

سلام الغفران



دانشگاه شاهرود

دانشکده: علوم زمین

گروه: پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی

پایان نامه کارشناسی ارشد

کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و الگوی پیدایش کانه‌زایی مس با میزبان

رسوبی در شمال - شمال غرب تربت حیدریه

زهره میلوش

استاد راهنما:

دکتر فردین موسیوند

بهار ۹۴

ماحصل آموخته‌ایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پر مهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان مهربان مادرم که شوق نفس کشیدن من است.

تقدیم به همسرم:

به پاس قدررانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت و امنیت و آرامش و

آسایش را برای من فراهم آورد و سایه‌ی مهربانش سایه‌سار زندگی‌ام هست، او که اسوه‌ی صبر و تحمل بوده

و مشکلات را برایم تسهیل نمود.

الهی:

مرا به نعمت بی کرانت توان شکر نیست، چرا که نعمت های تو فراتر از آن است که شمارندگان بشمارند و اندیشه وران بدانند، ای بستی بخش وجود، مراد دکن تا دانش اندکم نه نردبانی باشد برای فزونی تکبر و غرور، نه حلقه ای برای اسارت و نه دست یار ای برای تجارت، بلکه گامی باشد برای رسیدن به تو و متعالی ساختن خود و دیگران.

اکنون که به یاری خدای متعال موفق به اتمام این مقطع تحصیلی شده ام، بر خود لازم می دانم از زحمات استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر فردین موسیوند که مرا از خوان بی دریغ اندوخته های خویش محروم نگذاشته و من انجام این رساله را مدیون دانش و فضل این بزرگوار، ستم تشکر نمایم.

با استنان بی کران از مساعدت های بی شائبه ی جناب آقای دکتر رسول سپهری را دکمال تشکر را دارم. از تمامی اساتید گروه زمین شناسی دانشگاه شاهرود که در طی مدت تحصیل در محضرشان کسب فیض نمودم، تشکر و قدردانی مینمایم. همچنین از پرسنل زمین شناسی آقای مهندس میرباقری و خانم ها، مهندس فارسی و مهندس سعیدی به پاس زحمات فراوانشان تشکر مینمایم.

پاس و تشکر بی پایان خدمت دوستان و بهکلاسی های عزیزم آقایان طاشی، هاشمی، نصراللمی و جناب آقای دکتر رجب پور و خانم ها مصدق، افروخته، صالحی نسب، حمید، رجایی و کاظمی، که برای این عزیزان از خداوند متعال آرزوی سلامتی و توفیق روز افزون را دارم.

تقدیر و تشکر ویژه را از پدر و مادرم و پدر و مادرم، بمسرم دارم که با لطف و شکیبایی خود مشوق من بوده و دعای خیرشان بدرقه راهم بوده است. در پایان خالصانه ترین مراتب تشکر و قدردانی خود را تقدیم مینمایم به، بمسر صبور، مهربان و عزیزم که همواره با تحمل سختیها در برطرف کردن مشکلاتم، اصلی ترین حامی و پشتوانه روحی اینجانب بوده اند.

زهره میلویش

اردیبهشت ۱۳۹۴

تعهد نامه

اینجانب زهره میلویش دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی اقتصادی دانشکده علوم زمین دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه کانی شناسی، زمین شیمی و الگوی پیدایش کانه زایی مس رسوبی در شمال- شمال غرب تربت حیدریه تحت راهنمایی دکتر فردین موسیوند متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « *Shahrood University* » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی 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.

بهار ۹۴

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه 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

منطقه مورد مطالعه در پهنه ایران مرکزی و زیر پهنه سبزوار و در ۴۰ کیلومتری شمال - شمال غرب تربت حیدریه، در امتداد شهرهای کدکن تا رباطسنگ واقع شده است. کانه‌زایی مس در این منطقه، به صورت چینه‌سان و چینه‌کران در واحدهای تخریبی ائوسن - الیگوسن رخ داده است و گسترش طولی آن به ۶۵ کیلومتر می‌رسد. کانی‌سازی در این گستره به طور پراکنده و منقطع، به صورت کانسارهای اسفیز، قندو و قنچی و اندیس‌های متعددی مشاهده می‌شود. توالی قرمز قاره‌ای ائوسن - الیگوسن از پایین به بالا از چهار واحد سنگی تشکیل شده است: واحد اول (Em^1) شامل مارن‌های قرمز و خاکستری ائوسن، واحد دوم (EO^S) شامل توالی ضخیمی از ماسه‌سنگ‌های قرمز رنگ، واحد سوم (EO^C) متشکل از کنگلومرای سبتر لایه توده‌ای قرمز رنگ با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ با سن ائوسن - الیگوسن و واحد (OS^C) به سن الیگوسن، متشکل از ماسه‌سنگ‌های خاکستری و کنگلومرا با میان لایه‌هایی از سیلتستون می‌باشد. کانی‌سازی در کانسار اسفیز در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها به صورت رگه‌ای و چینه‌کران درون واحد کنگلومرای (EO^C) رخ داده است. عامل کانه‌زایی در این کانسار حضور سیمان کلسیتی و کانی‌های مافیک می‌باشد، به طوری که سولفیدهای مس جانشین الیوین و پیروکسن موجود در قطعات کنگلومرا شده‌اند. در کانسار قندو کانه‌سازی در افق احیایی ماسه‌سنگی و افق احیایی کنگلومرای (EO^S) به صورت لایه‌ای و چینه‌سان رخ داده است. کانی‌سازی مس، در حضور فسیل‌های گیاهی صورت گرفته است. سولفیدهای مس در تمام یا بخشی از این فسیل‌ها جانشین شده و یا در اطراف آن تمرکز یافته‌اند. کانه‌سازی در کانسار قنچی در واحدهای کنگلومرای (EO^C) رخ داده است. کانی‌سازی در این کانسار، بر اثر جانشینی سولفیدهای مس در دانه‌های آواری و کانی‌های مافیک رخ داده است. این کانسارها دارای کانی‌های اولیه کالکوسیت، بورنیت، پیریت و مگنتیت و کانی‌های ثانویه کوولیت، دیژنیت، کوپریت، مالاکیت و کریزوکلا می‌باشند. هم‌چنین ماده معدنی در این کانسارها با بافت دانه پراکنده، جانشینی، رگه - رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی دیده می‌شود. دگرسانی غالب در این کانسارها از نوع شستشو (Bleaching) به صورت هماتی و کائولینیتی شدن می‌باشد. مطالعات ژئوشیمیایی صورت گرفته در تمام کانسارهای مورد مطالعه همبستگی مثبت بین مس و نقره را نشان می‌دهند که بیشترین فراوانی را در افق‌های کانه‌دار دارند. هم‌چنین غنی‌شدگی CaO و تهی‌شدگی Fe_2O_3 ، MgO و MnO در پهنه‌های کانه‌دار می‌باشد. عناصر Fe ، Mg ، Mn و Ti در پهنه قرمز نسبت به پهنه خاکستری غنی‌شدگی نشان می‌دهند. هم‌چنین مقایسه الگوی پراکندگی عناصر کمیاب در ماسه‌سنگ خاکستری پهنه کانه‌زایی نسبت به ماسه‌سنگ قرمز آنومالی مثبت در Ni ، Cu ، V ، Co ، Zn ، Ag و Ni را نشان می‌دهد. در کانسار قندو وجود مواد آلی موجب غنی‌شدگی عناصر Ni و V و Cu در ماسه‌سنگ‌های خاکستری شده است. با توجه به ویژگی‌های خاص کانی‌سازی در این منطقه از قبیل سنگ میزبان، شکل هندسی چینه‌سان و چینه‌کران و گسترش ناحیه‌ای آن، ساخت و بافت جانشینی، دانه پراکنده، رگه - رگچه‌ای، کانی‌شناسی، همراهی آثار و بقایای فسیل گیاهی و اهمیت آن‌ها در تمرکز کانه‌زایی مس در ارتباط با آن، می‌توان این کانه‌زایی را از نوع مس با میزبان رسوبی و از گونه Redbed دانست.

کلمات کلیدی: مس رسوبی، Redbed، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، الگوی پیدایش، تربت حیدریه، اسفیز، قندو، قنچی.

مقالات مستخرج از این پایان نامه:

- ✓ کانه‌سازی مس رسوبی نوع redbed در سنگ‌های تخریبی الیگوسن در شمال - شمال غرب تربت‌حیدریه و افق‌های کانه‌دار آن. سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، تهران، بهمن ۱۳۹۲.
- ✓ ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب در کانسنگ و سنگ‌های میزبان کانه‌زایی مس رسوبی در شمال شمال غرب تربت‌حیدریه. هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، دی ماه ۱۳۹۳.
- ✓ کانی‌شناسی، ساخت، بافت، ژئوشیمی و الگوی کانه‌زایی مس رسوبی تیپ Redbed در توالی تخریبی ائوسن - الیگوسن در شمال - شمال غرب تربت‌حیدریه، زیرپهنه سبزوار. مجله زمین‌شناسی اقتصادی.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: کلیات	
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه.....	۲
۳-۱ شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه.....	۳
۴-۱ وضعیت معیشتی.....	۴
۵-۱ زمین ریخت‌شناسی.....	۵
۶-۱ تاریخچه معدن‌کاری.....	۶
۷-۱ مطالعات انجام شده قبلی.....	۶
۸-۱ طرح مسئله و هدف از مطالعه.....	۹
۹-۱ روش مطالعه.....	۱۰
۱-۹-۱ گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع.....	۱۰
۲-۹-۱ مطالعات صحرایی.....	۱۰
۳-۹-۱ مطالعات دفتری و آزمایشگاهی.....	۱۱
۴-۹-۱ تجزیه و تحلیل داده‌ها.....	۱۲
۱۰-۱ رده‌بندی کانسارهای مس.....	۱۲
۱۱-۱ ذخایر مس در سنگ میزبان رسوبی.....	۱۳
۱۲-۱ ویژگی‌های مهم کانسارهای مس چین‌ه‌سان با سنگ میزبان رسوبی.....	۱۴
۱۳-۱ توزیع زمانی و مکانی کانسارهای مس چین‌ه‌سان با سنگ میزبان رسوبی.....	۱۶
۱۴-۱ فازهای کانی‌سازی مس در ایران.....	۱۸
۱۵-۱ پراکندگی ذخایر مس ایران.....	۱۹
۱۶-۱ انواع تیپ‌های کانه‌زایی مس در ایران.....	۲۱
۱-۱۶-۱ کانسارهای مس ماگمایی-هیدروترمال.....	۲۲
۲-۱۶-۱ کانسارهای مس سولفید توده‌ای.....	۲۲
۳-۱۶-۱ کانسارهای گروه مس با میزبان رسوبی.....	۲۲
۴-۱۶-۱ کانسارهای گروه میشیگان یا کویناوی یا مانتو.....	۲۳

فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای

۲۶	مقدمه	۱-۲
۲۶	ویژگی‌های پهنه ساختاری خرد قاره ایران مرکزی در ترشیری	۲-۲
۲۸	چینه‌شناسی	۳-۲
۲۹	مزوزوئیک	۱-۳-۲
۳۱	سنوزوئیک	۲-۳-۲
۳۳	سنگ‌های افیولیتی	۴-۲
۳۳	سنگ‌های آذرین نفوذی	۵-۲
۳۵	زمین‌شناسی ساختمانی	۶-۲
۳۶	سیستم چین‌خوردگی	۱-۶-۲
۳۷	گسل‌ها و شکستگی‌ها	۲-۶-۲
۳۸	زمین‌شناسی اقتصادی	۷-۲

فصل سوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه معدنی

۴۲	مقدمه	۱-۳
۴۳	واحدهای سنگی موجود در محدوده منطقه معدنی	۲-۳
۴۴	واحد Em^1	۱-۲-۳
۴۵	واحد EO^s	۲-۲-۳
۴۶	واحد EO^c	۳-۲-۳
۵۴	واحد O^{sc}	۴-۲-۳
۵۵	محیط رسوبگذاری لایه‌های سرخ	۳-۳
۵۶	زمین‌شناسی ساختمانی منطقه معدنی	۳-۳
۵۶	گسل‌ها	۱-۳-۳
۵۷	چین‌خوردگی‌ها	۲-۳-۳

فصل چهارم: کانه‌زایی و دگرسانی

۶۰	مقدمه	۱-۴
۶۰	رخداد کانه‌زایی مس در شمال - شمال غرب تربت حیدریه	۲-۴

کانه‌زایی مس در محدوده مورد مطالعه	۶۴	۳-۴
معدن متروکه اسفیز	۶۴	۱-۳-۴
معدن متروکه قندو (قنداب)	۶۸	۱-۳-۴
کانسار قنچی	۷۳	۳-۳-۴
پهنه‌بندی کان‌زایی و دگرسانی	۷۸	۴-۴
پهنه قرمز اکسیدان	۸۰	۱-۴-۴
پهنه شسته شده (Bleached Zone)	۸۴	۲-۴-۴
پهنه احیایی کان‌زایی شده	۹۰	۳-۴-۴

فصل پنجم: کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیک

مقدمه	۹۶	۱-۵
کانی‌شناسی	۹۷	۲-۵
کانی‌های اصلی	۹۷	۱-۲-۵
کانی‌های ثانویه	۱۰۲	۲-۲-۵
کانی‌های باطله	۱۰۹	۳-۲-۵
ساخت	۱۱۴	۳-۵
ساخت رگه‌ای	۱۱۵	۱-۳-۵
ساخت لایه‌ای تا عدسی	۱۱۵	۲-۳-۵
ساخت لوله‌ای شکل	۱۱۵	۳-۳-۵
بافت	۱۱۶	۴-۵
بافت دانه پراکنده	۱۱۶	۱-۴-۵
بافت جانشینی	۱۱۹	۲-۴-۵
بافت پرکننده فضای خالی	۱۲۳	۳-۴-۵
بافت رگه - رگچه‌ای	۱۲۵	۴-۴-۵
بافت و ساخت کانی‌های سوپرژن	۱۲۵	۵-۵
سوپرژن سولفیدی	۱۲۶	۱-۵-۵
سوپرژن اکسیدی	۱۲۶	۲-۵-۵

۱۲۷.....	۶-۵	مراحل تشکیل کانه‌ها و توالی پاراژنتیک
----------	-----	---------------------------------------

فصل ششم: مطالعات ژئوشیمیایی

۱۳۲.....	۱-۶	مقدمه
۱۳۳.....	۲-۶	ژئوشیمی مس
۱۳۵.....	۳-۶	طبقه‌بندی شیمیایی سنگ‌های رسوبی
۱۳۵.....	۱-۳-۶	طبقه‌بندی ماسه‌سنگ‌ها براساس یافته‌های ژئوشیمیایی
۱۳۷.....	۴-۶	تمایز محیط تکتونیکی با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی
۱۳۷.....	۱-۴-۶	استفاده از دیاگرام تفکیکی باتیا
۱۳۹.....	۵-۶	سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌ها
۱۴۰.....	۶-۶	مطالعه فراوانی، غنی‌شدگی و تغییرات اکسیدهای اصلی در سنگ‌های میزبان و کانسنگ
۱۴۴.....	۷-۶	مطالعه فراوانی، غنی‌شدگی و تغییرات عناصر جزئی و کمیاب در سنگ‌های میزبان و کانسنگ
۱۴۸.....	۸-۶	توزیع و پراکندگی عناصر فلزات پایه و نقره
۱۵۳.....	۹-۶	ستون‌های لیتوژئوشیمیایی و بررسی تغییرات عناصر
۱۵۶.....	۱۰-۶	شیمی کانی‌ها بر اساس روش الکترون میکروپروب (EPMA)
۱۵۸.....	۱-۱۰-۶	نتایج آنالیز EPMA

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

۱۶۲.....	۱-۷	مقدمه
۱۶۲.....	۲-۷	تقسیم‌بندی کانسارهای مس رسوبی و جایگاه کانسارهای مورد مطالعه در شمال- شمال غرب تربت‌حیدریه
۱۶۸.....	۳-۷	مقایسه کانه‌زایی کانسارهای مس شمال- شمال غرب تربت‌حیدریه با ذخایر مس رسوبی
۱۶۸.....	۱-۳-۷	محیط تکتونیکی
۱۶۸.....	۲-۳-۷	سنگ میزبان
۱۷۱.....	۳-۳-۷	سن کانه‌زایی
۱۷۲.....	۴-۳-۷	محیط تشکیل
۱۷۳.....	۵-۳-۷	شکل هندسی ماده معدنی

۶-۳-۷	بافت ماده معدنی.....	۱۷۴
۷-۳-۷	کانی‌شناسی.....	۱۷۵
۸-۳-۷	دگرسانی.....	۱۷۶
۹-۳-۷	عیار و تناژ.....	۱۷۷
۴-۷	نحوه تشکیل و مدل ژنتیکی.....	۱۷۷
۱-۴-۷	منشاء فلزات.....	۱۷۷
۲-۴-۷	دگرسانی و دیاژنز.....	۱۷۹
۳-۴-۷	منشاء سولفور.....	۱۸۰
۴-۴-۷	تله‌های فلزی.....	۱۸۲
۵-۴-۷	منشاء سیال.....	۱۸۲
۶-۴-۷	حرکت سیال.....	۱۸۴
۷-۴-۷	درجه حرارت تشکیل.....	۱۸۶
۸-۴-۷	انرژی لازم در سیستم.....	۱۸۷
۹-۴-۷	نحوه تشکیل و مدل ژنتیکی کانسار مس رسوبی مورد مطالعه.....	۱۸۷
۵-۷	مثال‌هایی از کانسارهای مس با سنگ میزبان رسوبی در دنیا.....	۱۹۰
۱-۵-۷	کمر بند مس آفریقا.....	۱۹۱
۲-۵-۷	کوپرفرشیر اروپا.....	۱۹۱
۳-۵-۷	کمر بند مس زامبیا.....	۱۹۳
۶-۷	مهم‌ترین افق‌های کانه‌زایی مس رسوبی در ایران.....	۱۹۴
۱-۶-۷	افق کانه‌زایی سازند نایبند (تریاس بالایی).....	۱۹۵
۲-۶-۷	افق کانه‌زایی سازند گردو (ژوراسیک پایانی- ابتدای کرتاسه زیرین).....	۱۹۵
۳-۶-۷	افق کانه‌زایی سازند قرمز بالایی (میوسن).....	۱۹۵
۴-۶-۷	کانه‌زایی مس رسوبی در ارتباط با گنبد های نمکی زاگرس.....	۱۹۶
۷-۷	مثال‌های شاخص از کانسارهای Redbed در ایران و جهان.....	۱۹۶
۸-۷	پیشنهادات اکتشافی.....	۱۹۸
	منابع.....	۲۰۱

