمولاً ماگماهای تولید شده در زون فروران‌ش دارای ویژگی شیمیایی خاصی هستند که متفاوت از دیگر ماگماهای تولید شده در جایگاه‌های مختلف تکتونیکی از قبیل درون ورقه‌ای، پشته‌های میان اقیانوسی و جزایر اقیانوسی هستند (Gill, 1981). سیال‌های برگرفته شده از ورقه فرورانده شده از Ba, Rb, U و Pb غنی و از Nb, Th, Ti و تهی‌شدگی نشان

می‌دهند (Pearce, 1983). بنابراین، سنگ‌های آذرین تشکیل شده در کمان‌های ماگمایی دارای غنی‌شدگی از LILE و تهی‌شدگی از Ta, Ti, Nb هستند (Stern, 2004). هم‌چنین به عقیده برخی از پژوهش‌گران، سنگ‌های آتشفشانی جزایر کمانی به طور مشخصی از مورب و بازالت‌های جزایر اقیانوسی با داشتن مقادیر کمتری از HFSE (Ti, P, Zr, Hf, Nb, Ta) نسبت به LREE و LILE (Cs, Rb, K, Ba, Pb, Sr,) (Th, U) متفاوت هستند (Hawkesworth et al., 1993). نمودار چند عنصری بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه نمونه‌ها بیان‌گر ویژگی‌های ماگماهای زون فروران‌ش-کمان است. در نمودار عناصر فرعی و کمیاب سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بهنجار شده با فراوانی گوشته اولیه روند تغییرات عناصر در سنگ‌های مختلف کم و بیش موازی است که این امر نیز تأکید بر منشأ واحد آن‌ها دارد. بی‌هنجاری مثبت Pb تا بالای ۱۰۰ برابر مقادیر اولیه-اش نسبت به گوشته اولیه به متاسوماتیسم گوه گوشته‌ای توسط سیال‌های ناشی از ورقه اقیانوسی فرورو یا آرایش ماگما اشاره دارد. هم‌چنین، نمونه‌ها از Ba غنی‌شدگی نشان می‌دهند، به دلیل این‌که عنصری ناسازگار و متحرک می‌باشد. که مقدار آن معمولاً در پوسته قاره‌ای و رسوبات زیاد است (Rollinson, 1993). هنگامی که پوشش رسوبی روی ورقه اقیانوسی به درون گوشته فرورانده می‌شود، عنصر Ba توسط سیال‌های مشتق شده از رسوبات آبدار و پوسته اقیانوسی به گوه گوشته‌ای منتقل می‌شود. و در ماگما مقدار آن بالایی رود (Morata and Aguirre, 2003). ایجاد الگوهای ضربدری در روند تغییرات عناصر کمیاب می‌تواند نشان‌دهنده شکل‌گیری سنگ‌ها در مناطق فروران‌ش باشد، زیرا در مناطق فروران‌ش سنگ کره فرورانده از Nb فقیر و از LILE غنی است و هنگام فروران‌ش محتوای این عناصر در گوه گوشته‌ای نیز افزایش می‌یابد. در پهنه‌های فروران‌ش، ماگماهایی با خاستگاه گوشته‌ای می‌توانند از دو منطقه ورقه فرورانده و گوه گوشته‌ای روی آن سرچشمه بگیرند. در این صورت، سیال‌های برآمده از آب‌زدایی (Dehydration) ورقه اقیانوسی فرورانده با ورود به گوه گوشته‌ای آن را متاسوماتیز کرده، از عناصر ناسازگار غنی ساخته و موجب ذوب‌بخشی و ایجاد ماگما شده است. ولی بخش پوسته-ای اقیانوس نیز ذوب می‌شود و در تشکیل ماگما برخاسته از این مناطق شرکت می‌کند. غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر در ماگماهای کمان منعکس‌کننده رخ دادن فرآیندهای مشخص در ناحیه منشأ مذاب و بطور ویژه اضافه شدن ترکیبات فروران‌ش است (Hawkesworth et al., 1993). ماگمای تولید شده در جایگاه‌های زون

فرورانش در مقایسه با بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی (MORB) و بازالت‌های جزایر اقیانوسی (OIB) به طور ویژه‌ای از عناصر لیتوفیل بزرگ یون (LILE)، عناصر نادر خاکی سبک (LREE) و عناصر متحرک (همانند B, Cs, Pb) غنی هستند. این غنی‌شدگی با مقادیر پایین‌تر عناصر با قدرت میدان بالا (HFSE) از قبیل Nb, Zr, Ta)، عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) از قبیل Yb, Lu و Ti عناصر انتقالی همراه می‌باشد (Tatsumi et al., 1983; Hawkesworth et al., 1991). همراهی معنی‌دار تراکی آندزیت، آندزیت بازالت، داسیت و ریولیت در یک واحد آتشفشانی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها از نظر زایشی به هم مرتبط می‌باشند (شکل ۴-۶). بررسی الگوهای نمودارهای بهنجار شده و عنکبوتی به گوشته اولیه و کندریت نشان می‌دهند که سنگ‌های بیرونی مورد مطالعه، هم‌خوانی ژئوشیمیایی قابل توجهی دارند. این امر نشان می‌دهد که ماگمای سازنده آن‌ها از ذوب بخشی گوه گوشته‌ای فرورونده واحد، با فرآیندهای مشابه در یک محیط فرورانش منشأ گرفته‌اند. کانی‌های خاص روی شکل الگو REE در طی ذوب بخشی و تبلور تفریقی تأثیر ویژه‌ای دارند (Nakamura, 1974). همان‌گونه که در نمودار الگوی عناصر نادر خاکی بهنجار شده به کندریت مشاهده می‌شود، نمونه‌های مورد بررسی یک الگوی تقریباً مسطح از REE را به نمایش می‌گذارند که در آن عناصری مانند پرازئودیم (Pr) تهی‌شدگی را نشان می‌دهند که ناشی از دگرسانی یا خطای دستگاہی نمونه برداشت شده باشد (شکل ۵-۶). این گونه الگوی مسطح بیان‌گر تشکیل سنگ‌ها در جایگاه‌های فرورانش و تولئیت‌های جزایر کمانی است (Khan et al., 2005).



شکل ۴-۶- نمودار عناصر فرعی و کمیاب در سنگ‌های آتشفشانی کرتاسه پسین شمال بردسکن که به گوشته اولیه نرمالیزه شده‌اند (Sun and McDonough, 1989).

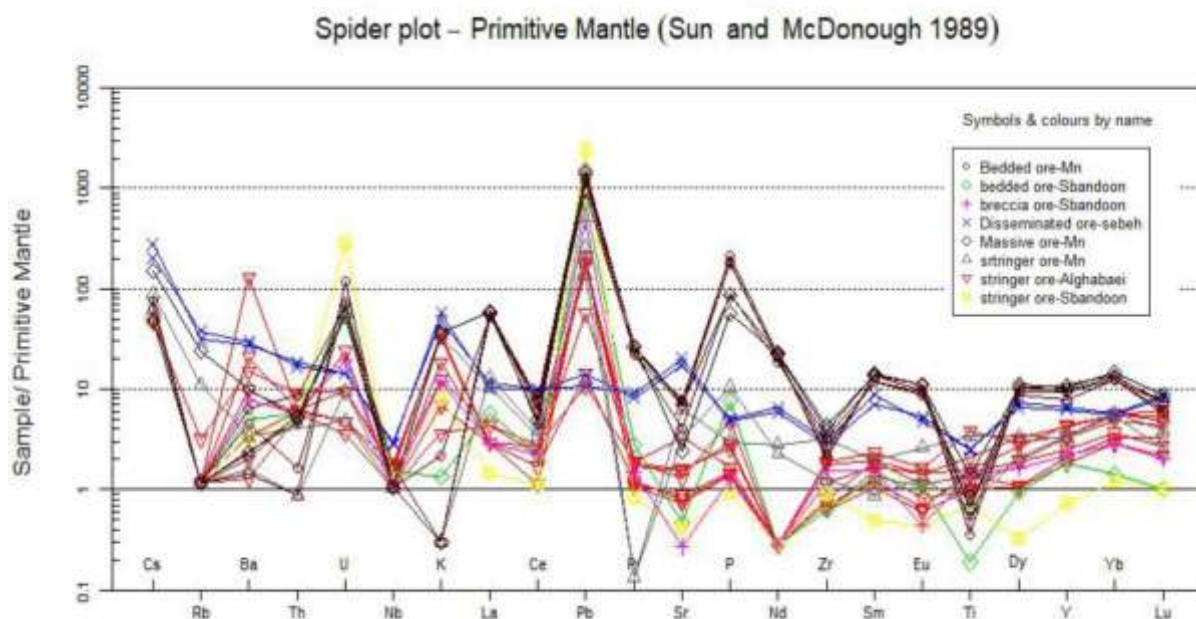


شکل ۴-۵- نمودارهای چند عنصری بهنجار شده نسبت به کندریت

۶-۴-۲- الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در ماده معدنی در توالی کرتاسه پسین شمال بردسکن

الگوی عناصر کمیاب و نادر خاکی برای تفسیر تاریخچه و ژنز کانسار کاربرد زیادی دارد (Lottermoser, 1992). هدف مقایسه رفتار این عناصر در نمونه‌های کانسنگ نسبت به مقادیر آن‌ها در نمونه‌های به‌هنگار شده استاندارد می‌باشد. به این ترتیب نمودارهای مشابهی فراهم آمد است که نتیجه‌گیری بابت میزان تهی‌شدگی و غنی‌شدگی این عناصر نسبت به یک مرجع مناسب را در اختیار قرار می‌دهد. با این شواهد منشأ سنگ میزبان و کانه‌زائی آن روشن خواهد شد. جهت بررسی الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در ماده معدنی، نتایج حاصل از آنالیز ۲۰ نمونه از رخساره‌های سولفیدی رگه-رگچه‌ای کانسار مس القبایی، رخساره‌های رگه-رگچه‌ای، برشی و نواری از محدوده سه بندون، و رخساره‌های توده‌ای، نواری و رگه-رگچه‌ای از منگنز بیجورد و از بافت دانه‌پراکنده از محدوده سبه انجام گرفته است. با فرض این‌که تمامی رخساره‌های کانه‌دار اولیه این توالی آتشفشانی رسوبی به یک سامانه واحد کانه‌زایی در ارتباط باشند، نتایج آنالیز توسط نرم افزار GCDKit مورد پردازش قرار گرفته است. برای این منظور مجموعه داده‌های یاد شده با نمودار به‌هنگار شده با گوشته اولیه مقایسه شده است (شکل ۶-۶).

الگوی عناصر نادر کمیاب و خاکی رخساره‌های مختلف کانسار در توالی کرتاسه پسین شمال بردسکن ارتباط معنی‌داری نشان می‌دهند که با نمونه‌های مرجع گوشته اولیه مقایسه شده و غنی‌شدگی چندین برابر عناصر سرب، باریت، اورانیوم، فسفر و لانتانیم اتفاق افتاده است. الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین در شمال بردسکن، با الگوی سنگ‌های آتشفشانی شباهت زیادی نشان می‌دهد (شکل ۶-۶). این امر، می‌تواند نشان‌دهنده نشأت گرفتن فلزات و عناصر کانه‌ساز از شستشوی این سنگ‌های آتشفشانی کم‌پایین توسط سیال کانه‌ساز باشد.



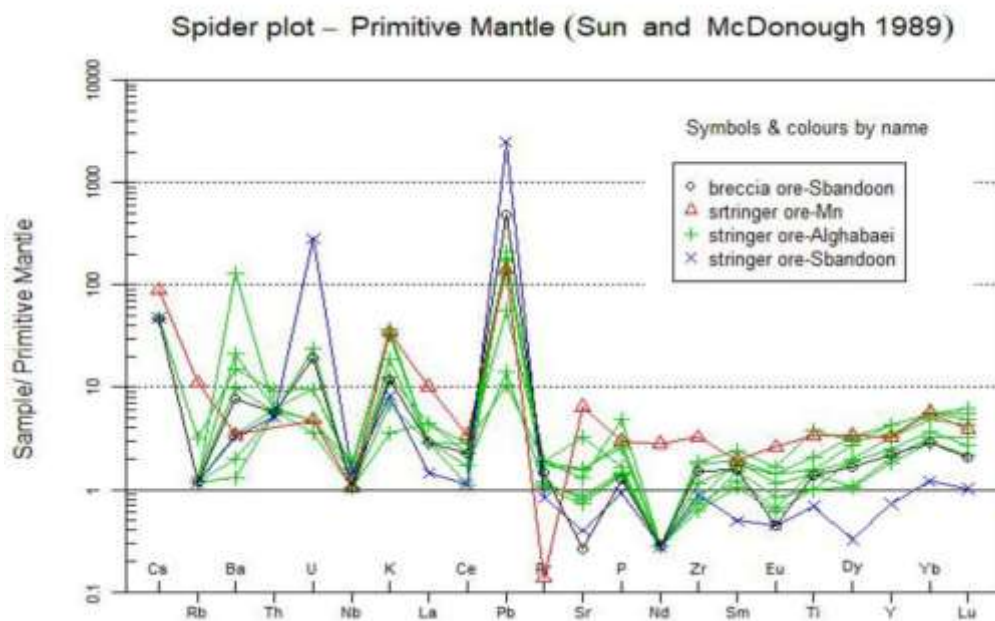
شکل ۶-۶- نمودار تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر فرعی و کمیاب در رخساره‌های مختلف کانسار در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن، بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sum 1989).

۶-۴-۳- الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در رخساره رگه-رگچه‌ای و برشی

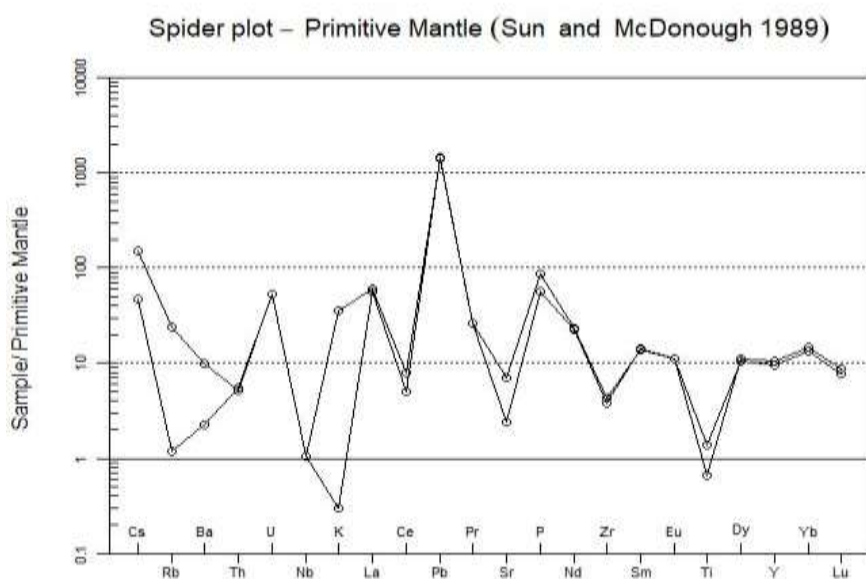
مقدار سرب در رخساره استرینگر محدوده‌های القبایی، سه بندوق و بیجورد غنی‌شدگی را نشان می‌دهد و مقدار باریم تنها در محدوده القبایی غنی‌شدگی خوبی نشان می‌دهد (شکل ۶-۷).

۶-۴-۴- الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در رخساره توده‌ای منگنز بیجورد

در محدوده منگنز بیجورد عنصر سرب، اورانیوم و فسفر غنی‌شدگی نشان می‌دهد و تیتانیوم تهی‌شدگی نشان می‌دهد (شکل ۶-۸).



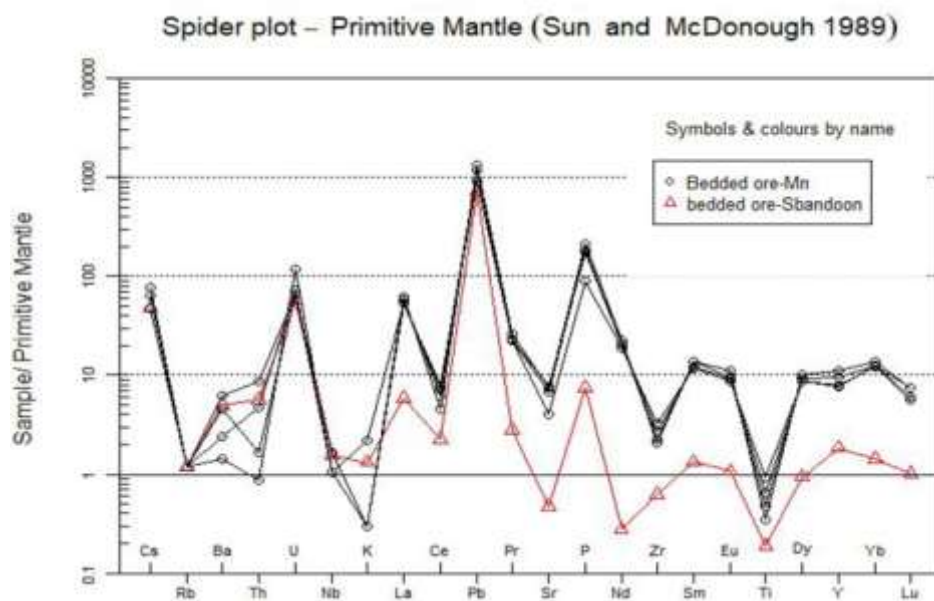
شکل ۶-۷- نمودار چند عنصری (Sun and McDonough, 1989) که به گوشته اولیه نرمالیزه شده است.



شکل ۶-۸- نمودار چند عنصری (Sun and McDonough 1989) که به گوشته اولیه نرمالیزه شده است.

۵-۴-۶- الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در رخساره لایه‌ای سه بندوق و منگنز بیجورد

رخساره نواری برون‌دومی در منگنز بیجورد و سه بندوق از نظر سرب، اورانیوم و فسفر غنی‌شدگی نشان می‌دهد و از تیتانیوم فقیرشدگی نشان می‌دهد و مقدار لانتانیوم تا حدودی در اغزالات منگنز افزایش یافته است که ناشی از محیط دریایی می‌باشد (شکل ۹-۶).



شکل ۹-۶- نمودار چند عنصری (Sun and McDonough 1989) که به گوشته اولیه نرمالیزه شده است.

۵-۶- میزان پراکندگی و ضریب همبستگی عناصر در کانسار القبایی

همبستگی مفهوم نشانگر رابطه‌ی قابل پیش‌بینی بوده و در عمل از این پیش‌بینی می‌توان استفاده کرد. همبستگی عبارت است از شدت وابستگی بین دو متغیر اندازه‌گیری شده در یک مجموعه از داده‌های منفرد است. این پارامتر با استفاده از ضریب همبستگی خطی حاصل ضرب مومنت پیرسون محاسبه شده و به عنوان ضریب همبستگی معروف است. در جدول همبستگی، ارتباط میان هر عنصر با سایر عناصر، به صورت عددی بین ۱- تا ۱+ نشان داده می‌شود. علامت مثبت بیانگر ارتباط مستقیم بین دو عنصر و علامت منفی بیانگر ارتباط معکوس بین دو عنصر می‌باشد. هر چه قدر، قدر مطلق ضریب به دست آمده بین دو عنصر به عدد یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر ارتباط قوی‌تر (مستقیم یا معکوس) بین آن دو عنصر می‌باشد.

با توجه به (جدول ۶-۷)

عنصر نقره همبستگی مثبت قوی به رنگ قرمز با مس و همبستگی مثبت متوسط به رنگ زرد با گوگرد دارد و

همبستگی منفی ضعیفی به رنگ سبز با عناصر آرسنیک، باریم و منگنز دارد.

عنصر آرسنیک همبستگی مثبت متوسط با روی و ضعیف با سرب دارد.

عنصر مس همبستگی قوی با نقره و گوگرد دارد که گوگرد نشانه کانه‌های سولفیددار همانند کالکوپیریت می‌باشد.

عنصر باریم همبستگی متوسط معنی‌داری با عناصر سرب و روی به رنگ زرد دارا می‌باشد و همبستگی منفی

ضعیفی با مس به رنگ سبز دارد.

منگنز همبستگی منفی ضعیفی با گوگرد و نقره دارد.

سرب همبستگی مثبت قوی با روی (به رنگ قرمز) دارد و همبستگی مثبت متوسط با عنصر باریم دارا می‌باشد.

روی همبستگی مثبت قوی با سرب و همبستگی مثبت متوسط با باریم و آرسنیک دارا می‌باشد.

سولفور همبستگی مثبت قوی با مس و همبستگی مثبت متوسط با نقره را دارا می‌باشد.

جدول ۶-۷- ضریب همبستگی عناصر نمونه‌های کانسنگ در محدوده مس-طلائی القبابی

	Ag	As	Ba	Cu	Mn	Pb	Zn	S
Ag	1							
As	-0.228	1						
Ba	-0.291	-0.001	1					
Cu	.917**	-0.240	-0.207	1				
Mn	-0.344	-0.030	0.083	-0.439	1			
Pb	0.179	0.327	0.553	0.110	0.398	1		
Zn	0.070	0.549	0.658	0.095	0.141	.853*	1	
S	0.485	-0.280	-0.067	.790*	-0.394	-0.108	0.002	1

۶-۶- میزان پراکندگی و ضریب همبستگی عناصر در کانسار طلای سه بندون

با توجه به جدول ۶-۸، عنصر نقره همبستگی شدید منفی به رنگ آبی با عناصر منگنز و آرسنیک دارد و همبستگی مثبت خوب با مولیبدن به رنگ نارنجی و همبستگی مثبت متوسط با عناصر مس، سرب، روی و سولفور را دارا می‌باشد.

آرسنیک همبستگی شدید منفی با نقره و همبستگی مثبت شدید به رنگ قرمز با منگنز و همبستگی منفی متوسط با عناصر سرب، گوگرد و مس به رنگ بنفش و همبستگی منفی خوبی با عنصر روی به رنگ آبی را دارا می‌باشد.

باریم همبستگی مثبت شدید با مس به رنگ قرمز و همبستگی مثبت خوب با سولفور و مولیبدن به رنگ نارنجی و همبستگی منفی خوبی با سرب و روی به رنگ بنفش و آبی دارد.

مس همبستگی مثبت قوی با باریم، مولیبدن و سولفور را دارد و همبستگی منفی متوسط با منگنز و سرب و همبستگی مثبت متوسط به نقره و منفی متوسط با آرسنیک را دارا می‌باشد.

منگنز همبستگی مثبت قوی با آرسنیک و منفی قوی با نقره دارد و همبستگی منفی متوسط و خوبی با عناصر مس، روی، سرب، گوگرد و مولیبدن دارا می‌باشد.

سرب با روی همبستگی مثبت قوی و با نقره همبستگی مثبت متوسط دارد و همبستگی منفی خوبی با باریم و همبستگی منفی متوسط با آرسنیک، مس، منگنز و گوگرد دارد.

روی با سرب همبستگی مثبت قوی و با آرسنیک همبستگی خوب منفی و همبستگی منفی متوسط با باریم، منگنز و سولفور دارا می‌باشد.

گوگرد همبستگی مثبت قوی با مس و مولیبدن و همبستگی خوبی با باریم و همبستگی متوسط با نقره دارد و همبستگی منفی متوسط با عناصر آرسنیک، منگنز و سرب دارد.

جدول ۶-۸- ضریب همبستگی عناصر نمونه‌های کانسنگ در محدوده طلای سه بندون

	Ag	As	Ba	Cu	Mo	Mn	Pb	Zn	S
Ag	1								
As	-0.996	1							
Ba	0.070	0.025	1						
Cu	0.485	-0.400	0.906	1					
Mo	0.716	-0.646	0.747	0.958	1				
Mn	-.999*	0.991	-0.106	-0.517	-0.740	1			
Pb	0.456	-0.538	-0.856	-0.557	-0.295	-0.424	1		
Zn	0.697	-0.762	-0.666	-0.288	-0.002	-0.671	0.956	1	
S	0.531	-0.448	0.882	.999*	0.972	-0.561	-0.512	-0.237	1

۶-۷- میزان پراکندگی و ضریب همبستگی عناصر در کانسار منگنز بیجورد

با توجه به جدول ۶-۹، عنصر نقره با باریم همبستگی متوسط مثبت دارد و با عنصر مس بدون همبستگی و با عناصر مولیبدن، منگنز، سرب، روی و گوگرد همبستگی مثبت قوی نشان می‌دهد.

آرسنیک با عنصر باریم و مس همبستگی مثبت ضعیف نشان می‌دهد و با عناصر مولیبدن، منگنز، سرب، روی و گوگرد همبستگی مثبت قوی نشان می‌دهد.

باریم با آرسنیک، سرب روی و گوگرد همبستگی مثبت ضعیف نشان می‌دهد و با عنصر منگنز همبستگی منفی متوسط نشان می‌دهد.

مس با عنصر منگنز همبستگی مثبت قوی نشان می‌دهد و با عناصر سرب، روی، مولیبدن و آرسنیک همبستگی مثبت ضعیفی نشان می‌دهد.

مولیبدن با عنصر منگنز همبستگی مثبت خیلی قوی نشان می‌دهد و با عناصر نقره، آرسنیک، گوگرد و روی همبستگی مثبت قوی نشان می‌دهد و با مس و سرب همبستگی مثبت متوسط تا ضعیف نشان می‌دهد.

سرب با عناصر نقره، آرسنیک و منگنز همبستگی مثبت قوی نشان می‌دهد و با عناصر مولیبدن، روی و گوگرد همبستگی مثبت متوسط نشان می‌دهد.

روی با عناصر مولیبدن، منگنز، گوگرد، نقره و آرسنیک همبستگی مثبت قوی نشان می‌دهد و با عنصر باریم همبستگی مثبت ضعیف و با عنصر سرب همبستگی مثبت متوسط نشان می‌دهد.

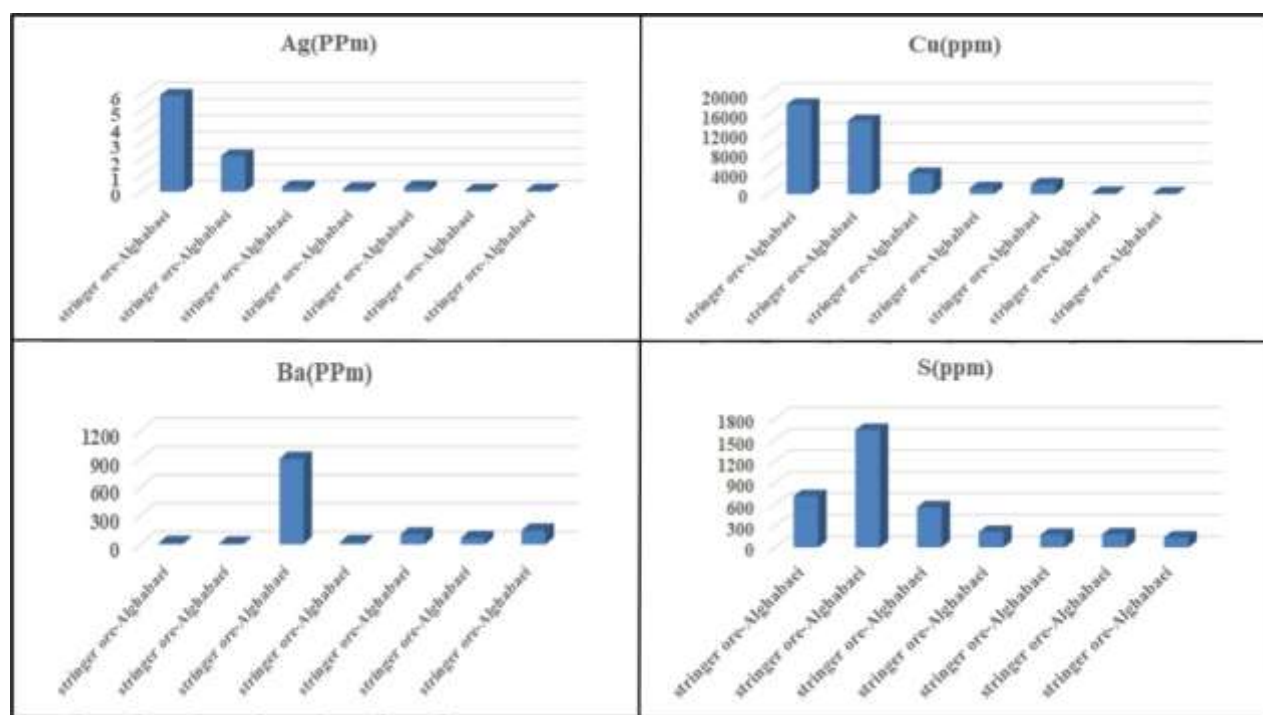
گوگرد با عناصر مولیبدن، منگنز، نقره، آرسنیک و روی همبستگی مثبت قوی نشان می‌دهد و با عناصر باریم و مس همبستگی ضعیف تا خیلی ضعیف را نشان می‌دهد.

جدول ۶-۹- ضریب همبستگی عناصر نمونه‌های کانسنگ در محدوده منگنز بیجورد

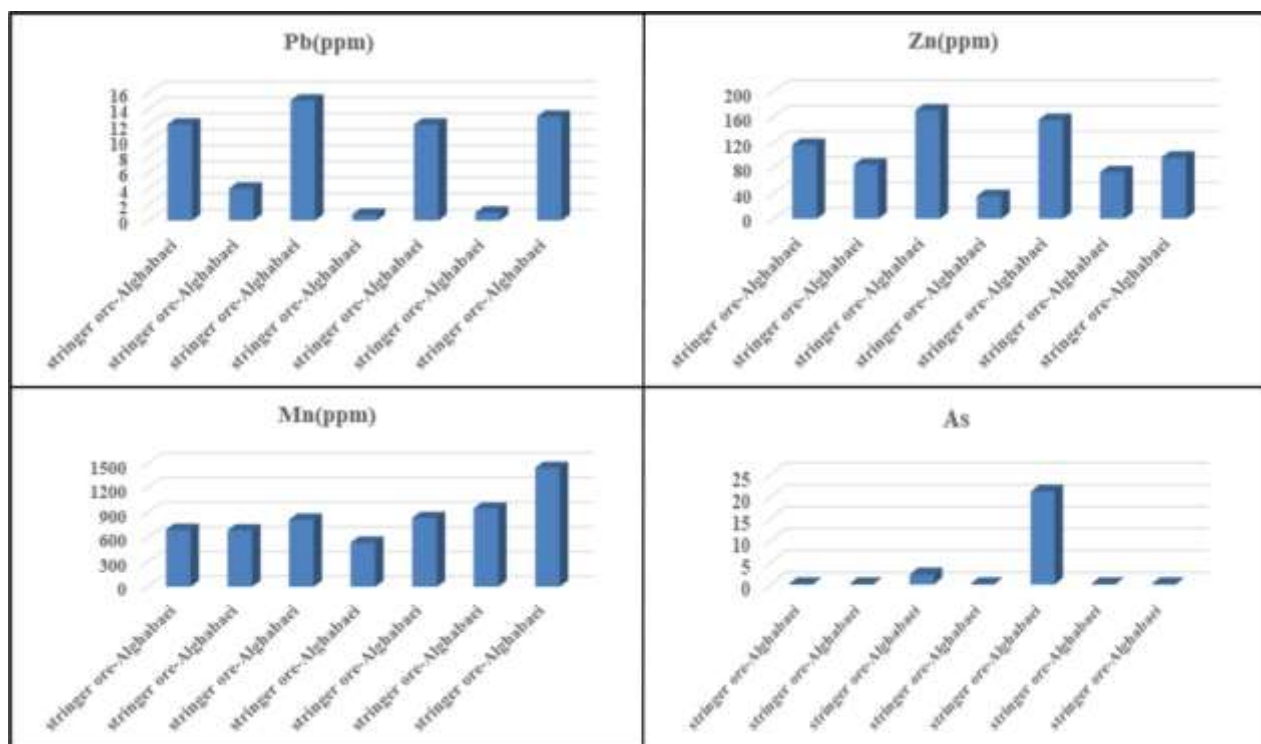
	Ag	As	Ba	Cu	Mo	Mn	Pb	Zn	S
Ag	1								
As	.810*	1							
Ba	0.429	0.450	1						
Cu	-0.031	0.367	-0.242	1					
Mo	.836**	.924**	0.381	0.413	1				
Mn	.999*	.999*	-0.528	.999*	1.000*	1			
Pb	.757*	.813*	0.298	0.285	0.651	0.993	1		
Zn	.841**	.829*	0.597	0.261	.876**	0.925	0.687	1	
S	.890**	.876**	0.343	0.173	.951**	0.959	0.595	.813*	1

۸-۶- ویژگی‌های ژئوشیمیایی رخساره‌های کانه‌دار در کانسار مس-طلا القبابی

بررسی انجام گرفته بر روی نمونه‌های آنالیز شده نشان می‌دهد که تغییر ترکیب شیمیایی در رخساره‌های کانسار در توالی کرتاسه پسین شمال بردسکن در نمودارهای هیستوگرام ارائه می‌گردد (شکل ۶-۱۰ و ۶-۱۱). بخش پر عیار مس به رخساره استرینگر در واحد بازالت تا آندزیت بازالت معدن مس-طلا القبابی منطبق است که حداکثر عیار مس ۱,۸ درصد که نشان‌دهنده افزایش میزان کالکوپریت در این رخساره می‌باشد که همراه طلا قسمت شمالی کانسار در واحد بازالت تا آندزیت بازالت قرار گرفته است که عیار طلا ۶۰۰ ppb را نشان می‌دهد و در واحد تراکی آندزیت عیار مس و طلا پایین می‌باشد. بر اساس مطالعات ژئوشیمی بر روی کانسنگ القبابی، این کانسار غنی از مس و در بعضی رگه‌های پر سولفید غنی از طلا می‌باشد و میزان روی و سرب بسیار پایین می‌باشد. براساس مطالعات کانی‌شناسی در معدن القبابی، در رخساره رگه-رگچه‌ای میزان کالکوپریت از نظر آماری بیشتر است. میزان باریت پایین و آرسنیک در رخساره استرینگر پایین می‌باشد. مقدار سولفور در بخش استرینگر آندزیت بازالت همراه با مس و طلا به ۱۶۰۰ ppm می‌رسد.



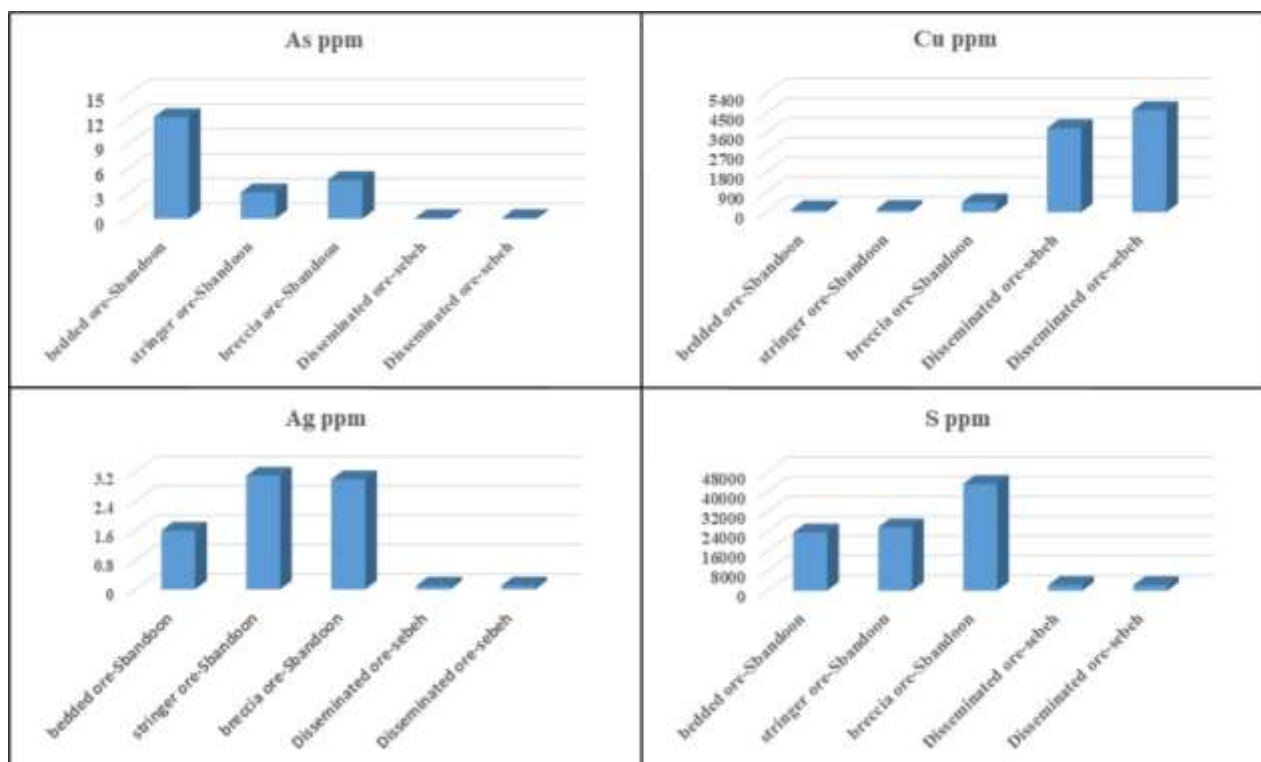
شکل ۶-۱۰- نمودارهای هیستوگرام برای عناصر مختلف رخساره‌های کانسار مس- طلا القبابی



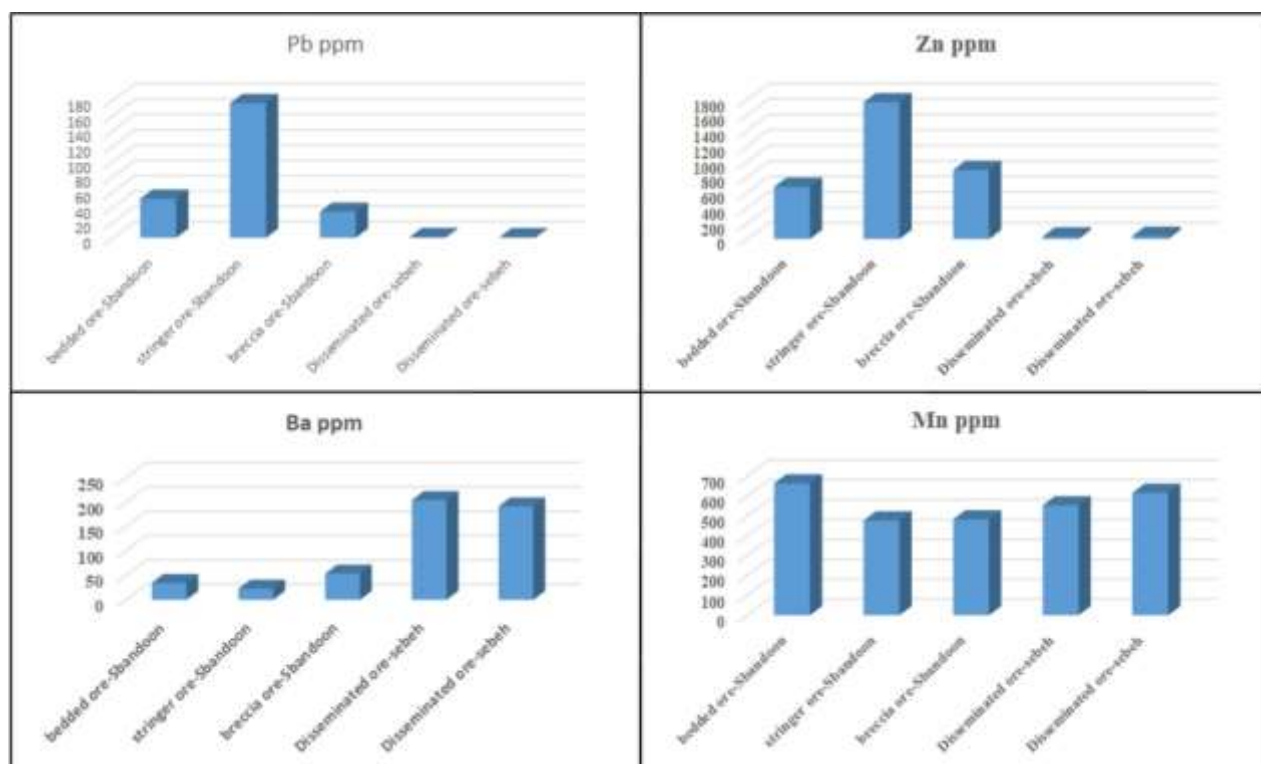
شکل ۶-۱۱- نمودارهای هیستوگرام برای عناصر مختلف رخساره‌های کانسار مس- طلا القبایی

۶-۹- ویژگی‌های ژئوشیمیایی رخساره‌های کانه‌دار در کانسار طلای سه بندوق و مس سبه

بیشترین مقدار مس مربوط به رخساره دانه پراکنده از معدن مس سبه با عیار 4500 ppm می‌باشد که با کانی کالکوپیریت در ارتباط می‌باشد و عناصر باریت، سرب، روی، نقره، آرسنیک و گوگرد پایینی دارا می‌باشد (شکل ۶-۱۲ و ۶-۱۳). بیش‌ترین عیار سرب و روی در رخساره استرینگر طلای سه بندوق که عیار سرب 180 ppm و عیار روی 1800 ppm که ناشی از کانی گالن و اسفالریت در این رخساره می‌باشد. میزان سولفور در محدوده سه بندوق بالا می‌باشد که به ۴ درصد می‌رسد و ارتباط نزدیکی به طلا در این کانسار دارد و نشان از همراهی پیریت با کانه‌زایی طلا می‌باشد و کانی آرسنوپیریت به احتمال زیاد تشکیل نشده است و میزان آرسنیک پایین دارد. میزان مس، نقره و آرسنیک در رخساره استرینگر، اگزالات و برشی محدوده سه بندوق پایین می‌باشد. که از نظر مقایسه با کانسار القبایی میزان مس و طلا در رخساره استرینگر کانسار القبایی بالاست ولی در کانسار سه بندوق در رخساره استرینگر میزان مس پایین و عناصر سرب، روی و سولفور بالا می‌باشد. میزان منگنز در رخساره اگزالات سه بندوق با عیار 600 ppm می‌رسد که با محدوده منگنز بی‌چورد هم‌خوانی دارد (شکل ۶-۱۲ و ۶-۱۳).



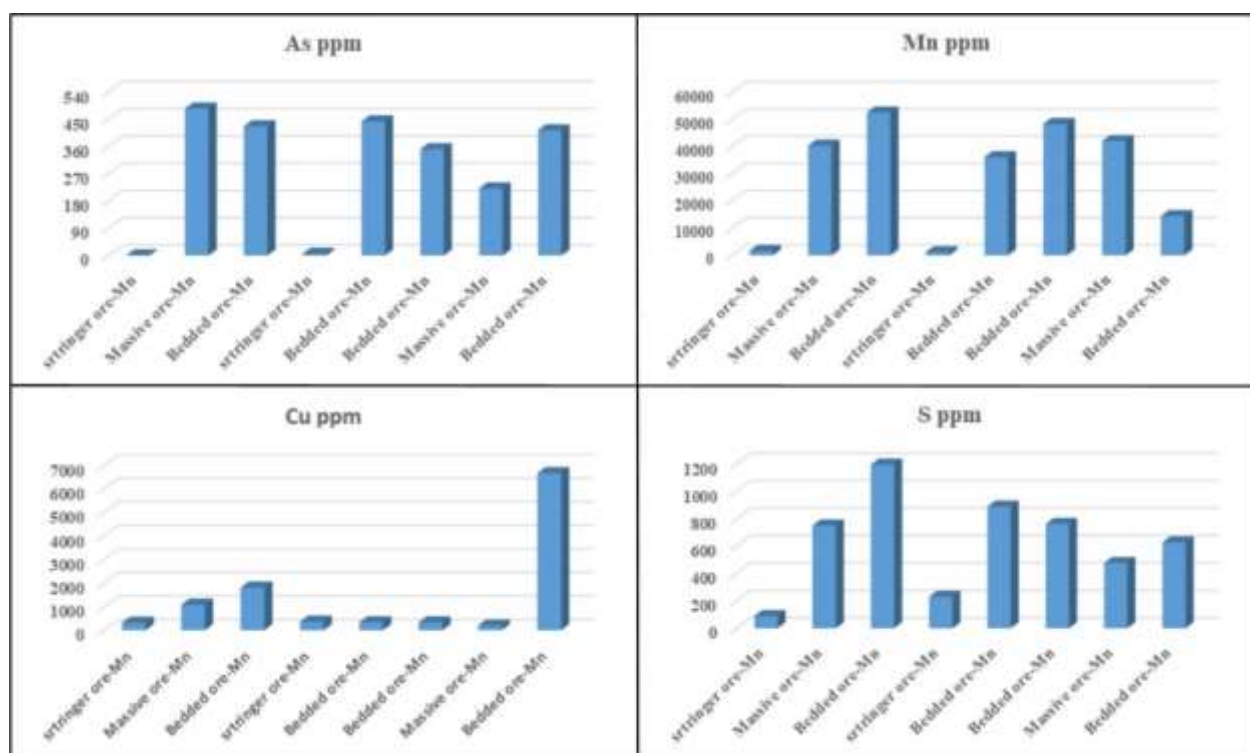
شکل ۶-۱۲- نمودارهای هیستوگرام برای عناصر مختلف رخساره‌های کانسار معدن طلای سه بندون و مس سبه



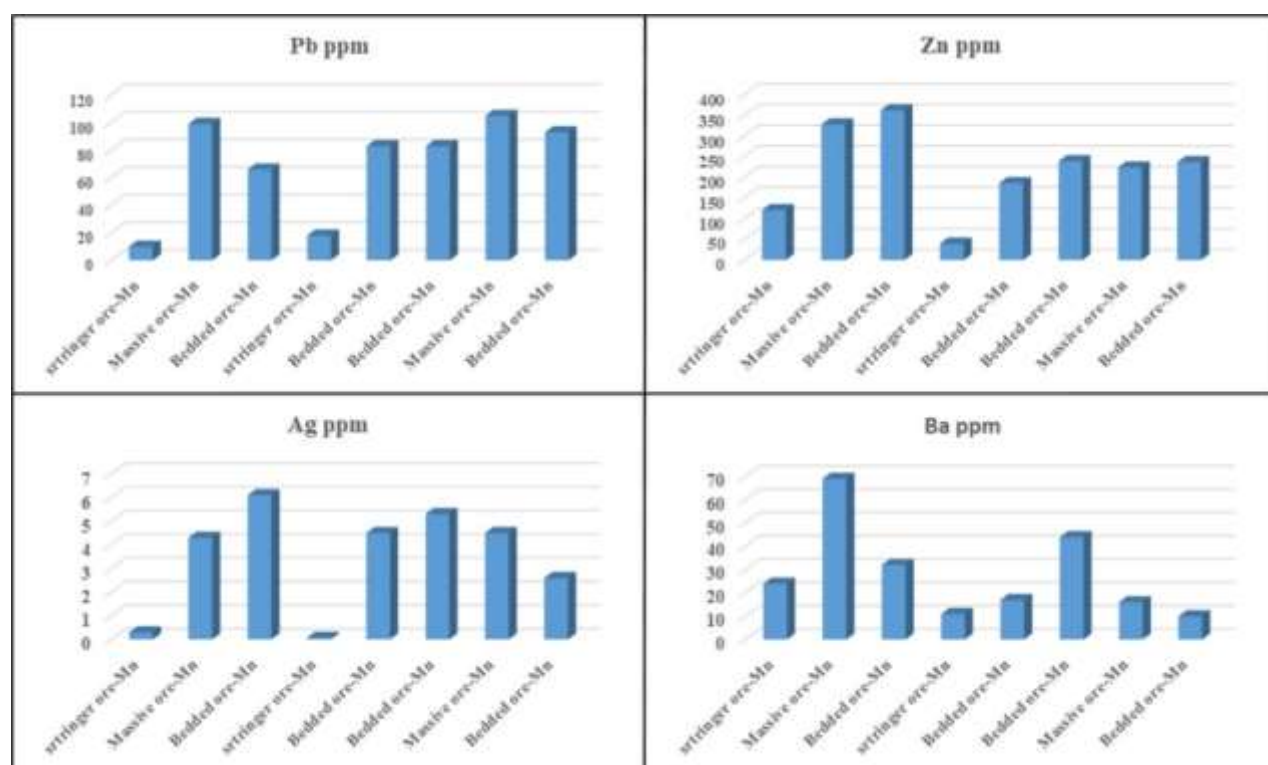
شکل ۶-۱۳- نمودارهای هیستوگرام برای عناصر مختلف رخساره‌های کانسار معدن طلای سه بندون و مس سبه

۱۰-۶- ویژگی‌های ژئوشیمیایی رخساره‌های کانه‌دار در کانسار منگنز بیجورد

بیش‌ترین عیار آرسنیک در رخساره لایه‌ای و توده‌ای منگنز بیجورد قابل مشاهده می‌باشد که ارتباط نزدیکی به طلا در این کانسار دارد و بیش‌ترین میزان سولفور به رخساره برون‌دمی ppm ۱۲۰۰ و توده‌ای ppm ۷۰۰ می‌باشد (شکل ۶-۱۴ و ۶-۱۵). عیار منگنز در رخساره نواری و توده‌ای که به ترتیب عیار ۵٫۲ درصد و ۵ درصد نشان می‌دهد که با کانی پسیلوملان و پیرولولزیت در ارتباط می‌باشد (شکل ۶-۱۴ و ۶-۱۵). میزان مس در رخساره برون‌دمی نواری بیش‌ترین مقدار به ppm ۶۵۰۰ را می‌باشد که با کانه‌زایی طلا هم‌خوانی دارد و میزان روی در بخش توده‌ای به ppm ۳۰۰ و در رخساره نواری ppm ۳۵۰ می‌باشد و عیار سرب در رخساره توده‌ای ppm ۱۰۰ و در رخساره نواری ppm ۹۰ می‌رسد. در کانسار منگنز-طلای بیجورد در شیل توفی دگرسان شده عیار طلا به ppm ۲/۵ می‌رسد که عیار میانگین ۵۰۰ PPB را دارا می‌باشد و با آرسنیک و سولفور همبستگی مثبت نشان می‌دهد که نشان از کانی‌های پیریت و آرسنوپیریت می‌باشد. در محدوده القبای همبستگی طلا، مس و سولفور در رخساره استرینگر قابل مشاهده می‌باشد که این ارتباط در محدوده سه بندون با عناصر سولفور، سرب، روی و طلا می‌باشد. ولی در محدوده منگنز بیجورد در رخساره نواری برون‌دمی میزان سولفور، سرب، روی، آرسنیک و مس بالا می‌باشد که با کانه‌زایی طلا در ارتباط می‌باشند و با توجه به ارتباط رخساره‌های کانه‌دار و عناصر همراه، می‌تواند تشکیل این رخداد کانه‌زایی به یک سیستم واحد باشد (شکل ۶-۱۴ و ۶-۱۵).

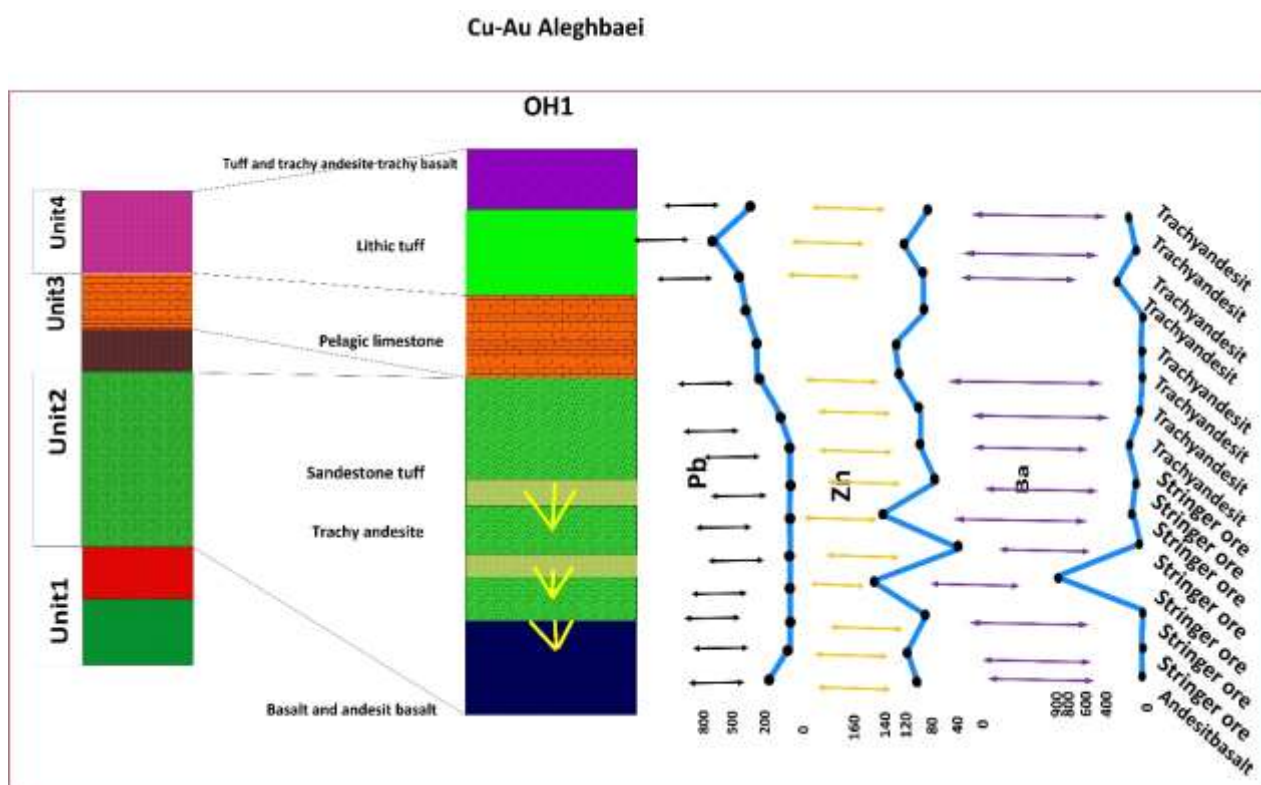


شکل ۶-۱۴- نمودارهای هیستوگرام برای عناصر مختلف رخساره‌های کانسار معدن منگنز-طلای بیجورد

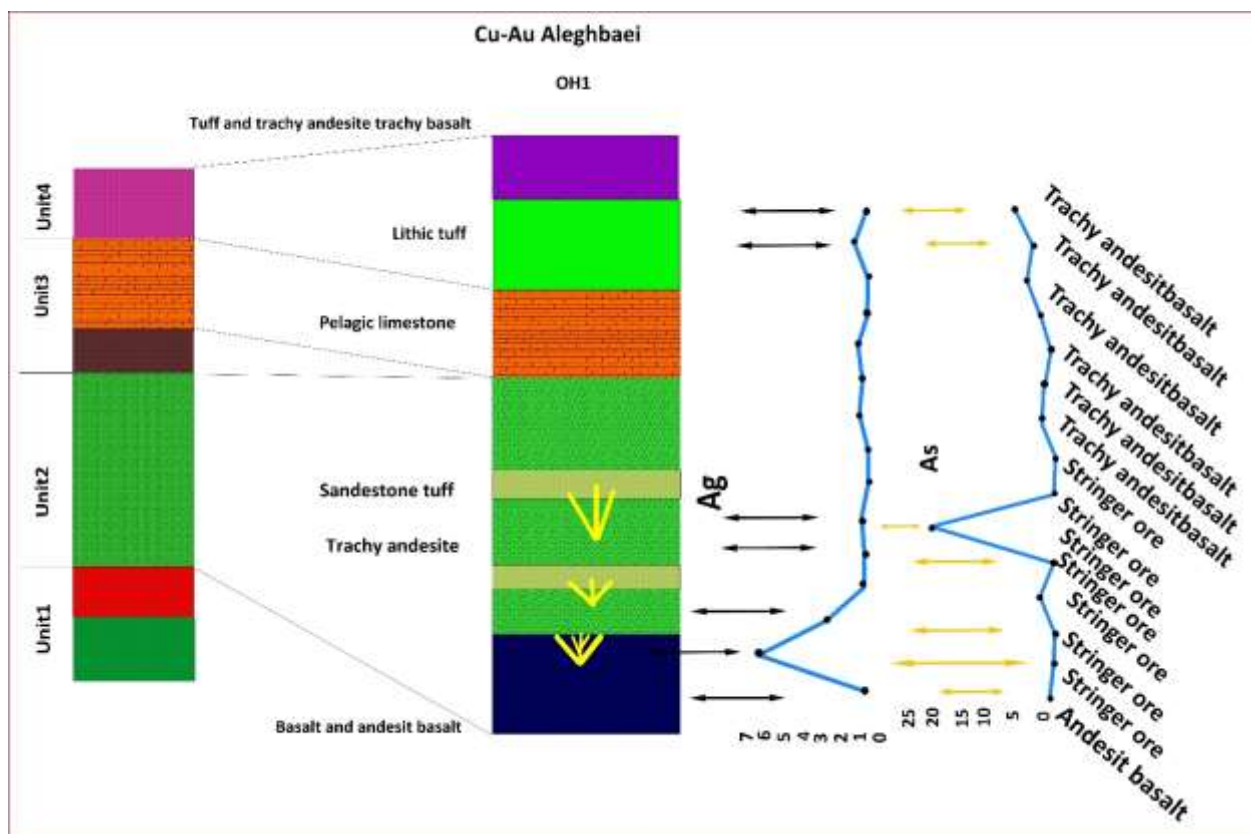


شکل ۶-۱۵- نمودارهای هیستوگرام برای عناصر مختلف رخساره‌های کانسار معدن منگنز-طلای بیجورد

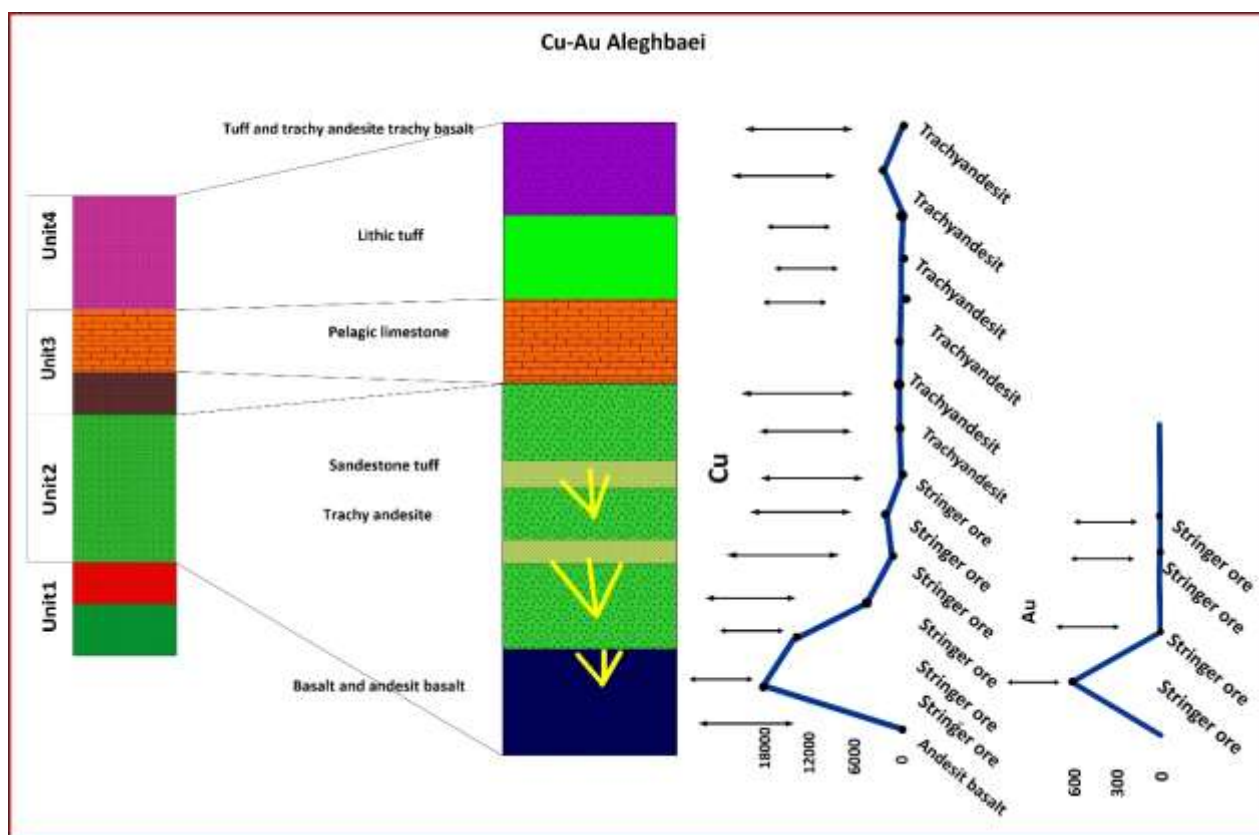
مطالعه چینه‌شناسی به همراه شیمی کانسار اهمیت زیادی دارد و می‌تواند به مطالعه نهشته‌های فلزی در توالی-های آتشفشانی رسوبی کمک کند. در این مطالعه با بررسی تغییر عیار هر عنصر در مقاطع زمین‌شناسی صورت می‌گیرد (Lentz et al., 1997; Schlatter, 2007). برداشت سیستماتیک نمونه از کم‌پایین تا کم‌ربالای کانسار انجام گرفته است که هدف از این کار بررسی همبستگی عناصر در افق کانه‌دار می‌باشد. عنصر سرب و روی در افق‌های کانه‌دار کلاته القبایی عیار قابل توجهی نشان نمی‌دهد ولی عنصر باریم در افق ۲ ۹۰۰ppm غنی-شدگی را نشان می‌دهد و عناصر طلا، مس و نقره در افق ۳ کانه‌دار در واحد بازالت تا آندزیت بازالت غنی‌شدگی خوبی نشان می‌دهند (شکل ۶-۱۶ و ۶-۱۷ و ۶-۱۸).