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات

- شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان تربت‌حیدریه، منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن..... ۳
- شکل ۲-۱: تصویری از پوشش گیاهی در ارتفاعات کدکن..... ۴
- شکل ۳-۱: تصویر سه بعدی از مورفولوژی منطقه مورد مطالعه..... ۵
- شکل ۴-۱: نمایی از زمین ریخت‌شناسی منطقه..... ۶
- شکل ۵-۱: (الف) آثار معدنکاری قدیمی (شدادی) و حفر ترانشه در معدن متروکه اسفیز. (ب) نمایی از سرباره‌ها و آثار ذوب قدیمی در اطراف معادن قدیمی..... ۶
- شکل ۶-۱: نقشه توزیع و پراکندگی نهشته‌های مس چین‌سان با سنگ میزبان رسوبی..... ۱۷
- شکل ۷-۱: نقشه پهنه‌های ساختاری و موقعیت ذخایر تیپ‌های مختلف مس..... ۲۱

فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای

- شکل ۱-۲: جایگاه پهنه سبزوار در خردقاره ایران مرکزی و موقعیت منطقه مورد مطالعه..... ۲۶
- شکل ۲-۲: پهنه‌بندی خراسان رضوی و موقعیت زیر پهنه سبزوار در ایران مرکزی..... ۲۸
- شکل ۳-۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۳۰
- شکل ۴-۲: ستون چین‌شناسی کلی منطقه مورد مطالعه..... ۳۴
- شکل ۵-۲: نمایی از یک چین‌خوردگی در جنوب کدکن..... ۳۶
- شکل ۶-۲: نقشه پراکندگی گسل‌های منطقه مورد مطالعه..... ۳۸

فصل سوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه معدنی

- شکل ۱-۳: ستون چین‌شناسی واحدهای سنگی موجود در منطقه معدنی..... ۴۳
- شکل ۲-۳: نمای کلی از واحدهای سنگی موجود در شرقی روستای اسفیز..... ۴۴
- شکل ۳-۳: نمایی از واحد مارنی (Em^1)..... ۴۵
- شکل ۴-۳: نمایی از ماسه سنگ واحد EO^s در منطقه قندو..... ۴۶
- شکل ۵-۳: نمایی از توالی واحدهای کنگلومرای EO^c و ماسه‌سنگی EO^s منطقه قندو..... ۴۶
- شکل ۶-۳: (الف) نمایی از سیلتستون موجود در توالی لایه‌های سرخ در منطقه کدکن، (ب) تصویر میکروسکوپی آن در نور xpl..... ۴۷
- شکل ۷-۳: موقعیت نمونه‌های ماسه سنگی مورد مطالعه در نمودار سه متغیره کوآرتز (Q)، فلدسپار (F) و خرده سنگ (RF)..... ۴۸
- شکل ۸-۳: نمایی از ماسه سنگ‌های آرکوزی موجود در منطقه (الف، ب) و تصاویر میکروسکوپی آن (ج، د). بخش اعظم سنگ شامل فلدسپات (fld) است..... ۴۹
- شکل ۹-۳: تصاویر میکروسکوپی از ماسه سنگ‌های لیتیک آرکوز موجود در منطقه در نور xpl..... ۵۰
- شکل ۱۰-۳: نمایی از کنگلومرای موجود در منطقه و تصاویر میکروسکوپی آن..... ۵۱

شکل ۳-۱۱: تغییرات سریع جانبی ماسه سنگ به کنگلومرا در یک کانال قدیمی.....	۵۲
شکل ۳-۱۲: ساختمان‌های رسوبی موجود در توالی لایه‌های سرخ میزبان در کال رودخانه.....	۵۴
شکل ۳-۱۳: نمایی از واحد سنگی O^{sc} در منطقه قندو.....	۵۵
شکل ۳-۱۴: (الف) گسلی در افق کانه‌دار کانسار اسفیز با روند شمالی - جنوبی. (ب) گسلی در معدن قندو با روند شمال شرقی - جنوب غربی.....	۵۷
شکل ۳-۱۵: (الف) چین خوردگی واحد ماسه‌سنگی و مارنی EO^s در منطقه اسفیز. (ب) چین خوردگی در واحدهای EO^s و EO^c در قنچی.....	۵۷

فصل چهارم: کانه‌زایی و دگرسانی

شکل ۴-۱: تصویر ماهواره‌ای از واحدهای رخنمون یافته در منطقه معدنی و موقعیت کانسارهای مورد مطالعه.....	۶۰
شکل ۴-۲: گسترش واحدهای سنگی مرتبط با کانه‌زایی و پراکندگی کانسارها و اندیس‌های مس واقع در شمال - شمال غرب تربت حیدریه.....	۶۲
شکل ۴-۳: ستون چینه‌شناسی واحدهای سنگی موجود در منطقه معدنی و موقعیت افق‌های مس‌دار.....	۶۳
شکل ۴-۴: نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی اسفیز.....	۶۴
شکل ۴-۵: (الف) مقطع عرضی، (ب) توالی چینه‌ای واحدهای سنگی معدن متروکه اسفیز.....	۶۵
شکل ۴-۶: تصاویری از معدن متروکه اسفیز.....	۶۶
شکل ۴-۷: (الف) تصویری از رگه‌های کانه‌دار در داخل واحد کنگلومرای در معدن متروکه اسفیز، (ب و ج) نمونه دستی از معدن اسفیز.....	۶۷
شکل ۴-۸: نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی قندو.....	۶۸
شکل ۴-۹: واحدهای سنگی رخنمون یافته و موقعیت کانسار در منطقه معدنی قندو.....	۶۹
شکل ۴-۱۰: (الف) مقطع عرضی، (ب) توالی چینه‌ای واحدهای سنگی معدن متروکه قندو.....	۷۰
شکل ۴-۱۱: (الف) توالی لایه‌های سرخ و خاکستری در قندو، (ب و ج) افق‌های کانه دار در قندو.....	۷۱
شکل ۴-۱۲: ماسه‌سنگ‌های میزبان کانه‌سازی در معدن قندو: (الف، ب و ج) آثار مربوط به ساقه گیاهی. (د) وجود فسیل گیاهی در ماسه‌سنگ دانه ریز قرمز رنگ. (ه) میکروکنگلومرای کانه‌دار دارای بافت پرکننده فضای خالی. (و) ماسه‌سنگ دانه درشت کانه‌دار.....	۷۲
شکل ۴-۱۳: نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی قنچی.....	۷۳
شکل ۴-۱۴: واحدهای سنگی رخنمون یافته و موقعیت کانسار در منطقه معدنی قنچی.....	۷۴
شکل ۴-۱۵: توالی چینه‌ای واحدهای سنگی کانسار قنچی.....	۷۴
شکل ۴-۱۶: (الف) افق کانه‌دار OH-C1 درون کنگلومرای احیایی. (ب) کانه‌زایی مس در اطراف قطعات کنگلومرا. (ج) افق کانه‌دار OH-C2 دارای کانه‌زایی مالاکیت. (د) دگرسانی افق دوم و ایجاد کانه‌زایی ضعیف درون کنگلومرای خاکستری. (ه) افق کانه‌دار OH-C3 درون کنگلومرای احیایی. (و). رول دگرسانی افق سوم.....	۷۶
شکل ۴-۱۷: بخش‌های کوچک احیایی فاقد کانه‌زایی درون ماسه‌سنگ قرمز اکسیدان توالی کانسار قنچی.....	۷۷
شکل ۴-۱۸: لامینه‌های مگنتیت درون ماسه‌سنگ‌های قرمز توالی کانسار قنچی.....	۷۷
شکل ۴-۱۹: تصاویری از کنگلومراهای میزبان کانه‌زایی در کانسار قنچی: (الف) مالاکیت به صورت لامینه‌های باریک در کنگلومرا، (ب) کانی ثانویه مالاکیت در سطح سنگ تشکیل شده است، (ج) مالاکیت به صورت پراکنده درون فضاهای خالی کنگلومرا ایجاد شده است.....	۷۸

شکل ۴-۲۰: الف) نمایی از افق کانه‌دار OH-C1 در کانسار قنچی و پهنه‌های ایجاد شده توسط دگرسانی در آن. ب) شکل شماتیکی از پهنه‌های دگرسانی شکل الف. ج) شکل شماتیک عمومی از چگونگی قرارگیری و ارتباط پهنه‌های سه‌گانه در افق احیایی میزبان کانه‌زایی در کانسار مارکشه. ۸۰	۸۰
شکل ۴-۲۱: داده‌های حاصل از XRD برای نمونه GO-4 مربوط به پهنه قرمز اکسیدان در کانسار قنچی. ۸۱	۸۱
شکل ۴-۲۲: الف) تصویری از کنگلومرای قرمز رنگ مربوط به افق OH-C2، ب) تصویر میکروسکوپی از کنگلومرای قرمز رنگ افق OH-C2. ۸۲	۸۲
شکل ۴-۲۳: تصویری از پهنه قرمز اکسیدان در کانسار قنچی. ۸۳	۸۳
شکل ۴-۲۴: دگرسانی آرژیلیتی در حد فاصل پهنه قرمز و پهنه Bleach درون افق کنگلومرای کانسار قنچی. ۸۳	۸۳
شکل ۴-۲۵: داده‌های حاصل از XRD برای نمونه GO-8 مربوط به دگرسانی آرژیلیتی در کانسار قنچی. ۸۴	۸۴
شکل ۴-۲۶: الف) پهنه شسته شده (Bleached Zone) در کانسار قنچی. ب) تصویری از کنگلومرای پهنه Bleach شده مربوط به افق OH-C2، ج) تصویر میکروسکوپی از کنگلومرای Bleach شده. ۸۵	۸۵
شکل ۴-۲۷: داده‌های حاصل از XRD مربوط به پهنه قرمز اکسیدان در کانسار قنچی: الف) مربوط به نمونه GO-1، ب) مربوط به نمونه GO-3. ۸۶	۸۶
شکل ۴-۲۸: تصاویر میکروسکوپی از: الف و ب) سنگ بازالت دگرسان شده در کانسار اسفیز. ۸۷	۸۷
شکل ۴-۲۹: بخش شسته شده در کنگلومرای قرمز کانسار قنچی. ۸۹	۸۹
شکل ۴-۳۰: تصویری از کانسار قنچی که تشکیل پیریت را در بخش شسته شده نشان می‌دهد. ۸۹	۸۹
شکل ۴-۳۱: نمونه‌های دستی از پهنه شسته شده در کانسار قنچی: الف) اکسیدهای آهن سخت شده. ب) ساختارهای دندریتی غنی از منگنز و آهن (Mn-Fe rich). ۹۰	۹۰
شکل ۴-۳۲: تصاویر میکروسکوپی از: الف) جانشینی سولفیدهای مس در کانی مافیک در کانسار اسفیز. ب) جانشینی سولفیدهای مس درون فسیل گیاهی در کانسار قندو. ج) جانشینی سولفیدهای مس درون کانی مافیک در کانسار قنچی. د) همان تصویر (ج) در نور انعکاسی. ۹۲	۹۲
شکل ۴-۳۳: داده‌های حاصل از XRD برای نمونه GO-2 مربوط به افق OH-C1 در کانسار قنچی. ۹۳	۹۳

فصل پنجم: کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیک

شکل ۵-۱: الف) کالکوسیت اولیه در کانسار اسفیز، ب) کالکوسیت ثانویه در کانسار قنچی. ۹۸	۹۸
شکل ۵-۲: تصاویر میکروسکوپی از هم‌رشدی کالکوسیت و بورنیت در کانسار اسفیز الف) بورنیت بنفش رنگ در مرز بین ماسه‌سنگ و کنگلومرا. ب) بورنیت صورتی رنگ مربوط به قسمت‌های بالایی کنگلومرا. ج) داده‌های به دست آمده از آنالیز XRD برای کنگلومرای کانه‌دار کانسار اسفیز. ۱۰۰	۱۰۰
شکل ۵-۳: تصویری میکروسکوپی از تشکیل پیریت اطراف قطعات فسیل گیاهی در ماسه‌سنگ کانه‌دار و بافت جانشینی در کانسار قندو. ۱۰۱	۱۰۱
شکل ۵-۴: تصاویر میکروسکوپی از ماسه‌سنگ‌های کانسار قندو: الف) مگنتیت خودشکل پراکنده. ب) هماتیت و مگنتیت دانه ریز پراکنده در پهنه اکسیدان. ۱۰۲	۱۰۲
شکل ۵-۵: الف) جانشینی کوولیت در کالکوسیت در افق کانه‌دار اسفیز. ب) جانشینی کوولیت به فرم تیغه‌ای درون کانی کالکوسیت. ج) جانشینی کوولیت به جای کالکوسیت به صورت لکه‌ای. ۱۰۴	۱۰۴
شکل ۵-۶: تصاویر میکروسکوپی از کانی دیژنیت و کانی‌های همراه آن در افق احیایی کانه‌دار کانسار اسفیز. ۱۰۴	۱۰۴

- شکل ۵-۷: تصویر میکروسکوپی از کانی کوپریت در بخش کانه‌دار کانسار قندو: الف) در نور عبوری. ب) در نور انعکاسی. ج) داده‌های به دست آمده از آنالیز XRD برای ماسه‌سنگ کانه‌دار کانسار قندو، که در آن کانی کوپریت نشان داده شده است. ۱۰۶.....
- شکل ۵-۸: تصاویری از نمونه دستی‌های کانه‌دار: الف) تبدیل کالکوسیت به مالاکیت. ب) مالاکیت دارای بافت دانه پراکنده. ۱۰۷.....
- شکل ۵-۹: تصاویر میکروسکوپی از مالاکیت در کنگلومرای کانه‌دار کانسار قنچی. الف) تشکیل کانی مالاکیت در اطراف کانی کالکوسیت. ب) جانشینی مالاکیت در سیمان کربناته بین دانه‌ها. ۱۰۷.....
- شکل ۵-۱۰: الف) قرارگیری کانی مالاکیت درون درزه‌های انحلالی و ایجاد بافت لامینه کاذب در کنگلومرای پهنه کانه‌زایی شده کانسار قنچی. ب) این تصویر نشان می‌دهد که درون لامینه‌های کاذب، کانی‌های مالاکیت اطراف کانی‌های سولفیدی (کالکوسیت) را احاطه کرده است. ۱۰۸.....
- شکل ۵-۱۱: تصاویر میکروسکوپی از کوارتزهای پلی کریستالین همراه کوارتزهای مونوکریستالین در کانسارهای مورد مطالعه در نور عبوری. ۱۰۹.....
- شکل ۵-۱۲: نتایج به دست آمده از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) از افق کانه‌دار کانسار قندو. ۱۱۰.....
- شکل ۵-۱۳: تصاویر میکروسکوپی در نور عبوری (xpl): الف) سیمان کلسیتی (Ca) در بین قطعات آواری. ب) رگه کلسیتی که شکستگی‌های موجود در سنگ را پر کرده است. ج) جانشینی کلسیت در کانی پلاژیوکلاز. د) جانشینی کلسیت در اطراف قطعات خرده‌سنگ‌های آواری (RF). ۱۱۲.....
- شکل ۵-۱۴: تصاویر میکروسکوپی از: الف) کانی مگنتیت به همراه هماتیت و پیریت، ب) کانی گوتیت دارای بافت کلوفرمی که جانشین پیریت فرامبوئیدال شده است. ج) پوشیده شدن دانه‌های آواری توسط اکسید آهن. د) کانی تیتانومگنتیت (Ti-magnetite) دارای بافت داربستی. ه) تشکیل مگنتیت اطراف کانی بیوتیت. و) همان تصویر در نور انعکاسی. ۱۱۳.....
- شکل ۵-۱۵: الف و ب) تصاویر میکروسکوپی از تجزیه شدن دانه‌های فلدسپار و تبدیل آن‌ها به کانی‌های رسی و سریسیت. ۱۱۴.....
- شکل ۵-۱۶: تصاویری از بافت دانه پراکنده: الف) بافت دانه پراکنده سولفیدهای مس در کنگلومرای کانه‌دار کانسار قنچی. ب) تصویر میکروسکوپی از دانه‌های پراکنده سولفید مس. ۱۱۷.....
- شکل ۵-۱۷: تصاویر میکروسکوپی از پیریت‌های موجود در کانسارهای مورد مطالعه. الف) پیریت‌های دانه ریز اولیه با بافت پراکنده (Disseminated) در افق کانه‌دار کانسار اسفیز، ب) پیریت‌های دانه پراکنده تشکیل شده در کنگلومرا کانه‌دار کانسار قنچی، ج) پیریت فرامبوئیدال موجود در ماسه‌سنگ کانه‌دار منطقه. ۱۱۹.....
- شکل ۵-۱۸: تصاویری از بافت جانشینی: الف و ب) جانشینی مگنتیت توسط سولفیدهای مس در کانسار اسفیز. ۱۲۰.....
- شکل ۵-۱۹: تصاویری از بافت جانشینی در کانسار قندو: الف) جانشینی سولفیدهای مس درون فسیل گیاهی. ب) جانشینی کالکوسیت درون فسیل گیاهی. ج) جانشینی و تشکیل کانی کوپریت در اطراف فسیل گیاهی. ۱۲۱.....
- شکل ۵-۲۰: تصاویر میکروسکوپی از بافت جانشینی: الف) جانشینی کالکوسیت در سیمان کربناته. ب) نمایی از یک دانه آواری مافیک که کالکوسیت جانشین آن شده است. ج) جانشینی سولفیدهای مس در کانی فلدسپار. د) جانشینی کالکوسیت و مگنتیت درون کانی مافیک. ه) تصویری از یک دانه آواری، که توسط مگنتیت و کالکوسیت جانشین شده است. و) همان تصویر (ه) در نور انعکاسی. ۱۲۳.....
- شکل ۵-۲۱: تصاویری از بافت پراکنده فضای خالی در بین دانه‌های آواری سنگ‌های میزبان در پهنه احیایی کانه‌زایی شده. ۱۲۴.....