شکل ۶-۱۶- نمودار تغییرات عناصر سرب، روی و باریم در ستون چینه‌شناسی کلاته القبایی و افق‌های کانه‌دار



شکل ۶-۱۷- نمودار تغییرات عناصر نقره، آرسنیک، در ستون چینه‌شناسی کلاته قایبی و افق‌های کانهدار



شکل ۶-۱۸- نمودار تغییرات عناصر طلا و مس در ستون چینه‌شناسی کلاته قایبی و افق‌های کنه‌دار

۱۱-۶- ژئوشیمی کانسنگ منگنز

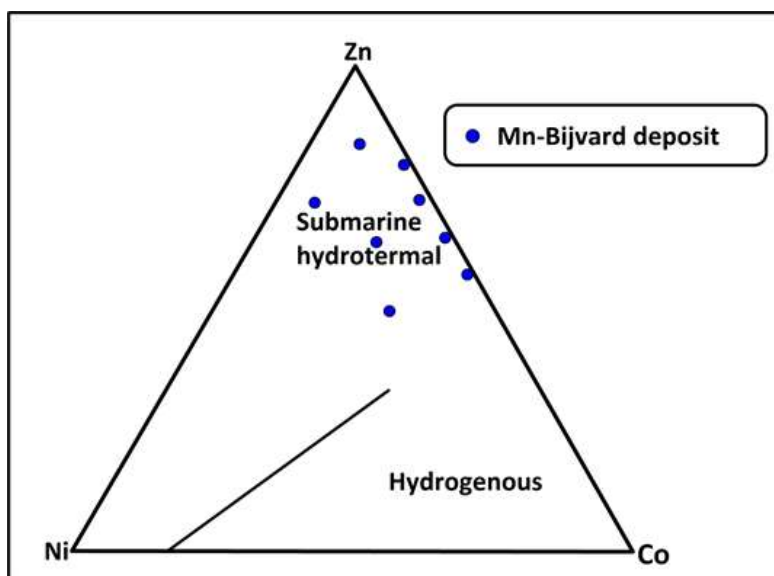
برای تعیین تیپ کانسار منگنز و تشخیص کانسارهای منگنز گرمابی، آبراد، دیاژنز و زیستزاد میکروبی، مطالعه شیمی کانسنگ انجام می‌دهند و از عناصر اصلی و جزئی (جدول ۳-۶) استفاده شده که می‌توان با استفاده از این عناصر در کانسنگ منگنز جهت شناسایی کانسارهای منگنز که در شرایط و محیط مختلف زمین‌شناسی تشکیل شده است استفاده کرد (Crerar et al., 1982). بدین منظور برای بررسی و مشخص کردن نوع کانه‌زایی در کانسار منگنز دهنه بیجورد از این نسبت‌های ژئوشیمیایی عناصر استفاده می‌شود.

۱۱-۱-۱- نمودار Zn-Ni-Co

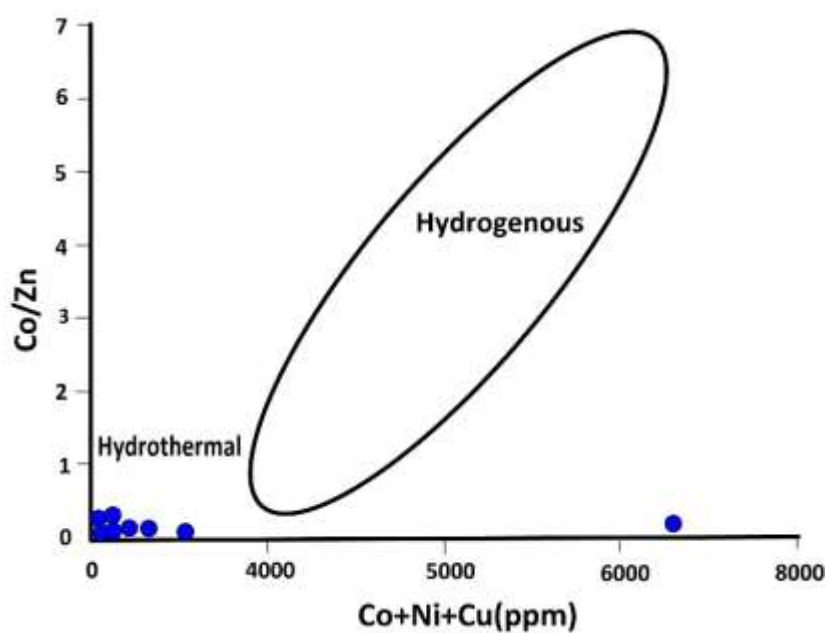
کانسارهای گرمابی زیردریایی از کانسارهای آبراد منگنز (ندول‌های دریایی عمیق) توسط نسبت‌های عناصر Zn-Ni-Co در نمودار سه‌تایی از یکدیگر متمایز می‌شوند (Choi and Hariya, 1992). براساس مطالعه انجام شده، غلظت پایین کبالت و نیکل مشخصه کانسار منگنز گرمابی زیردریایی است. بر این اساس کانسار منگنز دهنه بیجورد در محدوده منگنز گرمابی زیردریایی قرار می‌گیرد (شکل ۱۹-۶).

۱۱-۲- نمودار (Co/Zn)-(Co+Cu+Ni)

این نمودار جهت تفکیک کانسارهای فرو منگنز گرمابی از آبراد استفاده می‌شود (Toth, 1980). با توجه به این نمودار منگنزهای نوع آبراد نسبت به گرمابی (بروندمی) از عناصر Cu-Ni-Co غنی‌شدگی بالایی نشان می‌دهند (Glasby, 1997). براساس نمودار نمونه‌های کانسار منگنز دهنه بیجورد در محدوده کانسار گرمابی قرار گرفته است (شکل ۲۰-۶).



شکل ۶-۱۹- موقعیت نمونه‌های منگنز کانسار دهنه بیجورد در نمودار سه‌تایی Co-Zn-Ni از (Choi and Hariya., 1992).



شکل ۶-۲۰- قرارگیری نمونه‌های در محدوده کانسارهای گرمایی بر اساس نمودار مجموع کبالت، نیکل و مس در برابر نسبت کبالت به روی (Toth, 1980).

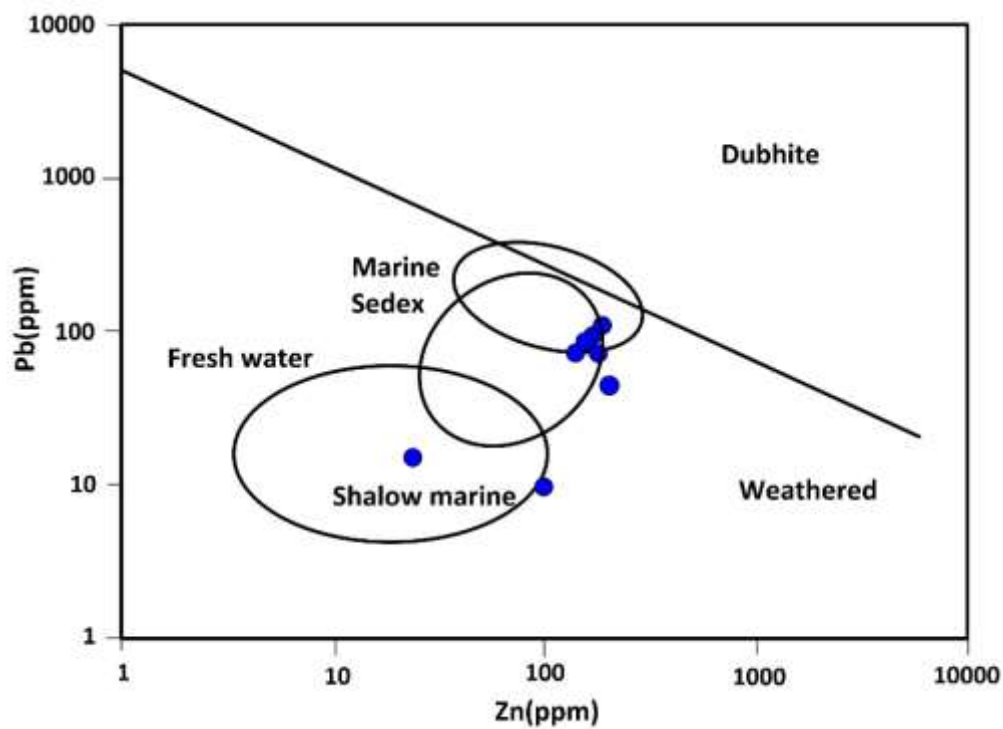
۶-۱۱-۳- نمودار Pb/Zn

برای تشخیص کانسارهای نوع دابهیت (کانسارهای منشأ گرفته از رخدادهای کانی‌زایی قبلی) از کانسارهای منگنز (سوپرژن یا گرمایی)، از نمودار Pb-Zn استفاده می‌گردد. بر اساس نمودار نسبت سرب و روی در کانسارهای

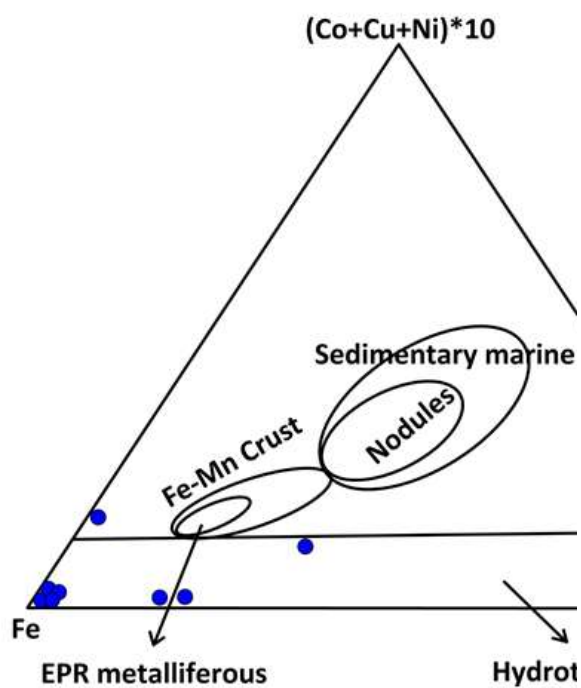
دابهیت بالا می‌باشد و که گاهی به یک درصد می‌رسد در صورتی که در منگنز گرمابی زیردریایی، چشمه‌های آب گرم، سدکس و کانسارهای حاصل از هوازدگی دارای نسبت پایین از سرب و روی می‌باشند (Nicholson, 1992). با توجه به نمودار نمونه‌های کانسار منگنز دهنه بیجورد در محدوده کانسارهای سدکس و کانسارهای تشکیل شده در محیط‌های دریایی کم‌عمق نشان می‌دهد (شکل ۶-۲۱).

۶-۱۱-۴ - نمودار $(\text{Ni}+\text{Co}+\text{Cu})*10\text{-Mn-Fe}$

برای تشخیص کانسار منگنز گرمابی از آیزاد استفاده از نمودار $(\text{Ni}+\text{Co}+\text{Cu})*10\text{-Mn-Fe}$ می‌باشد (Bonatti, 1975). نسبت عناصر $\text{Ni}+\text{Co}+\text{Cu}$ در منگنز آیزاد از منگنز نوع گرمابی بیشتر است، دلیل این موضوع در نتیجه حضور طولانی مدت این عناصر در آب دریا و تأثیر مراحل‌های زیادی که در جذب ویژه دخالت دارند (Toth, 1980 ; Usui and Someya, 1997). طبق این نمودار نمونه‌های کانسار منگنز دهنه بیجورد در محدوده کانسار گرمابی قرار می‌گیرد که نشان از ته‌نشست سریع سیالات حاوی منگنز در کف دریا می‌باشد (شکل ۶-۲۲).



شکل ۶-۲۱- قرار گرفتن نمونه‌های منگنز دهنه بیجورد در محدوده رسوبی - برون‌می (سدکس) و دریایی با استفاده از (Nicholson, 1992).



شکل ۶-۲۲- قرار گرفتن نمونه‌های در محدوده کانسار گرمایی بر اساس (Bonatti, 1975).

۶-۱۲-شیمی کانی ها بر اساس روش الکترون پروپ (FESEM)

۶-۱۲-۱- مقدمه

آنالیز FESEM مخفف عبارت «میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی» است که نوعی آنالیز است که به جای استفاده از نور از الکترون ها استفاده می کند (منظور از الکترون ها همان ذرات سریع با بار الکتریکی منفی است). الکترون ها با استفاده از منبع نشر میدانی آزاد می شوند و نمونه را بر اساس الگوی زیگزاگ خود اسکن می کنند. آنالیز FESEM برای تجسم جزئیات توپوگرافی بسیار کوچک روی سطح یا اشیا به صورت کامل یا جزئی استفاده می شود.

۶-۱۲-۲- طرز کار آنالیز FESEM

همان طور که گفتیم، در آنالیز FESEM الکترون ها از منبع نشر میدانی آزاد می شوند و در میدان الکتریکی ایجاد شده شتاب می گیرند. این الکترون های اولیه در یک ستون خلا متمرکز شده و سپس توسط لنزهای الکترونیکی منحرف می گردند تا یک پرتوی اسکن باریک تولید کنند که جسم نمونه را بمباران کند. در نتیجه الکترون های ثانویه از هر نقطه روی جسم ساطع می شوند. زاویه و سرعت این الکترون های ثانویه مربوط به ساختار سطح جسم است. یک آشکارساز، الکترون های ثانویه را جذب می کند و سیگنال الکترونیکی تولید می نماید. این سیگنال تقویت شده و یک ویدئو تصویری ایجاد می کنند که می توان آن را در مانیتور دید یا به صورت یک عکس دیجیتال ذخیره می شود تا در زمانی دیگر پردازش گردد.

۶-۱۲-۳- هدف و ضرورت انجام مطالعه

هنگام مطالعه مقطع صیقلی کانسار، در شماره های AL-17 و AL-19، به یک سری کانی با خواص فلزی برخوردیم که تشخیص میکروسکوپی این کانی فلزی کار دشواری بود (شکل ۶-۲۳) و به دلیل ریز بودن این کانی و تشخیص بین طلا و کالکوپریت دشوار بود و از روش میکروسکوپ الکترونی در دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی

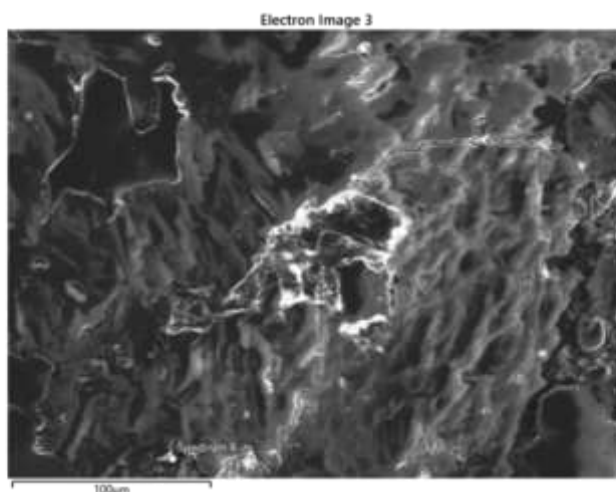
شاهرود استفاده شد، که در نهایت به بررسی عناصر فلزی مقطع صیقلی پرداخته شد که نتیجه به صورت زیر بدست آمده است.



شکل ۶-۲۳- نمونه الف - AL-19 و ب- نمونه AL-17 که کالکوپیریت تشخیص داده شده است.

۶-۱۲-۴- نتایج آنالیز FESEM

نمونه AL-17 در بررسی صحرایی و میکروسکوپی دارای کانی‌های کالکوپیریت، پیریت و گوتیت بود و نتایج حاصل از آنالیز میکروسکوپ الکترونی نیز به همین ترتیب در (شکل ۶-۲۴، ۶-۲۵) و (جدول ۶-۸) نشان داده شده است. نتایج نمونه AL-19 در بررسی صحرایی و میکروسکوپی، متشکل از کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، بورنیت و کوولیت، که با آنالیز میکروسکوپ الکترونی همخوانی دارد (شکل ۶-۲۶، ۶-۲۷) و (جدول ۶-۹).



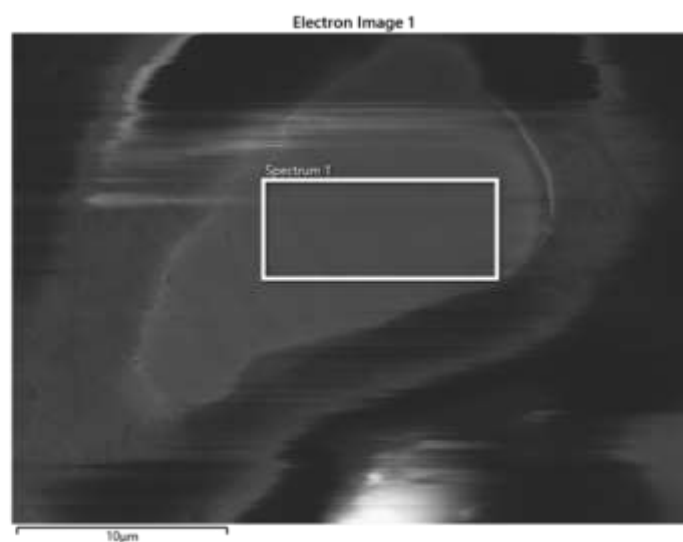
شکل ۶-۲۴- تصویر میکروسکوپ الکترونی (FESEM)



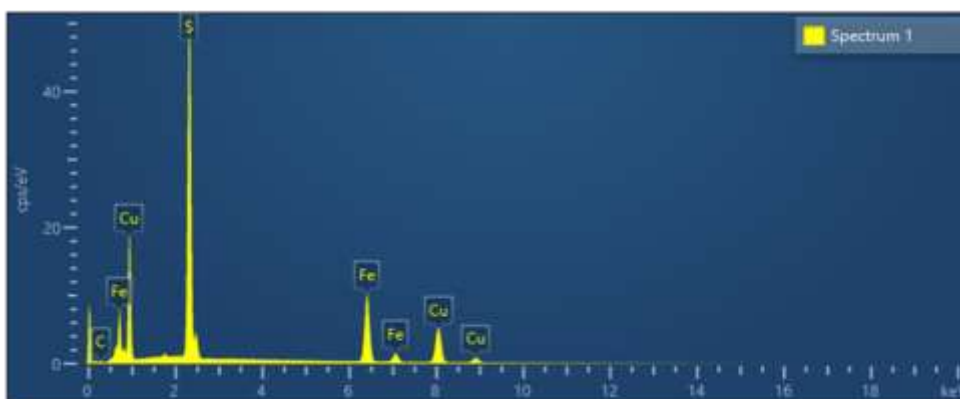
شکل ۶-۲۵- تصویر طیف از عناصر تشخیص داده شده

جدول ۶-۸- نتایج طیف بر اساس بیشترین و کمترین عیار عنصر

Spectrum 6				
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
C	K series	19.27	0.35	26.16
O	K series	66.67	0.35	67.97
Ca	K series	10.26	0.12	4.17
Cu	K series	1.30	0.11	0.33
Al	K series	1.27	0.06	0.77
Fe	K series	0.46	0.07	0.13
Mg	K series	0.49	0.06	0.33
Cl	K series	0.28	0.04	0.13
Total		100.00		100.00



شکل ۶-۲۶- تصویر میکروسکوپ الکترونی (FESAM) از کانی درخشان (خط چین)



شکل ۶-۲۷- تصویر طیف از عناصر تشخیص داده شده

جدول ۶-۹- نتایج طیف بر اساس درصد عناصر

Spectrum 1				
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
S	K series	38.73	0.30	47.91
Fe	K series	27.47	0.25	19.51
Cu	K series	29.52	0.30	18.43
C	K series	4.28	0.59	14.15
Total		100.00		100.00

۶-۱۳- سیالات درگیر

۶-۱۳-۱- مقدمه

تشکیل شدن بلورها معمولاً بدون نقص نیست، حتی در شرایط آزمایشگاهی حاکم غیر ممکن است با این وجود از نقص‌های در مقیاس اتمی تا نقص‌های بزرگ مقیاس متفاوت می‌باشد. این نقص‌ها که به شکل مایعات، جامدات و بخارات بدام افتاده در داخل کانی‌ها، می‌تواند کلید ارزشمندی در زمینه درک فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی دخیل در رشد بلورها تشکیل شده در طبیعت در اختیار ما قرار دهد. مطالعات سیال درگیر بویژه در زمینه ژنز کانسنگ از اهمیت بخصوصی برخوردار هستند و نقش با ارزشی در درک ما از حمل و ته‌نشست کانسنگ‌ها خواهد داشت (Roedder, 1979). انکلوژیون‌های سیال بخش تفکیک‌ناپذیر از هر سنگ یا کانی است. مطالعه آن‌ها به اندازه مطالعه اجزای کانیایی و شیمیایی اصلی سنگ، اهمیت و ارزشمند هستند. نسبت‌های حجمی آن‌ها در مقایسه با کل توده سنگ، بسیار ناچیز است اما این مسئله، از اهمیت اطلاعاتی که از طریق مطالعه آن‌ها بدست

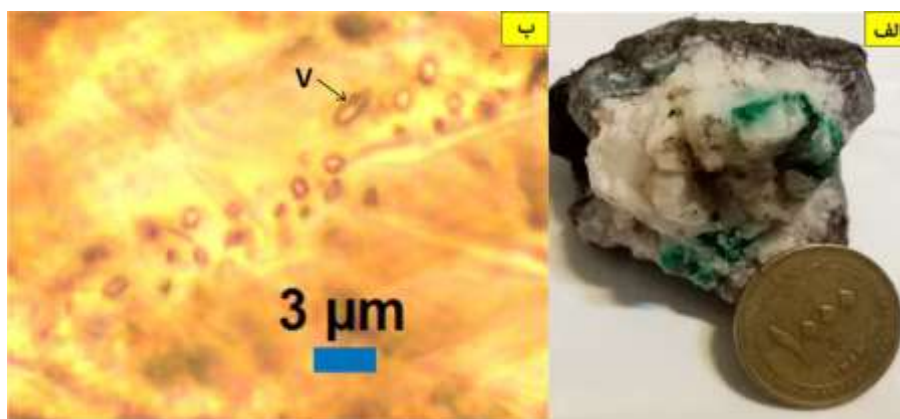
می‌آیند نمی‌کاهد. با وجود این، نابخردانه است اگر انکلوژیون‌های سیال را به تنهایی و بدون آشنایی با ماهیت، ترکیب و محیط زمین‌شناسی سنگ میزبان، مورد مطالعه قرار دهیم.

۶-۱۳-۲- نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

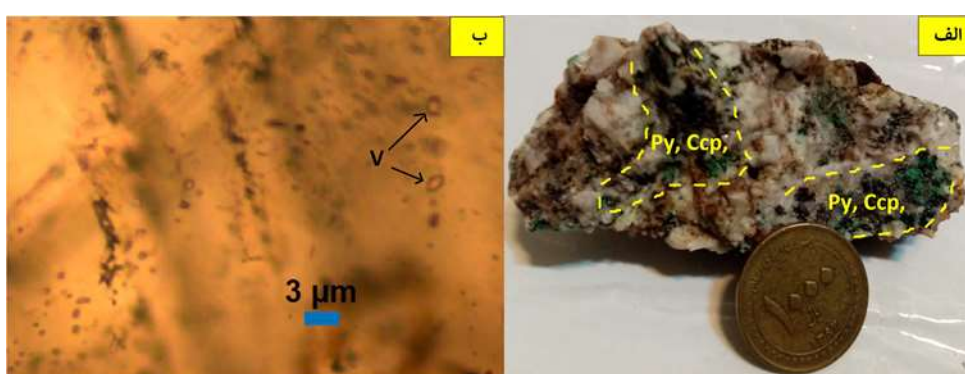
جهت مطالعه سیال درگیر تعداد ۴ نمونه از رخساره رگه-رگچه‌ای از کانسار مس-طلای کلاته القبایی برداشته شد و برای تهیه مقطع دوبرصیقل به کارگاه تهیه مقطع میکروسکوپی دانشگاه دامغان ارسال گردید. این نمونه‌ها محتوای فاز سیلیسی-کربناته سولفیددار بوده‌اند که جهت مطالعه سیال درگیر انتخاب شده است. و در دانشگاه صنعتی شاهرود آزمایشگاه سیال درگیر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

۶-۱۳-۳- پتروگرافی سیالات درگیر

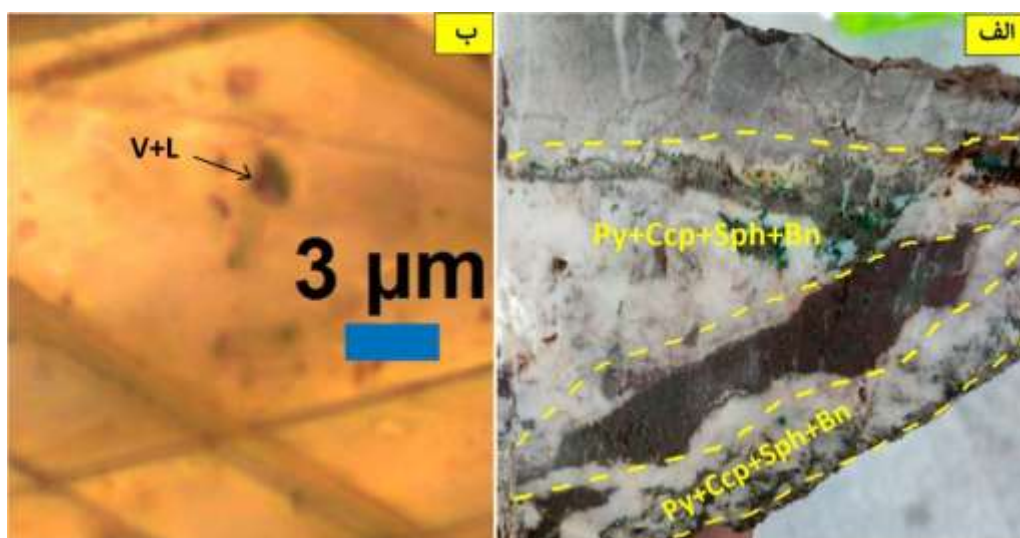
مطالعات پتروگرافی اولین گام در مطالعه سیال درگیر می‌باشد و اطلاعات ارزشمندی از نظر سیالات به دام افتاده و شرایط تشکیل بلور در اختیار ما قرار می‌دهد. در این مطالعه مشخصات از قبیل شکل و اندازه سیالات درگیر، رده‌بندی ژنتیکی (اولیه، ثانویه، ثانویه کاذب) محتویات سیالات درگیر ($L+V+S$)، نسبت V/L ، نوع کانی دختر (با توجه به شکل کریستالی و مورفولوژی ظاهری)، پدیده‌های مانند تراوش و دم‌بریدگی مورد بررسی قرار می‌گیرد. سیالات درگیر ممکن است، شکل کامل بلور منفی را به خود بگیرند و یا کاملاً شکل نامنظم داشته باشند (Shelton and Mcmenamy, 2004). مطالعات پتروگرافی انجام شده، بخش زیادی از میانبرهای سیال مقاطع در اثر رخ کلسیت یا فشارهای تکتونیکی از هم گسیخته و حباب‌های مشاهده شده فاقد سیال درشت قابل مطالعه بوده و بیش‌ترین سیال مشاهده شده از نوع ثانویه و به صورت تک فازی گاز می‌باشد و در اشکال کشیده و کروی تشکیل شده است (شکل ۶-۲۸ و ۶-۲۹). و سیال درگیر دو فازی ($V+L$) غنی از بخار که در اندازه زیر ۳ میکرون می‌باشد که مطالعه بر روی آن‌ها انجام شده است (شکل ۶-۳۰).