- شکل ۵-۲۲: تصاویری از بافت پرکننده فضای خالی: الف) نمونه دستی از کنگلومرای کانه‌دار قندو. ب) نمونه دستی از کنگلومرای کانه‌دار قنچی. ۱۲۴.....
- شکل ۵-۲۳: الف) نمونه دستی از کنگلومرای کانه‌دار کانسار اسفیز. ب) تصویر میکروسکوپی از رگه کانه‌دار کانسار اسفیز در نور انعکاسی. ۱۲۵.....
- شکل ۵-۲۴: تصاویری از پدیده‌هایی سوپرژن: الف) بافت دندریتی اکسیدهای منگنز. ب) کالکوسیت که توسط اکسیدهای آهن جانشین شده است. ۱۲۷.....

فصل ششم: مطالعات ژئوشیمیایی

- شکل ۶-۱: توالی چینه‌ای و موقعیت نمونه‌های برداشت شده در کانه‌زایی‌های مختلف مس در منطقه: الف) اسفیز، ب) قندو، ج) قنچی. ۱۳۳.....
- شکل ۶-۲: نمودار محدوده‌های پایداری ترکیبات مس الف) در سیستم Cu-O-H، ب) در سیستم Cu-O-H-S-Cl. ۱۳۴.....
- شکل ۶-۳: موقعیت نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد بررسی در نمودار دو متغیره $\log (Na_2O/K_2O) - \log (SiO_2/Al_2O_3)$. ۱۳۷.....
- شکل ۶-۴: نمودارهای متمایزکننده ماسه‌سنگ جهت تعیین موقعیت تکتونیکی، الف) نمودار دو متغیره (Fe_2O_3+MgO) در برابر TiO_2 ، ب) نمودار دو متغیره (Fe_2O_3+MgO) در برابر (Al_2O_3/SiO_2) . ۱۳۸.....
- شکل ۶-۵: موقعیت ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در نمودار الف) دو متغیره $TiO_2 - Ni$ ، ب) سه متغیره $(CaO+MgO)$ $-(Na_2O+K_2O) - SiO_2/10$. ۱۳۹.....
- شکل ۶-۶: نمودار تهی‌شدگی - غنی‌شدگی اکسیدهای اصلی کانسنگ و سنگ‌های میزبان الف) اسفیز، ب) قندو. ۱۴۱.....
- شکل ۶-۷: نمودارهای تغییرات و همبستگی بین اکسید آلومینیوم نسبت به برخی اکسیدها و عناصر. ۱۴۲.....
- شکل ۶-۸: نمودارهای همبستگی بین اکسید آهن نسبت به برخی اکسیدها و عناصر. ۱۴۳.....
- شکل ۶-۹: نمودارهای تغییرات و همبستگی منفی بین اکسید کلسیم نسبت به Al_2O_3 و Cr. ۱۴۳.....
- شکل ۶-۱۰: نمودارهای تغییرات و همبستگی همبستگی منفی مس با برخی عناصر. ۱۴۴.....
- شکل ۶-۱۱: نمودار تهی‌شدگی - غنی‌شدگی عناصر فرعی و کمیاب برای کانسنگ و سنگ‌های میزبان الف) اسفیز، ب) قندو، ج) قنچی. ۱۴۷.....
- شکل ۶-۱۲: اختلاف مقادیر Ni و Co در نمونه‌های معدنی منطقه مورد مطالعه. ۱۴۸.....
- شکل ۶-۱۳: تغییرات فراوانی عناصر Co, Cr, S, Ni, Zn, Pb, Ag, Cu در کانسنگ و سنگ‌های میزبان کانسار اسفیز. ۱۴۹.....
- شکل ۶-۱۴: تغییرات فراوانی عناصر Co, Cr, S, Ni, Zn, Pb, Ag, Cu در کانسنگ و سنگ‌های میزبان کانسار قندو. ۱۵۱.....
- شکل ۶-۱۵: تغییرات فراوانی عناصر Co, Cr, Ni, Zn, Pb, Ag, Cu در کانسنگ و سنگ‌های میزبان کانسار قنچی. ۱۵۲.....
- شکل ۶-۱۶: نمودار تغییرات عناصر در کانسار اسفیز بر اساس داده‌های ICP-OES. ۱۵۴.....
- شکل ۶-۱۷: نمودار تغییرات عناصر در کانسار قندو بر اساس داده‌های ICP-OES. ۱۵۴.....
- شکل ۶-۱۸: نمودار تغییرات عناصر در کانسار قنچی بر اساس داده‌های ICP-OES. ۱۵۴.....
- شکل ۶-۲۰: نمودار تغییرات عناصر افق اول در کانسار قنچی بر اساس داده‌های ICP-OES. ۱۵۵.....
- شکل ۶-۲۰: تصاویر مربوط به نمونه M9 که آنالیز الکترون میکروپروب روی آن انجام شده است. ۱۵۹.....

شکل ۶-۲۱: تصاویر مربوط به نمونه M33 که آنالیز الکترون میکروپروب روی آن انجام شده است..... ۱۶۰

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

- شکل ۷-۱: شکل شماتیک از کانه‌زایی در کانسار وایت پاین، تیپ رخساره احیایی..... ۱۶۳
- شکل ۷-۲: شکل شماتیک از کانه‌زایی تیپ رخساره ماسه‌سنگ احیایی..... ۱۶۴
- شکل ۷-۳: شکل شماتیک از کانه‌زایی تیپ رخساره اکسیدی یا طبقات قرمز..... ۱۶۵
- شکل ۷-۴: مدل تشکیل کانسارهای مس استراتی‌فرم و منطقه‌بندی کانی‌شناسی..... ۱۶۶
- شکل ۷-۵: توالی چین‌شناسی واحدهای سنگی موجود در منطقه معدنی: الف) شمال - شمال غرب تربت‌حیدریه. ب) کوپفرشیفر (اوسزچپالسکی، ۱۹۹۹)، ج) زامبیا (رابرتز و مگگاون)،..... ۱۷۰
- شکل ۷-۶: توزیع زمانی کانسارهای مس رسوبی..... ۱۷۱
- شکل ۷-۷: توزیع زمانی کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed..... ۱۷۲
- شکل ۷-۸: محدوده مناسب جهت انحلال مس به صورت کمپلکس کلریدی در یک شورابه دما پایین..... ۱۸۳
- شکل ۷-۹: مدل‌های مختلف حرکت سیال در کانسارهای مس رسوبی..... ۱۸۶
- شکل ۷-۱۰: مدل ژنتیکی تشکیل کانسارهای مس رسوبی در منطقه مورد مطالعه..... ۱۹۰
- شکل ۷-۱۱: تصویر شماتیک از مقطع عرضی کانسار کوپفرشیفر..... ۱۹۳
- شکل ۷-۱۲: شکل شماتیک از کانسار مس زامبیا..... ۱۹۴
- شکل ۷-۱۳: نقشه پهنه‌های ساختاری ایران و پراکندگی کانسارهای مس تیپ Redbed..... ۱۹۷

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱: مشخصات مهمترین کانسارهای مس در دنیا.....	۱۲
جدول ۱-۳: حروف اختصاری واحدهای زمین‌شناسی مورد استفاده در شکل‌ها.....	۴۳
جدول ۲-۳: حروف اختصاری مورد استفاده در شکل‌های پتروگرافی.....	۴۴
جدول ۱-۵: مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانه‌ها، کانی‌ها، ساخت و بافت مربوط به کانسارهای مورد مطالعه.....	۱۳۰
جدول ۱-۶: مشخصات نمونه‌های آنالیز شده و علامت به کار رفته در نمودارها.....	۱۳۶
جدول ۲-۶: فراوانی اکسیدهای اندازه‌گیری شده در نمونه‌های کانسارهای اسفیز و قندو به روش XRF.....	۱۳۶
جدول ۳-۶: فراوانی عناصر اصلی و کمیاب اندازه‌گیری شده در نمونه‌های مورد مطالعه به روش ICP-OES.....	۱۴۵
جدول ۴-۶: راهنمای علائم اختصاری و نشانه‌های روی اشکال.....	۱۵۸
جدول ۵-۶: نتایج عنصری (بر حسب ppm) حاصل از آنالیز الکترون میکروپروب (EPMA) برای نمونه M9.....	۱۵۹
جدول ۶-۶: نتایج اکسیدی حاصل از آنالیز الکترون میکروپروب (EPMA) برای نمونه M9.....	۱۵۹
جدول ۷-۶: نتایج عنصری حاصل از آنالیز الکترون میکروپروب (EPMA) برای نمونه M33.....	۱۶۰
جدول ۱-۷: مقایسه ویژگی‌های کانسارهای مس مورد مطالعه با انواع کانسارهای مس رسوبی.....	۱۶۷
جدول ۲-۷: محتوای مس موجود در کانی‌های ناپایدار ماسه‌سنگ‌های سیکل اول.....	۱۸۰
جدول ۳-۷: ویژگی‌های مهم‌ترین کانسارهای مس رسوبی دنیا.....	۱۹۰
جدول ۴-۷: مهم‌ترین ویژگی‌های کانسارهای Redbed شاخص ایران و جهان.....	۱۹۸

فصل اول

کلیات

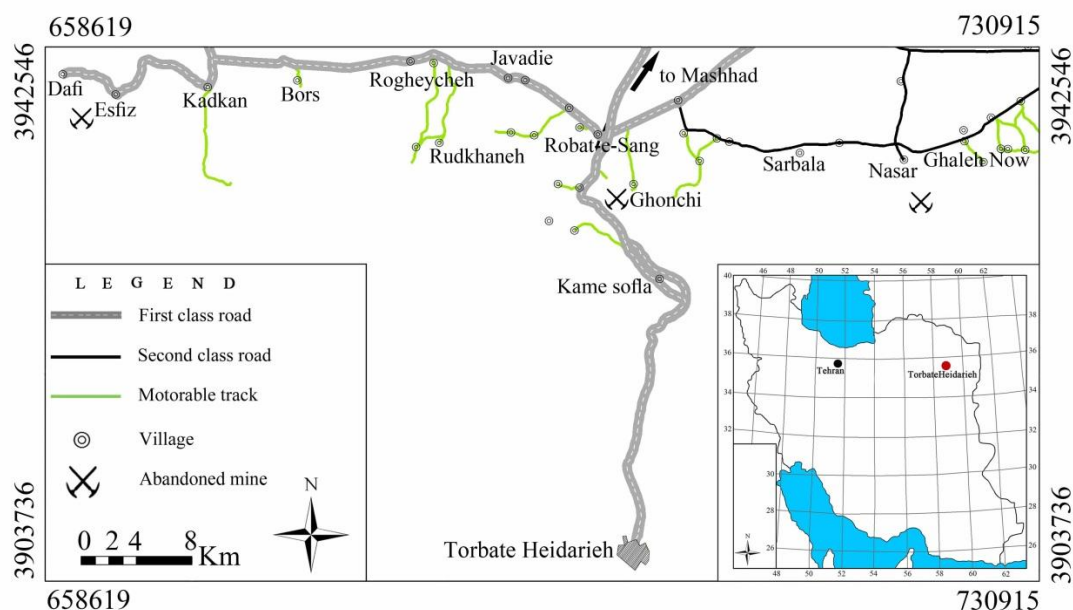
۱-۱ مقدمه

از نظر ژنتیکی کانسارهای مس در دنیا به پنج گروه، کانسارهای مس پورفیری با کانی‌سازی‌های رگه‌ای و اسکارن، کانسارهای مس ماگمایی، کانسارهای مس با سنگ میزبان رسوبی، کانسارهای مس نوع میشیگان و کانسارهای مس تیپ سولفید توده‌ای قابل تفکیک می‌باشند. از بین تیپ‌های مذکور، کانسارهای مس با سنگ میزبان رسوبی تاکنون در ایران کم‌تر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، لذا اکتشاف و شناسایی این تیپ کانسارها در کشور ضروری به نظر می‌رسد. برای نیل به این هدف، کانسارهای مورد مطالعه به عنوان بخش کوچکی از کانه‌زایی مس رسوبی در شمال - شمال غرب تربت حیدریه که حاوی رخنمون‌های گسترده‌ای از کانی‌سازی‌های مس در داخل سنگ‌های رسوبی آواری است، به عنوان موضوع رساله کارشناسی ارشد انتخاب گردید. در انجام این مطالعه سعی بر آن بوده است با تکیه بر بررسی‌های صحرایی، کانی‌شناسی و مطالعات ژئوشیمیایی، مکانیسم تشکیل این تیپ کانی‌سازی‌ها در این ناحیه از ایران مشخص شود. امید است نتایج به دست آمده از این بررسی بتواند در اکتشاف و شناسایی پتانسیل‌هایی از این تیپ کانی‌سازی‌ها در سایر نقاط کشور مفید و موثر واقع شود.

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

منطقه مورد مطالعه در استان خراسان رضوی و در ۴۰ کیلومتری شمال - شمال غرب تربت حیدریه و در امتداد شهرهای کدکن تا رباطسنگ واقع شده است. محدوده مورد مطالعه در طول - های جغرافیایی $58^{\circ} 55'$ تا $59^{\circ} 75'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 40'$ تا $35^{\circ} 60'$ شمالی و در حد فاصل شهرستان‌های نیشابور، کاشمر، فریمان و تربت حیدریه واقع شده است.

دسترسی به این منطقه از طریق جاده تربت حیدریه - مشهد، سه راهی رباطسنگ به سمت غرب با طی مسافت ۴۰ کیلومتر تا روستای اسفیز و به سمت شرق با طی مسافت ۲۵ کیلومتر تا روستای نسر می‌باشد. موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه، در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۰: موقعیت جغرافیایی شهرستان تربت حیدریه، منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن.

۳-۱ شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه

از نظر طبقه‌بندی آب و هوایی، این گستره در تیپ اقلیمی معتدل و خشک کوهستانی قرار دارد و بیشترین درجه حرارت در تابستان‌ها ۴۰ درجه بالای صفر و کمترین درجه حرارت در زمستان‌ها ۱۰ درجه زیر صفر است و میزان بارندگی سالانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد.

میانگین درجه حرارت سالانه منطقه ۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی ۲۵۰-۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. رودخانه‌های موجود در منطقه فصلی بوده و در فصل بارندگی آب دارند (شیرزاده، ۱۳۸۱).

مقدار بارش باران در این منطقه رابطه مستقیمی با سلسله کوه‌ها و ارتفاع آن‌ها دارد. وجود رشته کوه‌های واقع در شمال بخش کدکن که ادامه آن به بخش‌های رباطسنگ و زاوه منتهی می‌شود، سبب شده است که در مناطقی از روستاهای این نواحی بارندگی بیشتر و غالباً به صورت برف و تگرگ بوده که گاهی سبب جاری شدن سیلاب‌هایی در آغاز فصل بهار می‌گردد.

دشت‌های پایین دست نواحی کوهستانی در شمال منطقه مورد مطالعه، از آب و هوای جلگه-

ای برخوردار بوده و زمین‌های زراعی محدود به این دشت‌ها می‌شوند و در ارتفاعات پوشش گیاهی بیشتر شامل گیاهان علفی، خار، بوته‌های گون و به ندرت انجیر کوهی است (شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱: تصویری از پوشش گیاهی در ارتفاعات کدکن (دید به سمت جنوب).

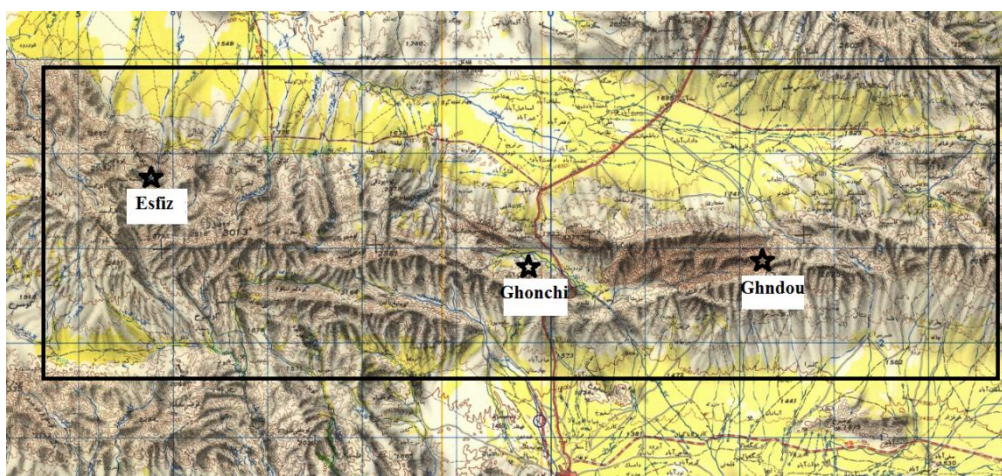
۴-۱ وضعیت معیشتی

در منطقه مورد مطالعه به علت داشتن آب و هوای مناسب و بالا بودن میزان بارندگی سالیانه و پوشش گیاهی مناسب، کشاورزی و باغداری از گسترش و رونق خوبی برخوردار است. شغل اصلی مردم این منطقه کشاورزی، دامپروری، فرش‌بافی با طرح‌های کاشمری و بلوچی است (رضازاده، ۱۳۸۹).