شکل ۶-۲۸-الف-تصویر نمونه دستی از بخش تهیه مقطع دوبرصیقل ب- تصویر میکروسکوپی از حباب تک فازی ثانویه



شکل ۶-۲۹-الف-تصویر نمونه دستی که حاوی پیریت و کالکوپیریت می باشد. ب- تصویر از حباب های ثانویه تک فازی

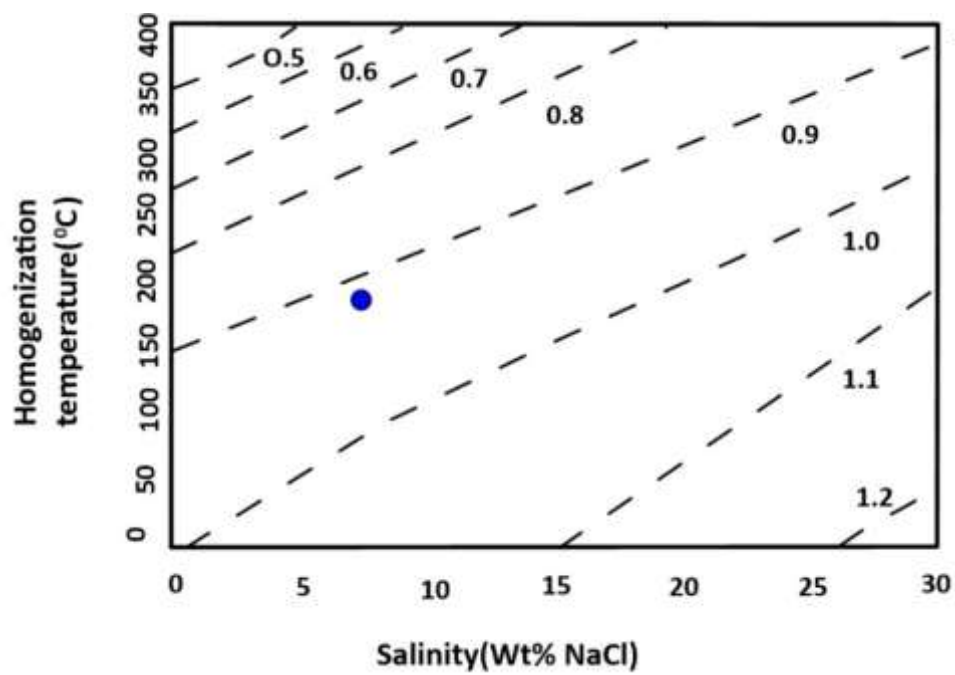


شکل ۶-۳۰-الف-تصویر نمونه دستی از رگه سیلیسی از قسمت آندزیت بازالت که سیلیس در دو مرحله تشکیل شده بود و سیلیس دانه درشت ارتباط بیشتری با کانه زایی دارد که دارای کانه های پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و بورنیت می باشد این مقطع تنها نمونه سیال دو فازی مایع و بخار را دارد که زیر سه میکرون می باشد. ب- تصویر فاز بخار و مایع که اندازه زیر سه میکرون دارد.

۶-۱۳-۴- مطالعات دماسنجی سیالات درگیر

بررسی میکرومتری برای تعیین دمای ذوب اولیه (Tm2-Ice)، دمای نهایی ذوب قطعه یخ (Tm2-Ice)، دمای همگن شدن، میزان شوری و ترکیب سیالاتی که کانه‌زایی میزبان از آن‌ها تشکیل شده است. مطالعات حرارت-سنجی، ابتدا عملیات سرمایش و سپس گرمایش بر روی سیالات دوفازی است. ابتدا عملیات سرمایش و سپس گرمایش انجام می‌گیرد. با استفاده از روش سرمایش درجه شوری سیال استفاده می‌شود. جهت انجام این عملیات، ابتدا سیال درگیر را تا دمای ۱۰۰- سانتی گراد سرد می‌کنیم تا سیال کاملاً منجمد شود. سپس سرما دادن نمونه را قطع می‌کنیم تا به آرامی نمونه یخ‌زده شروع به باز شدن کند، پس از مدتی سیال از حالت جامد خارج شده و یخ شروع به ذوب شدن می‌نماید. اولین قطره مایعی که ظاهر می‌شود، دمای یوتکتیک (TE) نامیده می‌شود و مقدار آن با نوع کاتیون‌های حل شده در مایع ارتباط دارد. با ادامه ذوب شدن نمونه، بلورهای یخ تبدیل به مایع و بخار می‌شوند تا جایی که آخرین بلورهای یخ از بین بروند. دمایی که در آخرین بلور یخ ذوب می‌شود، دمای ذوب نهایی یخ (Tmice) اطلاق می‌شود. بر حسب این دما میزان شوری سیال بدست می‌آید.

هدف اصلی مطالعه گرمایش، اندازه‌گیری دمای نهایی همگن شدن است، یعنی دمایی که در آن سیال درگیر به یک سیستم تک فاز تبدیل می‌شود. این دما در حالت عادی، دمای همگن شدن کلی مایع - بخار است. در مورد سیالات درگیر Co2- H2O، دمای همگن شدن (TH) دمایی می‌باشد که فاز بخار و فاز مایع آبگین کاملاً مخلوط می‌شوند. مطالعه انجام شده مراحل کامل انجماد، ذوب و حرارت بر روی یک نمونه منجر به تولید داده‌هایی گردید که به دلیل عدم تکرار قابل پردازش کلی نبوده است. نتایج بدست آمده از این مطالعه در نمودار چگالی (Brown, 1989) در شکل (۶-۳۱) قابل ارائه می‌باشد.



شکل ۶-۳۱- نمودار چگالی در برابر شوری و حرارت برای تنها نمونه قابل اندازه گیری از محدوده مس-طلای کلاته القبایی (Brown, 1989).

فصل ۷ نتیجه گیری،

الگوی تشکیل، تیپ کانه زایی

و پیشنهادات اکتشافی

۷-۱- مقدمه

با استفاده از داده‌های مختلفی که در راستای این مطالعات جمع‌آوری شده است شامل مطالعات صحرایی، آزمایشگاهی (پتروگرافی و کانی‌شناسی) و داده‌های حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی، کانسارها و اندیس‌های مورد مطالعه را توصیف کرده و این تیپ کانه‌زایی را مورد بررسی قرار خواهیم داد. در ادامه به بررسی کانسارهای سولفید توده‌ای و تیپ‌های مختلف این نوع کانسارها پرداخته و به ارائه الگو و مدل تشکیل برای این نوع کانه‌زایی‌ها و نهایتاً مقایسه تیپ‌های کانه‌زایی مشابه در جهان و ایران می‌پردازیم و در آخر هم پیشنهاداتی جهت کارهای اکتشافی و تحقیقات تکمیلی بعدی ارائه می‌شود.

۷-۲- مختصری از شواهد مشاهده شده در کانسار مس - طلای القبابی و دیگر محدوده‌ها

۷-۲-۱- محیط زمین‌شناسی تهنشست

با توجه به بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، محیط تهنشست سنگ‌های محدوده معدنی مورد مطالعه، شامل واحدهای رسوبی توف، شیل، آهک پلاژیک و گدازه‌های بالشی با ترکیب آندزیت بازالت می‌باشد. از نظر جایگاه تشکیل سنگ‌های رسوبی بر پایه شواهد سنگ‌های رسوبی آهک پلاژیک، شیل، و شیل توفی به همراه چرت و فسیل رادیولاریت که مختص محیط دریایی هستند و با توجه به گدازه‌های بالشی در منطقه مورد مطالعه می‌توان به این نتیجه دست پیدا کرد که محیط زمین‌شناسی تهنشست در یک محیط دریایی کم ژرفا تا نیمه عمیق تشکیل شده است.

۷-۲-۲- سنگ‌های میزبان و همراه

بر اساس بررسی زمین‌شناسی و مطالعات میکروسکوپی سنگ میزبان کانه‌زایی در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن از پایین به بالا شامل واحد ۱ ویتریک کریستال توف سبز و قرمز، گدازه ریولیت تا داسیت می‌باشد. واحد ۲ شامل آندزیت بازالت، تراکی آندزیت، لاپیلی توف، آگلومرا و کریستال توف ماسه‌ای است، واحد ۳ شیل توفی به همراه چرت است که فسیل رادیولاریت در آن مشاهده شده است و آهک پلاژیک، و

واحد ۴ شامل لیتیک کریستال توف و گدازه تراکی آندزیت بازالت تشکیل شده است. کانه‌زایی مس و طلا در محدوده القبابی و سبه در افق OH1 از واحد ۲ (Unit2) که شامل سنگ‌های تراکی آندزیت تا آندزیت بازالت و توف ماسه‌ای رخ داده است. کانه‌زایی سولفید در محدوده طلای سه بندوق و منگنز-طلای بیجورد در مرز واحد ۲ (Unit2) (که شامل تراکی آندزیت، آندزیت بازالت) و واحد ۳ (Unit3) (که شامل واحدهای سنگی شیل توفی، آهک پلاژیک همراه با چرت و رادیولاریت می‌باشد) رخ داده است. براساس بررسی‌های انجام شده کانه‌زایی در واحد چینه‌شناسی خاص تشکیل شده است. سنگ‌های میزبان نهشته‌های تیپ بشی شامل سنگ‌های آتشفشانی مافیک (بازالت و آندزیت) و سنگ‌های تخریبی شیل، ماسه‌سنگ و سیلتستون یا معادل دگرگون شده مانند (کلریت شیست، شیست‌های پلیتی، متا گری وک، کوارتزیت و کالک شیست‌ها) است. و به مقدار کمتر کربنات، تشکیلات چرتی آهن‌دار نیز در توالی سنگ میزبان این نوع نهشته‌ها دیده می‌شود (MacIntyre, 1984).

۷-۲-۳- شکل هندسی ماده معدنی

براساس مشاهدات صحرایی و بافتی، شکل هندسی ماده معدنی در کانسارهای مورد مطالعه بصورت چینه کران و چینه سان است. در محدوده طلا-منگنز دهنه بیجورد و بخش اگزالات طلای سه بندوق به صورت چینه‌سان (لایه ای) و هم‌خوان و هم‌روند با لایه‌بندی سنگ‌های درون‌گیر است که در زیر آن‌ها پهنه کانه‌دار توده‌ای، برشی و رگه-رگچه‌ای که در مجموع به صورت قطع‌کننده و چینه‌کران هستند، قابل مشاهده می‌باشد. گسترش طولی کانه-زایی در این توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین بیشتر از ضخامت آن می‌باشد که یکی از نشانه‌های کانه‌زایی عمده سولفیدی با سنگ درون‌گیر آتشفشانی-رسوبی می‌باشد. این نوع شکل هندسی عدسی شکل در تیپ‌های فلسیک سیلیسیکلاستیک (Bathurst typ) (Gally et al., 2007) و پلیتیک مافیک (Besshi type) (Peter et al., 2007; Gally et al., 2007) دیده می‌شود. بر اساس (Peter et al., 2014) کانسارهای سولفید توده‌ای پلیتیک مافیک دارای شکل هندسی پیکره معدنی صفحه‌ای کشیده و هم شیب با لایه‌بندی توالی میزبان می‌باشد که دارای ضخامت چندین متر و طول بیش از یک کیلومتر می‌باشد. نهشته‌های تیپ بشی به طور تیپیک دارای ریخت شناسی و شکل هندسی چینه سان نازک لایه، صفحه‌ای و ورقه‌ای شکل می‌باشند (Franklin, 2013).

۷-۲-۴- ساخت و بافت و رخساره‌های کانه‌دار

در کانسار القبابی و سبه رخساره رگه-رگچه‌ای سنگ میزبان تراکی آندزیتی و آندزیت بازالت را قطع کرده است و تنها رخساره کانه‌دار می‌باشد. در معدن سه بندوق و منگنز-طلای بیجورد رخساره رگه-رگچه‌ای و برشی سنگ میزبان تراکی آندزیتی را قطع کرده است که باعث دگرسانی سنگ میزبان شده است (شکل ۴-۱۳ و ۴-۶).

ساخت و بافت برشی در سنگ میزبان ماده معدنی به صورت قطعه قطعه و اشکال زاویه‌دار درآمده‌اند کانی‌های سولفیدی و رگه‌های استرینگر بصورت بافت و ساخت برشی به هم درآمیخته‌اند. در این نوع از برش‌ها، معمولاً قطعات خرد شده سنگی از جنس‌های مختلف و شامل گدازه آندزیتی هستند. زمینه پرکننده بین قطعات عمدتاً از کوارتز، سولفیدها و اکسیدهای آهن و منگنز می‌باشد. قطعات سنگی در زمینه برش‌ها به شدت سیلیسی شده‌اند ولی آثار بافت اولیه سنگ در آن‌ها قابل تشخیص هستند. سولفیدهای موجود در این رخساره در معدن سه بندوق به صورت دانه‌پراکنده در سنگ درون‌گیر و در رگه‌های کوارتز قرار دارند و شامل پیریت، اسفالریت، کالکوپیریت و کوولیت می‌باشد (شکل ۴-۱۴ و ۴-۲۱). رخساره کانسنگ برشی در معدن منگنز-طلای بیجورد در واحد گدازه‌های تراکی آندزیت دیده می‌شود که دگرسان شده و زمینه پرکننده بین آن‌ها از اکسید آهن و منگنز و به مقدار کمتر سولفید (پیریت) تشکیل شده است و در زیر رخساره توده‌ای قرار دارد.

ساخت و بافت توده‌ای در معدن منگنز بیجورد شمالی قابل مشاهده می‌باشد که به همراه کانی پسیلوملان و پیرولوزیت تشکیل شده است.

ساخت و بافت نواری یکی از ویژگی‌های بارز رخساره کانسنگ نواری برون‌دومی در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد می‌باشد که ناشی از ته‌نشینی همزمان کانی‌های سولفیدی و اکسیدی با ذرات تشکیل‌دهنده سنگ میزبان شیلی در کف دریا است. وجود این‌گونه لامینه‌ها نشان‌دهنده رابطه بافتی نزدیک بین ذرات رسوبی و سولفیدی و در نتیجه تشکیل همزمان ذرات آن‌ها می‌باشد. هم‌چنین ته‌نشست سولفیدها به صورت پراکنده در کنار هم و تشکیل لایه‌های غنی از پیریت، نشان از افزایش شرایط رسوب‌گذاری در یک محیط آرام و ته‌نشست سولفیدها در یک محیط رسوبی پایدار می‌باشد. بافت‌های نواری در کانسار طلای سه بندوق به خوبی قابل مشاهده است. هم‌چنین اینکه در این رخساره از نظر بافتی، پیریت‌ها دارای بافت فرامبوئیدال می‌باشد و این‌که

همراه با لایه چرتی تشکیل شده است که پیریت‌های نسل اول در اثر دیاژنز در درون فسیل رادیولاریت به همراه سیلیس قرار گرفته است. در کانسار منگنز-طلای بیجورد این بخش از کانسار دارای ضخامت کمتری نسبت به رخساره توده‌ای دارد و به صورت نوارها و لامینه‌های متعدد اکسیدی متشکل از کانی پیرولولزیت و پسیلوملان و اکسیدهای آهن در داخل سنگ میزبان توف شیلی و توف‌های آندزیتی به همراه لایه چرتی که فسیل‌های رادیولاریت سالم و بدون تخریب باقی‌مانده دیده می‌شوند (شکل ۴-۱۸ و ۴-۱۴). این رخساره‌ها در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد نظیر مس-نقره بوانات فارس (موسیوند و همکاران، ۱۳۹۵)، چاه گز شهربابک (موسیوند و همکاران، ۱۳۹۰)، مس نوده سبزوار (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۰) و گرماب پایین (طاشی و همکاران، ۱۳۹۶) نیز دیده می‌شود. کانی‌شناسی منگنز در این رخساره شامل پسیلوملان و پیرولولزیت با بافت تیغه‌ای یا سوزنی و کلوفر می‌باشد.

۷-۲-۵-کانی‌شناسی

بر اساس مطالعات میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD، کانه‌های معدنی در کانسار مس-طلا کلاته القبایی، سه بندون و سبه شامل کانی‌های اولیه پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، بورنیت، آرسنوپیریت، مارکاسیت گالن و طلا و کانی‌های ثانویه مالاکیت، کوولیت، هماتیت و سایر اکسید و هیدروکسیدهای آهن و کانی‌های باطله کوارتز، کلسیت، کلریت، اپیدوت و آلبیت می‌باشد. در کانسار القبایی پیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی بوده و پس از آن کالکوپیریت و بورنیت بیش‌ترین فراوانی را دارند. در کانسار القبایی، کانه‌زایی مس بصورت کالکوپیریت، بورنیت تنها در پهنه استرینگر مشاهده می‌شود. در کانسار طلا-منگنز دهنه بیجورد سولفیدها شامل پیریت به صورت دانه پراکنده و اکسیدهای آهن منگنز شامل پیرولولزیت، پسیلوملان و هماتیت و گوتیت تشکیل شده است. کانه‌های معدنی در کانسارهای سولفید توده‌ای تیپ بشی عمدتاً از پیریت و پیروتیت و با مقادیر متغیر کالکوپیریت، اسفالریت، مگنتیت، بورنیت، تتراهیدریت، آرسنوپیریت و به مقدار ناچیز گالن تشکیل شده است (شکل ۵-۱۳ و ۵-۱۲). از نظر کانی‌های باطله، شامل کوارتز، کلسیت، آلبیت، کلریت و اپیدوت تشکیل شده است (Franklin, 2013).

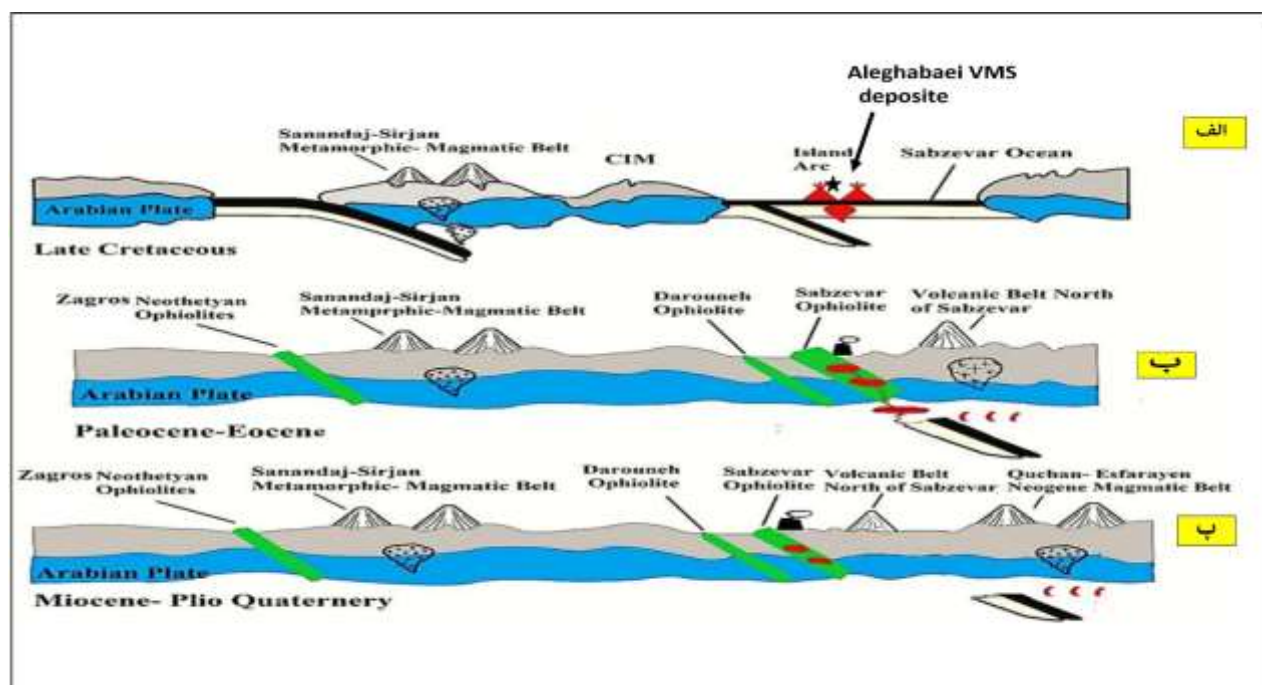
۷-۲-۶- دگرسانی و منطقه‌بندی آن‌ها

براساس مطالعات صحرایی، کانی‌شناسی و نتایج XRD از پهنه‌های دگرسانی در کانسار مس- طلای القبابی می‌توان گفت غالب دگرسانی در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن به طور عمده بیشتر دگرسانی کلریتی، سیلیسی- سریسیتی- کربناته- و اپیدوتی می‌باشد. در کانسار القبابی دگرسانی سیلیسی به صورت رگه-رگچه‌ای و دانه پراکنده تا حفره پرکن وجود دارد که همراه با دگرسانی سریسیتی و کربناته می‌باشد که کانی‌های سولفیدی را همراهی می‌کند (شکل ۴-۲۸). دگرسانی کلریتی در حاشیه پهنه استرینگر قرار دارد که به طور خیلی کم با دگرسانی اپیدوتی همراه می‌شود که ناشی از حاشیه سیستم می‌باشد و اپیدوتی شدن در کمربین کانسار اتفاق می‌افتد همانند کانسار Ruttan کانادا نیز اپیدوتی شدن جزء دگرسانی حاشیه‌ای می‌باشد (Barrie et al., 2005). گسترش دگرسانی در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد به خصوصیات سیال مهاجم، ترکیب، نفوذپذیری و تخلخل رسوبات کمربین بستگی دارد و در محدوده سه بندوق دگرسانی کلریتی در حاشیه سیستم و در پهنه استرینگر و برشی به صورت سیلیسی-سریسیتی سولفیدار تشکیل شده است. در محدوده منگنز-طلای بیجورد دگرسانی کلریتی در اطراف کانه‌زایی و دگرسانی آرژلیک ثانویه به دلیل وجود پیریت اولیه در سطح و در رخساره استرینگر تا برون‌دمی دیده می‌شود. دگرسانی‌های معمولی در تیپ بشی شامل سریسیتی، سیلیسی، کلریتی و کربناته می‌باشد.

۷-۲-۷- جایگاه تکتونیکی

پژوهش جدید نشان داده است که این حوضه اقیانوسی سبزوار در تریاس پسین-ژوراسیک پیشین تشکیل شده- است و پس از گسترش در ژوراسیک میانی- کرتاسه پیشین، در زمان کرتاسه میانی با فرورانش جزایر اقیانوسی و سپس از کرتاسه پسین با فرورانش حاشیه قاره شروع به بسته شدن کردند و سرانجام در پالئوسن-ئوسن بسته و در میوسن برخورد قاره صورت گرفته است (قاسمی، ۱۳۹۹). شواهد ژئوشیمیایی همگی حاکی از تولید ماگمای سازنده سنگ‌های جنوب غرب سبزوار در یک محیط فرورانش جزیره کمانی در خلال فرورانش حوضه اقیانوسی نئوتتیس سبزوار در طی کرتاسه پسین می‌باشد. جزایر کمانی جنوب غربی سبزوار با سرشت کالک آکالان -

تولیتی، در طی کرتاسه پسین با فروانش به سمت شمال پوسته اقیانوسی-اقیانوسی در داخل شاخه شمالی اقیانوس نئوتتیس (حوضه اقیانوس سبزوار) تشکیل شده است (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۶). این کمان ماگمایی که در ابتدا (کرتاسه پسین) از نوع جزایر کمائی بوده است، با ادامه فروانش و اتصال آن به لبه جنوبی منطقه البرز شرقی (بینالود)، در اثر فروانش پوسته اقیانوسی سبزوار به زیر ورقه بینالود (البرز شرقی)، به یک پهنه فروانش حاشیه قاره تبدیل شده و سبب بروز فعالیت‌های ماگمایی با طبیعت کالک‌آلکالن در زمان ترشیری و فعالیت‌های ماگمایی درون ورقه قاره‌ای در نئوژن و کواترنر شده است. با توجه به فصل ژئوشیمی و رسم نمودار محیط تکتونیکی که نمونه‌ها در جزیره کمائی با ماهیت تولیتی پلات شده‌اند تاییدی بر این نظریه می‌باشد (شکل ۷-۱).



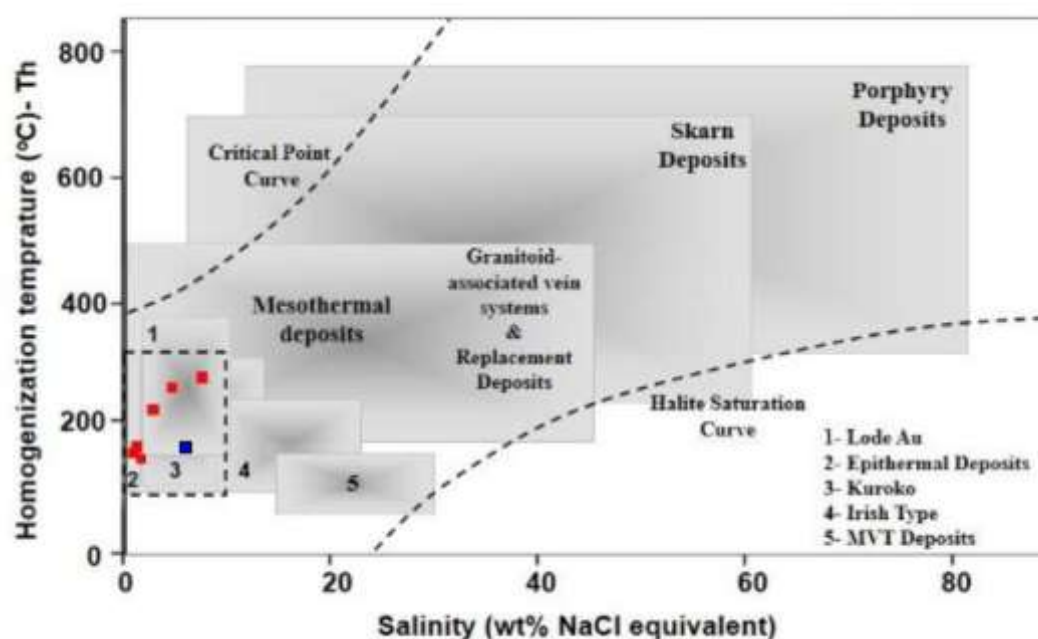
شکل ۷-۱-الف- همزمان با فروانش نئوتتیس به زیر ایران مرکزی حوضه پشت کمائی سبزوار شکل گرفته که تبدیل به یک جزیره کمائی شده در طی این مراحل آب شور دریا به سمت پایین حرکت کرده و در اثر رژیم حرارتی گرم شده و به سمت بالا حرکت کرده و عناصر فلزی را از مسیر خود شستشو می‌دهد. موقعیت کانه‌زایی منطقه مورد مطالعه با علامت ستاره نشان داده شده است. ب و پ- بسته شدن حوضه اقیانوس سبزوار و تشکیل گنبدی‌های آداکیتی

۷-۲-۸- نتایج ژئوشیمی و سیال درگیر

در فصل ششم مطالعات ژئوشیمیایی انجام شده سنگ‌های آندزیت بازالت تا بازالت با ترکیب تولیتی تا انتقالی را نشان می‌دهد که در یک محیط جزیره کمائی تشکیل شده است. شباهت الگوی عناصر نادر خاکی (REE) و کمیاب در بین مواد معدنی و سنگ‌های آتشفشانی توالی میزبان کانسار نشان می‌دهد که فلزات و عناصر کانه‌ساز

از شستشوی سنگ‌های آتشفشانی کم‌پایین توسط سیال داغ منشأ گرفته است. ژئوشیمی کانسنگ نشان می‌دهد که عناصر فلزی مس، طلا، نقره، سرب و روی ارتباط معنی‌داری با سنگ‌های کم‌پایین خود یعنی سنگ‌های آندزیتی بازالتی دارند. بخش پر عیار مس به رخساره استرینگر در واحد آندزیت بازالیت معدن مس-طلا القبابی منطبق است که حداکثر عیار مس ۱,۸ درصد است که نشان‌دهنده افزایش میزان کالکوپیریت در این رخساره می‌باشد که همراه طلا در قسمت شمالی کانسار در واحد آندزیت بازالیت بوده و عیار طلا در حد ۶۰۰ ppb را نشان می‌دهد. در کانسار منگنز-طلای بیجورد، در پهنه دگرسانی آرژیلیکی سطحی در روی واحد توف شیلی که حاوی پیریت، اکسید آهن و منگنز می‌باشد، عیار طلا به ۲,۵ ppm می‌رسد و عیار میانگین ۵۰۰ ppb را دارا می‌باشد که در تماس با رخساره توده‌ای منگنز است و دلیل آن اینست که در کانسارهای VMS عیار طلا، نقره، آرسنیک، سرب، روی، آهن و منگنز از رخساره‌های رگه-رگچه‌ای با سمت قسمت فوقانی کانسار افزایش پیدا می‌کند (Pilote et al., 2019). غنی‌سازی طلا، در دو نوع سنگ که شامل سنگ‌های گدازه آندزیت بازالیت از محدوده‌های القبابی، سه بندون طلا به صورت ذرات ریز میکروسکوپی، همراه کانه‌های پیریت، کالکوپیریت و بورنیت در معدن القبابی و کانه‌های پیریت، اسفالریت، کالکوپیریت، مارکاسیت، به مقدار کم آرسنوپیریت در معدن سه بندون رخ داده است و در واحد شیل توفی محدوده دهنه بیجورد از جمله طلای محلول جامد، طلای کلوئیدی، در دانه‌های پیریت و آرسنیک، طبق آنالیز شیمیایی و بالا بودن مقدار آرسنیک و گوگرد تشکیل شده است. با این حال، طلای زیر میکروسکوپی در پیریت‌های دانه درشت از مرحله اصلی کانی‌سازی (میانگین غلظت تا ۲/۵ ppm در سنگ معدن سه بندون (حمامی پور بارنجی، ۱۳۹۶) و ۰/۵ ppm در منگنز بیجورد می‌باشد. طلا در ساختار پیریت آرسنیک دار رسوب می‌کند، که دخالت مستقیم مواد فرار ماگمایی در سامانه گرمایی را نشان می‌دهد (Economou-Eliopoulos et al., 2008). برای تعیین تیپ کانسار منگنز و تشخیص کانسارهای منگنز گرمایی، آبراد، دیاژنز و زیست‌زاد میکروبی، مطالعه شیمی کانسنگ انجام شده است که از عناصر اصلی و جزئی استفاده شده است که میتوان با استفاده از این عناصر در کانسنگ منگنز جهت شناسایی کانسارهای منگنز که در شرایط و محیط مختلف زمین شناسی تشکیل می‌شوند استفاده کرد (Crerar et al., 1982). بر اساس نمودارهای رسم شده نمونه‌های منگنز دهنه بیجورد در محدوده گرمایی زیر دریایی قرار گرفت

است. به اعتقاد حمامی پور بارنجی (۱۳۹۶) با توجه به مطالعات سیال درگیر انجام شده در محدوده سه بندوق این کانسار بیشترین شباهتها را با کانی‌زایی تیپ اپی‌ترمال سولفید پایین تا متوسط نشان می‌دهد. ولی با توجه به شواهد جدید و رخساره‌های کانسنگ این کانه‌زایی شباهت زیادی با کانی‌زایی سولفیدتوده‌ای دارد و البته در نمودار سیالات درگیر، تنها سیال اندازه‌گیری شده در محدوده تیپ سولفید توده‌ای (تیپ کوروکو) قرار می‌گیرد که البته از جهت سیال مشابه سایر تیپهای کانسارهای سولفید توده‌ای است (شکل ۷-۲).



شکل ۷-۲- محدوده دمای همگن شدن نسبت به درجه شوری در کانسارهای مختلف داده‌های قرمز از (حمامی پور بارنجی، ۱۳۹۶) برای کانسار سه بندوق و تنها داده به رنگ آبی حاصل تحقیق حاضر از کانسار القبایی که در محدوده کانسار اپی‌ترمال و سولفید-توده‌ای قرار گرفته‌است.

۷-۳- الگوی تشکیل کانسار مس-طلا و منگنز در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن

براساس شواهد بیان شده از کانه‌زایی‌های مس-طلا و منگنز-طلا در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین شامل کانسارهای القبایی، سبه، سه بندوق و بیجورد جنوبی و شمالی می‌باشد که به نظر می‌رسد این کانه‌زایی‌ها بصورت برون‌دمی در محیط آتشفشانی-رسوبی زیر دریایی تشکیل شده‌اند. به عنوان مثال رخداد این کانه‌زایی‌ها

در افق‌های چین‌شناسی خاص، افق OH1 در واحد گدازه که بخش زیرین واحد ۲ و افق OH2 در بخش بالایی واحد ۲ بین گدازه آندزیتی و شیل توفی رخ داده است. باتوجه به ساخت و بافت و رخساره‌های کانه دار رگه-رگچه‌ای، برشی، توده‌ای و نواری برون‌دومی، رخداد در افق‌های چین‌شناسی خاص، الگوی دگرسانی و برخی ویژگی‌های دیگر، الگوی رخداد این کانه‌زایی‌ها منطبق با سامانه سولفیدتوده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) می‌باشد (شکل ۷-۳)(۷-۴)(۷-۵). با توجه به ماهیت رگه‌ای بخشی از این کانه‌زایی‌ها (استرینگر)، مدل کانه‌زایی تیپ اپی ترمال سولفیداسیون حد واسط (حمامی پور و همکاران، ۱۳۹۷) و (میری، ۱۳۹۹) پیشنهاد شده است که با کانه-زایی منطقه منطبق نمی‌باشد.

براساس تورنوس و همکاران (Tornos et al., 2015) کانسارهای سولفید توده‌ای به چهار صورت تشکیل می‌شوند:

۱- تپه‌ها و دودخان‌های سیاه شکل گرفته در محیط‌های اکسیدان

۲- مدل استخر شورابه‌ای

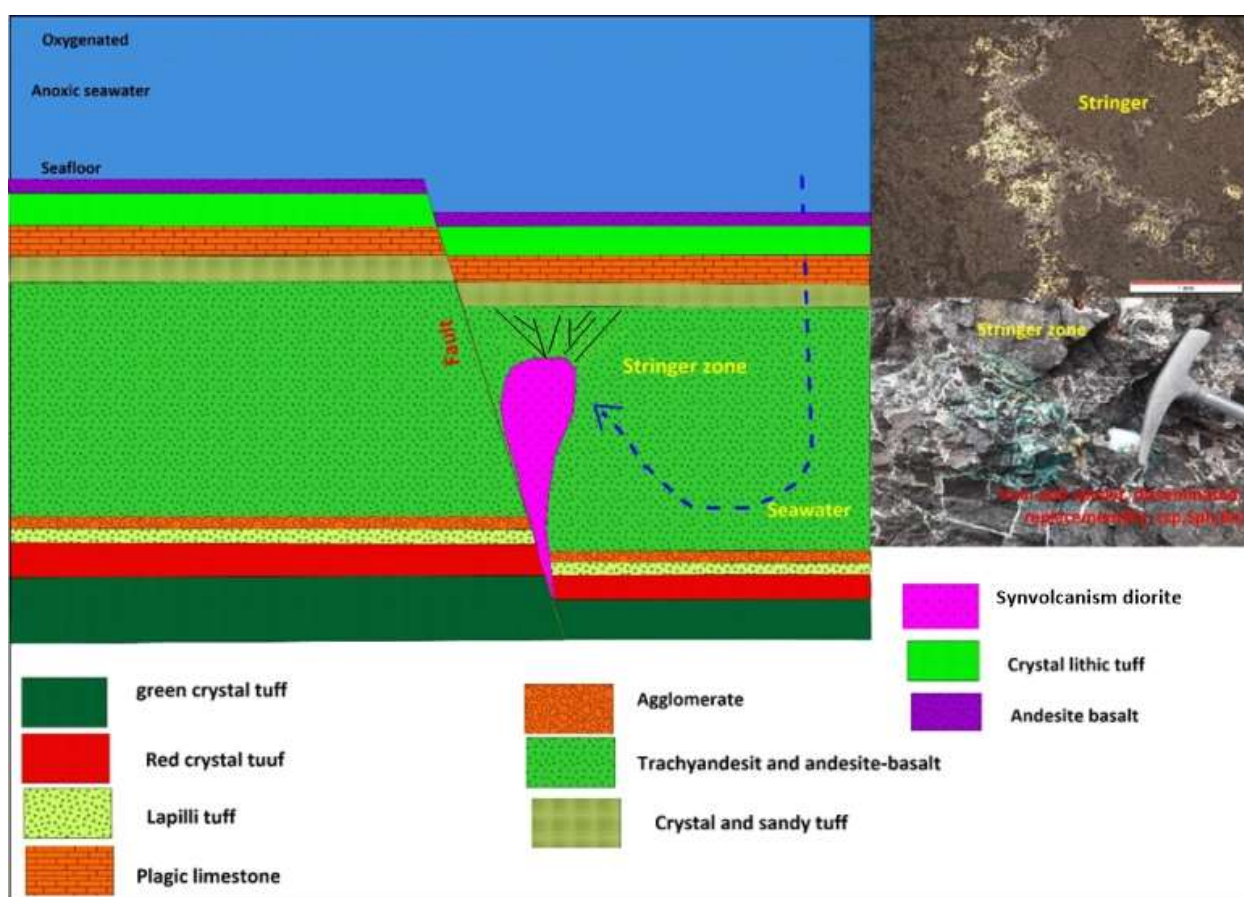
۳- تپه‌ها و سولفیدهای چین‌سان در محیط‌های احیائی

۴- جانشینی زیر بستر دریا

با توجه به ویژگی‌های کانه‌زایی مس-طلا در محدوده کلاته القبابی، سبه و بخش استرینگر سه بندون شامل رخداد کانه زایی بصورت چین‌کران که سنگ میزبان تراکی آندزیت و آندزیت بازالت را قطع می‌کند و در محدوده منگنز- طلا بی‌جورد که بصورت چین‌سان و هم‌رند با سنگ میزبان شیل توفی می‌باشد و وجود بافت-های رگه-رگچه‌ای، توده‌ای، نواری، دانه‌پراکنده و جانشینی در ماده معدنی و سایر ویژگی‌ها از جمله پهنه بندی دگرسانی و رخساره‌های مختلف کانه‌دار، کانه‌زایی در این منطقه با کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) شباهت زیادی نشان می‌دهند.

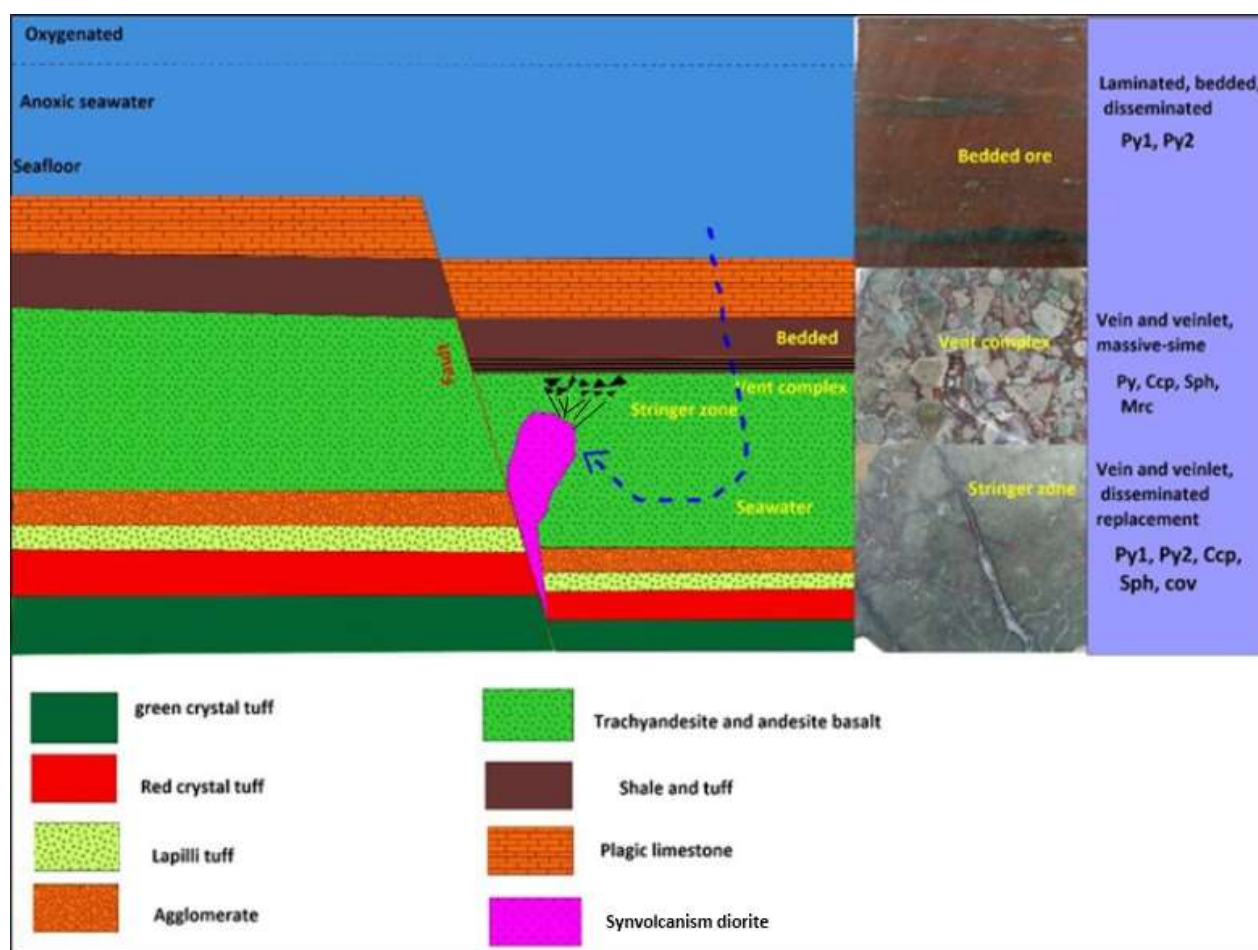
کانسارهای سولفید توده‌ای نوع جانشینی زیر کف دریا، زیر مجموعه‌ای از کانسارهای VMS هستند که در آن سولفیدها در سنگ‌های آتشفشانی تحکیم نیافته، توالی آتشفشانی- رسوبی و مواد رسوبی توسط سیال کانه ساز جایگزین شده است (Piercey et al., 2015). باتوجه به شکل ۷-۶ در کانسار کلاته القبابی و سه بندون، کانه

زایی بصورت جانشینی زیر بستر دریا رخ داده است (Tornos et al., 2015). در محدوده منگنز دهنه بیجورد نیز رخساره‌های نواری، توده‌ای و اگزالات قابل مشاهده می‌باشد که نشانه تشکیل آنها در کف دریا می‌باشد. در شکل ۶-۷ موقعیت این کانسارها نشان داده شده است. با این تفاسیر می‌توان دو نوع رخداد کانه‌زایی به صورت زیر کف دریا و ورود به دریا را در نظر گرفت که با تپه‌ها و دودخان‌های سیاه شکل گرفته در محیط‌های اکسیدان همخوانی دارد. فعالیت گرمابی زیر کف دریا، توسط عمق آب دریا کنترل می‌شود و جوشش سیال‌های گرمابی قبل از رسیدن آن به کف دریا، باعث رسوب سولفید در سنگ میزبان در زون رگه- رگچه ای می‌شود (Haas, 1971). رسوبات پلاژیک دریایی نیم عمیق و شیل دقیقاً بالای کانسنگ توده ای منگنز-طلا در کانسار بیجورد و در بالای کانسنگ برشی در طلای سه بندون واقع شده اند، و این بدان معناست که عمق آب دریا ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متر بوده است (Finlow-Bates and Large, 1978; Henley and Thomley, 1979).

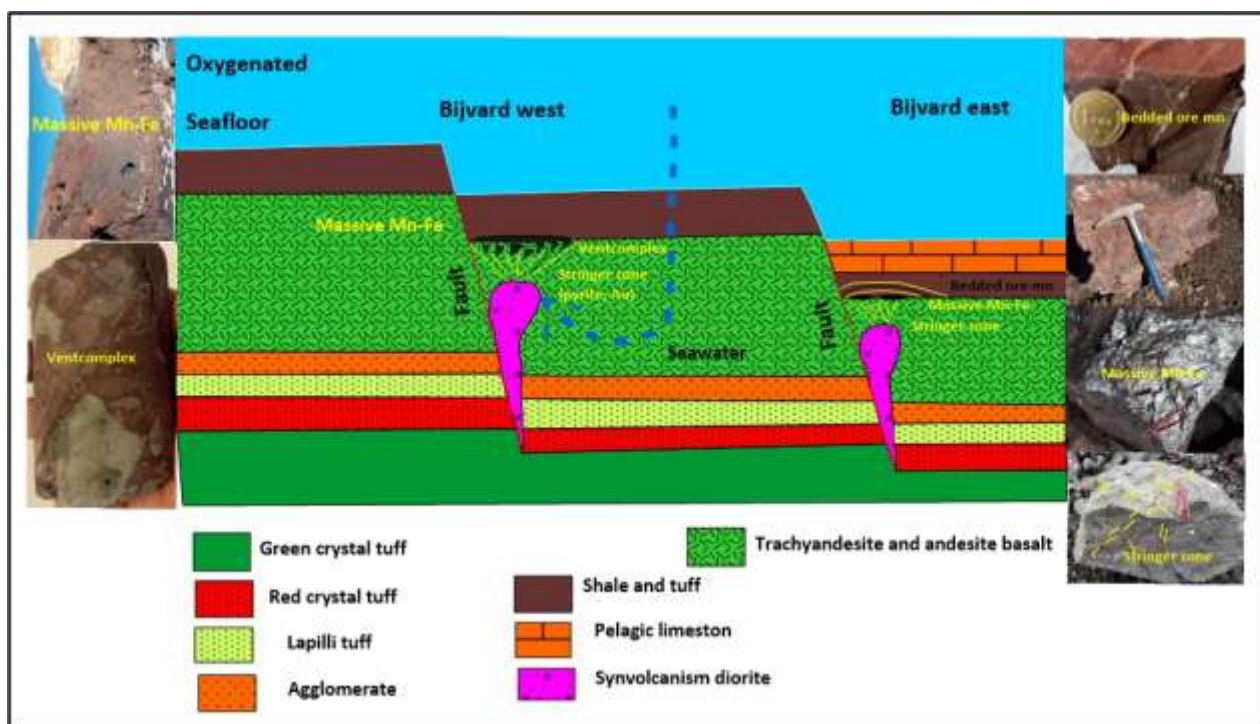


شکل ۷-۳- مدل نمادین از رخساره‌ها و تشکیل کانسار القبایی و سبه

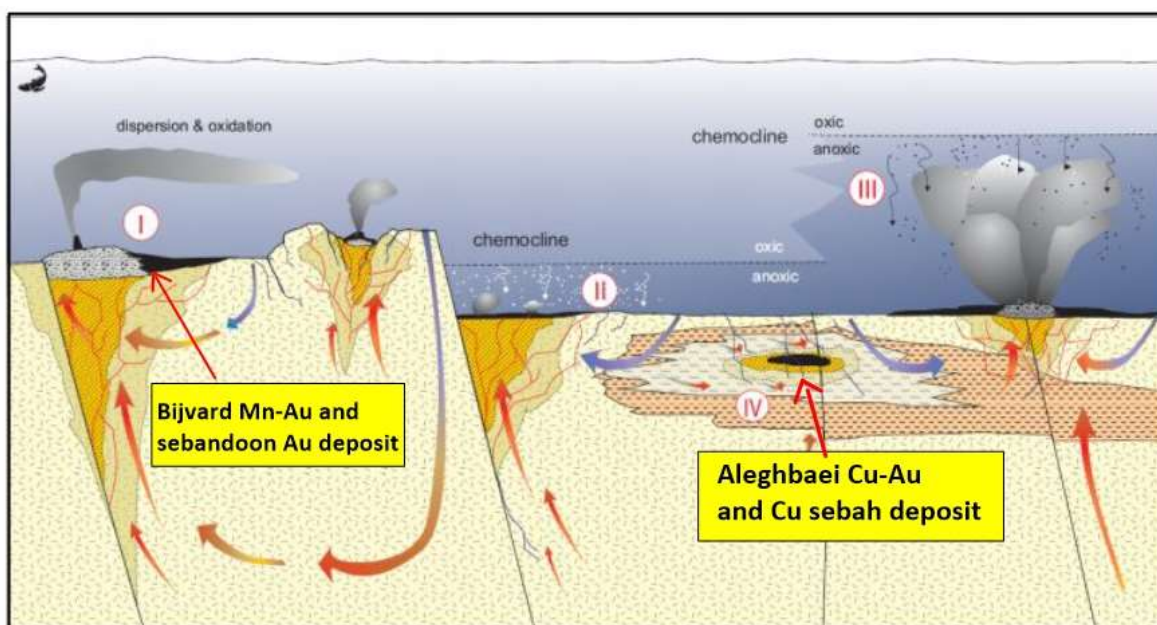
در رابطه با عیار طلا در منطقه مورد مطالعه با در نظر گرفتن محیط تکتونیکی و قرار گیری نمونه‌های سنگی منطقه در محدوده بازالت تا آندزیت بازالت با ماهیت سری تولییتی، می توان کانی‌زایی طلا را با این نوع سنگ منشأ در ارتباط دانست و طبق جدول ۷-۱ میزان طلا در سنگهای مافیک و اولترامافیک و مخصوصا سنگهای با ماهیت تولییتی بالاست که در منطقه مورد مطالعه هم همینطور است و با مقایسه میان سنگهای محیطهای مختلف تکتونیکی و با در نظر گرفتن سنگ میزبان کانی‌زایی در توالی آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین در شمال بردسکن به این نتیجه می‌توان دست یافت که سنگهای بازالتی با ماهیت تولییتی می‌توانند کانی‌زایی طلای بیشتری را همراهی کنند.



شکل ۷-۴-مدل نمادین از رخساره‌ها و تشکیل کانسار سه بندوق



شکل ۷-۵- مدل نمادین از رخساره‌ها و تشکیل کانسارمنگنز بیجورد جنوبی و منگنز-طلای بیجورد شمالی



شکل ۷-۶- مدل شماتیک از ویژگی‌های اصلی مدل‌های متفاوت کانه‌زایی VMS همراه با تغییرات برگرفته از (Tornos et al., 2015): مدل تپه‌ای و دودکش‌های سیاه در محیط اکسیدان (I)، مدل استخر شورابه ای (II)، مدل تپه‌ای و چینه سان سولفیدی در محیط منطقه غیراکسیدان (III)، مدل جانشینی در زیر کف دریا (IV) و جایگاه تشکیل کانسار القبابی و منگنز-طلای بیجورد.

۷-۴- مدل تشکیل کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان زاد

کشف نهشته‌های فلزی که در زیر دریا‌های امروزی تشکیل می‌شود، واژه آتشفشانزاد یا آتشفشانی-رسوبی را به کانسارهایی که در اثر فرایندهای چشمه‌های آب گرم که به بستر دریا یا زیر کف دریا راه پیدا می‌کنند و باعث نهشت سولفید توده‌ای می‌شوند. مراحل تشکیل کانسار سولفید توده‌ای در شکل (۷-۷) به صورت شماتیک نشان داده شده است (Pilote et al., 2019). با توجه به شکل بازسازی شماتیک سیستم هیدروترمال و تکامل آن، و تغییرات اساسی مرتبط با تشکیل ذخیره کانسار سولفید توده‌ای نشان می‌دهد که واحدهای خاکستری نشان دهنده رخساره‌های سنگی آتشفشانی هستند، در حالی که واحدهای سفید نشان دهنده سنگهای آتشفشانی تخریبی هستند. مرحله ۱: توسعه اولیه مجموعه‌های دگرسانی دمای پایین (به عنوان مثال، کوارتز-کلسیت $\pm$ اسپسارتین، کوارتز-سرسیت-کلریت، سریسیت-کوارتز و لایه غنی از سیلیس) مرحله ۲: مجموعه‌های دمای بالا (به عنوان مثال، کوارتز-کلریت، کوارتز-کلریت-سولفید، کوارتز-کلریت-سرسیت) همراه با فلزات پایه. مرحله ۳: مجموعه‌های با درجه حرارت پایینتر (به عنوان مثال، مجموعه کربنات غنی از منگنز، کوارتز-سرسیت-سولفید) همراه با فلزات پایه‌ها و فلزات گرانبها نشان داده شده است. سه مرحله تشکیل ذخیره مینگ در (شکل ۷-۷) با تغییر اساسی در طول تکامل سیستم هیدروترمال VMS نشان داده شده است. در طول تکامل سیستم هیدروترمال، سیالات توسط همان گسل‌های همزمان با آتشفشان کنترل می‌شوند که قبل و در طی ذخیره در واحدهای ۱،۲ و ۱،۳ توسعه یافته است. گسل‌های همزمان با آتشفشان، کنترل کننده جانبی و رخساره دگرسانی می‌باشد (واحد ۱.۱)، و تخلیه سیال در نزدیکی کف دریا انجام می‌شود. دمای سیالات اولیه در طی تکامل سیالات افزایش می‌یابد منجر به آبکافت (هیدرولیز) فلدسپات در سنگ میزبان فلسیک و جانشینی که منجر به تشکیل کوارتز - سرسیت - مجموعه‌های کلریت و کوارتز - سریت در بخشی از ذخیره جنوب شرقی، مناطق جنوب و زون ۱۸۰۶ می‌شود. در مقابل، حرکت آب دریای سرد حاوی کلسیم و سدیم غنی شده در بالاترین قسمت واحدهای ۱،۲ و ۱،۳ که موجب تشکیل ذخیره دیستال (Distal) می‌شود (شکل ۷-۷ الف). سیلیس شسته شده به دلیل تغییر اندکی اسیدی، کوارتز و سرسیت و مجموعه لایه غنی از سیلیس موجود در زیر کف زون (۱۸۰۶) تشکیل می‌شود. ادامه فعالیت هیدروترمال، همراه با افزایش دما (< 300 درجه سانتی‌گراد)،

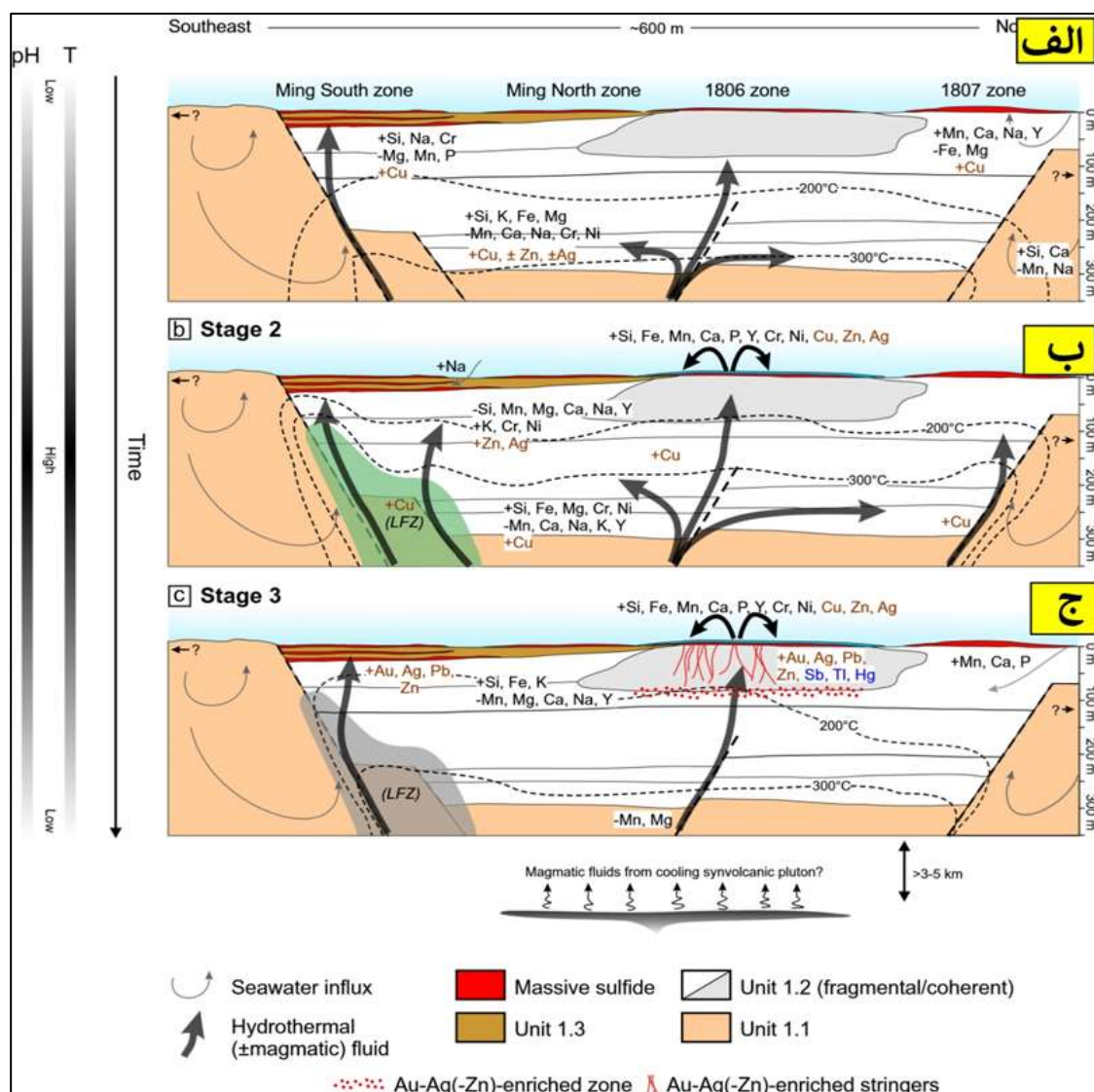
مجموعه های کلریتی را در نزدیکی واحدهای آتشفشانی-آتشفشانی تخریبی تولید می کند که دلیل آن تثبیت و تبادل منیزیم و آهن از سیال دارای میکا / سرسیت موجود است (شکل ۷-۷ب) سیالات با درجه حرارت بالا همچنین امکان انتقال مس قابل توجهی را فراهم می کند، که در داخل مجموعه های کلریتی در تماس با سنگهای آتشفشانی-تخریبی قابل نفوذ و سردتر واحد ۱،۲، تنه‌نشست می کند. کاهش کلی دما توسط کوارتز-سرسیت-سولفید، که همچنین بالاترین غنی سازی در فلزات گرانبها و مواد فرار (Sb، Tl، Hg) را نشان می دهد، غنی سازی بعد از اپی ترمال، روی هم قرار گرفتن و احتمالاً توسط رخساره‌های موجود در زون ۱۸۰۶ کنترل می شود (شکل ۷-۷ ج). (Huston, 2000; Brueckner et al, 2016).

۷-۵- شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد

۷-۵-۱- منشأ فلزات

برای ته‌نشینی فلزات در کانسارها دو منشأ در نظر می‌گیرند که یکی در ارتباط با واکنش بین سنگ دیواره و سیالات در اعماق بیشتر از یک کیلومتر و درجه حرارت بالا می‌باشد که باعث دگرسانی، کلریتی و سیلیسی-سریسیتی-کربناته و اپیدوتی به صورت گسترده شده‌است. میزان فلزات در سیال در ارتباط با درجه حرارت و pH می‌باشد که با کاهش pH و افزایش دما میزان فلزات در سیال بیشتر می‌شوند (Franklin et al., 2005). نوع فلزات ارتباط تنگاتنگی با نوع سنگ دیواره (سنگ‌های فلسیک و سنگ‌های مافیک) دارد. همچنین از عوامل دیگری که بر میزان فلزات در سیال می‌تواند تأثیر گذارد، نسبت سیال به سنگ است، هرچه نسبت سیال به سنگ بالا باشد میزان فلزات در سیال هم بالاست.

منبع دوم مستقیماً از ماگما منشأ می‌گیرد، سیالات حاوی فلزات ممکن است به طور مستقیم از ماگما نشأت بگیرد که سهم این سیالات ماگمایی غنی از فلز بسیار پایین می‌باشد، مانند مس پورفیری و ته‌نشینی طلای سولفیداسیون بالا.



شکل ۷-۷ مدل پیشنهادی از شکل گیری کانسار سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (Pilote et al., 2019).