محصولات عمده این شهرستان گندم، جو، چغندر قند، سیفی جات، زعفران، و زیره سبز است و از محصولات باغی می‌توان انگور، آلو، سیب و بادام را نام برد. به لحاظ داشتن چراگاه‌های طبیعی در دشت‌ها و دامنه کوه‌ها، گوسفند و بز و گاو و شتر در آنجا پرورش داده می‌شود. هم‌چنین تولید ابریشم از دیرباز در این منطقه متداول بوده است. به دلیل وجود معادنی همچون معدن سنگ ساختمانی در پیشکوه (در حدود سه کیلومتری غرب شهر تربت حیدریه) و معادن کرومیت در کدکن و نوبهار و سنگ آهک در اسفیوخ برخی از اهالی به کار در این معادن مشغولند.

۵-۱ زمین‌ریخت‌شناسی

وضعیت ناهمواری‌های هر منطقه، تابعی از گسترش سازندهای مختلف، وضعیت تکتونیکی و میزان فرسایشی است که در منطقه صورت می‌گیرد. به طور کلی توپوگرافی منطقه خشن و دارای پستی و بلندی‌های زیادی است. به دلیل حضور گسل‌ها به ویژه گسل قوریچه، بخش شمالی و جنوبی محدوده مورد مطالعه مسطح و شامل زمین‌های کشاورزی و بخش میانی کوهستانی و تپه ماهور می‌باشد. در این منطقه رشته کوه‌ها با امتداد شرقی - غربی امتداد دارند و نام آن‌ها کوه شاهرود، شصت دره، کوه سرخ، سبزآباد، تیغ پایین و چهل تن می‌باشد. بلندی مرتفع‌ترین قله در کوه چهل تن، حدود ۳۰۱۳۳ متر است (شکل ۱-۳). سیستم آبراهه‌ای در این منطقه دندریتی می‌باشد.



شکل ۳-۰: نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه)

ریخت کوه‌های این منطقه بستگی به واحدهای سنگی تشکیل دهنده آن‌ها دارد. با توجه به اینکه اکثر سنگ‌های این منطقه از کنگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل، مارن و واحدهای سنگی آمیزه‌های رنگین تشکیل شده است هر جا که میزان شیل و مارن کمتر است، به علت مقاومت بیشتر سنگ‌ها در مقابل فرسایش، سطح زمین ریخت خشن‌تری دارد. در بخش‌هایی که میزان شیل و مارن افزایش می‌یابد، سطح زمین پست‌تر و ریخت زمین تپه‌ماهوری و کم شیب می‌گردد. (شکل ۱-۴) (خلقی خسرقی، ۱۳۷۵).



شکل ۴-۰: نمایی از زمین ریخت‌شناسی منطقه. الف) تناوبی از واحدهای سیلتستون و کنگلومرا که قسمت‌های نرم‌فرسا سیلتستون و قسمت‌های سخت‌فرسا کنگلومرا می‌باشد. CON = کنگلومرا، SST = سیلتستون. ب) کنگلومرای در منطقه قندو که ایجاد کوه شکسته کرده است.

۶-۱ تاریخچه معدن کاری

فعالیت‌های معدنی در رابطه با کانی‌سازی مس در منطقه تربت‌حیدریه به صورت فعالیت‌های قدیمه و آثار شدادی در چندین نقطه از طول توالی ماسه‌سنگی میزبان کانه‌زایی، به صورت حفر تونل‌هایی قابل مشاهده است. سرباره‌های ذوب در اطراف این کنده‌کاری‌ها دیده می‌شود (شکل ۶-۱).



شکل ۵-۰: آثار معدنکاری قدیمی (شدادی) و حفر ترانشه در معدن متروکه اسفیز. ب) نمایی از سرباره‌ها و آثار ذوب قدیمی در اطراف معدن قدیمی.

۷-۱ مطالعات انجام شده قبلی

مهم‌ترین مطالعات صورت گرفته در منطقه عبارتند از:

- برنامه‌ریزی اکتشافی مس نسر در جلگه رخ تربت حیدریه توسط موحد اول در سال ۱۳۵۲.
- تهیه نقشه مغناطیس‌سنجی هوایی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه توسط یوسفی و فریدبرگ در سال

۱۹۷۹.

- تهیه گزارش پی جویی پتاس در استان خراسان (سبزوار - نیشابور - تربت حیدریه) توسط سازمان زمین شناسی در سال ۱۳۷۰.

- تهیه گزارش نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه توسط واعظی پور در سال ۱۳۷۰.

- تهیه گزارش پرعیار سازی فلدسپات سنگ گرانیت منطقه تربت حیدریه توسط سازمان زمین شناسی در سال ۱۳۷۱.

- اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه ای انجام شده توسط شرکت چینی جیانگ چنگ با همکاری سازمان زمین شناسی کشور، طی سال های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۵ در محدوده گرمسار تا تربت حیدریه که شامل ۲۶ برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ بوده است. نتیجه این پروژه اکتشافی شناسایی بیش از ۵۰ آنومالی از عناصر مختلف بوده است. بر اساس نتایج این پروژه آنومالی هایی از عناصر طلا، نقره، آرسنیک، آنتی موان، تنگستن، مس، سرب و روی در مناطق تحت اکتشاف شناسایی شده است.

- تهیه نقشه و گزارش زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه تربت حیدریه توسط خلقی خسرقی در سال ۱۳۷۵.

- تهیه گزارش اکتشافات چکشی ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن توسط سازمان زمین شناسی کشور در سال ۱۳۷۷، که طی آن ۲۹۰ نمونه از نظر ژئوشیمی، اسپکتروگرافی و ... بررسی و آنومالی های مختلف معرفی شده است.

- تهیه نقشه و گزارش زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن توسط نادری میقان و ترشیزیان در سال ۱۳۷۷.

- تهیه نقشه و گزارش زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رباط سفید توسط سهندی و واعظی پور در سال ۱۳۸۸.

- پی جویی مواد معدنی با استفاده از داده های ماهواره ای در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن توسط درّی در سال ۱۳۷۷. در این مطالعه نواحی معدنی مربوطه به سه دسته عناصر شامل، دسته اول Au, Sb,

As, W, Co, Ni, Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, Co و دسته سوم Co, Ni, Cr شناسایی گردید.

- آغاز فعالیت‌های اکتشافی سیستماتیک و علمی گروه زرمهر در محدوده معادن کوه زر در سال ۱۳۷۷. در این منطقه نواحی معدنی طلا و عناصر همراه آن، روند شمالی جنوبی داشته و همه جا با توده‌های نفوذی اسیدی ائوسن همراه هستند.

- پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان مطالعات پترولوژی، ژئوشیمی و اکتشافات طلا در منطقه کوه زر تربت‌حیدریه توسط شیرزاده در سال ۱۳۸۱.

- مطالعه و بررسی پتانسیل‌های معدنی و تعیین الویت‌های اکتشافی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای آلتراسیون، ژئوشیمی و ژئوفیزیک در محدوده ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ رباط سفید توسط کریم پور و سعادت در سال ۱۳۸۵ که براساس نتایج تجزیه‌های شیمیایی در این منطقه، در مجموع عناصر آنتیموان، آرسنیک، جیوه، طلا، نقره، مس، مولیبدن، روی، سرب، قلع، تنگستن، استرانسیم، کبالت، نیکل، کروم ناهنجاری ژئوشیمیایی نشان می‌دهند.

- تهیه گزارش پی‌جویی مس رسوبی در محور کدکن- ششتمد (شمال تربت‌حیدریه) توسط سپهری‌راد در سال ۱۳۸۸ که منجر به شناسایی کانسار و اندیس‌های متعدد مس نوع رسوبی و آتشفشانی- رسوبی در این محدوده شده است.

- پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های الترامافیک کمپلکس افیولیتی شمال تربت‌حیدریه توسط صمدیه در سال ۱۳۸۹ که نشان می‌دهد بخش عمده سنگ‌های الترامافیک منطقه را سنگ‌های نوع هارزبرژیت تشکیل می‌دهند که حاوی کانی‌های ارتوپیروکسن، الیوین و کلینوپیروکسن می‌باشند.

- تهیه گزارش ژئوفیزیک هوایی شهرستان تربت‌حیدریه توسط قنبری در سال ۱۳۹۰.

- تهیه اطلس زمین‌شناسی و اکتشافی شهرستان تربت‌حیدریه توسط روشن‌روان در سال ۱۳۹۱.

- پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانسار کرومیت کوهی واقع در افیولیت‌ملانژهای رباط سفید (شمال شرق تربت‌حیدریه) توسط محمدزاده در سال ۱۳۹۱. با توجه

به مقادیر اکسیدهای اصلی، کانسار کرومیت در گسترده کانسارهای نوع انبانی مشتق شده از سری ماگمایی جزایر قوسی و سری ماگمایی بونینیتی در محیط زمین ساختی منطقه چند فرورانشی است. - تهیه گزارش مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی و پتانسیل‌های معدنی شهرستان تربت‌حیدریه توسط فیض در سال ۱۳۹۲. ژئوشیمی رسوبات رودخانه‌ای در ورقه تربت حیدریه در مجموع از عناصر Cu, Pb, Au, As, Sb, Zn, Cr, Ag, Hg آنومالی نشان داده است.

۸-۱ طرح مسئله و هدف از مطالعه

تاکنون مطالعات اندکی در خصوص توزیع و پراکندگی زون‌های کانی‌سازی و ژنز کانسارهای مس رسوبی در ایران و ویژگی‌های پترولوژیکی و ژئوشیمیایی سنگ‌های میزبان آن‌ها صورت گرفته است. هم‌چنین در منطقه مورد مطالعه، تنها گزارش اکتشافی توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور در سال ۱۳۸۸ تهیه و تدوین گردیده است.

منطقه مورد مطالعه واقع در شمال تربت حیدریه و اندیس‌های مختلف آن در پهنه ساختاری ایران مرکزی و زیر پهنه سبزوار واقع شده است. تاکنون مطالعات زیادی بر روی توان معدنی این منطقه صورت گرفته است. گزارش‌هایی از کانی‌سازی‌هایی در رابطه با افیولیت‌ها، کانی‌سازی طلای اپی‌ترمال، منگنز آتشفشانی رسوبی، مس نوع مسیوسولفید و ... موجود می‌باشد، ولی مطالعات جامعی در مورد کانسارهای مرتبط با سنگ‌های رسوبی در این منطقه صورت نگرفته است. وجود کانی‌سازی مس در ماسه‌سنگ قرمز رنگ الیگوسن در گستره‌ای بیش از ۶۵ کیلومتر و وجود کانسار و اندیس‌های متعدد در آن، پتانسیل بالای کانی‌زایی مس در این منطقه را نشان می‌دهد.

از این‌رو در این تحقیق تلاش گردیده است، تا ضمن شناسایی و پیگیری گسترش کانه‌زایی مس در شمال و شمال غرب تربت حیدریه و موقعیت استراتیگرافی آن، ویژگی‌های کانی‌شناسی، ساختی و بافتی، ژئوشیمیایی و فرآیندهای مؤثر در تشکیل آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد، ضمناً تیپ کانسار مورد مطالعه در مقایسه با تیپ‌های جهانی مس رسوبی، مشخص و معرفی گردد.

با توجه به ارزش اقتصادی بالای کانسارهای مس رسوبی در جهان، شناسایی این کانسارها و آثار معدنی موجود در منطقه و مطالعه آنها در جهت ارائه مدل و برنامه اکتشافی و نهایتاً فعال شدن بخش معدن و ایجاد اشتغال و کار سالم در این منطقه، از دیگر اهداف این تحقیق به شمار می‌آید.

۹-۱ روش مطالعه

جهت دستیابی به اهداف تعیین شده، روش تحقیق و مراحل اجرایی آن از ابتدا تا انتها به شرح زیر بوده است:

۱-۹-۱ گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع

نخستین اقدام در انجام این تحقیق، گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع بوده که به شرح زیر می‌باشد:

الف) تهیه و مطالعه کتاب‌ها و مقالات مختلف در زمینه ذخایر مس با میزبان رسوبی.

ب) گردآوری اطلاعات مربوط به منطقه مورد مطالعه شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی منطقه، تصاویر ماهواره‌ای با دقت بالا، جهت آشنایی کامل با زمین‌شناسی عمومی و تشکیلات موجود در منطقه.

ج) جمع‌آوری گزارش‌ها، مقاله‌ها و مطالعات قبلی انجام شده مرتبط با منطقه مورد مطالعه و نواحی اطراف آن.

۲-۹-۱ مطالعات صحرایی

مطالعات صحرایی در ۵ نوبت به مدت ۸ روز به شرح زیر صورت گرفت:

الف) بازدیدهای مقدماتی به منظور آشنایی هر چه بیشتر با کلیات زمین‌شناسی سازندهای مربوطه.

ب) تعیین واحدهای لیتولوژیک و رمز تقریبی آنها.

ج) شکل ماده معدنی و ارتباط کانی‌سازی با سنگ‌های درونگیر.

د) نمونه برداری لیتوژئوشیمیایی بیش از ۱۰۰ نمونه دستی بر مبنای تغییرات سنگ شناسی، کانی-شناسی، رنگ و بافت، به منظور مشخص کردن افق‌های کانه‌دار و ارتباط آن با کانه‌زایی، همراه با تغییرات عیار مس و دیگر عناصر همراه (نمونه برداری از ذخایر مس و سنگ میزبان‌های قرمز و سبز-خاکستری آن) که توسط دستگاه GPS تعیین مختصات شدند.

ه) تعیین مناطق دگرسان شده در محدوده مورد مطالعه.

۱-۹-۳ مطالعات دفتری و آزمایشگاهی

در این مرحله، پس از نمونه‌گیری با توجه به اهداف مطالعه، بر روی این نمونه‌ها مطالعات مختلف به شرح زیر صورت گرفت:

الف) پس از تهیه عکس از نمونه‌های دستی، تعداد ۴۲ مقطع میکروسکوپی نازک صیقلی به همراه ۱۰ مقطع نازک و ۳ مقطع صیقلی تهیه و از نظر بافت ماده معدنی، نحوه توزیع کانی‌ها در سنگ‌های درونگیر و پاراژنز کانه‌ها مورد مطالعه قرار گرفتند.

ب) تجزیه شیمیایی ۹ نمونه به روش پراش اشعه ایکس (XRD) به منظور مطالعه کانی‌شناسی بخش‌هایی از ماده معدنی در مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران وابسته به سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو).

ج) تجزیه شیمیایی ۱۸ نمونه به روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF) به منظور تعیین میزان عناصر اصلی و فرعی در سنگ‌های موجود در منطقه در شرکت ایمیدرو.

د) انجام ۲۹ نمونه آنالیز ژئوشیمیایی به منظور تعیین عناصر اصلی به روش ICP-OES در آزمایشگاه شرکت ایمیدرو با حمایت مالی این شرکت.

ه) تعداد ۲ مقطع میکروسکوپی نازک-صیقلی جهت مطالعات الکترون مایکروپروب (EPMA)، بافت و پاراژنز کانه‌ها.

۹-۴ تجزیه و تحلیل داده‌ها

- استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری (نظیر Arc GIS و Global Mapper برای ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی، Excel، Spss، GCD kit و ... برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از تجزیه نمونه‌ها).
- پردازش، تجزیه و تحلیل و تلفیق داده‌های حاصل از بررسی‌های صحرایی، مطالعات مقاطع میکروسکوپی و داده‌های ژئوشیمیایی.
- تلفیق داده‌های فوق‌الذکر با نتایج حاصل از مراحل قبلی و داده‌های حاصل از مطالعه مقالات و کتب مربوطه، به منظور ارائه مدل کانه‌سازی در منطقه و نیز مقایسه‌ی این کانه‌زایی با نهشته‌های مشابه در جهان و در نهایت نگارش پایان‌نامه.

۱۰-۱ رده‌بندی کانسارهای مس

مس عمدتاً در ذخایر گرمابی یافت می‌شود. اگرچه ذخایر ماگمایی و سوپرژن نیز به طور موضعی از اهمیت بالایی برخوردارند (باون^۱ و گوناتلیک^۲، ۱۹۹۷). مهم‌ترین ذخایر گرمابی مس، ذخایر مس پورفیری هستند که در اطراف نفوذی‌هایی که تغذیه‌کننده آتشفشان‌ها می‌باشند، به وجود آمده‌اند (تیتلی^۳ و بین^۴، ۱۹۸۱). مشخصات کلی انواع کانسارهای مس در جدول (۱-۱) آورده شده است.

جدول ۱-۰: مشخصات مهم‌ترین کانسارهای مس در دنیا (شهاب پور، ۱۳۸۴؛ کریم پور و سعادت، ۱۳۸۴؛ کاکس^۵ و همکاران، ۲۰۰۷).

نوع کانسار	شکل و ساختار	عیار مس
کانسارهای ماگمایی	طبقات تفریقی ماگمایی توده‌های نفوذی و رگه‌های ماده معدنی چسبیده به کانسار	۱-۲ درصد
کانسارهای با میزبان کربناتی (تیپ کپیوشی)	مجموعه کانی‌های مس در سنگ‌های کربناتی - رگه‌های باریک مواد معدنی مس انتشاری در کربنات‌ها	۰/۶۸ درصد
کانسارهای اسکارنی	لایه‌ها و رگه‌های اسکارن در مجاورت سنگ‌های گرانیتی - آهکی	۲ الی ۸ درصد

-
- 1- Bowen
 - 2 -Gunatilak
 - 3 -Titley
 - 4- Beane
 - 5- Cox

اولیه: ۰/۲ تا ۰/۷ درصد ثانویه: ۱ تا ۱/۵ درصد	انتشاری و رگه ای در سنگ‌های نفوذی پورفیری (گرانودیوریت-مونزونیت)	کانسارهای گرمابی با منشاء پلوتونی: کانسارهای پورفیری
۰/۶ - ۴ درصد	به شکل رگه در شکاف و بریدگی طبقات	کانسارهای گرمابی با منشاء پلوتونی - کانسارهای رگه ای
بسیار کم عیار	رگه های باریک معدنی	کانسارهای گرمابی با منشاء آتشفشانی
۳ الی ۵ درصد	توده‌ای و متراکم، گاهی رگچه‌ای انتشاری	کانسارهای سولفید توده‌ای
۰/۶ - ۴ درصد	لایه‌ای موازی با شیب سایر لایه‌ها	کانسارهای چینه‌سان یا مس رسوبی
۴ درصد	به صورت چینه کران در سنگ های آتشفشانی یا آتشفشانی-رسوبی	کانسارهای میشیگان یا آتشفشانی لایه های سرخ
	رگه ای، برشی و افشان	کانسارهای IOCG

۱۱- ذخایر مس در سنگ میزبان رسوبی

این ذخایر مهم‌ترین منبع کبالت دنیا (کمر بند آفریقای مرکزی) بوده و تولید کننده مهم محصول جانبی نقره به شمار می‌آیند. عیار بیشتر کانسارهای بهره‌برداری شده یا در دست بهره‌برداری، از ۱/۸ الی ۵ درصد متغیر است. اغلب این تیپ کانسارها در شیل‌های آهکی احیاء شده پیریتی غنی از مواد آلی یا هم ارز دگرگونی آن‌ها و مابقی در ماسه سنگ‌ها یافت می‌شوند. سنگ‌های میزبان این کانسارها، در رسوبات فاقد اکسیژن (Anoxic) مناطق پارالیک (Paralic) دریایی (یا رسوبات دریاچه‌ای شور بزرگ مقیاس که بلافاصله بر روی رسوبات تخریبی قاره‌ای قرمز رنگ و اکسیدی واقع شده‌اند)، یافت می‌شوند (هیتزمن^۱ و همکاران، ۲۰۱۰).

این نوع نهشته‌ها در توالی‌های سنگی مربوط به پس از نخستین ظهور لایه‌های قرمز (۲۴۰۰ میلیون سال) قرار دارند. سن آن‌ها معمولاً تا عصر حاضر نیز می‌رسد. مهم‌ترین و فراوان‌ترین این نهشته‌ها، در تشکیلات پروتروزوئیک بالایی و پالئوزوئیک بالایی قرار دارند. آن‌ها معمولاً در نواحی خشک و نیمه خشک محیط‌های کافتی قاره‌ای، حداکثر تا عرض ۲۰ الی ۳۰ درجه از دیرینه استوا (paleoequator) تشکیل شده‌اند (براون^۲، ۱۹۹۷).

1- Hitzman
2 - Brown

در بسیاری از مناطق سنگ‌های درونگیر این کنسارها حاوی میان لایه‌هایی از سنگ‌های تبخیری هستند. در مرز اکسایش، کاهش توالی بالا رونده کانی‌ها در منطقه مینرالیزه، شامل تمامی کانی‌های هماتیت، مس خالص، کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و پیریت یا برخی از آنهاست. این کانی‌ها در مناطق کانیاپی که به سمت بالا و بیرون با یکدیگر هم‌پوشی دارند، یافت می‌شوند. این نوع کنسارها به تیپ کوپفرشایفر^۱ نیز معروف هستند (براون، ۱۹۹۷؛ هیتزمن و همکاران، ۲۰۱۰). مناسب‌ترین نام که تا حال برای آنها بیان شده است، کنسار مس چینه‌سان با سنگ میزبان رسوبی است (Sediment-hosted stratiform copper deposits: SSCD). این کنسارها یکی از مهم‌ترین منابع مس جهان محسوب می‌شوند (هیتزمن و همکاران، ۲۰۱۰).

عیار ثابت و تداوم افقی، این کنسارها را یکی از منابع خیلی مهم برای اکتشاف مس و سایر عناصر همراه نموده است. این کنسارها می‌توانند دارای عیار بالایی از کبالت، روی و نقره نیز باشند. هم‌چنین می‌توان منابع عظیم طلا، اورانیوم، عناصر گروه پلاتین (PGE) و عناصر نادر خاکی (REE) را به عنوان محصول فرعی از این ذخایر استخراج نمود. کنسارهای مس رسوبی، پس از کنسارهای پورفیری، دومین تولیدکننده مس جهان هستند که ۲۵ الی ۳۰ درصد مس مورد نیاز جهان را تأمین می‌کنند. اغلب این ذخایر در کمربند مس آفریقا واقع می‌باشد. تناژ این کنسارها از ۱ الی ۱۰۰۰ میلیون تن متغیر است (براون، ۱۹۹۷).

۱-۱۲ ویژگی‌های مهم کنسارهای مس چینه‌سان با سنگ میزبان رسوبی

مهم‌ترین ویژگی‌های کنسارهای مس چینه‌سان با سنگ میزبان رسوبی عبارتند از:

- (۱) حضور مناطق مس‌دار مهم، و به طور استثنایی سرب و روی و هم‌چنین سایر فلزات نظیر نقره و کبالت که نشان از اهمیت اقتصادی بالای این کنسارها دارد.
- (۲) وجود آنها در سنگ‌های رسوبی بدون نیاز به فعالیت اساسی آذرین و دگرگونی.

1 - Kupferschiefer

- (۳) شکل تقریباً هم شیب و چینه‌سان پهنه مس‌دار.
- (۴) امتداد جانبی کانه‌زایی در لایه‌بندی.
- (۵) وفور سولفیدهای فلزی پراکنده در سنگ میزبان.
- (۶) توزیع منطقه‌ای فلزات و کانه‌ها.
- (۷) رسوبات میزبان که با عوامل احیاء کننده و سولفیدهای فراوان به طور سین‌دیاژنتیکی^۱ جهت ورود مس آماده شده‌اند.
- (۸) وجود ضخامتی مناسب از رسوبات تخریبی درشت‌دانه، نفوذپذیر و قرمز رنگ در زیر منطقه مس‌دار.
- (۹) وجود یک واحد رسوبی مربوط به محیط‌های گرم و خشک (مانند واحدهای تبخیری و قرمز رنگ).
- (۱۰) زمان سنجی مس، زمان پس از رسوب‌گذاری و دیاژنز را نشان می‌دهد.
- (۱۱) رسوب‌گذاری مس از محلول‌های غنی از کلرید در افق تقاطع بین رسوبات قرمز زیرین و لایه‌های خاکستری سولفیددار.
- (۱۲) ارتباط مکانی با حوضه‌های ریفتی پرشده با رسوبات قرمز قاره‌ای.
- آخرین ویژگی در سال‌های اخیر بیشتر مورد ارزیابی قرار گرفته است و هنوز به اطلاعات اساسی نیاز دارد. از وابستگی موضعی این کانسارها با ریفت‌های قاره‌ای و نیز جانشینی مس در رسوبات پرکننده ریفت می‌توان پیشنهاد داد که مکانیزم‌های تشکیل ذخیره می‌تواند اساساً با توسعه و تکامل طبیعی حوضه مرتبط باشد (رز^۲، ۱۹۷۶؛ هیتزمن، ۲۰۰۰؛ لوریه^۳، ۱۹۸۶؛ کرخام^۴، ۱۹۸۹؛ براون، ۱۹۹۲، ۲۰۰۵، ۲۰۰۹).

1 - Syndiagenetic

2 - Rose

3 - Lur'ye

4 - Kirkham

۱-۱۳ توزیع زمانی و مکانی کانسارهای مس چین‌سان با سنگ میزبان رسوبی

از میان کانسارهای مس رسوبی، چند نمونه از جمله مهم‌ترین و شاخص‌ترین آن‌ها که کارهای مطالعاتی گسترده‌ای روی آن صورت گرفته است (شکل ۱-۶)، عبارتند از:

(۱) **کانسار کوپفرشیفر:** این تیپ کانسار به طور عمده در لهستان و آلمان واقع بوده و تا هلند و انگلستان نیز کشیده شده است. سنگ‌شناسی عمده آن از نوع شیل کربناته، کربنات و ماسه سنگ می‌باشد. این کانسار در محدوده زمانی بین پرمین فوقانی تا تریاس میانی تشکیل شده است (اوسزچپالسکی^۱، ۱۹۹۹؛ واگنر^۲ و همکاران، ۲۰۱۰).

(۲) **کمربند مس مرکزی آفریقا:** کمربند مس مرکزی آفریقا از دو کمربند زئیر و زامبیا تشکیل شده است.

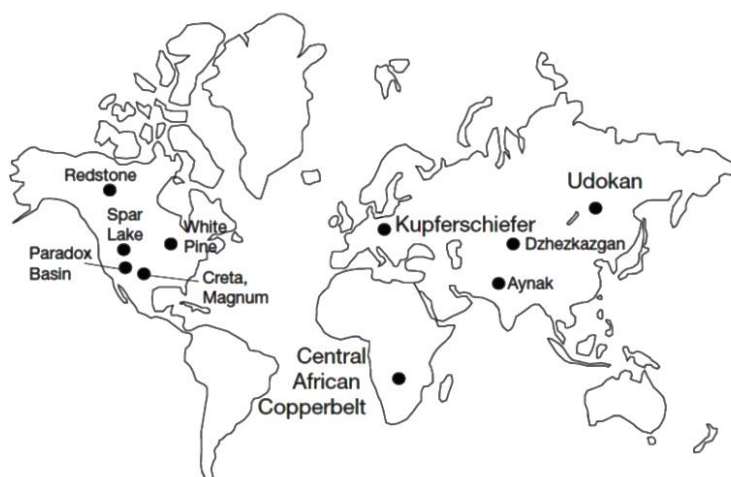
(الف) **کمربند زئیر (Kamoto):** این کمربند فلززایی به طور عمده از دولومیت، شیل کربناته و دولومیت تشکیل شده است و زمان تشکیل آن به پروتروزوئیک محدود می‌گردد (ال دسالکی^۳ و همکاران، ۲۰۰۷).

(ب) **کمربند زامبیا (Nchanga):** این کمربند به طور عمده از ماسه‌سنگ، آرژیلیت و دولومیت تشکیل شده است و زمان تشکیل آن به پروتروزوئیک محدود می‌گردد (انلس^۴ و سیموند^۵، ۱۹۸۴؛ کی‌ال تز^۶ و همکاران، ۲۰۰۵).

(۳) **کانسار مس وایت پاین (White pine):** این کانسار در ایالات متحده آمریکا واقع شده است. سنگ‌شناسی عمده آن از نوع سیلت، شیل کربناته و ماسه‌سنگ می‌باشد (براون، ۱۹۷۱؛ چارترند^۷ و براون، ۱۹۸۵؛ کاکس و همکاران، ۲۰۰۷).

1 - Oszczeplaski
2 - Wagner
3 - El Desouky
4 - Annels
5 - Simmonds
6 - Cailteux
7 - Chartrand

- (۴) پهنه فلززایی مس رسوبی **Troy (Spar lake)**: این پهنه در ایالت مونتانا آمریکا واقع شده و به طور عمده از کوارتزیت آرژیلیتی تشکیل شده است (اماتو^۱، ۱۹۸۶؛ کاکس و همکاران، ۲۰۰۷).
- (۵) **کانسار مس Red Stone**: این کانسار در کانادا بوده و از نظر سنگ‌شناسی از آهک دولومیتی پرکامبرین تشکیل شده است (رز، ۱۹۷۶؛ ۱۹۸۹).
- (۶) پهنه فلززایی مس رسوبی **Igarka**: این پهنه فلززایی در ازبکستان واقع بوده و شامل کانسارهای Dzhilandi، Dzheskazgan، Donbass و Mansfeld می‌شود. کانسارهای فوق‌الذکر عمدتاً از ماسه‌سنگ و کربنات به سن دونین تشکیل شده است (لوریه، ۱۹۸۶؛ باگدانو^۲ و بریلاند خازونی-کاو^۳، ۱۹۹۰).
- (۷) **کانسار بزرگ Udokan**: این کانسار در ناحیه سیبری روسیه واقع بوده و از لحاظ سنگ‌شناسی شامل ماسه‌سنگ‌های مختلف نظیر آرکوز و متاآرنایت به سن پروتروزوئیک می‌باشد (لوریه، ۱۹۸۹؛ باگدانو و بریلاند خازونی‌کاو، ۱۹۹۰).



شکل ۶-۰: نقشه توزیع و پراکندگی نهشته‌های مس چینه‌سان با سنگ میزبان رسوبی (براون، ۱۹۹۷؛ هیتزمن و همکاران، ۲۰۱۰).

1 - Ohmoto
2 - Bogdanove
3 - Berlyand kozhevnikov

۱-۱۴ فازهای کانی‌سازی مس در ایران:

در ایران آثار و نشانه‌های معدنی مس را از پروتروزوئیک پسین تا پلیوسن می‌توان ردیابی نمود، اما بیشتر ذخایر مس در ترشیری و به ویژه الیگومیوسن تشکیل شده‌اند (قربانی، ۱۳۸۱). به طور کلی فازهای کانی‌سازی مس در ایران به شرح زیر است:

پرکامبرین پسین - کامبرین پیشین: در این برهه زمانی کانسار قابل توجهی از مس شناخته نشده است. ولی چند اثر معدنی در ناحیه یاسوج و شهرکرد در سنگ‌های کامبرین پیشین دیده شده است که از نظر اقتصادی حائز اهمیت نیستند (قربانی، ۱۳۸۱).

پالئوزوئیک پسین: همراه با برخی از سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک پسین مانند سری تکنار (کانسار سولفید توده‌ای تکنار) آثار و شواهدی از مس شناخته شده است (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۳).

ژوراسیک - کرتاسه: نشانه‌های متعدد مس در سنگ‌های رسوبی - تخریبی ژوراسیک - کرتاسه در ناحیه وسیعی از جنوب راور تا شمال طبس به چشم می‌خورد (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین در این دوره، کانسار مس جیان در بوانات با سن ژوراسیک زیرین قابل ذکر است (موسیوند، ۱۳۸۲).

کرتاسه - پالئوسن: همراه با مجموعه افیولیتی کرتاسه - پالئوسن شواهدی از ذخایر سولفید توده - ای در ایران شناخته شده است، مانند نشانه معدنی مس در ناحیه حاجی‌آباد بندر عباس (قربانی، ۱۳۸۱)، و کانسار مس شیخ عالی در جنوب شرق بافت (منظمی میرعلیپور، ۱۳۷۷). کانسار نوده و نشانه‌های معدنی جنوب غرب سبزوار (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۰)، نیز مربوط به این دوره زمانی می‌باشند.

ترشیری: بیشتر ذخایر مس ایران در بازه زمانی ترشیری تشکیل شده‌اند. اغلب این ذخایر وابستگی تنگاتنگی با سنگ‌های ماگمایی ترشیری دارند و از نوع پورفیری، اسکارن و رگه‌ای می‌باشند.

۱-۱۵ پراکندگی ذخایر مس ایران

بر پایه نقشه پراکندگی کانسارهای مس ایران و مقایسه آن‌ها با نقشه‌های سنگ‌های ماگمایی ایران با مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ (آقانباتی، ۱۳۷۰) و ۱:۱۰۰۰۰۰ (امامی و دیگران، ۱۳۷۲)، می‌توان ذخایر مس ایران را به شکل زیر پهنه‌بندی کرد (قربانی، ۱۳۸۱):

- ارومیه- دختر که خود از نظر ذخایر مس به بخش جنوبی (ناحیه کرمان)، مرکزی (انارک- کاشان) و شمالی قابل تقسیم است.

- پهنه البرز باختری (محور طالقان- تارم- هشتجین)

- پهنه سبلان (باختر اردبیل- ناحیه اهر)

- پهنه کویر- سبزوار (بینالود و تکنار)

- پهنه لوت

- پهنه مکران

(۱) **پهنه ارومیه- دختر:** سنگ‌های جاگرفته در پهنه ماگمایی ارومیه- دختر، به گونه‌ای شاخص، ترکیبی از دیوریت تا گرانودیوریت و گرانیت می‌باشند و سنی از ائوسن تا میوسن دارند. در مورد خاستگاه این سنگ‌ها اتفاق نظری وجود ندارد. گروهی از پژوهشگران آن را کمان ماگمایی و گروهی دیگر آن را کافت می‌دانند و دسته‌ای نیز کمان جزیره‌ای را باور دارند. در مورد کانی‌سازی مس در این پهنه، باید گفت تنها قسمت جنوبی این پهنه (ناحیه کرمان) از نظر کانی‌سازی مس پرمایه است. بخش شمالی و مرکزی آن در این راستا نمود چندانی ندارند. در حقیقت، ناحیه کرمان خود یک کمربند مس‌دار را با درازای حدود ۶۰۰ کیلومتر و پهنای ۷۰-۴۰ کیلومتر با روند شمال غربی- جنوب شرقی تشکیل می‌دهد، که از شهر بابک شروع و تا ناحیه بزمان ادامه می‌یابد. در این کمربند، بیش از ۳۰۰ کانسار و نشانه معدنی مس شناخته شده که بیش از ۲۰ مورد آن‌ها، شواهدی از مس پورفیری نشان می‌دهند. البته قابل توجه است که در این پهنه، از جنوب به سمت شمال از فراوانی کانسارهای مس کاسته می‌شود و مواد معدنی دیگری مانند آهن، سرب و روی فراوان تر می‌شوند.