منشأ فلزات در کانه‌زایی سولفید توده‌ای القبایی با توجه به نفوذ توده‌های نفوذی ساب و لکانیک الیوین بازالت به داخل سنگ‌های آندزیت بازالت و تراکی آندزیت در زیر کف دریا موجب فعال شدن جریان‌های همرفتی آب دریا در طول گسل‌های همزمان با آتشفشان و رسوبگذاری شده که نتیجه آن ایجاد سیالات داغ و شور بوده که فلزات و عناصر کانسنگ ساز را از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی کم‌پایین شسته و وارد سنگ میزبان، و بخشی از کانی‌زایی وارد دریا نموده است و پتانسیل لازم برای کانه‌زایی مس- طلا و منگنز را دارا می‌باشد. با توجه به فصل ژئوشیمی کانسنگ و میزان عیار عناصر فلزی در کم‌پایین ماده معدنی ارتباط معنی داری بین این دو وجود دارد

که منشأ فلزات از سنگ‌های آندزیتی بازالتی با ماهیت تولییتی کم‌پایین ماده معدنی که به طور طبیعی عیار طلای بالاتری نسبت به دیگر سنگ‌های محیط‌های مختلف را دارا می‌باشند (جدول ۷-۱) نشان از نشأت گرفتن طلا از این نوع سنگ میزبان را دارد.

۷-۵-۲- منشأ گوگرد

در نهشته‌های سولفید توده‌ای بخش عمده سولفور از کمر پایین کانسار و احیای سولفات آب دریا می‌باشد. سولفات آب دریا توسط فعالیت آلی (بیوژنیک) و یا غیر بیوژنیک توسط Fe^{+2} صورت می‌گیرد (Franklin et al, 2005).

منشأ سولفور در کانسارهای سولفید توده‌ای سنگ‌های کمر پایین برای تأمین گوگرد نقش اصلی دارند به این صورت که در اثر واکنش بین سیالات داغ و بالارونده و سنگ‌های بازالتی کمر پایین، آهن موجود در سنگ‌های مافیک وارد سیالات هیدروترمالی می‌شود و این آهن در دمای حدود ۳۰۰ درجه سانتی گراد توانایی احیای سولفات آب دریا را دارد.

۷-۵-۳- منشأ سیالات

مطالعات انجام گرفته بر روی ترکیب شیمیایی و ایزوتوپ‌های سیالات کانه‌دار در ذخایر مختلف سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد نشان می‌دهد که آب دریا منشأ غالب کانه‌ها می‌باشد (USGS, 2007). در ذخایر سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد وظیفه چرخش سیال بر عهده حرارت ناشی از توده‌های نفوذی می‌باشد. این سیال که از آب دریا منشأ گرفته در اثر واکنش با سنگ‌های میزبان و مسیر حرکت، باعث غنی شدن از عناصر فلزی می‌گردد و دمای سیال در قسمت منتهی به دریا به ۴۰۰ درجه سانتی گراد می‌رسد (USGS, 2007).

جدول ۷-۱ - میانگین طلا در گروه‌های مختلف سنگ‌های آذرین بر حسب (ppb) (Foster, 1993)

Rockes from non- orogenic environments	Au (ppb)
MORB	1.2
Intraplate basalt	2.0
Flood basalt	3.5
Initial magma., layered	4.6
Gabbroic complex	-
Kimberlites and mantle xenoliths	-
Kimberlites	3.1
Garnet peridotite	2.7
Garnet peridotite ²	0.85
Eclogite	3.4
Spinel Iherzolites	0.5
Alkaline plutons	2.8
Rocks from orogenic environment	-
Ophiolite harzburgite	2.8
Mafic volcanics, convergent margins	2.2
Felsic volcanics, convergent margins	1.55
Granitic plutons	2.6
Igneous rocks of Precambrian greenston belts	-
Perioditic komatiite	4.2
Komatiite basalt	12.4
Tholeiitic basalt	5.7
Granitic plutons	1.5

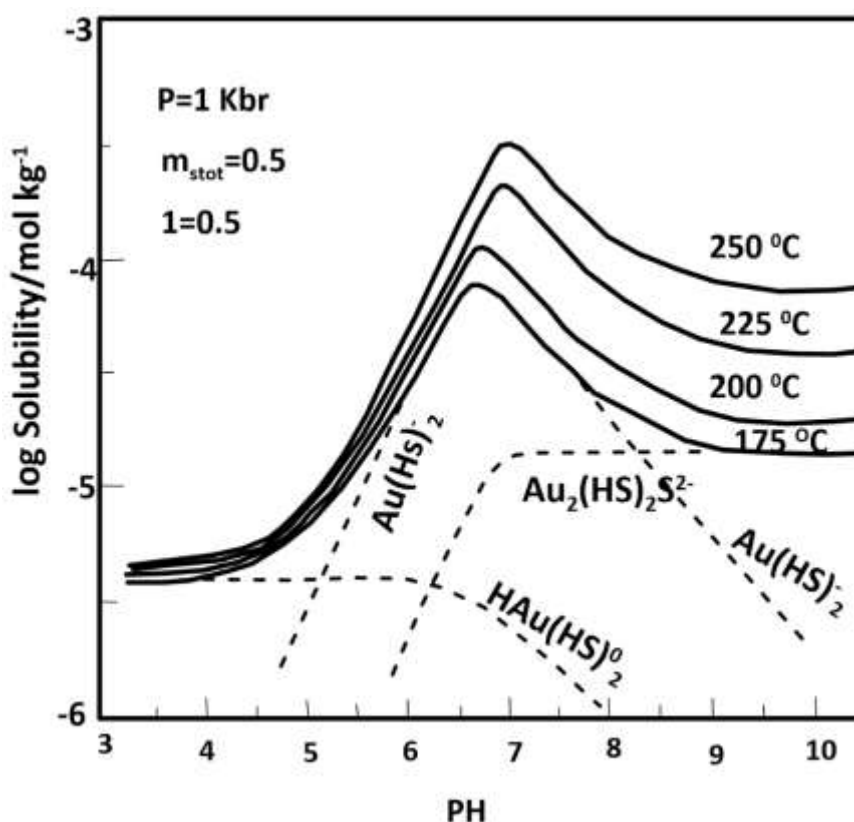
یکی از عوامل مهم دیگر در جابجایی عناصر فلزی، آب ماگمایی و گازهای فرار همراه می‌باشند. که شامل بخار آب با درصدی حدود ۹۰ مول، دی اکسید کربن با درصدی حدود ۵ تا ۱۰ مول، گوگرد به شکل SO_2 و H_2S حدود ۱ تا ۲ مول، و مقادیر کمتری از H_2 ، HCL و HF می‌باشند. یکی از مواد فرار مهم در جزایر کمانی و پشت کمانی محسوب می‌شود (Taran et al, 1995). همه این گازها در سامانه چرخش سیال گرمایی با اضافه شدن ترکیبات نظیر H_2O ، CO_2 ، S و F موجب رقیق شدن میزان کلر و در نهایت اسیدی شدن سیال می‌گردد. تحقیقات انجام شده بر روی سیالات درگیر حاکی از این می‌باشد که این بخارات می‌توانند مقادیر قابل توجهی از فلزات را با خود حمل کنند (Williams-Jones and Heinrich, 2005).

منشأ سیال و عناصر فلزی در محدوده مورد مطالعه به ترتیب آب دریا و سنگ‌های آندزیت بازالتی کمرباطین کانی زایی هستند که به دلیل چرخش سیالات فرورو عناصر فلزی را از سنگ‌های دیواره کم عیار شسته و در حین بالا آمدن در شکستگی‌ها بر جای می‌گذارد. منشأ سیال در این تیپ کانسار عمدتاً آب دریا می‌باشد که پس از عبور از بخش زیرین و داغ شدن قدرت تشکیل کمپلکس‌های سولفیدی در یک محیط خیلی احيائي دارا می‌باشد.

۷-۵-۴- انتقال و ته‌نشست طلا در سیستم‌های سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد

در ذخایر سولفید توده‌ای آتشفشانی، طلا از نظر توزیع در بین فلزات پایه و گرانبها نسبتاً پیچیده و بی نظیر است. در حالی که روی، سرب، نقره و مس تمایل دارند در بخش‌های خاصی از این ذخایر متمرکز شوند، طلا می‌تواند در انواع مختلف کانسنگ در طول کانی سازی وجود داشته باشد، طلا می‌تواند در قسمت‌های غنی از روی دما پایین در بالای کانسار و یا در سیستم‌های دمای بالاتر غنی از مس وجود داشته باشد. علاوه بر این ممکن است طلا در قسمت‌های دور از منشأ کانسارها مانند کانی سازی باریت و پیریت وجود داشته باشد (Huston and Large, 1989). در pH خنثی، حلالیت طلا به عنوان $\text{Au}(\text{HS})^{-2}$ در واقع با کاهش دما، به ویژه زیر ۲۰۰ درجه سانتی گراد افزایش می‌یابد و بیش‌ترین حلال در زمینه پیریت می‌باشد. $\text{HAu}(\text{HS})^{-2}$ و ممکن است در شرایط انتقال گرمایی (pH اسیدی) پایدار باشد. ته‌نشست طلا از این مجموعه در اثر کاهش گوگرد همراه است. $\text{Au}(\text{HS})^{-2}$ در مقایسه با $\text{HAu}(\text{HS})^{02}$ نشان می‌دهد که حلالیت طلا با افزایش دما افزایش

می یابد، بنابراین افت دما همچنین می تواند باعث ته نشست طلا شود و تغییرات pH در این مورد بر میزان طلا تأثیر نمی گذارد (شکل ۷-۸).



شکل ۷-۸- نمودار حلالیت طلا در انواع مختلف تیو سولفیدی در دمای زیر ۲۵۰ درجه سانتیگراد (Huston and Large, 1989)

۷-۶- تقسیم بندی کانسارهای سولفید توده ای آتشفشان زاد VMS

ذخایر VMS در نتیجه اگزالات سین ژنتیک سیالات هیدروترمالی غنی از فلزی بر روی دریا و زیر کف دریا تشکیل می شود. این ذخیره ها در نام های مختلف طبقه بندی می شوند (به عنوان مثال، محتوای فلز و نوع موقعیت)، اما قوی ترین طبقه بندی پذیرفته شده شامل استفاده از لیتواستراتیگرافی میزبان و محیط تکتونیکی می باشد (Galley et al. 2007; Franklin et al. 2005; Barrie and Hannington 1999). در طبقه بندی سنگ نگاری ذخایر سولفید توده ای به پنج گروه طبقه بندی می شوند که ابتدا (Franklin et al. 2005) و با بازنگری (Piercey, 2011) ارائه گردید. که شامل:

۱- تیپ مافیک - اولترامافیک (قبرس):

این نوع از کانسارها در کمپلکس‌های افیولیتی و در محیط‌های تکتونیکی کف اقیانوس (MOR) و محیط پشت کمان بالغ درون اقیانوسی همراه با برخی گسل‌های ترنسفورم تشکیل می‌شوند. که بیشتر از بازالت‌های بالشی و مقدار خیلی کم از سنگ‌های فلسیک و رسوبی تشکیل شده است (Franklin et al. 2005).

۲- تیپ پلیتیک مافیک یا تیپ (بشی)

این نوع کانسارها با میزبانی سیل‌های مافیک حدود ۲۵ درصد، سنگ‌های فلسیک (گدازه، سیل، گنبد و آذرآواری) کم بوده و حدود ۲۰ درصد می‌رسد. رسوبات شامل آرژیلیت، سیلتستون، وکستون و ماسه سنگ بوده و سنگ‌های مافیک شامل سیل‌ها، گدازه‌ها و مواد آذرآواری مافیک و الترامافیک می‌باشد. این نوع کانسارها در محیط‌های تکتونیکی پشت کمانی بالغ حاوی بازالت و پلیت با درصد مساوی و یا پلیت‌ها غالب تشکیل می‌شوند. از این مدل کانی زایی‌ها برای مثال، کانسار Windy Craggy کانادا که بزرگترین کانسار بشی شناخته شده است و کانسار Besshi در ژاپن نام برد (Franklin et al. 2005).

۳- تیپ بایمدال مافیک (تیپ نوراندا)

توالی میزبان این تیپ کانی زایی از سنگ‌های بازالت بالشی و توده‌ای بوده و سنگ‌های فلسیک تا ۲۵ درصد می‌رسد و در محیط‌های تکتونیکی ریفت نوظهور و کمان‌های آتشفشانی بایمودال در بالای زون‌های فروانش درون اقیانوسی تشکیل می‌شوند (Franklin et al. 2005).

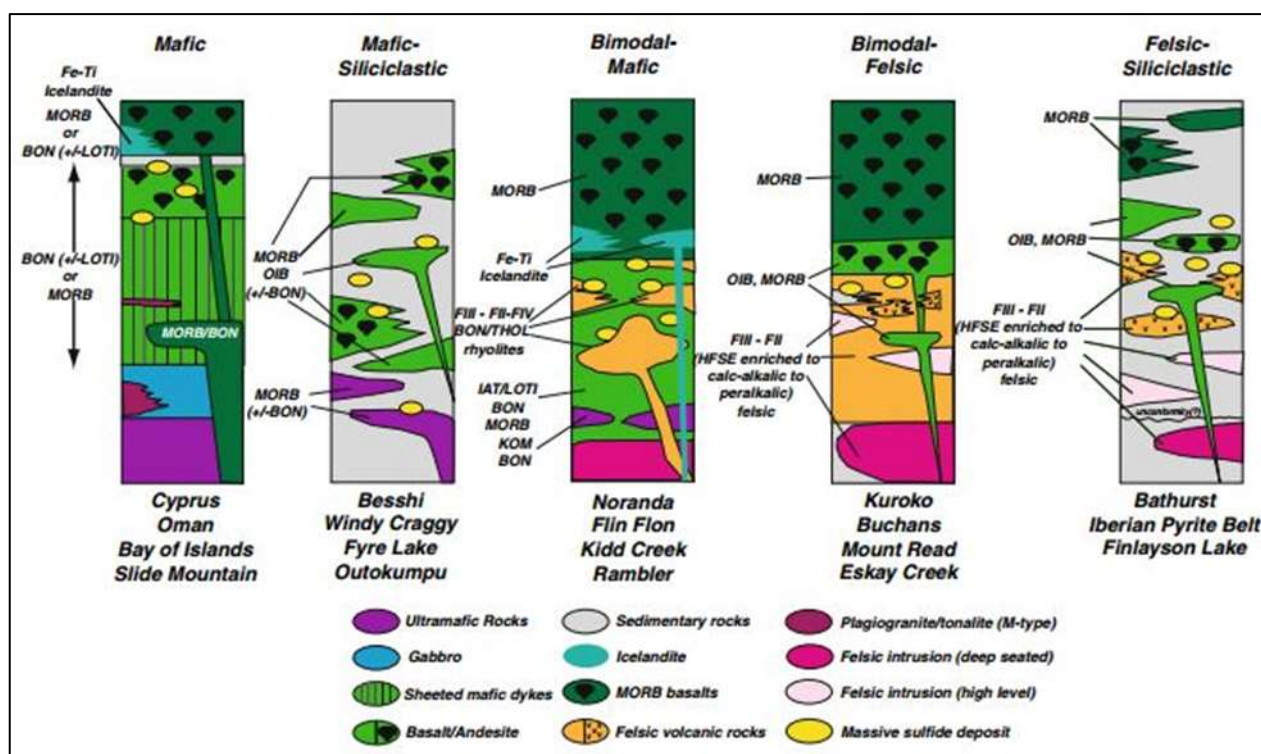
۴- تیپ بایمدال فلسیک (تیپ کوروکو)

این کانسارها حدود ۳۵ تا ۷۰ درصد سنگ میزان‌های آتشفشانی فلسیک و ۲۰ تا ۵۰ درصد سنگ‌های بازالتی و حدود ۱۰ درصد سنگ‌های تخریبی وجود دارد و در محیط کمان حاشیه قاره‌ای تشکیل می‌شود از مثال‌های این کانسار می‌توان به کانسار Hokuroku در ژاپن اشاره کرد (Franklin et al. 2005).

۵- تیپ فلسیک سیلیسی کلاستیک یا تیپ بشورست

این کانسارها در محیط‌های پشت کمانی قاره‌ای بالغ تشکیل می‌شود و بیشتر از سنگ‌های تخریبی تا ۸۰ درصد و سنگ‌های فلسیک آذرآواری و کمی گدازه، سیل و گنبد فلسیک و معادل درونی آنها حدود ۲۵ درصد تشکیل می‌شود (Franklin et al. 2005).

سه گروه اول یاد شده توالی میزبان کمربان به طور عمده از سنگ‌های مافیک تشکیل شده است که مقادیر متنوعی از سنگ‌های سیلیسی آواری، رسوبی- شیمیایی و فلسیک نیز آنها را همراهی می‌کنند. در مقابل، سنگ‌های رسوبی و آذرین فلسیک عمده ترکیبات تشکیل دهنده توالی میزبان دو گروه آخر کانسارهای VMS می‌باشد (Franklin et al. 2005; Galley et al., 2007; Barrie and Hannington 1999). این تقسیم‌بندی بیشتر بر اساس ترکیب توالی چینه‌شناسی و محیط تکتونیکی ته‌نشست توالی میزبان می‌باشد بر اساس (Franklin et al. 2005) و با تغییرات از (Piercey, 2011) می‌باشد (شکل ۷-۹).



شکل ۷-۹- ستون چینه‌شناسی تیپ‌های مختلف کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد بر اساس (Franklin et al. 2005) و با تغییرات از (Piercey, 2011).

۷-۷- بر اساس تقسیم بندی لیتو استراتیگرافی (Franklin et al. 2005) تیپ و جایگاه کانسار القبابی و دیگر اندیس‌ها

با توجه به بررسی کانسار القبابی و دیگر اندیس‌های مورد مطالعه در توالی آتشفشانی رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن بر اساس تقسیم بندی کانسارهای VMS (Franklin et al., 2005) سنگ‌های دربرگیرنده کانی‌زایی در این منطقه با توجه به فصل ۳ (شکل ۳-۲) توالی کانسار و کانی‌زایی در محدوده به صورت زیر می‌باشد.

واحد ۱: شامل کریستال توف سبز و قرمز، توف ماسه سنگی و توف‌های اسیدی و گدازه ریولیتی داسیتی

واحد ۲: گدازه‌های تراکی-آندزیت، آندزیت بازالت، آکلومرا، لاپیلی توف و کریستال توف ماسه‌ای

واحد ۳: آهک پلاژیک، توف آهکی و توف شیلی

واحد ۴: لتیک کریستال توف، گدازه تراکی آندزیت تا تراکی بازالت

باتوجه به تقسیم بندی لیتواستراتیگرافی کانسارهای سولفید توده‌ای (Franklin et al., 2005) کانسار القبایی و دیگر کانسارها و اندیس‌های مورد مطالعه بر اساس این دسته بندی جزء کانسارهای تیپ بشی قرار می‌گیرند. دلایل اثبات این امر وجود سنگ‌های رسوبی حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن می‌باشد و جزء پلیتیک- مافیک و در یک محیط پشت کمانی قرار می‌گیرد. برای روشن تر شدن شباهتها، کانسار القبایی و دیگر کانسارهای تیپ VMS مورد مقایسه قرار گرفته اند (جدول ۷-۲).

۷-۸- مقایسه مس-طلای القبایی با کانسارهای سولفید توده‌ای تیپ بشی در ایران و جهان

با توجه به گسترش سنگ‌های آتشفشانی و توالی آتشفشانی- رسوبی در ایران، اکتشاف و مطالعه کانسارهای سولفید توده‌ای می‌تواند بسیار مفید باشد و مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهد که کشور ایران از پتانسیل بالایی از این تیپ نهشته‌ها برخوردار است (موسیوند، ۱۳۹۱). در این بخش مطالعه کامل تری انجام شده و به بررسی کانسارهای (VMS) تیپ بشی در ایران پرداخته و با کانسار کلاته القبایی مقایسه شده است. و در ادامه تقسیم بندی کانسارهای سولفید توده‌ای ارائه می‌شود و برای هر یک، نمونه‌هایی از کانسارهای داخلی ذکر می‌شود (جدول ۷-۳).

مافیک یا قبرس: شامل نهشته‌های موجود در آمیزه‌های رنگین شامل کانسارهای شیخ عالی و احمدآباد و زورآباد خوی، زاغ دره بافت، رمشک، گزیک، درگز، خلیلان و مسگران، گل چشمه سبزوار. بایمدال مافیک یا تیپ نوراندا: شامل نهشته‌های منطقه سرگز و اسفندقه مانند نهشته‌های سرگز، قلعه‌ریگی و سیه معدن در پهنه سنندج- سیرجان.

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

مس- طلای القبایی، سبه و طلای سه بندون در زیر پهنه سبزوار

بایمدال فلسیک یا تیپ کروکو: شامل نهشته‌های منطقه تکنار در پهنه ایران مرکزی، نهشته باریکا در پهنه سندنچ- سیرجان و نهشته‌های دره کاشان در کمربند ارومیه- دختر، نهشته باریت- فلزات پایه پشته در کمان ماگمایی البرز

سیلیسیکلاستیک فلسیک یا تیپ بتهورست: شامل نهشته‌های منطقه چاه‌گز در پهنه سندنچ- سیرجان جنوبی، نهشته مس نه‌کوهی در بلوک پشت بادام

۷-۹- مقایسه کانسارهای طلادار تیپ‌های مختلف VMS در جهان و ایران

ذخایر سولفید توده ای آتشفشانزاد، با چندین ذخیر قابل توجه طلا در کلاس جهانی قرار می گیرند. تعدادی از ذخیره های VMS قابل استخراج، محتوای طلای آنها با عیار طلای متوسط گرم در تن بالاتر از ترکیب درصد وزنی فلزات پایه می باشد. غنی ترین ذخایر طلا در یک منطقه تقریباً همیشه دارای یک یا چند ویژگی است. محتوای بالای طلا، آنها را از سایر VMS های "فقیراز طلا" یا معمولی در همان منطقه متمایز می کند. بیشتر طلای یافت شده در محیط VMS در تعدادی ذخیره کوچک که از نظر زمین شناسی از دیگر ذخایر موجود در همان منطقه متمایز است. این تفاوت‌ها می تواند راهنمای ارزشمندی برای اکتشاف سایر VMS های غنی از طلا باشد با این حال، بیشترین ذخیره های VMS با درجه طلای نسبتاً کم (به طور متوسط کمتر از ۲ گرم در تن طلا) مشخص می شوند. تعداد قابل توجهی بین ۲ تا ۳,۴۶ گرم در تن دارند. در بعضی از ذخیره‌ها، عیار طلا و کل فلزات پایه زیاد است. می‌توان از میانگین هندسی و یک انحراف معیار هندسی برای دسته بندی ذخیره‌های زیر کلاس‌های جهانی VMS در سراسر جهان و در مناطق مختلف براساس محتوای طلای آنها استفاده کرد. در تجزیه و تحلیل، ذخیره‌های VMS که بیش از ۳,۴۶ گرم در تن طلا دارند، فارغ از محتوای فلزات پایه آنها، طلادار می باشند. بسیاری از این ذخایر دارای عیارهای طلا (گرم در تن) بالاتر از محتوای ترکیبی فلزات پایه در درصد وزنی دارند. با این حال، برخی از ذخایر با درجه طلای پایین‌تر، به دلیل اندازه بزرگ، مقدار قابل توجهی طلا دارند. تجزیه و تحلیل نشان می دهد که ذخایر با ۳۱ تن طلا یا بیشتر به علاوه یک انحراف معیار هندسی است و به وضوح غیر عادی هستند. ذخیره‌های با عیار بیش از ۳/۴۶ گرم در تن طلا و ۳۱ تن طلا غنی از طلا در نظر گرفته می شوند. شناسایی کانسارهای بی‌شابهت طلا دار و و غنی از طلا، به شناسایی پارامترهای زمین

شناسی که ممکن است مسئول غنی سازی غیرمعمول طلا در VMS باشند کمک می کند (Mercier et al., 2011). مقایسه بین کانسارهای VMS با میزان طلا و رده بندی توصیفی انجام شده است (جدول ۷-۴).

۷-۱۰- بازسازی حوضه آتشفشانی - رسوبی منطقه کلاته القبابی و جایگاه تشکیل مس-طلا و منگنز

مراحل تشکیل حوضه آتشفشانی-رسوبی در منطقه و کانه زایی بصورت زیر است:

مرحله ۱- در نتیجه فرورائش به سمت شمال شرقی اقیانوس نئوتتیس در تریاس بالایی در حوضه زاگرس، ماگماتیسیم کمانی ژوراسیک در زون سنندج-سیرجان رخ داده و حوضه کششی کمانی سوپراسابداکشن سبزوار ناشی از فرورائش نئوتتیس در ورقه ایران مرکزی در مناطق سبزوار-نائین ایجاد شده است. در داخل این حوضه اقیانوسی پشت کمانی سبزوار، ماگماتیسیم و رسوب گذاری سنگ های آذرین جنوب غرب سبزوار در یک محیط فرورائش جزیره کمانی رخ داده است. این سنگها در خلال فرورائش درون اقیانوسی در حوضه اقیانوسی نئوتتیس سبزوار در زمان کرتاسه میانی ایجاد شده و این حوضه سپس از کرتاسه پسین-سنوزوئیک با فرورائش حاشیه قاره شروع به بسته شدن کرده و سرانجام در پالئوسن-ائوسن بسته و در میوسن برخورد قاره صورت گرفته است. همانطور که گفته شد، جزایر کمانی جنوب غربی سبزوار با سرشت کالک آلکالن-تولیتی، در طی کرتاسه تشکیل شده است (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸). بر اساس (Peter et al., 2014) این نوع کانسارها در جزایر کمانی تشکیل می شوند. نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی سنگ های محدوده مورد مطالعه (فصل ژئوشیمی) تاییدی بر این نظریه می باشد.

مرحله ۲- همزمان با نهشته شدن سنگهای آتشفشانی جزایر کمانی، رخداد گسل های همزمان با آتشفشان و رسوبگذاری باعث نفوذ ماگمای مافیک و اسیدی و فعالیت سامانه های گرمابی شده است. در این مرحله ابتدا عمق حوضه کم بوده و در اثر این آشفنگی (Unit1) واحد یک تشکیل شده است و در ادامه عمق حوضه زیاد شده و موجب تشکیل محیط احيایی در زیر و محیط اکسیدان در سطح بالاتر شده است. با زیاد شدن عمق آب بیشتر ولکانیسم در قالب تراکی آندزیت و آندزیت بازالت شکل گرفته است (Unit2)، که همزمان با این رویداد با فعالیت جریان نفوذ آب از طریق گسل ها و گرم شدن باعث شستشوی عناصر فلزی شده و از طریق گسل های همزمان با

ولکانسم به سطح راه پیدا می‌کند. کانی زایی مس- طلا را به صورت رگه-رگچه‌ای در زیر کف دریا به دلیل کاهش دما تشکیل می‌دهد همانند کانسار مس-طلای القبایی و مس سبه تشکیل می‌شود. و در ادامه با کم عمق شدن حوضه باعث تشکیل (Unit3) که رسوبات به شکل شیل، شیل توفی و کربناته همراه با کانی زایی طلای سه بندون تشکیل می‌شود و منگنز-طلای بیجورد نیز به همین شکل بوجود آمده‌است. در کانسارهای منگنز معمولاً به دلیل فوگاسیته کم، محیط در قسمت‌های عمیق احیایی بوده و سیالات منگنز دار به سطح بالاتر جایی که میزان اکسیژن بالاست حرکت می‌کند و به صورت نواری، اگزالات و توده‌ای نهشته می‌شوند. اما با توجه به وجود آهکهای پلاژیک و عمیق بودن آب، احتمالاً آبهای اکسیژن دار فرورونده به سمت مناطق عمیق موجب نهشته شدن منگنز گردیده است. توزیع و هندسه سولفیدها و آهن و منگنز، و پهنه بندی فلزی کانسنگ نشان می‌دهد که سولفیدها، آهن و منگنز از تغذیه کننده یکسانی تشکیل شده اند. سیستم هیدروترمال کف دریا تشکیل VMS منطقه را بر عهده دارد، انتقال از مرحله سولفید به اکسید را می‌توان با محتوای H_2S سیالات هیدروترمال در حال تکامل توضیح داد. سیالات هیدروترمال بدست آمده از ماگما ممکن است نسبتاً اسیدی باشد و از فلزاتی مانند Fe-Mn-Cu-Zn-Au و H_2S غنی شده است و ممکن است مسئول ته‌نشست مرحله اول سولفید به صورت استرینگر و برشی و در سطح به صورت لامینه و دانه پراکنده همراه شیل باشد. سیالات هیدروترمالی غنی از فلز احتمالاً با استفاده از نفوذ آب دریا از طریق گسل های همزمان با رسوب گذاری اکسیده و خنثی می‌شوند. در این مرحله، از آنجا که گونه های سولفید (H_2S) در سیالات هیدروترمال ناپایدار می‌شوند، ته‌نشست مواد معدنی سولفید رخ نمی‌دهد. در نتیجه، این سیالات هیدروترمال در مرحله دوم باعث رسوب مواد معدنی اکسید مانند مگنتیت و منگنز / یا سیالاتی می‌شوند که جایگزین سولفید موجود می‌شوند و در عوض آهن و منگنز تشکیل می‌دهند (Yıldırım, et al., 2016) (شکل ۷-۹). در این منطقه کانسنگ پروکسیمال از Cu-Au-Zn غنی می‌شود در حالی که کانسنگ دیستال از Fe-Mn-Au غنی می‌شود. منطقه بندی فلز نشان دهنده یک سیستم هیدروترمال اولیه فعال که مسئول تشکیل مواد معدنی مرحله اول می‌باشد. در مرحله دوم، منگنز و مگنتیت با جایگزین شدن سولفیدها بیشتر در نواحی پروکسیمال تشکیل می‌شود و در آخر سیستم آتشفشانی منطقه فعال می‌شود و دوباره یک لایه‌ای از گدازه و توف واحدهای قبلی را می‌پوشاند

(Unit4) (شکل ۷-۱۰). تصویر شماتیک از حوضه تشکیل کانسارهای منطقه را نشان می‌دهد. کانسارهای سولفید توده‌ای تیپ بشی در محیط‌های کشتی اقیانوسی مانند حوضه‌های پشت کمانی، گسترش‌های کف اقیانوس و یا در حوضه‌های ریفتی در مراحل اولیه از کشتی قاره‌ها تشکیل می‌شوند (Galley et al., 2007;). کانسار سولفید توده‌ای تیپ بشی بوانات در یک محیط ریفتی کمانی آغازین تشکیل شده است (Mousivand et al., 2012). بزرگترین کانسارهای تیپ بشی جهان یعنی کانسار Windy Craggy در محیط کشتی پشت کمانی تشکیل شده است (Peter et al., 1999).