۲) **محور طالقان - تارم - هشتجین:** در ناحیه تارم، ذخایر نسبتاً زیادی از مس وجود دارد. همه کانسارها و نشانه‌های معدنی ناحیه تارم، در پیوند با سنگ‌های آتشفشانی (بیشتر آندزیت) ائوسن و به ویژه توده‌های نفوذی تونالیتی تا گرانیتی ائوسن است. این سنگ‌ها در ناحیه تارم، بیشتر بی‌هنجاری‌هایی از مس نشان می‌دهند.

توده‌های نفوذی گرانیتی منطقه تارم از نوع گرانیت تیپ I است، که با کانی‌سازی گسترده آهن و مس همراه است. در منطقه طالقان همراه با مونزونیت‌ها و سنگ‌های آتشفشانی (به ویژه تراکیت‌ها) که گرایش آلکالن دارند، تعدادی کانسار و نشانه معدنی مس وجود دارد که بیشتر کانی‌های مس آن‌ها از نوع کربناتی است.

۳) **پهنه سبلان (ناحیه اهر):** ناحیه اهر را از نظر ساختاری و کانی‌سازی مس، می‌توان پهنه مس‌دار سبلان نامید، که از نظر کانی‌سازی مس بسیار در خور توجه است و کانسارهای بسیاری از مس را در خود جای داده است. ادامه این پهنه در شمال، کانسارهای مس و مولیبدن ارمنستان را تشکیل داده است.

کانی‌سازی مس ناحیه اهر یا به طور کلی پهنه سبلان، دارای خاستگاه ماگمایی است که به شکل‌های مختلفی کانسارها و نشانه‌های معدنی مس را تشکیل داده‌اند.

۴) **پهنه کویر - سبزوار (بینالود و تکنار):** این پهنه در شمال گسل درونه، جنوب گسل میامی و جنوب کوه‌های بینالود قرار دارد و تعدادی کانسار و نشانه معدنی مس همراه با سنگ‌های آتشفشانی ترشیری در آن وجود دارند. این کانسارها بیشتر از نوع مس رگه‌ای همراه سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و بازالتی است.

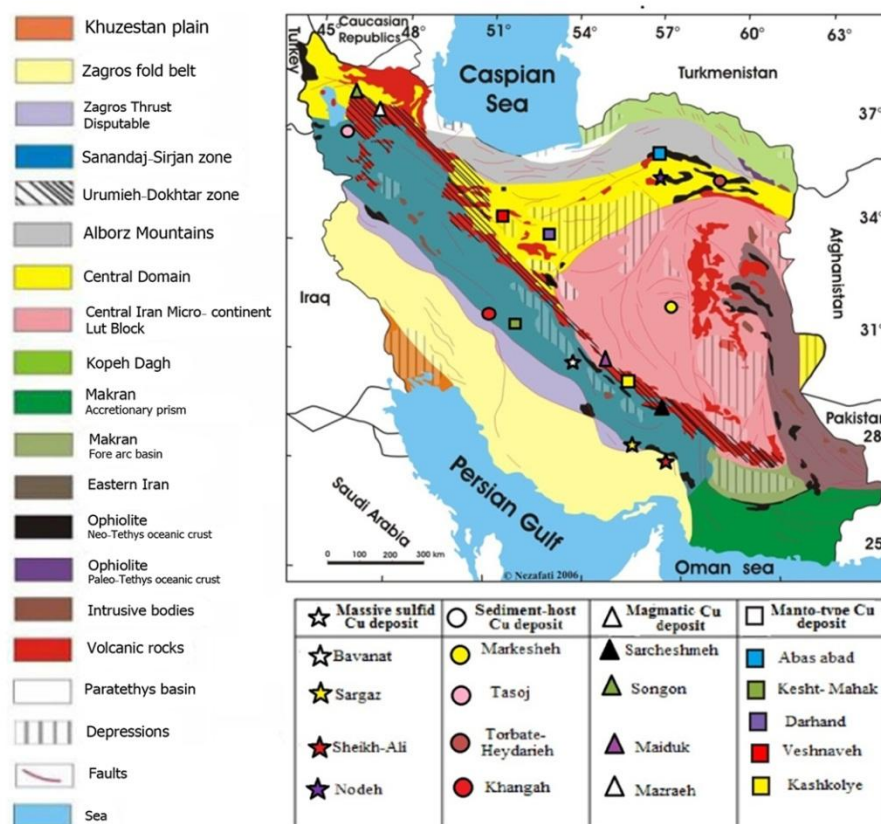
۵) **پهنه لوت:** پهنه لوت، همواره با سنگ‌های آتشفشانی ترشیری، تعداد نسبتاً زیادی کانسار و نشانه معدنی مس شناخته شده است. این کانسارها، بیشتر با سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی پهنه لوت در پیوند هستند که مهم‌ترین آن‌ها کانسار مس قلعه زری است.

۶) **پهنه مکران:** در شمال غربی پهنه مکران و در جنوب و جنوب غرب جازموریان، نواری از

کانی‌سازی مس دیده می‌شود که این نوار، روند شمال غربی - جنوب شرقی دارد. البته این نوار در شمال غرب مختار آباد، روند شرقی - غربی دارد ولی به منطقه فاریاب که می‌رسد، روند آن شمال غربی - جنوب شرقی می‌شود.

۱۶-۱ انواع تیپ‌های کانه‌زایی مس در ایران

مهم‌ترین کانسارهای مس شناخته شده در ایران، کانسارهای پورفیری و اسکارنی هستند که برخی از این کانسارها مانند سرچشمه، میدوک و سونگون شهرت جهانی دارند. از دیگر تیپ کانسارهای مس در ایران کانسارهای سولفید توده‌ای، کانسارهای گروه میشیگان یا کویناوی و کانسارهای مس با میزبان رسوبی هستند (شکل ۱-۷). تنها گروه کانساری که در ایران تا کنون شناسایی نشده است، کانسارهای مس ماگمایی است. در زیر شرح مختصری از انواع تیپ‌های مختلف کانساری مس در ایران ارائه می‌شود:



شکل ۷-۰: نقشه پهنه‌های ساختاری (بر اساس آقائباتی، ۱۳۸۳ و علوی، ۱۹۹۴) و موقعیت ذخایر تیپ‌های مختلف مس.

۱-۱۶-۱ کانسارهای مس ماگمایی - هیدروترمال (پورفیری، اسکارن و رگه‌ای)

این گروه کانسارها در ایران و مخصوصاً در پهنه ارومیه- دختر که مهم‌ترین پهنه ولکانوپلوتون ایران را تشکیل می‌دهد به تعداد فراوانی کشف شده‌اند. بزرگ‌ترین معادن مس ایران یعنی سرچشمه، سوئگون و میدوک که در این پهنه واقع شده‌اند، در این گروه دسته‌بندی می‌شوند. هم‌چنین از جمله این کانسارها در شرق ایران می‌توان به کانسار ماهرآباد اشاره نمود (ملکزاده و همکاران، ۱۳۸۸). مطالعات گسترده‌ای بر روی این تیپ کانه‌زایی در ایران مخصوصاً در ناحیه کرمان، از قدیم تا کنون صورت گرفته است (شفیعی و همکاران، ۲۰۰۹؛ واترمن و همیلتون، ۱۹۷۵).

۱-۱۶-۲ کانسارهای مس سولفید توده‌ای

این گروه کانسار در دنیا یکی از مهم‌ترین گروه کانساری مس و سرب و روی را تشکیل می‌دهد. در ایران تقریباً تمامی کانسارهای مس سولفید توده‌ای شناسایی شده‌اند، که به طور عمده در پهنه سنج- سیرجان قرار گرفته‌اند. این کانسارها در حوضه‌های کششی موجود در محیط‌های مختلف زمین ساخت ایجاد می‌شوند. در ایران، این تیپ کانسارها در کشش‌های ایجاد شده در محیط کمربند ماگمایی مزوزوئیک سنندج- سیرجان نیز ایجاد شده‌اند (موسیوند، ۱۳۸۹). تیپ‌های مس‌دار شناسایی شده از این گروه در ایران شامل کانسار مس- روی (سرب) تیپ بشی بوانات در کمپلکس دگرگون شده سوریان (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۱)، کانسار مس- روی (سرب) تیپ نوراندا سرگز (بدرزاده و همکاران، ۱۳۸۹) در زیرپهنه سرگز- متاع، کانسار مس- روی تیپ قبرسی شیخ عالی (منظمی میرعلیپور، ۱۳۷۷) و قزل‌داش (بشارتی و همکاران، ۱۳۸۵) می‌باشند.

۱-۱۶-۳ کانسارهای گروه مس با میزبان رسوبی

این گروه کانسارها نیز در ایران شناسایی شده‌اند، که عمدتاً دارای سنگ میزبان تخریبی هستند. تشکیل این کانسارها تحت تأثیر فرآیندهای رسوبی- دیاژنزی صورت گرفته است (هیتزمن و همکاران،

۲۰۰۵). کانسارهای شناسایی شده از تیپ لایه‌های سرخ (Redbed) در ایران شامل کانسار مارکشه در کرمان (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶)، کانسار تازه‌کند در شمال تبریز (عنایتی کولایی و همکاران، ۱۳۹۰)، کانسار تسوج در آذربایجان شرقی (رجب‌پور و همکاران، ۱۳۹۲) و کانسارها و نشانه‌های معدنی واقع در شمال - شمال غرب تربت‌حیدریه در خراسان رضوی (سپهری راد، ۱۳۸۸) می‌باشند.

۱-۱۶-۴ کانسارهای گروه میشیگان یا کویناوی یا مانتو (آتشفشانی - لایه سرخ)

کانسارهای گروه مانتو در ایران به طور عمده دارای سنگ میزبان با سن ائوسن پسین هستند (سامانی، ۱۳۸۱). کانسارهای موجود در منطقه عباس آباد شاهرود، یکی از مهم‌ترین این کانسارها در ایران را شامل می‌شوند (کرخام، ۱۹۹۶؛ خادم، ۱۹۶۴). کانسارهای کشت محکی (بویری کناری، ۱۳۸۹)، قبله بولاغ (بهزادی، ۱۳۷۳) و وشنویه (مهرابی و فاضلی، ۱۳۸۰) نیز در این گروه قرار می‌گیرند. به جز کانسار کشت محکی که در پهنه سندرگ - سیرجان واقع است و سن کانه‌زایی در آن مربوط به کرتاسه است، سایر کانسارهای گروه مانتو شناسایی شده در ایران دارای سن ائوسن هستند.

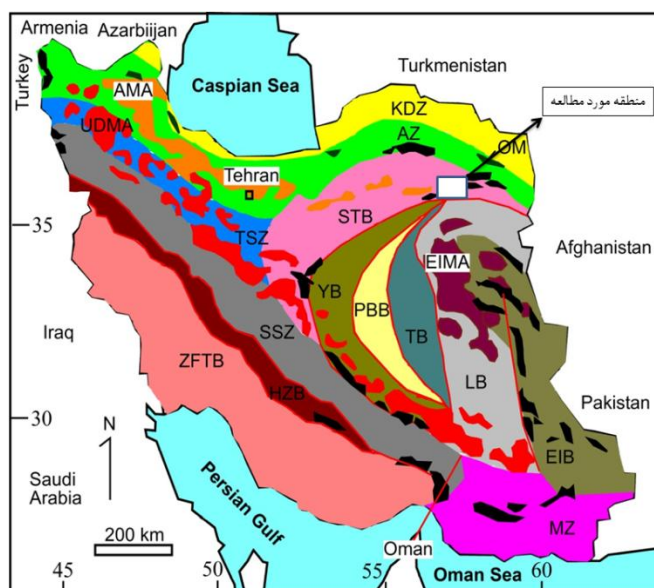
فصل دوم

زمین شناسی ناحیه ای

۱۷-۱ مقدمه

سرزمین ایران، از نظر زمین شناسی، به واحدهای مختلفی تقسیم شده است. حد مرز این واحدهای ساختاری-رسوبی، اغلب توسط گسل‌های بزرگ و مهم مشخص می‌گردد. به علاوه، بسیاری از آنها در طول تکامل و فعالیت خود، نقش آفرین پدیده‌هایی بوده‌اند که حاصل آنها در رخساره‌های سازندهای مختلف چینه شناسی ایران به خوبی مشاهده می‌گردد (آقاباتی، ۱۳۸۳).

بر اساس تقسیمات تکتونیکی-رسوبی ایران زمین (علوی، ۱۹۹۱؛ آقاباتی، ۱۳۸۳) منطقه مورد مطالعه در پهنه ساختاری ایران مرکزی و زیر پهنه سبزوار واقع شده است (شکل ۱-۲). با توجه به این امر، ویژگی‌های این بلوک در زیر به اختصار ذکر می‌گردد.



شکل ۸-۰: جایگاه پهنه سبزوار در خردقاره ایران مرکزی (آقاباتی، ۱۳۸۳؛ علوی، ۱۹۹۱) و موقعیت منطقه مورد مطالعه.

۱۸-۱ ویژگی‌های پهنه ساختاری خرد قاره ایران مرکزی در ترشیری

حوضه فروافتاده ایران مرکزی یکی از واحدهای اصلی و عمده‌ای می‌باشد که به شکل مثلث در مرکز ایران قرار دارد و جزء بزرگترین و پیچیده‌ترین واحد زمین‌شناسی محسوب می‌شود که در بین سه زون زمین‌ساختی البرز در شمال، لوت در شرق و زاگرس در جنوب و جنوب‌غرب، واقع شده است.

(درویش زاده، ۱۳۸۱). به اعتقاد کازمین^۱ و تیخونوف^۲ (۲۰۰۸)، این حوضه از کرتاسه تا پالئوژن، دچار فروافتادگی ناشی از حوضه‌های کششی پشت کمانی بوده است. به طوریکه ادامه این حوضه پشت کمانی را می‌توان تا مناطق دورتر، نظیر افغانستان و یا حتی پامیر دنبال کرد.

در ایران مرکزی، به جز نواحی جندق، یزد و نائین که چین‌خوردگی لارامید عملکرد ضعیفی داشته، در سایر نواحی این پهنه، توالی‌های پالئوسن به طور عمده نهشته‌های کنگلومرایی و ماسه‌سنگی است، که به طور دگرشیب و گاه هم‌شیب، سنگ‌های کهن‌تر را می‌پوشانند. سنگ‌های ائوسن ایران مرکزی دو خاستگاه متفاوت دارند. در کمان ماگمایی ارومیه- بزمان و در گستره‌های وسیعی از ایران مرکزی و بلوک لوت، سنگ‌های ائوسن، روانه یا خاکسترهای آتشفشانی ستبری است که در محیط‌های آبی و یا خشکی شکل گرفته‌اند. ولی، در حاشیه قاره‌ها فرسایش بلندی‌های حاصل از چین‌خوردگی لارامید، موجب نهشت سریع توالی‌های فلیش گونه با ستبرای زیاد شده است. حرکات کوهزایی ائوسن پایانی (رخداد پیرنئن) موجب تشکیل حوضه‌های رسوبی کم عمق قاره‌ای شده، به همین دلیل نهشته‌های الیگوسن ایران مرکزی آواری‌های سرخ رنگ قاره‌ای است که تقریباً فاقد فسیل بوده یا فسیل‌های شاخص ندارند. لذا، به جز چند مورد، سن این نهشته‌ها، از روی موقعیت چینه‌شناسی آن‌ها تعیین شده است.

گانسر^۳ (۱۹۵۵) برای ردیف‌های الیگوسن ایران مرکزی نام سازند سرخ پایینی را پیشنهاد کرده است. در الیگوسن بالایی، در بخش غربی ایران مرکزی، شواهدی از یک پیشروی دریایی وجود دارد که تا میوسن پیشین دوام داشته است. به سنگ آهک‌های این دریای پیشرونده سازند قم گفته شده، که بیشتر جاها سن الیگوسن- میوسن دارد. به دنبال رویداد میوسن میانی (استیرین)، دریا از بخش غربی ایران مرکزی پسروی کرده و به جای آن حوضه‌های رسوبی قاره‌ای در اغلب نقاط ایجاد شده است. این نهشته‌ها که اکنون در بیشتر گودی‌های مرکز، شمال غرب و شرق ایران قرار دارند، سازند سرخ بالایی

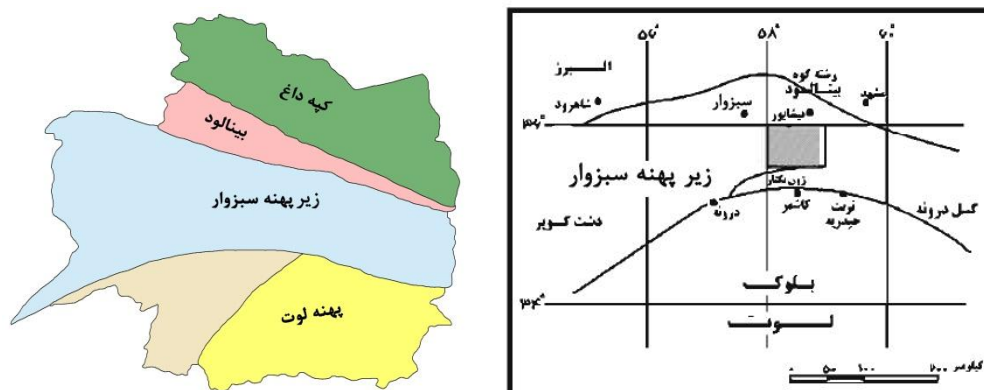
1- Kasmin

2- Tikhonova

3 - Gansser

نام دارند (آقاباتی، ۱۳۸۳).

از لحاظ موقعیت تکتونیکی، این منطقه در بخش جنوبی زیرپهنه تکتونیزه سبزوار قرار گرفته است. زیرپهنه سبزوار از زیر پهنه‌های ساختاری بزرگ ایران مرکزی می‌باشد. این ناحیه بین دو گسل بزرگ درونه (در جنوب) و گسل بینالود (در شمال) واقع شده است. این زیرپهنه از شمال با زیرپهنه بینالود و از جنوب با زیرپهنه بلوک لوت در ارتباط است (شکل ۲-۲). این ارتباط تکتونیکی و گسله می‌باشد (لیدنبرگ^۱ و همکاران، ۱۹۸۳).



شکل ۹-۰: پهنه‌بندی خراسان رضوی و موقعیت زیر پهنه سبزوار در ایران مرکزی (حیدری و مناف نژاد، ۱۳۷۸).

به گفته برخی از مؤلفین، در کرتاسه بالایی، بر اثر هم‌گرایی بلوک لوت و خرده بلوک‌های مجاور آن با البرز شرقی در ناحیه بینالود، حوضه سبزوار که شاخه‌ای از اقیانوس نئوتتیس بوده است، بر اثر فروانش پوسته اقیانوسی به سوی شمال بسته شده و سبب رخنمون بقایای افیولیتی ناحیه سبزوار شده است (بربریان و کینگ^۲، ۱۹۸۱).

۱۹-۱ چینه‌شناسی

منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ در برگه تربت‌حیدریه (واعظی‌پور، ۱۳۷۰) و بر اساس نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در برگه‌های رباط‌سفید (سهندی و واعظی‌پور، ۱۳۸۸) و کدکن (نادری میقان و ترشیزیان، ۱۳۷۷) قرار می‌گیرد. زمین‌شناسی

1- Lindenberg

2- Berberian and King

عمومی منطقه با استفاده از نقشه‌های فوق از قدیم به جدید در زیر به اختصار آورده شده است (شکل- های ۲-۳ و ۲-۴). برون‌زدهای گستره مورد مطالعه از کرتاسه بالا شروع و در سنوزوئیک گسترش فراوانی می‌یابد. این برون‌زدها شامل سنگ‌های رسوبی، پیروکلاستیکی، ولکانیکی، نفوذی و افیولیت‌ها می‌باشد.

۱-۱۹-۱ مزوزوئیک

رسوبات مربوط به این محدوده سنی در منطقه به صورت پراکنده رخمون دارند.

۱-۱-۱۹-۱ ژوراسیک

سازند شمشک:

این رسوبات از ماسه‌سنگ‌هایی به رنگ خاکستری مایل به سبز و شیل‌های زیتونی تشکیل شده است، همچنین میان لایه‌هایی از سنگ آهک‌های ماسه‌ای با آثار گیاهی و فسیل دو کفه‌ای وجود دارد. این سازند در حد رخساره شیست سبز دگرگون شده است. این رسوبات به صورت خیلی محدود در شمال غرب تربت‌حیدریه، در اطراف کوه شصت دره قابل رویت هستند.

سازند بغمشاه :

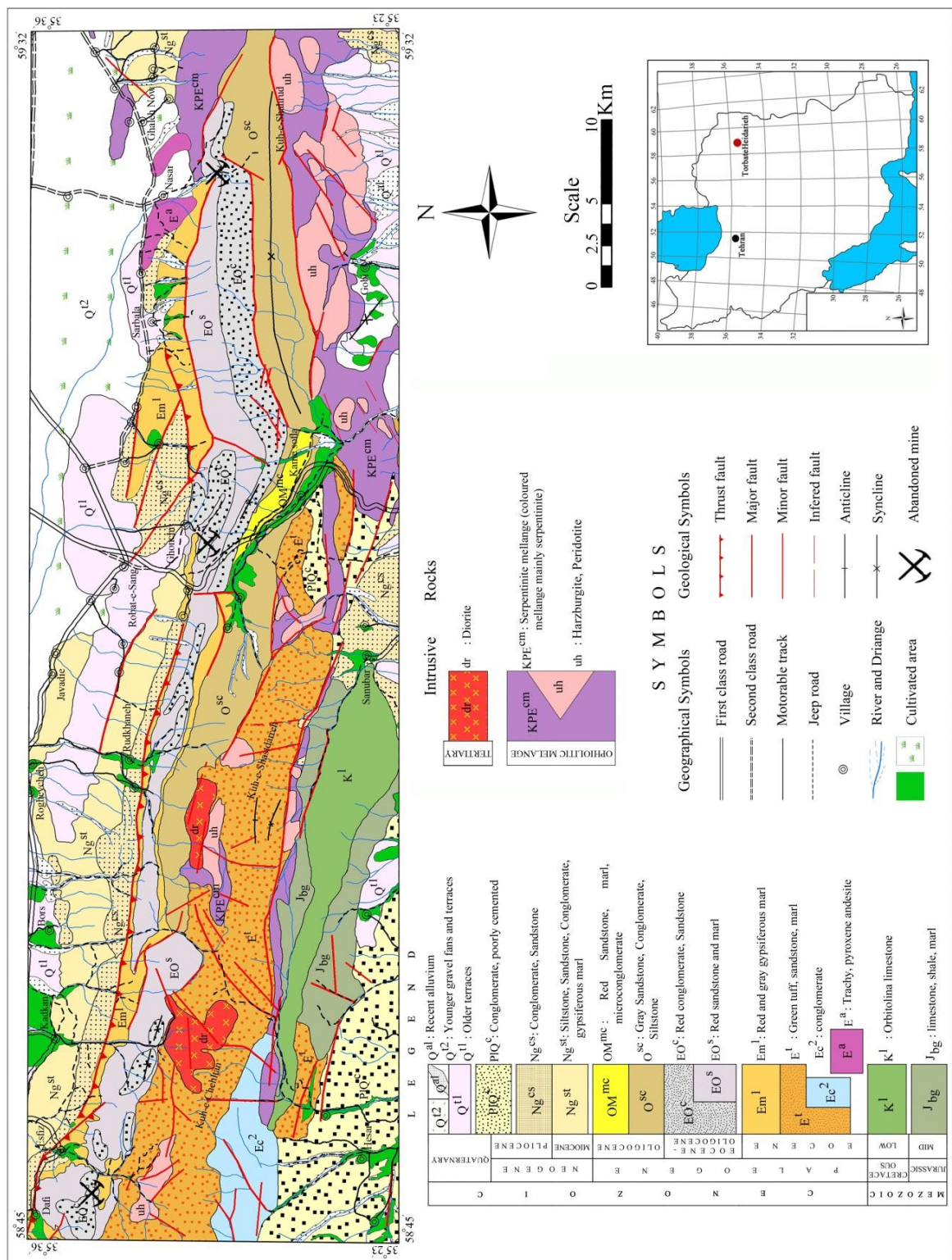
این واحد از شیل، ماسه‌سنگ، مارن و سنگ آهک‌های آلیتی تشکیل یافته است.

سازند اسفندیار :

لیتولوژی آن شامل سنگ آهک‌های آلیتی هستند که روی رسوب‌های سازند بغمشاه قرار گرفته‌اند.

کنگلومرای کوارتزیتی

در این واحد شاهد کنگلومراهایی با روند شرقی- غربی، خاکستری تیره تا سیاه که بیشتر عناصر سازنده آن از سیلیس‌های سفید و صورتی با جورشدگی متوسط و دگرشکلی خوب است می‌باشیم.



شکل ۱۰۰: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که بر اساس تلفیقی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه (واغظی‌پور، ۱۳۷۰)، برداشت‌های صحرایی و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ترسیم شده است.

۱-۱۹-۱ کرتاسه پیشین

دریای کرتاسه پیشین بیشتر در بخش مرکزی ناحیه مورد بررسی، با روند شمال غربی- جنوب شرقی گسترش داشته، که موجب برجای ماندن رسوبات آواری- قاره‌ای و دریایی شده است.

۲-۱۹-۱ کرتاسه پسین

در منطقه مورد بررسی، رسوبات کرتاسه پسین برون‌زد کمی دارند، که بیشتر در قسمت شرق ناحیه گسترش یافته‌اند و شامل رسوبات آواری- قاره‌ای و دریایی هستند. این منطقه دارای آهک‌های مارنی نازک تا متوسط لایه زرد مایل به خاکستری می‌باشد.

همچنین از سنگ‌های این بازه سنی می‌توان به آمیزه‌های رنگین اشاره کرد. این مجموعه با روند شرقی- غربی در مرکز نقشه رباطسفید و همچنین در شمال ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت‌حیدریه دارای بیشترین گسترش هستند که این واحد سنگی عمدتاً شامل واحدهای سرپانتینی، توده‌های نفوذی در حد دیوریت، گابرو و سنگ‌های اولترامافیک، سنگ‌های آذرآواری، توف، گدازه‌های بالشی و اسپیلیتی و همچنین آهک پلاژیک می‌باشد.

۲-۱۹-۱ سنوزوئیک

۱-۲-۱۹-۱ پالتوسن

بر اثر عملکرد رخداد لارامید، نهشته‌های نواحی کم عمق حوضه همچنان رسوب کرده و سبب تشکیل رخساره‌های کنگلومرایی ماسه‌سنگی و آهک‌های نواحی کم عمق دریا گردیده است. این رسوبات با وقفه رسوب‌گذاری، نسبت به سنگ‌های قدیمی‌تر خود دارای ناپیوستگی هستند.

۲-۲-۱۹-۱ ائوسن

واحدهای تشکیل‌دهنده ائوسن در منطقه عمدتاً آندزیتی و توف‌های وابسته به آن هستند، که بر اثر عملکرد رخداد پیرنئن در آب‌های کم عمق تشکیل گردیده‌اند. این رخساره‌ها با یک وقفه زمانی در رسوب‌گذاری نسبت به رخساره‌های سنگی پالتوسن قرار گرفته‌اند.

سازند کرج :

در کوه شصت دره واقع در شمال غرب تربت حیدریه، ردیفی از توفهای سبز، ماسه سنگ‌های توفی و شیل با روند شمال غربی - جنوب شرقی برون زد دارد.

۱-۱۹-۲-۳ ائوسن - الیگوسن

در شمال ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت حیدریه و جنوب ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ رباط سفید ردیفی از رسوب‌های آواری - قاره‌ای و دریایی کم عمق برجای مانده، که فسیل مشخصی در آن‌ها دیده نشده است و از دیدگاه سنگ چینه‌ای به سن ائوسن و الیگوسن نسبت داده شده‌اند.

۱-۱۹-۲-۴ الیگوسن

بر اثر عملکرد رخداد پیرنئن ارتباط حوضه‌های رسوبی با دریای آزاد محدودتر شده و رسوب‌گذاری در محیط‌های قاره‌ای صورت گرفته است. حرکات چین خورده در الیگوسن، به گونه پیشروی دریا و ناپیوستگی دگرشیب با وجود وقفه زمانی، چین خوردگی و فرسایش بر روی رخساره‌های زیرین متعلق به ائوسن می‌نشیند. در واقع پس از یک نبود رسوب‌گذاری ردیفی از رسوبات آواری (کنگلومرا، ماسه سنگ، شیل و مارن) بر روی رسوبات ائوسن و کهن‌تر جای می‌گیرد.

۱-۱۹-۲-۵ الیگومیوسن

یک سری رخساره‌های محدوده مورد مطالعه از نظر چینه شناسی متعلق به نئوژن بوده که به تدریج روی رخساره‌های الیگوسن می‌نشیند. این رخساره‌ها بر اثر عملکرد فاز کوهزایی آلپ میانی و پسروی دریا به وجود آمده‌اند.

۱-۱۹-۲-۶ میوسن

رخساره‌های سنگی میوسن حاکی از کم عمق شدن حوضه رسوب‌گذاری، و درشت‌تر شدن اندازه قطعات آواری بر اثر حرکات آلپ پایانی می‌باشد.

۷-۲-۱۹-۱ پلیوسن

در پایان دوره میوسن و طی دوره پلیوسن ردیفی از رسوب‌های آواری-قاره‌ای برجای مانده است.

۸-۲-۱۹-۱ کواترنری

شامل نهشته‌ها و پادگانه‌های قدیمی و جوان به صورت پادگانه‌های آبرفتی مرتفع و مسطح که حالت افقی داشته که رخداد تکتونیکی مؤثری را تحمل نکرده است.

۲۰-۱ سنگ‌های افیولیتی:

برون‌زدهای افیولیتی محدوده مورد مطالعه بخشی از افیولیت‌های غرب فریمان و شمال تربت‌حیدریه با روند جنوب شرقی-شمال غربی می‌باشد، گسل‌خوردگی و ایجاد درز و شکاف از ویژگی‌های این افیولیت‌ها است. از مهم‌ترین دگرسانی‌های سنگ‌های افیولیتی می‌توان به اپیدوتی و سرسیتی شدن پلاژیوکلازها، اورالیتی و کلریتی شدن پیروکسن‌ها، سرپانتینی شدن الیوین و پیروکسن و تشکیل آزبست، تالکی شدن و زئولیتی شدن اشاره کرد (نادری میقان و ترشیزیان، ۱۳۷۷).

۲۱-۱ سنگ‌های آذرین نفوذی:

به دنبال فعالیت ولکانیکی دوره ائوسن و رخداد پیرنئن در اوایل الیگوسن در محدوده مورد مطالعه، توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی بعد از ولکانیسم‌های ائوسن تشکیل شده است، که نقش عمده این نفوذی‌ها در کانی‌سازی مس و آنتی‌موان و دگرسانی منطقه قابل توجه می‌باشد. توده‌های فلسیک شامل سنگ‌های اسیدی تا قلیایی در محدوده شمال غربی تربت‌حیدریه است که از انواع گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت تشکیل شده، سنگ‌های ولکانیکی را قطع نموده و به صورت رگه‌هایی در بین ولکانیک‌های ائوسن قرار گرفته‌اند. بر اثر این نفوذ، سنگ‌های نزدیک به توده نفوذی تحت تأثیر دگرگونی حرارتی واقع شده و تغییرات دگرگونی همبری در کانی‌های آن‌ها به وجود آمده است، به طوری که سنگ‌های هورنبلند هورنفلس و آمفیبول هورنفلس نزدیک به توده تشکیل شده است (نادری میقان و ترشیزیان، ۱۳۷۷).

ERA TH EM	SYSTEM	SERIES	UNIT NO	LITOLOGY	DESCRIPTION
C E N O Z O I C	QUATERNARY		14		Older terraces, Younger gravel fans and terraces, Recent alluvium
			13		Conglomerate, poorly cemented
			12		Conglomerate, Sandstone
			11		Siltstone, Sandstone, Conglomerate, gypsiferous marl
	NEOGENE	PLIOCENE	10		Red Sandstone, marl, microconglomerate
			9		Gray Sandstone, Conglomerate, Siltstone
		MIOCENE	8		Red conglomerate, Sandstone
			7		Red sandstone and marl
		E O C E N E	6		Red and gray gypsiferous marl
			5		Green tuff, sandstone, marl
			4		conglomerate
			3		Trachy, pyroxene andesite
M E Z O Z O I C	CRETACEOUS	LOW	2		Orbitolina limestone
	JURASSIC	MID	1		limestone, shale, marl

شکل ۱۱-۰: ستون چینہ شناسی کلی منطقہ مورد مطالعہ، تہیہ شدہ بر اساس نقشہ زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریہ (واعظی پور، ۱۳۷۰)، (مقیاس لحاظ نشدہ است).

۲۲-۱ زمین‌شناسی ساختمانی

در منطقه مورد بررسی مراحل پایانی رخداد هرسینین پس از تشکیل رسوبات پرمین، موجب بیرون آمدن ناحیه از آب گردیده است که پس از زمانی نبود رسوب‌گذاری، نهشته‌های تریاس برجای مانده است. رخدادهای سیم‌رین پیشین در رسوب‌های تریاس، سیم‌رین میانی و سیم‌رین پسین باعث بیرون آمدن بخشی از منطقه از آب گردیده است (خلقی خسرقی، ۱۳۷۵).

در تریاس بالا- ژوراسیک بر اثر رخداد سیم‌رین پیشین عمل ریفتینگ موجب جدایش خرد قاره شرق مرکز ایران از زون البرز و تشکیل اقیانوس باریکی شده است. بر اثر رخداد لارامید در اواخر کرتاسه روند این حرکت معکوس گشته، و در حالی که تشکیل ریفت ادامه می‌یافته، پوسته اقیانوسی نئوتتیس با شیب به سمت شمال شرق به زیر کوه‌های چین‌خورده بینالود فرورفته و اقیانوس مزبور بسته شده است. ولی شواهد فسیلی منطقه حاکی از جایگزینی افیولیت‌ها در زمان کرتاسه پسین می‌باشد (نادری میقان و ترشیزیان، ۱۳۷۷).

پیش از رسوب‌گذاری نهشته‌های کرتاسه پسین (کامپانین - ماستریشتین)، رخداد اوستین (ساب هرسینین) روی داده و هم‌چنین در پایان کرتاسه پسین، رخداد لارامید، باعث بیرون آمدن نهشته‌های کرتاسه پسین شده است. در زمان ائوسن حوضه رسوب‌گذاری ناآرام بوده و فازهایی از آلپین میانی موجب جایگزینی واحدهای کنگلومرایی شده است. مراحل پایانی آلپین میانی باعث ایجاد رسوب‌های میوسن با ناپیوستگی بر روی نهشته‌های کهن‌تر شده است (خلقی خسرقی، ۱۳۷۵).

محیط‌های تکتونیکی مختلفی به ترتیب از محل فرورانش به سمت لیتوسفر قاره‌ای به وجود آمده است که به شرح زیر می‌باشد (نادری میقان و ترشیزیان، ۱۳۷۷):

الف) در محل گودال اقیانوسی، افیولیت‌ها و رسوبات عمیق دریا تشکیل می‌شوند که در جنوب و قسمت‌های میانی ورقه برون‌زد دارد.

ب) نهشته‌های Subduction complex تشکیل، و در زمان‌های بعدی فرسایش یافته که در محل حوضه رسوبی مجاور، به شکل رسوبات فلیش و مولاس رسوب کرده‌اند.