جدول ۷-۲- مقایسه کانسار کلاته القبابی با ویژگی‌های انواع کانسارهای سولفیده توده‌ای آتشفشانزاد (VMS)

مهمترین خصوصیات -	کانسار کلاته القبابی	تیپ سیلیسیکلاستیک فلسیک (Bathurst)	تیپ بایمودال فلسیک (Kuroko)	تیپ بایمودال مافیک (Noranda)	تیپ پلیتیک مافیک (Besshi)	تیپ مافیک (Cyprus)
محیط تکتونیکی	جزیره کمانی	کمان و پشت کمان	ریفت کمانی و کمان های اقیانوسی-قاره‌ای	کمان های نوظهور اقیانوسی	پشت کمان و ریفت های قاره ای	پشته های میان اقیانوسی و پشت کمان
سنگ میزبان و همراه	تراکی آندزیت، آندزیت بازالت، آهک پلاژیک، شیل توفی و توف کریستالی ماسه‌ای	داسیت ریولیت و شیل سیاه	ریولیت داسیت و سنگ های آذر آواری فلسیک	بازالت، آندزیت و آذر آواری	گدازه های بازالتی، آندزیت-بازالت، شیل سیاه، سیلتستون، ماسه سنگ	بازالت های بالشی و سنگ های اولترامافیک
شکل هندسی ماده معدنی	صفحه ای شکل و تالبلور نازک لایه	صفحه ای شکل	عدسی شکل	عدسی شکل	صفحه ای شکل	عدسی شکل
ساخت و بافت	رگه-رگچه ای و دانه پراکنده	توده ای، نواری، دانه پراکنده و رگه ای	توده ای، نواری، دانه پراکنده و رگه ای	توده ای، نواری، دانه پراکنده و رگه ای	توده ای، لامینه، دانه پراکنده و رگه-رگچه ای	توده ای، نواری، دانه پراکنده و رگه ای
کانی های معدنی	پیریت، کالکوپیریت، بورنیت	پیریت، اسفالریت، گالن کالکوپیریت، آرسنوپیریت پیروتیت، تتراهدریت	اسفالریت، گالن، پیریت کالکوپیریت، تتراهدریت	پیریت، کالکوپیریت اسفالریت، تتراهدریت	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، مارکاسیت، پیروتیت	پیریت، کالکوپیریت

کانی باطله	کلریت، کوارتز، کربنات، سرسیت	کربنات، کوارتز، کلیت، باریت	باریت فرواوان و کوارتز	کلریت، کوارتز، کربنات، سرسیت	کلریت، کوارتز، کربنات، سرسیت	کوارتز، ژاسپر، کلیت
عمده عناصر فلزی	Cu-Au	Zn-Pb-Cu	Zn-Pb	Zn-Cu	Cu-Zn	Zn-Cu
دگرسانی	کلریتی، سیلیسی، سرسیتی، کربناته، اپیدوتی	سرسیتی، سیلیسی، کلیتی، کلسیتی	سرسیتی، پیریتی، سیلیسی، کلیتی	کلیت و سرسیتی	کلریت، سیلیسی، سرسیتی، اپیدوتی	کلریت، سیلیسی، سرسیتی
مراجع	این تحقیق	Bathurst (Goodfellow et al., (2003)	Kuroko (Ohmoto and Skinner, (1983)	Noranda, (Gibson et al.,2007)	Windy Craggy (Peter et al., 1999)	Oman (Dergachev, et al., 2010)
مثال از تیپ های مشابه در ایران	کانسار چاه گز (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۸)	کانسار باریکا (یارمحمدی و همکاران، ۱۳۸۵) کانساردرین (نظری و همکاران، ۱۳۷۰)	کانسار سرگز (بدرزاد و همکاران ۱۳۸۸)	کانسار بوانات (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۲) و کانسار نوده (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۰)	کانسار شیخ عالی (منظمی و همکاران، ۱۳۷۷)	

جدول ۷-۳- مقایسه کانسار کلاته القبابی با کانسارهای سولفیده توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) تیپ بشی در ایران

مهمترین خصوصیات کانه زایی	تیپ پلیتیک مافیک (Besshi)	کانسار کلاته القبابی	کانسار گرماب پایین	کانسار مس - روی نوده	کانسار مس - روی یوانات
محیط تکتونیکی	پشت کمان و ریفت های قاره ای	جزیره کمانی	پشت کمان (Back arc)	پشت کمان (Back arc)	ریفت قاره ای و در مراحل اول جدایش قاره ای
سنگ میزبان و همراه	گدازه های بازالتی، آندزیت-بازالت، شیل سیاه، سیلتستون، ماسه سنگ	تراکی آندزیت، آندزیت بازالت، آهک پلاژیک، شیل توفی و توف کریستالی ماسه ای	تراکی آندزیت، آندزیت بازالت، آهک پلاژیک، سیلتستون	گدازه های آلکالی الیوین بازالت، ماسه سنگ سیلتی توفی، توف و شیل توفی	متابازالتی (کلریت شیشه‌ها)، سنگ های تخریبی با ماهیت توربیدیتی تا گری واک
شکل هندسی ماده معدنی	صفحه ای شکل	صفحه ای و تابولار نازک لایه	صفحه ای شکل	صفحه ای شکل	استراتیفورم، تابولار نازک لایه و صفحه ای
ساخت و بافت	توده ای، لامینه، دانه پراکنده و رگه-رگچه ای	رگه-رگچه ای و نواری، توده ای و دانه پراکنده	رگه-رگچه ای، توده ای لامینه ای	رگه-رگچه ای، توده ای لامینه ای	نواری با توده ای، نیمه توده ای لامینه ای و دانه پراکنده
کانی های معدنی	پیریت، کالکوپیریت، طلا، سفالریت، مارکاسیت، پیروتیت،	پیریت، کالکوپیریت، بورنیت،	پیریت، مس خالص، کالکوپیریت، مگنتیت	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت	پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، اسفالریت و

میزان ناچیز گالن	مگنتیت، بولانژریت و بورنیت			بورنیت	
کوارتز، کلریت، کلسیت، سیدریت، گرافیت و آنکریت	کوارتز، کلریت، سرسیت و اپیدوت	کوارتز، کلریت، سرسیت	کلریت، کوارتز، کربنات، سرسیت و اپیدوت	کلریت، کوارتز، کربنات، سرسیت	کانی باطله
Cu-Zn	Cu-Zn	Cu-Ag	Cu-Au	Cu-Zn	عمده عناصر فلزی
کلریت، سیلیس و کلسیت	کلریتی، سیلیسی، سرسیتی و اپیدوتی	کلریتی، سیلیسی، سرسیتی	کلریتی، سیلیسی، سرسیتی، کربناته، اپیدوتی	کلریت، سیلیسی، سرسیتی، اپیدوتی	دگرسانی
تریاس بالایی - ژوراسیک زیرین	کرتاسه پسین	کرتاسه پسین	کرتاسه پسین	عمدتاً در پالئوزوئیک و مزوزوئیک	سن کانی زایی
پهنه سنندج = سیرجان	زیر پهنه سبزوار	زیر پهنه سبزوار	زیر پهنه سبزوار		موقعیت زمین-ساختی
موسیوند و همکاران (۱۸۸۲)	مغفوری و همکاران (۱۳۹۰)	طاشی و همکاران (۱۳۹۳)	علیزاده فرد و همکاران، (۱۴۰۰)	Franklin, (2013)	مراجع

جدول ۷-۴- ویژگی های انتخاب شده برای برخی از کانسارهای VMS غنی از طلا و ذخایر طلا دار در سن های مختلف (ایران و جهان) (Mercier et al., 2011)

کشور و منطقه	Abitibi, (Canada)	JuneauAdmiralty district (Alaska, U.S.A)	Abitibi, (Canada)	Skellefte (Sweden)	Bathurst (Canada)	Iran (bardaskan)
کانسار	Horne	Greens Creek	Bousquet 1	Petiknas North	Canoe Landing Lake	Aleghbaei
تناژ (Mt)	۵۳.۷	۲۰.۱	۹.۳	۱.۳	۲۰.۷	
عیار طلا (gt)	۶.۱	۳.۸۸	۵.۴۵	۵.۶	۲.۲۸	۰.۶
تناژ طلا	۳۲۷.۶	۷۷.۹	۵۰.۵	۷.۳	۴۷.۲	
فلزات پایه wt %	۲.۲ (۲.۲% Cu)	۱۷.۸ (۰.۲% Cu, ۱۰.۹% Zn.)	۰.۳ (۰.۳% Cu)	۷.۸ (۱.۳% Cu, ۵.۶% Zn, ۰.۹% Pb)	۳ (۰.۷% Cu, ۱.۷% Zn, ۰.۶ Pb)	Cu ۱.۸%
نسبت طلا به فلزات پایه	۲.۲۲	۰.۲۲	۱۸.۲	۰.۷۲	۰.۷۶	
معیارهای مقایسه جهانی	غنی از طلا کلاس جهانی	غنی از طلا	غنی از طلا	طلادار ۱.۳	غیر مشابه ۱.۳	غیر مشابه
سن	آرکئن (Ma ۲,۷۰۱-۲,۷۰۲)	تریاس پسین (Ma ۲۲۰)	آرکئن (Ma ۲,۶۹۸)	پالئو پروتروزوئیک (۱,۸۸۵- Ma ۱,۸۸)	اردوئین	کرتاسه پسین

محیط تکتونیکی و زمین شناسی	حوضه پشت کمانی روی پوسته مافیک نابالغ	ریفت حاشیه قاره یا ریفت داخل کمان؟	حوضه زیر دریایی پشت کمانی / ریفت روی پوسته کمانی	کمان آتشفشانی حاشیه قاره حوضه زیر دریایی	ریفت پشت کمان قاره ای- پشت کمان نابالغ	حوضه پشت کمانی در جزیره کمانی
نوع سنگ تکتونیکی	بایمودال مافیک	پلیتیک مافیک	بایمودال مافیک / فلسیک	بایمودال فلسیک	سیلیسی کلاستیک فلسیک	پلیتیک مافیک
سنگ میزبان	تولیتی تا فلسیک انتقالی	کالک آلکان، سنگ های مافیک آتشفشانی (بازالت)	تولیتی تا مافیک انتقالی و سنگ حدواسط	گنبد های ریولیتی کالک آلکان و انتقالی و آذر آواری جریان ریولیت و گنبد ریولیتی آندزیتی و آذر آواری توده ای	شیل، ماسه سنگ، توف فلسیک کالک آلکان فلسیک بازالت تولیتی	آندزیت بازالت تولیتی، و توف ماسه ای
کانه زایی	توده ای، دانه پراکنده و استرینگر $Py > Po >> Cp$ $\pm Mt > Sph$ $Gn-Td$	توده ای، دانه پراکنده و لنزی $(Py > Sph)$ $<Gn> > Cpy$	رگه سولفیدی و رگه رگچه ای و دانه پراکنده $Py > Cpy >$ $Sp > Po > Bn$ ۲۱۳	سولفید توده ای $< S (Py$ $< Sph > Cpy$ $< Po > Aspy$ Gn همراه الکتروم و سولفوسالت	توده ای، برشی، نواری و لایه ای و استرینگر $Py > Sph)$ $<$ $<Gn > Cpy$ $<Mt > Po$	استرینگر، دانه پراکنده

دگرسانی	سریسیت، کلریت کوارتز	کلریت و کربنات دور از منشأ و نزدیک منشأ کوارتز، سریسیت و کربن و کوارتز پیریت- سریسیت	کلریت- کوارتز -گوتیت سریسیت و کربنات	دور از منشأ کلریت سریسیت نزدیک منشأ کلریت- کوارتز-سریسیت	چینه کران کلریت، کوارتز آلبیت	استرینگر سیلیسی، سریسیتی- کربناته و در حاشیه کلریتی اپیدوتی
رفرنس	Kerr and Mason (1990); Barrett et al. (1991); Cattalani et al. (1993); Kerr and Gibson (1993)	Newberry and Brew (1997); Newberry et al. (1997); Taylor et al. (1999); Franklin et al. (2005);	Valliant and Barnett (1982); Valliant et al. (1982); Tourigny et al. (1989); Stone (1990); Lafrance et al. (2003, 2005);	Vivallo (1987); Allen et al. (1996); Weihed and Maki (1997); Allen and Svenson (2004); Boliden Minerals AB unpublished data (R. Allen personal comm. 2009	Goodfellow (2003); Goodfellow and McCutcheon (2003); McClenaghan et al. (2003, 2004	تحقیق حاضر

۷-۱۱- عیار و تناژ

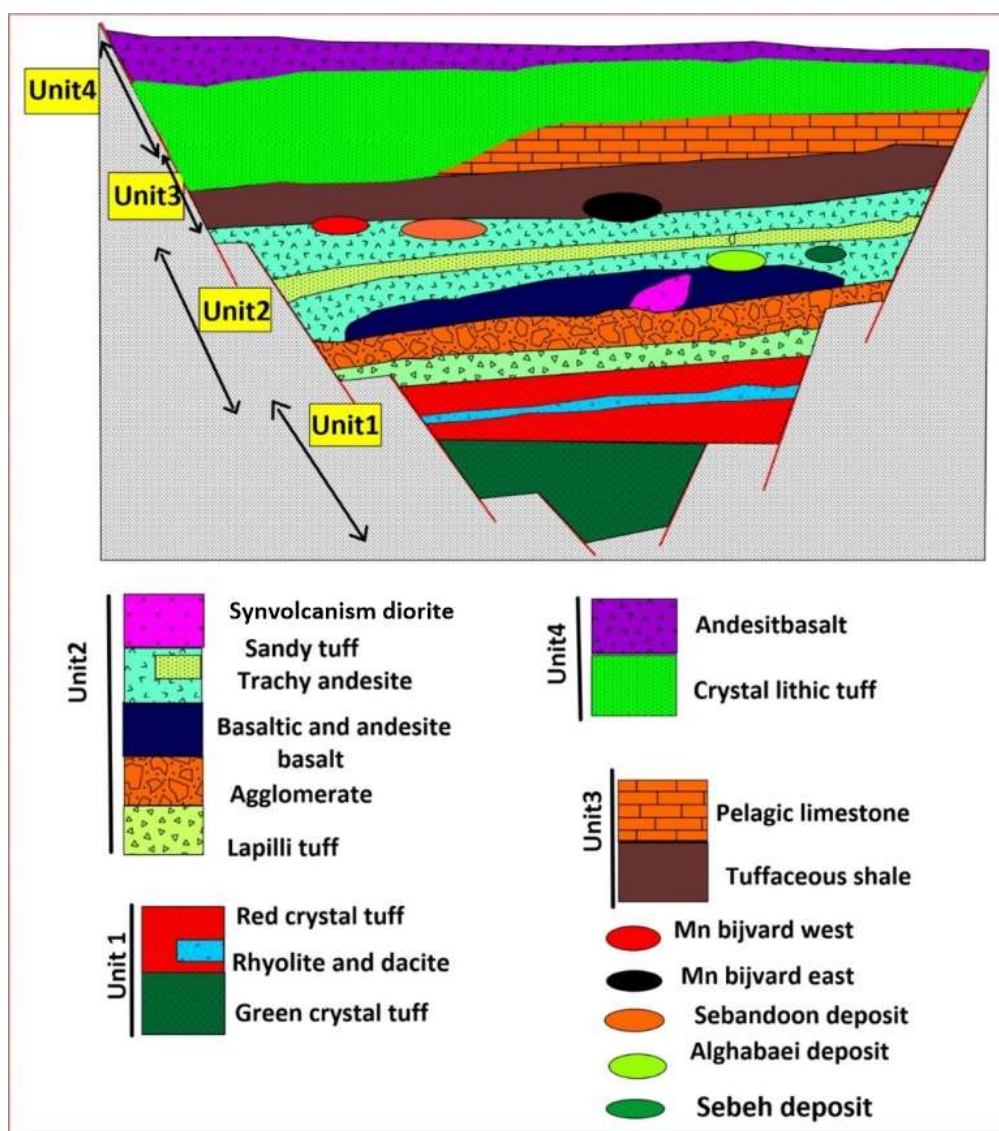
ذخایر سولفید توده‌ای تیپ بشی از کمتر از یک میلیون تن تا بیش از ۱۳ میلیون تن گزارش شده است. کانسارطلای سه بندون با ذخیره قطعی ۶۸۰۰۰۰ هزار تن کانسنگ با عیار ۱,۶۸ ppm که ۱,۳ در فاز اکسید و ۲,۳ در فاز سولفیدتشکیل شده است. محدوده طلای دهنه بیجورد غربی با عیارمیانگین ۵۰۰ ppb و ذخیره احتمالی از مغزه های حفاری که در اختیار قرار داده‌اند ذخیره ۲۰۰ هزار تن کانسنگ در شکل زیر مدل بلوک بندی شده به صورت زیر می باشد و این محدوده در حال انجام اکتشاف تفصیلی می‌باشد (شکل ۷-۱۱).

۷-۱۲- پیشنهاد اکتشافی

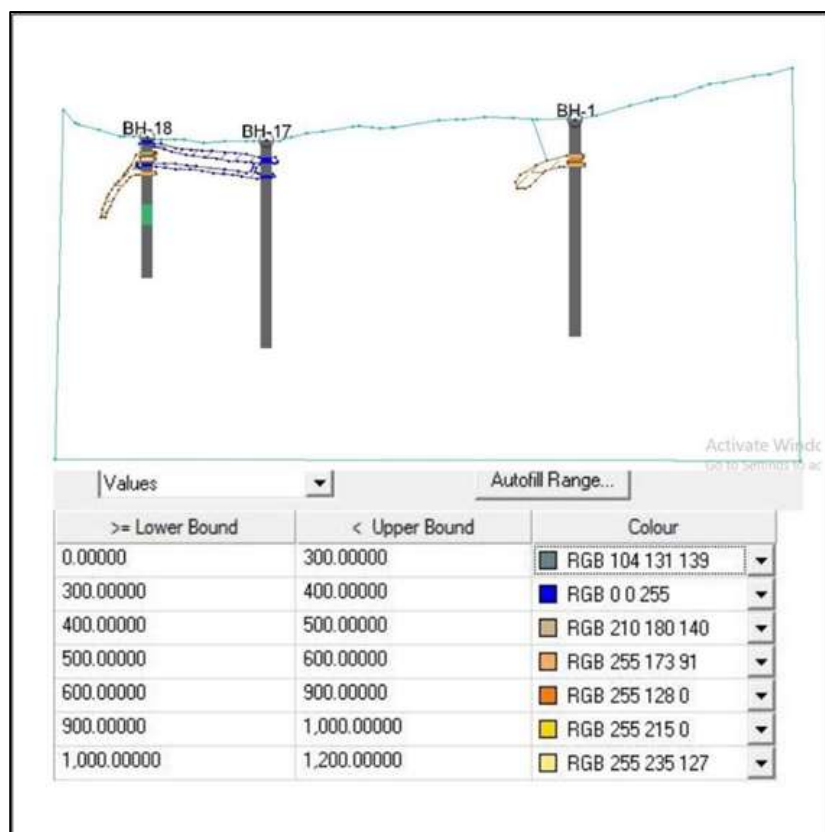
منطقه مورد مطالعه در زمان تریاس پسین-ژوراسیک پیشین تشکیل شده‌اند و پس از گسترش در ژوراسیک میانی- کرتاسه پیشین، از زمان کرتاسه میانی با فرورانش جزایر اقیانوسی و سپس از کرتاسه پسین با فرورانش حاشیه قاره شروع به بسته شدن کردند و سرانجام در پالئوسن-ائوسن بسته و در میوسن برخورد قاره صورت گرفته است (قاسمی، ۱۳۹۹). با توجه به اینکه کانی زایی مس-طلای القبابی در یک حوضه پشت کمانی در یک جزیره کمانی تشکیل شده است و در ایران مناطق نائین-بافت، سیستان و خود پهنه سبزوار در مقیاس ناحیه‌ای پیشنهاد می‌شود. توالی‌های آتشفشانی -رسوبی منطقه سبزوار و شمال بردسکن و دیگر نقاط مشابه در ایران، برای اکتشاف کانسارهای VMS مورد بررسی قرار گیرند.

- واحد ۲ دارای سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی که میزبان کانی زایی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد اهمیت ویژه‌ای جهت تشکیل کانی زایی مس-طلا در این منطقه را دارا می‌باشد و می‌تواند بیشتر مورد توجه قرار گیرد. کشف گسل‌های همزمان با رسوبگذاری بسیار مفید در اکتشاف ذخایر VMS می‌باشد.
- با توجه به اینکه کانه‌زایی منگنز و طلا در واحد ۲ و ۳ رخ داده است میتوان در پیمایش صحرایی به عنوان کلید اکتشافی استفاده کرد.
- استفاده از دگرسانی آرژلیک ثانویه در سطح میتواند به عنوان راهنمایی برای کانه‌زایی طلا در این محدوده استفاده کرد.

- استفاده از دورسنجی و تفکیک دگرسانی‌های منطقه و کشف دگرسانی‌هایی که در این نوع کانسارهای تشکیل می‌شود.
- استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی عناصر که در مقیاس ناحیه‌ای در ورقه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ که پهنه سبزوار را مورد پوشش قرار می‌دهد.
- تلفیق داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، دورسنجی، و ژئوفیزیک هوایی در محیط جی‌ای اس و محدوده الویت‌دار را بر روی نقشه زمین‌شناسی مشخص و در اختیار تیم اکتشاف قرار گیرد.



شکل ۷-۱۰- بازسازی حوضه آتشفشانی - رسوبی کرتاسه پسین شمال بردسکن و جایگاه کانسارهای مورد مطالعه، رخداد کانی‌زایی مس- طلا در واحد ۲ و در بخش احیایی به صورت رخساره استرینگر در القبایی و استرینگر و برشی در سه بندوق و کانی‌زایی منگنز در واحد ۳ و ۲ به صورت استرینگر، برشی، توده تشکیل شده است.



شکل ۷-۱۱- مدل زیر سطحی ذخیر کانسار طلای دهنه بیچورد از مغزه‌های حفاری که کانی زایی را قطع کرده از با استفاده از نرم افزار (GEMS) برحسب (PPb).

منابع

- ۱- آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران. وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور، ۵۸۶ص.
- ۲- افتخار نژاد، ج.، ۱۳۵۵، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، نقشه شماره ۵J.
- ۳- پناهی شهری، م.، کریم پور، م.، ح.، شبانی، ف.، ۱۳۸۹، کانی سازی و اکتشافات ژئوشیمیایی در کمربند ولکانیکی- پلوتونیک هلاک آباد (جنوب سبزوار) با نگرشی بر اکتشافات مس پورفیری، مجله زمین شناسی اقتصادی، شماره ۱ (جلد ۲)، ص ۲۱ تا ۳۸.
- ۴- تقی زاده، س.، ۱۳۹۴، پایان نامه کارشناسی ارشد: "کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار منگنز ذاکری، جنوب غرب سبزوار"، زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۵- جعفریان، م.، ب.، جلالی، ع.، ۱۳۷۹، "نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ششتمد"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، نقشه شماره ۷۵۶۱.
- ۶- حمامی پور بارنجی، ب.، تاج الدین، ح.، برهمند، ل.، ۱۳۹۶، "زمین‌شناسی و کانه زایی کانسار طلای اپی ترمال سه بندون، شمال بردسکن، خراسان رضوی"، فصلنامه علوم زمین شماره ۱۰۸ صفحه ۱۵۵ تا ۱۶۸.
- ۷- روزبه کارگر، س.، قیمان، ی.، ۱۳۷۷، طرح اکتشاف مواد معدنی با استفاده از داده های ماهواره ای و ژئوفیزیک هوایی (پروژه سبزوار) گزارش اکتشافات چکشی ورقه یکصد هزارم باشتین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۸- روحبخش، پ.، ابراهیمی، خ.، همام، س.م.، عباس نیا، ح.، ۱۳۸۹، "بررسی زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی در گستره پی‌جویی دهن قلعه، شمال غرب بردسکن"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال هجده، شماره ۴، صفحه ۵۸۱-۶۰۰.

۹-شفارودی، آ.، کریم پور، م. ح.، مظاهری، س. ا.، ۱۳۸۳، زمین شناسی، کانی شناسی و ژئوشیمی تک، I، کانسار ماسیو سولفید پلی متال (Cu, Zn, Au, Ag, Pb) تکنار، خراسان-بردسکن، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۲، ص ۲۵۳ تا ۲۷۲.

۱۰-شهرابی، م.، حسینی، م.، شعبانی، ۱۳۸۵، "نقشه زمین ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه بردسکن،" سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. نقشه شماره ۷۵۶۰

۱۱-طاهری، ج.، شمعیان، غ. م.، ۱۳۸۰، "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه کاشمر،" سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه شماره ۷۶۶۰

۱۲-طاشی، م.، موسیوند، ف.، قاسمی، ح.، ۱۳۹۶، کانه زایی مس-نقره سولفید توده ای آتشفشان زاد نوع بشی در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین: مثال موردی کانسار گرماب پایین، جنوب شرق شاهرود. مجله زمین شناسی اقتصادی، ج. ۹، ش. ۱، ص. ۲۱۳-۲۳۳.

۱۳-عشق آباد، ۱۳۷۷، طرح اکتشاف مواد معدنی با استفاده از داده های ماهواره ای و ژئوفیزیک هوایی (پروژه سبزوار) گزارش اکتشافات چکشی ورقه یکصد هزارم سلطان آباد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. قاسمی، ح.، اله.، ۱۳۹۹، "تشکیل و تکامل حوضه اقیانوسی مزوزوئیک سبزوار: کافت زایی حوضه نئوتتیس بر روی پی سنگ کادومین ایران مرکزی" بیست و سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران

۱۵-کاظمی، ز.، قاسمی، ح.، اله.، موسیوند، ف.، گریفین، و.، ۱۳۹۸، ماگماتیسزم فرورانش جزایر کمانی کرتاسه پسین در لبه شمالی ایران مرکزی، جنوب غرب سبزوار. فصلنامه زمین شناسی ایران دوره، ۱۳، شماره ۴۹، صفحه ۱ تا ۲۱

۱۶-کاظمی، ز.، (۱۳۹۷) پایان نامه دکتری: "پترولوژی، ژئوشیمی و الگوی تکتونیکی ماگماتیسزم کرتاسه پسین در لبه شمالی زون ایران مرکزی (جنوب غرب سبزوار)"، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۱۷-مغفوری، م.، ۱۳۹۱، پایان نامه کارشناسی ارشد "زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه زایی مس در توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین در جنوب غرب سبزوار با تأکید بر کانسار نوده"، دانشگاه تربیت مدرس.

- ۱۸- منظمی میر علیپور، ع، (۱۳۷۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "زمین شناسی، کانی شناسی و ژنز کانسار سولفید توده های مس شیخ عالی (جنوب شرق دولت آباد)"، دانشگاه تربیت مدرس
- ۱۹- موسیوند، ف.، ۱۳۸۲ کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانی مس در مجموعه آتشفشانی-رسوبی سوریان در منطقه بوانات، استان فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲۰- مهدوی، ا.، ۱۳۸۷، زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس مارکشه، شمال غرب راور، استان کرمان، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲۱- مهدوی، ا.، راستاد، ا.، حسینی برزی م.، "کانی شناسی و ساخت و بافت افق های کانه دار کانسار مس رسوبی مارکشه در شمال باختر راو"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان (Redbed Type) کانسار مس رسوبی مارکشه زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۲۲- موسیوند، ف.، راستاد، آ و امامی م.ه.، ۱۳۸۲، "مس بوانات: کانی زایی سولفید توده های آتشفشان زاد تیپ بشی در ایران"، بیست و دومین گردهمایی علوم زمین ۱۴ تا ۱۶ بهمن ماه. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ایران.
- ۲۳- موسیوند، ف.، راستاد، آ.، پیتز، ج.، سولومون، م.، ۱۳۸۸، کانسار چاه گز: کانه زایی سولفید توده های در ایران. مجموعه روی-سرب-مس تیپ Bathurst، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۲۴- میری، ح.، کریم پور، م.، شفاوردی، م.، "زمین شناسی، کانی سازی و ژئوشیمی محدوده اکتشافی طلای اپی ترمال بیجورد، شمال بردسکن" دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران دانشگاه بوعلی سینا.
- ۲۵- نبوی، م.، ۱۳۵۵، دیباچه ای بر زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- ۲۶- نوگل سادات، م.، ع.ا.، ۱۳۶۴، منطقه های برشی و خمیدگی ساختاری در ایران. دستاوردهای تحلیل ساختاری ناحیه قم، گزارش شماره ۵۵ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۲۷-نادری میقان، ج. جلالی، ع. ۱۳۷۹، "نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ششتمد" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی،

نقشه شماره ۷۵۶۱

۲۸-نادری میقان، ن. ۱۳۷۷ "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شامکان" سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی،

نقشه شماره ۷۶۶۰.

۲۹-هدایتی خرق، س. ن.، قاسمی، ح. ا.، کاظمی حسنوند، ز. ۱۳۹۷، شیمی کانی و شرایط فیزیکی تبلور در

توده های دیوریتی کرتاسه پسین فیلسور و گغت، جنوب غرب سبزوار. مجله بلور شناسی و کانی شناسی، سال

بیست و هفتم. شماره ۳، از صفحه ۶۶۷ تا ۶۸۲.

1-Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W & Wortel, R. (2011). Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geological Magazine*, 148(5-6), 692-725.

2-Arvin, M., & Robinson, P. T. (1994). The petrogenesis and tectonic setting of lavas from the Baft ophiolitic mélange, southwest of Kerman, Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 31(5), 824-834.

3-Agard, P., Jolivet, L., Vrielynck, B., Burov, E., & Monie, P. (2007). Plate acceleration: the obduction trigger?. *Earth and Planetary Science Letters*, 258(3-4), 428-441.

4-Alaminia, Z., Karimpour, M. H., Homam, S. M., & Finger, F. (2013). The magmatic record in the Arghash region (northeast Iran) and tectonic implications. *International Journal of Earth Sciences*, 102(6), 1603-1625.

5-Alavi, M. (1994). Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(3-4), 211-238

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

7-Arribas Jr, A. (1995). Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid. *Mineralogical Association of Canada Short Course*, 23, 419-454.

8-Bagheri, S., & Stampfli, G. M. (2008). The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic complexes in central Iran: new geological data, relationships and tectonic implications. *Tectonophysics*, 451(1-4), 123-155.

9-Baroz, F., Macaudiere, J., Montigny, R., Noghrean, M., Ohnenstetter, M., & Rocci, G. (1984). Ophiolites and related formations in the central part of the Sabzevar range (Iran) and possible geotectonic reconstructions. *Neues Jahrbuch f, r Geologie und Pal% ontologie-Abhandlungen*, 358-388.

10-Berger, B. R., & Bagby, W. C. (1991). The geology and origin of Carlin-type gold deposits. In *Gold metallogeny and exploration* (pp. 210-248). Springer, Boston, MA.

11-Boyle, R. W. (1986). Gold deposits in turbidite sequences: their geology, geochemistry and history of the theories of their origin. *Turbidite-Hosted Gold Deposits. Special Paper*, 32, 1-13.

12-Bonham Jr, H. F. (1989). Bulk mineable gold deposits of the western United States. *Economic Geology Monograph*, 6, 193-207.

13-Berger, B. R. (1985). Geologic-geochemical features of hot-spring precious-metal deposits. *US*

Geological Survey Bulletin, 1646, 47-53.

14-Bonatti, E. (1975). Metallogenesis at oceanic spreading centers. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 3(1), 401-431.

15-Barrie, C. T., & Hannington, M. D. (1999). Classification of volcanic-associated massive sulfide deposits based on host-rock composition. *Reviews in economic geology*, 8, 1-11.

16-Barrie, C. T., Taylor, C., & Ames, D. E. (2005). Geology and metal contents of the Ruttan. volcanogenic massive sulfide deposit, northern Manitoba, Canada *Mineralium Deposita*, 39(8), 795-812

17-Brueckner, S. M., Piercey, S. J., Pilote, J. L., Layne, G. D., & Sylvester, P. J. (2016). Mineralogy and mineral chemistry of the metamorphosed and precious metal-bearing Ming deposit, Canada. *Ore Geology Reviews*, 72, 914-939

18-Craig, J. R., Vokes, F. M., & Solberg, T. N. (1998). Pyrite: physical and chemical textures. *Mineralium Deposita*, 34(1), 82-101.

19-Chace, F. M. (1956). Abbreviations in field and mine geological mapping. *Economic Geology*, 51(7), 712-723.

20-Cox, S. F., Wall, V. J., Etheridge, M. A., & Potter, T. F. (1991). Deformational and metamorphic processes in the formation of mesothermal vein-hosted gold deposits—examples from the Lachlan Fold Belt in central Victoria, Australia. *Ore geology reviews*, 6(5), 391-423.

21-Caddey, S. W. (1991). The Homestake Gold Mine: an early Proterozoic iron-formation-hosted gold deposit, Lawrence County, South Dakota (No. 1857). US Government Printing Office.

22-Crerar, D. A., Namson, J., Chyi, M. S., Williams, L., & Feigenson, M. D. (1982).

23- Manganiferous cherts of the Franciscan assemblage; I, General geology, ancient and modern analogues, and implications for hydrothermal convection at oceanic spreading centers. *Economic Geology*, 77(3), 519-540.

24-Choi, J. H., & Hariya, Y. (1992). Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in the Tokoro Belt, northeastern Hokkaido, Japan. *Economic Geology*, 87(5), 1265-1274.

Chace, F. M. (1956). Abbreviations in field and mine geological mapping. *Economic Geology*, 51(7), 712-723.

26-Devine, C. A., Gibson, H. L., Bailes, A. H., MacLachlan, K., Gilmore, K., & Galley, A. G. (2002). Stratigraphy of volcanogenic massive sulphide-hosting volcanic and volcanoclastic rocks of the Flin Flon formation, Flin Flon (NTS 63K12 and 13), Manitoba and Saskatchewan. Report of activities, 2002, 9-19.

27-Einalou, M. B., Sadeghian, M., Zhai, M., Ghasemi, H., & Mohajjel, M. (2014). Zircon U–Pb ages, Hf isotopes and geochemistry of the schists, gneisses and granites in Delbar Metamorphic-Igneous Complex, SE of Shahrood (Iran): implications for Neoproterozoic geodynamic evolutions of Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 92, 92-124.

28-Fotoohi Rad, G. F., Droop, G. T. R., & Burgess, R. (2009). Early Cretaceous exhumation of high-pressure metamorphic rocks of the Sistan Suture Zone, eastern Iran. *Geological Journal*, 44(1), 104-116.

29-Franklin, J. M., Gibson, H. L., Jonasson, I. R., & Galley, A. G. (2005). Volcanogenic massive sulfide deposits. *Economic Geology 100th anniversary volume*, 98, 523-560.

30-Foster, R. P., & Piper, D. P. (1993). Archaean lode gold deposits in Africa: crustal setting, metallogenesis and cratonization. *Ore Geology Reviews*, 8(3-4), 303-347.

31-Fyles, J. T. (1984). Geological setting of the Rossland mining camp. *Bulletin, ISSN, 226(7497)*, 74.

32-Finlow-Bates, T., Large, D.L., 1978. Water depth as a major control on the formation of submarine exhalative ore deposits. *Geol. Jahrb. D 30*, 27–39.

- 34-Galley, A. G., Hannington, M. D., & Jonasson, I. R. (2007). Volcanogenic massive sulphide deposits. Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, 5, 141-161.
- 35-Ghasemi, H., & Rezaei-Kahkhaei, M. (2015). Petrochemistry and tectonic setting of the Davarzan-Abbasabad Eocene Volcanic (DAEV) rocks, NE Iran. *Mineralogy and Petrology*, 109(2), 235-252.
- 36-Gill, J. B. (1981). *Orogenic andesites and plate tectonics* Springer-Verlag. New York, 390.
- 37-Goodfellow, W. D. (2007). Metallogeny of the Bathurst mining camp, northern New Brunswick. Mineral deposits of Canada. A synthesis of major deposit-type, district metallogeny, the evolution of geological provinces and exploration methods. Edited by WD Goodfellow. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, 5, 449-469.
- 38-Glasby, G. P. (1997). Fractionation of manganese from iron in Archaean and Proterozoic sedimentary ores. Geological Society, London, Special Publications, 119(1), 29-42.
- 39-Giggenbach, W.F., 1974. Equilibrium involving polysulfide ions in aqueous solutions up to 240. *Inorganic Chemistry*, 13: 1724-1730.
- 40-Hosseini, S. H., Sadeghian, M., Zhai, M., & Ghasemi, H. (2015). Petrology, geochemistry and zircon U–Pb dating of Band-e-Hezarchah metabasites (NE Iran): An evidence for back-arc magmatism along the northern active margin of Gondwana. *Geochemistry*, 75(2), 207-218.
- 41-Hawkesworth, C. J., Gallagher, K., Hergt, J. M., & McDermott, F. (1993). Mantle and slab contributions in arc magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 21(1), 175-204.
- 42-Hawkesworth, C. J., Hergt, J. M., Ellam, R. M., & McDermott, F. (1991). Element fluxes associated with subduction related magmatism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Physical and Engineering Sciences*, 335(1638), 393-405.
- 43-Hawkesworth, C. J., Gallagher, K., Hergt, J. M., & McDermott, F. (1993). Mantle and slab contributions in arc magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 21(1), 175-204.
- 44-Heald, P., Foley, N. K., & Hayba, D. O. (1987). Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits; acid-sulfate and adularia-sericite types. *Economic geology*, 82(1), 1-26.
- 45-Hedenquist, J. W., & White, N. C. (1995). Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration. 45(4), 288.
- 46-Heald, P., Foley, N. K., & Hayba, D. O. (1987). Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits; acid-sulfate and adularia-sericite types. *Economic geology*, 82(1), 1-26.
- 47-Huston, D. L. (2000). Gold in volcanic-hosted massive sulfide deposits: distribution, genesis,
- 48-Haas, J.L., 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressures. *Econ. Geol.* 66, 940–946
- 49-Henley, R.W., Thomley, P., 1979. Some geothermal aspects of polymetallic massive sulfide
- 50-formation. *Econ. Geol.* 74, 1600–1612 and exploration. *Reviews in Economic Geology*, 13, 401-426.
- 51- Huston, D. L., & Large, R. R. (1989). A chemical model for the concentration of gold in volcanogenic massive sulphide deposits. *Ore geology reviews*, 4(3), 171-200.
- 52-Huston, D.L. and Large, R.R., 1987. Precious metals in the Rosebery north-end orebody, Tasmania, Australia (abstract). *Proc. Pacific Rim Congress* 87, pp. 199-203.
- 53-Huston, D. L., & Large, R. R. (1989). A chemical model for the concentration of gold in volcanogenic massive sulphide deposits. *Ore Geology Reviews*, 4(3), 171-200.

- 54-Jamshidi, K., Ghasemi, H., Troll, V., Sadeghian, M. and Dahrén, B., 2015. Magma storage and plumbing of adakite-type post-ophiolite intrusions in the Sabzevar ophiolitic zone, northeast Iran. *Solid Earth*, 6(1), pp.49-72.
- 55-Jamshidi, K., Ghasemi, H., Troll, V. R., Sadeghian, M., & Dahren, B. (2015). Magma storage and plumbing of adakite-type post-ophiolite intrusions in the Sabzevar ophiolitic zone, northeast Iran. *Solid Earth*, 6(1), 49-72.
- 56-Karimpour, M. H., & MALEKZADEH, S. A. (2005). Taknar polymetal (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) deposit: a new type magnetite-rich VMS deposit, Northeast of Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 16(3): 239-254
- 57-Khalatbari, M., Babaie, H. A., & Gani, M. (2013) "Geochemical evidence for Late Cretaceous marginal arc-to-backarc transition in the Sabzevar ophiolitic extrusive sequence, northeast Iran" *Journal of Asian Earth Sciences*, 70-71, 209-230.
- 58-Knopf, A. (1929). The mother lode system of California (Vol. 157). US Government Printing Office.
- 59-Kirkham, R. V. (1996). Volcanic redbed copper. *Geology of Canadian mineral deposit types*, 241-252.
- 60-Lindenberg, H. G., Gorler, K., & Ibbeken, H. (1983). Stratigraphy, structure and orogenetic evolution of the Sabzevar Zone in the area of Oryan, Khorasan, NE Iran, Rep.NO. 51, pp 120-142.
- 61-Lindenberg, H. G., Gorler, K., & Ibbeken, H. (1983). Stratigraphy, structure and orogenetic evolution of the Sabzevar Zone in the area of Oryan, Khorasan, NE,Iran" GSI, Rep.NO. 51, pp 120-142.
- 62-Lensch, G., 1979. Major element geochemistry of the ophiolites north of Sabzevar (Iran).
- 63-Lottermoser, B. G. (1992). Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes. *Ore Geology Reviews*, 7(1), 25-41.
- 64-Lentz, D. R., Hall, D. C., & Hoy, L. D. (1997). Chemostratigraphic, alteration, and oxygen isotopic trends in a profile through the stratigraphic sequence hosting the Health Steele B zone massive sulfide deposit, New Brunswick. *The Canadian Mineralogist*, 35(4), 841-874.
- 65-Lentz, D. R. (1998). Petrogenetic evolution of felsic volcanic sequences associated with Phanerozoic volcanic-hosted massive sulphide systems: the role of extensional geodynamics. *Ore Geology Reviews*, 12(5), 289-327.
- 66-Moghadam, H. S., Khedr, M. Z., Arai, S., Stern, R. J., Ghorbani, G., Tamura, A., & Ottley, C. J. (2015). Arc-related harzburgite–dunite–chromitite complexes in the mantle section of the Sabzevar ophiolite, Iran: a model for formation of podiform chromitites. *Gondwana Research*, 27(2), 575-593.
- 67-Maghfouri, S., Rastad, E., Mousivand, F., Lin, Y., & Zaw, K. (2016). Geology, ore facies and sulfur isotopes geochemistry of the Nudeh Besshi-type volcanogenic massive sulfide deposit, southwest Sabzevar basin, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 125, 1-21.
- 68-Minter, W. E. L. (1993). Ancient placer gold deposits. In *Gold metallogeny and exploration* (pp. 283-308). Springer, Dordrecht
- 69-Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M. R., Moayyed, M., Movahednia, M., & Choulet, F. (2017). Geology, mineralization and sulfur isotopes geochemistry of the Mari Cu (Ag) Manto-type deposit, northern Zanjan, Iran. *Ore Geology Reviews*, 81, 10-22.
- 70-Mazaheri, S. A., Karimpour, M. H., & Malekzadeh, A. (2006). The Geochemistry and Mineralization of Taknar Polymetal Massive Sulfide (Cu-Zn-Au-Ag_Pb) Deposit, North-East Iran. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(18), 26-26.
- 71-McMillan, W. J. (1990). VALLEY COPPER DEPOSIT1. *Geology and Regional Setting of Major Mineral Deposits in Southern British Columbia: Field Trip 12*, 2167, 125.
- 72-Morata, D., & Aguirre, L. (2003). Extensional Lower Cretaceous volcanism in the Coastal

Range (29°20'–30°S), Chile: geochemistry and petrogenesis. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(6), 459-476.

73-MacIntyre, D. G. (1983). Geology of the Alsek-Tatshenshini Rivers Area (114P). *Geological Fieldwork*, 173-184.

74-Mousivand, F., Rastad, E., Meffre, S., Peter, J. M., Mohajjel, M., Zaw, K., & Emami, M. H. (2012). Age and tectonic setting of the Bavanat Cu–Zn–Ag Besshi-type volcanogenic massive sulfide deposit, southern Iran. *Mineralium Deposita*, 47(8), 911-931

75-Mousivand, F., Rastad, E., Hoshino, K., & Watanabe, M. (2006). The Bavanat Cu-Zn-Ag orebody: first recognition of a Besshi-type VMS deposit in Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*, 183(3), 297-316.

76-Moghadam, H. S., Li, X. H., Santos, J. F., Stern, R. J., Griffin, W. L., Ghorbani, G., & Sarebani, N. (2017). Neoproterozoic magmatic flare-up along the N. margin of Gondwana: The Taknar complex, NE Iran. *Earth and Planetary Science Letters*, 474, 83-96.

77-Mazhari, S. A., Klötzli, U., & Safari, M. (2020). U-Pb geochronology, petrogenesis and tectonomagmatic evolution of uppermost Neoproterozoic-lower Cambrian intrusive rocks in Kaboodan area, NE of Iran. *International Geology Review*, 62(16), 1971-1987.

78-Meinert, L. D. (1989). Gold skarn deposits-geology and exploration criteria. *Econ. Geol. Monograph*, 6, 537-552.

79-Mercier-Langevin, P., Hannington, M. D., Dubé, B., & Bécu, V. (2011). The gold content of volcanogenic massive sulfide deposits. *Mineralium Deposita*, 46(5-6), 509-539.

80-Nakamura, N. (1974). Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et cosmochimica acta*, 38(5), 757-775.

81-Nelson, C. E. (1988). Gold deposits in the hot spring environment. In *Bulk Mineable Precious Metal Deposits of the Western United States, Symposium Proceedings: Geological Society of Nevada* (pp. 417-431).

82-Nicholson, K. (1992). Contrasting mineralogical-geochemical signatures of manganese oxides; guides to metallogenesis. *Economic Geology*, 87(5), 1253-1264.

83-Pearce, J. A. (1996). A user's guide to basalt discrimination diagrams. Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulphide exploration. *Geological Association of Canada, Short Course Notes*, 12(79), 113.

84-Pearce, J. A. (1983). Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins.

85-Piercey, S. J. (2010). An overview of petrochemistry in the regional exploration for volcanogenic massive sulphide (VMS) deposits.

86-Poulsen, K. H., Eckstrand, O. R., Sinclair, W. D., & Thorpe, R. I. (1996). Lode gold. *Geology of Canadian Mineral Deposit Types: Geological Survey of Canada, Geology of Canada*, (8), 323-328.

87-Piercey, S. J. (2011). The setting, style, and role of magmatism in the formation of volcanogenic massive sulfide deposits. *Mineralium Deposita*, 46(5-6), 449-471.

Hoy T. (2005) "Besshi massive sulfide" (GO4), USGS

88-Peter, J. M., Leybourne, M. I., Scott, S. D., & Gorton, M. P. (2014). Geochemical constraints on the tectonic setting of basaltic host rocks to the Windy Craggy Cu-Co-Au massive sulphide deposit, northwestern British Columbia. *International Geology Review*, 56(12), 1484-1503.

- 89-Pirajno, F. (2009). *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*: Springer Netherlands.
- 90-Pilote, J. L., Piercey, S. J., & Mercier-Langevin, P. (2019). Evolution of the subseafloor, hydrothermal system associated with the Ming VMS deposit Newfoundland Appalachians, and its controls on base and precious metal distribution. *Mineralium Deposita*, 1-24.
- 91-Peter, J. M., & Scott, S. D. (1999). Windy Craggy, northwestern British Columbia; the world's largest besshi-type deposit. *Reviews in Economic Geology*, 8, 261-295.
- 92-Franklin J. M. (2013), "Volcanogenic Massive Sulfide Deposits Part 1":Classification and Model.
- 93-Pisutha-Arnond, V. and Ohmoto, H., 1983. Thermal history, and chemical and isotopic composition of the ore forming fluids responsible for the Kuroko massive sulphide deposits in the Hokuroko district in Japan. In Ohmoto, H. and Skinner, B.J. (Eds.), *The Kuroko and related volcanogenic massive sulphide deposits*. *Econ. Geol. Mon.* 5, pp. 523-558.
- 95-Rad, G. F., Droop, G. T. R., & Burgess, R. (2009). Early Cretaceous exhumation of high-pressure metamorphic rocks of the Sistan Suture Zone, eastern Iran. *Geological Journal*, 44(1), 104-116.
- 96-Richards, J. P., & Sholeh, A. (2016). The Tethyan tectonic history and Cu-Au metallogeny of Iran. *Tectonics and Metallogeny of the Tethyan Orogenic Belt*. Society of Economic Geologists, Special Publication, 19, 193-212.
- 97-Rollinson, H. R. (1993). Using stable isotope data—7.5 using sulphur isotopes, using geochemical data: evaluation, presentation. Interpretation, 303-315.
- 98-Rajabi, A., Rastad, E., Alfonso, P., & Canet, C. (2012). Geology, ore facies and sulphur isotopes of the Koushk vent-proximal sedimentary-exhalative deposit, Posht-e-Badam Block, Central Iran. *International Geology Review*, 54(14), 1635-1648.
- 99-Rajabi, A., Rastad, E., Canet, C., & Alfonso, P. (2015). The early Cambrian Chahmir shale-hosted Zn–Pb deposit, Central Iran: an example of vent-proximal SEDEX mineralization. *Mineralium Deposita*, 50(5), 571-590.
- 100-Robert, F., Poulsen, K. H., & Dubé, B. (1997, April). Gold deposits and their geological classification. In *Proceedings of exploration* (Vol. 97, pp. 209-220).
- 101-Rastad, E., Monazami, M. A., & MOUMENZADEH, M. (2002). Sheikh-Ali copper deposit, a Cyprus-type VMS deposit in Southeast Iran.
- 102-Reed, M., 1982. Calculation of multicomponent chemical equilibria and reaction processes in systems involving minerals, gases and an aqueous phase. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46: 513-528.
- 103-Seward, T.M., 1984. The transport and deposition of gold in hydrothermal systems. In Foster, R.P., *Gold '82: The geology, geochemistry and genesis of gold deposits*. *Geol. Soc. of Zimbabwe Spec. Pub.* 1, pp. 165-181.
- 104-Şengör, A. M. C. (1990). A new model for the late Palaeozoic—Mesozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman. *Geological Society, London, Special Publications*, 49(1), 797-831
- 105-Spies, O., Lensch, G., & Mihm, A. (1983). Geochemistry of the post-ophiolitic Tertiary volcanics between Sabzevar and Quchan/NE-Iran. *Geodynamic project(Geotraverse) in Iran*. GSI, Rep No.: 51.
- 106-Stampfli, G. M., & Borel, G. D. (2002). A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. *Earth and Planetary Science Letters*, 196(1-2), 17-33.
- 1067-Shojaat, B., Hassanipak, A. A., Mobasher, K., & Ghazi, A. M. (2003). Petrology, geochemistry and tectonics of the Sabzevar ophiolite, North Central Iran. *Journal of Asian Earth*

- Sciences, 21(9), 1053-1067.
- 108-Stoecklin, J. (1968). Structural history and tectonics of Iran: a review. AAPG bulletin, 52(7), 1229-1258.
- 109-Soltani, A. (2000), PhD. "Geochemistry and geochronology of I-type granitoid rocks in the northeastern central Iran plate", University of Wollongong.
- Sillitoe, R. H. (1991). Intrusion-related gold deposits. In Gold metallogeny and exploration (pp. 165-209). Springer, Boston, MA
- 110-Shafaii Moghadam, H., Rahgoshay, M., & Forouzes, V. (2009). Geochemical investigation of nodular chromites in the Forumad ophiolite, NE of Iran. Iranian Journal of Science and Technology (Sciences), 33(1), 103-108.
- 111-Shojaat, B., Hassanipak, A. A., Mobasher, K., & Ghazi, A. M. (2003). Petrology, geochemistry and tectonics of the Sabzevar ophiolite, North Central Iran. Journal of Asian Earth Sciences, 21(9), 1053-1067.
- 112-Sun, S. S., & McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, Special Publications, 42(1), 313-345.
- 113-Schlatter, D. (2007). Volcanic stratigraphy and hydrothermal alteration of the Petiknäs south Zn-Pb-Cu-Au-Ag volcanic-hosted massive sulfide deposit, Sweden (Doctoral dissertation, Luleå tekniska universitet).
- 114-Stern, R. J. (2004). Subduction initiation: spontaneous and induced. Earth and Planetary Science Letters, 226(3-4), 275-292.
- 115-Shelton, K. L., So, C. S., & Chang, J. S. (1988). Gold-rich mesothermal vein deposits of the Republic of Korea; geochemical studies of the Jungwon gold area. Economic Geology, 83(6), 1221-1237.
- 116-Tadayon, M., Rossetti, F., Zattin, M., Calzolari, G., long- Nozaem, R., Salvini, F., & Khodabakhshi, P. (2019). The term evolution of the Doruneh Fault region (Central Iran): A key to understanding the spatio-temporal tectonic evolution in the hinterland of the Zagros convergence zone. Geological Journal, 54(3), 1454-1479.
- 117-Tatsumi, Y., Sakuyama, M., Fukuyama, H., & Kushiro, I. (1983). Generation of arc basalt magmas and thermal structure of the mantle wedge in subduction zones. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 88(B7), 5815-5825.
- 118-TOTH, J. R. (1980). Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron. Geological Society of America Bulletin, 91(1), 44-54.
- 119-Taran, Y. A., Hedenquist, J. W., Korzhinsky, M. A., Tkachenko, S. I., & Shmulovich, K. I. (1995). Geochemistry of magmatic gases from Kudryavy volcano, Iturup, Kuril Islands. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59(9), 1749-1761.
- 120-Tornos, F., Peter, J. M., Allen, R., & Conde, C. (2015). Controls on the siting and style of volcanogenic massive sulphide deposits. Ore Geology Reviews, 68, 142-163.
- 121-Williams-Jones, A. E., & Heinrich, C. A. (2005). 100th Anniversary special paper: vapor transport of metals and the formation of magmatic-hydrothermal ore deposits. Economic Geology, 100(7), 1287-1312.
- 122-Usui, A., & Someya, M. (1997). Distribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific. Geological Society, London, Special Publications, 119(1), 177-198.
- 123-Whitney, D. L., & Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. American mineralogist, 95(1), 185-187.
- 124-Yildirim, N., İLHAN, S., Yildirim, E., & DÖNMEZ, C. (2012). The geology, geochemistry

and genetical features of the Ormanbaşı Hill (Sincik, Adiyaman) copper mineralization. Bulletin Mineral Research and Exploration, 144, 75-104.

125-Yıldırım, N., Dönmez, C., Kang, J., Lee, I., Pirajno, F., Yıldırım, E., ... & Chang, S. W. (2016).

126-A magnetite-rich Cyprus-type VMS deposit in Ortaklar: A unique VMS style in the Tethyan metallogenic belt, Gaziantep, Turkey. Ore Geology Reviews, 79, 425-442.

127-Economou-Eliopoulos, M., Eliopoulos, D. G., & Chrysoulis, S. (2008). A comparison of high Au massive sulfide ores hosted in ophiolite complexes of the Balkan Peninsula with modern analogues: Genetic significance. Ore Geology Reviews, 33(1), 81-100.

128- Eldridge, C.S., Barton, P.B. and Ohmoto, H., 1983. Mineral textures and their bearing on the formation of the Kuroko orebodies. In Ohmoto, H., and Skinner, B.J. (Eds.), The Kuroko and related volcanogenic massive sulphide deposits. Econ. Geol. Mon. 5, pp. 241-281

Abstract

Aleghbaei and Sebeh copper-gold deposits, Sebandoon gold and Bijvard (south and north) Mn-Au deposits are located at 26 km of north of Bardaskan in the Sabzevar structural sub zone, occurred in a Late-Cretaceous volcano-sedimentary sequence. The host rock sequence involves 4 lithological units from bottom to top: 1- green and red vitric crystal tuff with rhyolitic, rhyodacite composition and alternation of lava with composition of rhyolite to dacite, 2- Lava unit with trachyandesite to andesite-basalt, agglomerate, lapilli tuff and sandy crystal tuff composition. 3- Fossiliferous pelagic limestone with calcareous tuffaceous shale, and 4- Lithic crystal tuff with rhyolitic and dacitic composition, alternation of lava with trachyandesite and trachy basalt composition. Mineralization occurred in the units 2 and 3. The first horizon contains Aleghbaei and Sebeh copper-gold deposit occurred at lower parts of the unit 2, as stringer copper veins and to a lesser extent gold. Horizon 2 includes the Sebandoon gold and Bijvard Mn-Au deposits occurred at upper parts of the unit 2 and lower parts of the unit 3. The host rocks of mineralization are mostly comprised of trachy andesite to andesite-basalt, sandy acidic to intermediate tuff, tuffaceous shale and small amount of pelagic limestone. Based on mineralographic studies, structural and textural, ore mineralogy and host rock types, there are four ore facies in the orebodies, from bottom to top: 1) The vein-veinlet facies or stringer zone cuts the trachyandesite to andesite-basalt host rock as stockwork texture. 2) The vent complex in Sebandoon and Bijvard Mn-Au deposits shows brecciated texture containing stringer fragments and variety of sulfidic, oxidic and siliceous minerals. 3) Stratiform massive ore facies as high grade ore occurred in the North Bijvard Mn deposit. This facies does not present in all deposits, and 4) Exhalative-laminated rock facies includes pyrite in the Sebandoon mine as sulfidic laminae. This facies consists of bands and laminations of sulfide minerals within tuffaceous shale, which is overlain by a manganese-rich radiolarian tuffaceous layer. This facies in the south Bijvard Mn deposit involves alternations of Mn-Fe oxide-hydroxide-rich bands and tuff-chert-rich band, representative precipitation on the seafloor. This facies involves psilomelane and pyrolusite with chloromelane blade textures. According to field studies and microscopic mineralography, the variety of ore minerals in Aleghbaei mine consists of chalcopyrite, pyrite and bornite. In the Sebeh deposit, the ores consist of pyrite and chalcopyrite, and ore minerals in the Sebandoon mine are as pyrite, chalcopyrite, sphalerite, marcasite, bornite, arsenopyrite, gold and galena. Also at Bijvard Mn-gold mine contains the sulfidic minerals like pyrite at footwall, and iron-Mn oxides like pyrolusite, hematite and magnetite in the stratiform ore. The main alterations include chloritization, epidotic, siliceous-sericitic-carbonatic, and secondary argillic. Geochemical studies and various REE and rare elements diagrams indicate a tholeiitic nature for the host rocks and show formation of the rocks in an island arc within the Sabzevar back arc extensional basin. Based on geochemical results, amount of copper in stringer zone at Aleghbaei is 1.8% and the amount of gold is recorded up to 600 ppb. There is copper mineralization as chalcopyrite in this zone. In Bijvard Mn-gold deposit, the amount of gold is up to 4.5 ppm which is coexisting with pyrite. The Sebandoon deposit contains up to 2.5 ppm gold associated with sulfide minerals in stringer and brecciated ores. According to the geochemical diagrams, the manganese ores plot in the submarine hydrothermal fields. The manganese horizon at Bijvard deposits is equivalent to the manganese-chert-radiolaria-rich layer above the Sebandoon deposit, which indicates formation of these deposits both on the seafloor and subseafloor in the Late Cretaceous volcano-sedimentary

basin. Based on various evidences including the tectonic environment, host rock sequence, occurring in specific ore horizons, ore facies, orebodies geometry, ore textures, mineralogy, metal content, metal zonation, alteration, geochemistry of manganese ores, these deposits are most similar to the Besshi-type or polytic-mafic volcanogenic massive sulfide copper-gold deposits.

Keywords: Copper, gold, manganese, Late Cretaceous, volcano-sedimentary, massive sulfide, Bardaskan



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Economic Geology

**Mineralogy, geochemistry and genesis of copper- gold
mineralizations associated with the Late Cretaceous volcano-
sedimentary rocks of the Sabzevar subzone (North of Bardaskan)**

By:

Yousef Alizadeh Fard

Supervisor:

Dr. Fardin Mousivand

Advisor:

Dr. Habibollah Ghasemi

July 2021