ج) سنگ‌های آتشفشانی جوان‌تر از افیولیت‌ها با سن ائوسن در واقع قوس ماگمایی را تشکیل می‌دهند که در این ورقه از نوع پیروکسن آندزیت، آندزیت، پیروکلاستیک، توف‌ها و رسوبات ترشیری با روند شمال غرب- جنوب شرق برون‌زد دارند.

د) علاوه بر سنگ‌های افیولیتی، مجموعه جوان‌تر از افیولیت در حوضه دریایی کم عمق و در یک حوضه حاشیه‌ای تشکیل شده‌اند که بعد همین حوضه‌ها به شرایط قاره‌ای تبدیل گردیده و رسوبات تبخیری را بر جای گذاشته‌اند، که گچ‌ها و مارن‌ها نیز می‌توانند حاصل این فرایند باشند.

حرکات تکتونیکی حاکم بر منطقه در طول زمان‌های مختلف می‌توانسته این توالی را به هم زند، به گونه‌ای که قسمت‌هایی را حذف و یا تکرار و جابه‌جا کند. هم‌چنین به نظر می‌رسد رسوب‌گذاری‌های محلی و مجزا نیز در منطقه صورت گرفته باشد.

۱-۲۲-۱ سیستم چین‌خوردگی

چین‌خوردگی‌های منطقه بیشتر از درجه متوسط بوده و شیب لایه‌ها نیز متوسط تا کم است (شکل ۵-۲). مگر لایه‌های نزدیک گسل که شیب بیشتری دارند. در شمال منطقه مورد مطالعه و جنوب گسل معکوس قوریجه رسوب‌های ائوسن- الیگوسن، ناودیس بزرگی را پدید آورده‌اند، که شیب لایه‌های آن متوسط تا ملایم است. هم‌چنین در شمال گسل قوریجه لایه‌ها برگشته است. این چین-خوردگی‌ها بر اثر رخداد کوهزایی پیرنئن به وجود آمده‌اند (خلقی خسرقی، ۱۳۷۵).



شکل ۵-۲: نمایی از یک چین‌خوردگی در جنوب کدکن (دید به سمت شمال).

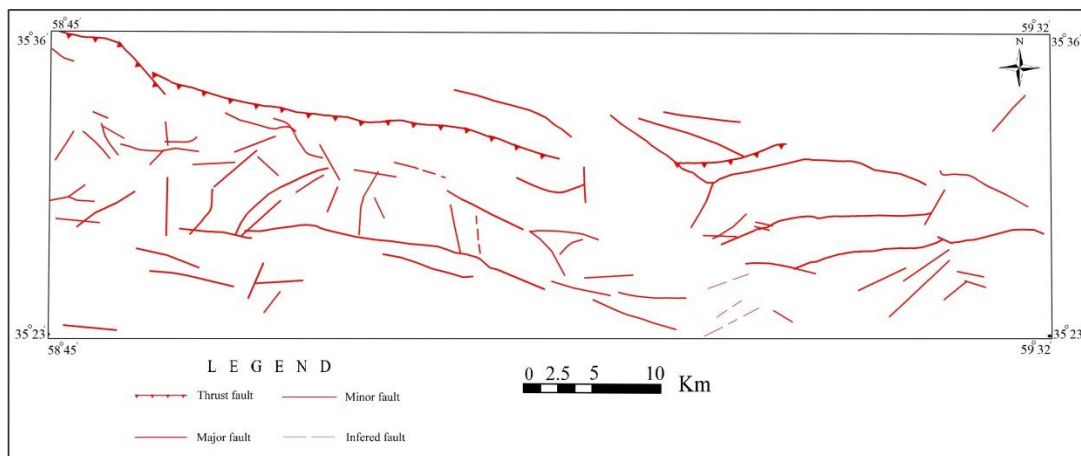
۱-۲۲-۲ گسل‌ها و شکستگی‌ها

ناحیه مورد بررسی گسلش و شکستگی‌های پیچیده‌ای دارد. اثر جابه‌جاشدگی‌ها، جایگزینی ماگما، فوران‌های آتشفشانی از فاکتورهای کنترل‌کننده شرایط رسوب‌گذاری منطقه هستند. برعکس چین‌ها، گسل‌ها و شکستگی‌ها ساختار پیچیده‌ای دارند. درهم‌شدگی و چندگانگی فعالیت‌های زمین‌ساختی در چهارچوب پدیده‌هایی چون جنبش‌های چرخشی، برشی و به احتمال جنبش‌های قائم‌بلوک‌ها، سبب پیدایش گسل‌های وارونه، نرمال، سیستم‌های متقاطع و تغییر شکل‌های ناشی از آن‌ها شده و فرصت‌های مناسب برای نفوذ یا فوران ماگما و گدازه‌های آتشفشانی به وجود آورده است (خلقی خسرقی، ۱۳۷۵).

روند گسل‌های تراستی منطقه جنوب شرقی - شمال غربی است که گسل‌های امتداد لغز با روندهای تقریباً شمالی - جنوبی آن‌ها را قطع می‌کنند (شکل ۲-۶). سن گسل‌های تراستی از کرتاسه بالا تا نئوژن می‌باشد. در نیمه شرقی ورقه، شیب فرادیواره گسل‌ها به سمت جنوب و جهت نیروهای وارده نیز از جنوب غرب به سمت شمال شرق است. سن این گسل‌ها از سمت جنوب به شمال جوان شده است (نادری میقان و ترشیزیان، ۱۳۷۷).

از گسل درونه به عنوان مهم‌ترین گسل می‌توان نام برد. گسل قوریجه یکی از گسل‌های منطقه مورد مطالعه است که در شمال منطقه آشکار گشته و به طول ۳۳ کیلومتر قابل ردگیری است و تقریباً با گسل درونه همسو است.

گسل سریشا یکی از گسل‌های واژگون ناحیه است که در مرکز منطقه مورد بررسی به طول ۱۲ کیلومتر پدیدار گشته و سبب رانده شدن رسوبات ائوسن - الیگوسن روی آمیزه‌های افیولیتی شده است. احتمالاً این گسل، با گسل قوریجه هم سن بوده و در اثر رخداد پیرنن به وجود آمده است (رضازاده، ۱۳۸۹).



شکل ۱۳-۰۰: نقشه پراکندگی گسل‌های منطقه مورد مطالعه (با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه، ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن و رباطسفید).

۲۳-۱ زمین‌شناسی اقتصادی

امروزه نقش مواد معدنی در بخش‌های مختلف اقتصادی به ویژه در کشورهای توسعه یافته بر کسی پوشیده نیست. به همین جهت مواد معدنی یکی از عوامل مهم در زیربنای اقتصاد کشور در رسیدن به استقلال اقتصادی، شکوفایی بخش‌های دیگر تولید، اشتغال‌زایی و افزایش درآمد ملی و سرانه کشور می‌باشند.

اندیس‌های معدنی محدوده مورد مطالعه با توجه به ویژگی تکتونیکی، برون‌زدهای ماگمایی و افیولیتی منطقه حائز اهمیت است. رخساره‌های نوار افیولیتی بستر مناسبی برای کانی‌سازی‌های آزبست، کرومیت، تالک، منیزیت و زئولیت می‌باشد. سنگ‌های آهکی سفید رنگ و ضخیم لایه، در اصطلاح تجاری مرمر، در منطقه گسترش زیادی دارد و به عنوان سنگ نما و هم به عنوان کربنات کلسیم اقتصادی می‌باشد. وجود سنگ‌های ولکانیکی، درز و شکاف و گسل‌های فراوان و نیز تزریق توده‌های نفوذی فلسیک در نواحی شمال غربی، محیط مناسبی را برای ایجاد ذخایر فلزی و غیر فلزی پدید آورده است مانند طلا و آنتی‌مون (نادری میقان و ترشیزیان، ۱۳۷۷).

پتانسیل‌های کانه‌زایی مواد معدنی فلزی و غیر فلزی زیر در ناحیه دیده می‌شوند:

مس: این ناحیه به دلیل وجود توالی ضخیم طبقات قرمز (میزبان کانه‌زایی) پتانسیل بالایی جهت

ذخایر مس رسوبی داراست. در لایه‌های سرخ این ناحیه، و در افق‌های احیایی درون آن‌ها اثر کانه‌زایی مس به طور گسترده قابل مشاهده است.

طلا: کانسار طلای ارغش - چشمه زرد تنها مورد معدن کاری فلزی در ورقه کدکن است.

آنتی‌موان: آثاری از کانی سازی آنتی‌موان در شمال غرب و هم‌چنین طلا و آنتی‌موان در جنوب غرب ورقه کدکن مشاهده شده است.

کرومیت: در شمال آبادی گوجی واقع در شمال شرق منطقه تربت‌حیدریه آثار کرومیتی مشاهده می‌شود که کارهای اکتشافی نیز بر روی آن انجام گرفته است. این کانی در پیوند با آمیزه‌های افیولیتی بوده و محلی است. هم‌چنین شرق روستای قلعه نو و غرب روستای صنوبر برای اکتشاف کرم پتانسیل دارد.

تالک، منیزیت و آزبست: با توجه به گسترش شرقی - غربی افیولیت‌ها در شمال منطقه، احتمال حضور مواد معدنی فوق‌الذکر در مجموعه افیولیتی وجود دارد. در شمال شرق آبادی عباس آباد (شرق جاده تربت‌حیدریه - مشهد) واقع در شمال منطقه مورد بررسی آثاری از تالک وجود دارد، که کارهای اکتشافی بر روی آن انجام گرفته است. این کانی نیز در پیوند با آمیزه‌های افیولیتی بوده و محلی است.

سنگ‌های ساختمانی: رخنمون‌های واحدهای آهکی در اطراف روستاهای گلبوی بالا، حسن آباد، ریگی، قلعه شیشه و روستای ارغش وجود دارد. در جنوب کوه اسفیوخ در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه آهک‌های کرتاسه برای مصارف ساختمانی و تزئینی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. هم‌چنین در صورت سالم بودن و دارا بودن شرایط جانبی، انواع سنگ‌های آذرین که در مرکز منطقه گسترش دارند منابع بسیار مناسبی جهت استخراج سنگ نما به شمار می‌روند، در غیر این صورت می‌توانند به عنوان سنگ لاشه مورد استفاده قرار گیرند.

گچ و ژیپس: گچ نیز در کوه گچی در ارتفاعات روستای دافی و اطراف روستای قنچی، دارای

ارزش اقتصادی است.

فصل سوم

زمین شناسی و سنگ شناسی منطقه معدنی

۱-۲ مقدمه

منطقه معدنی مورد مطالعه در پهنه ساختاری ایران مرکزی و در توالی سازند قرمز قاره‌ای ائوسن-الیگوسن قرار دارد. مطابق نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت‌حیدریه، افق‌های کانه‌دار در طبقات قرمز (Redbed) که بخشی از واحدهای ائوسن-الیگوسن (EO^c , EO^s) و الیگوسن-میوسن (O^{sc}) می‌باشند، واقع می‌شوند.

در شمال شرق ایران مرکزی به ویژه در حوضه‌های تربت‌حیدریه، تربت‌جام، کاشمر و ...، نهشته‌های سرخ رنگی با سیمای مشابه سازند سرخ بالایی وجود دارد. هم‌چنین در این گونه نواحی سنگ آهک‌های الیگوسن-میوسن (سازند قم) وجود ندارد و لذا شناخت تهنشست‌های قاره‌ای میوسن (سازند سرخ بالایی) از الیگوسن-میوسن ناممکن است. در چنین حالتی از واژه لایه‌های سرخ (Red-bed) استفاده می‌شود که ممکن است به یکی و یا هر دو سازند گفته شده باشد. در کلیه نقاطی که سازند قم وجود ندارد چنین وضعی وجود دارد (آقاباتی، ۱۳۸۳).

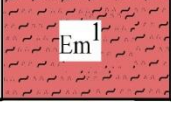
گسترش طولی رخنمون طبقات سرخ رنگ (Redbed) که حاوی بخش‌های کانه‌دار می‌باشد، از اولین نقطه‌ای که کانی‌سازی مس رسوبی در غرب ورقه کدکن مشاهده شده تا اطراف روستای نسر (انتهای جنوب شرقی ورقه رباطسفید) به ۶۵ کیلومتر می‌رسد. کانی‌سازی در این فاصله کم و بیش به طور پراکنده و منقطع مشاهده می‌شود و در حالت کلی در اکثر آبراهه‌هایی که به صورت عرضی افق‌های سرخ رنگ را قطع کرده‌اند، آثار کانه‌سازی را می‌توان ردیابی نمود.

در این فصل به بررسی واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه و هم‌چنین بررسی و مطالعه زمین‌شناسی ساختمانی محدوده مورد نظر می‌پردازیم. به دلیل اهمیت طبقات سرخ قاره‌ای، بررسی‌های تفصیلی بیشتر بر روی این واحد تمرکز یافته است.

۲-۲ واحدهای سنگی موجود در محدوده منطقه معدنی

بر اساس نقشه‌های ترسیم شده، منطقه معدنی مورد مطالعه شامل چهار واحد مجزا است که از قدیم به جدید عبارتند از (شکل ۱-۳):

واحد اول شامل مارن‌های قرمز و خاکستری گچ‌دار (Em^1) به سن ائوسن بالایی می‌باشد، واحد دوم (EO^s) که بیشترین مورد کانه‌سازی مشاهده شده داخل این واحد واقع می‌شوند و در کل متشکل از ماسه‌سنگ‌های قرمز و مارن هستند. واحد سوم (EO^c) متشکل از کنگلومرای قرمز و ماسه‌سنگ و واحد (O^{sc}) به سن الیگوسن نیز متشکل از ماسه‌سنگ‌های خاکستری، کنگلومرا و سیلتستون می‌باشند (شکل ۲-۳). حروف اختصاری واحدهای زمین‌شناسی و کانی‌های مورد استفاده در شکل‌های پتروگرافی در جداول (۱-۳ و ۲-۳) آورده شده که این علائم در تمامی شکل‌ها یکسان است.

AGE	LITHOLOGY	DESCRIPTION
OLIGOCENE		Gray Sandstone, Conglomerate, Siltstone
EOCENE-OLIGOCENE		Red conglomerate, Sandstone
		Red sandstone and marl
EOCENE		Red and gray gypsiferous marl

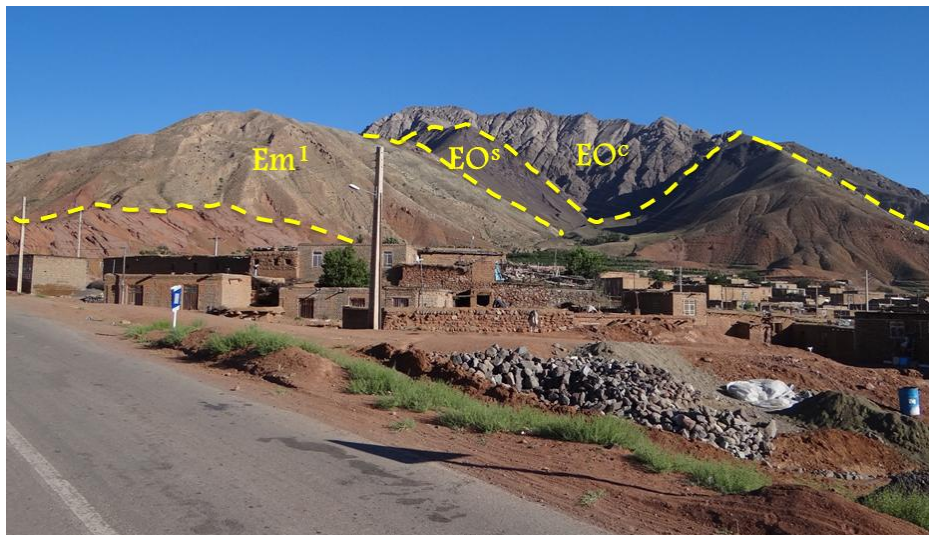
شکل ۲-۱: ستون چینه‌شناسی واحدهای سنگی موجود در منطقه معدنی (مقیاس لحاظ نشده است).

جدول ۲-۱: حروف اختصاری واحدهای زمین‌شناسی مورد استفاده در شکل‌ها (این علائم در تمامی شکل‌ها یکسان است).

حرف اختصاری	نام واحد زمین‌شناسی	حرف اختصاری	نام واحد زمین‌شناسی
Marl	مارن	SS	سیلتستون
Sst	ماسه سنگ	Bas	بازالت
mic con	میکرو کنگلومرا	Con	کنگلومرا
Lim	سنگ آهک	Tuff	توف
Gray- con	کنگلومرای خاکستری	Red- con	کنگلومرای قرمز
Gray- sst	ماسه‌سنگ خاکستری	Red- sst	ماسه‌سنگ قرمز

جدول ۲-۲: حروف اختصاری مورد استفاده در شکل‌های پتروگرافی (این علائم در تمامی شکل‌ها یکسان است).

حرف اختصاری	نام کانی	حرف اختصاری	نام کانی	حرف اختصاری	نام کانی
CC	کالکوسیت	py	پیریت	Clay	کانی های رسی
Cov	کاولیت	Mt	مگنتیت	Fe Oxide	اکسید آهن
Mal	مالاکیت	Chl	کلریت	P.F	فسیل گیاهی
Bn	بورنیت	Ser	سریسیت	Cal	کلسیت
Chr	کریزوکلا	plg	پلاژیوکلاز	Qtz	کوارتز
M-RF	خرده سنگ دگرگونی	S-RF	خرده سنگ رسوبی	I-RF	خرده سنگ آذرین
Cup	کوپریت	Fld	فلدسپار	Mus	موسکویت
RF	خرده سنگ	Bio	بیوتیت	Hem	هماتیت
				Di	دیژنیت



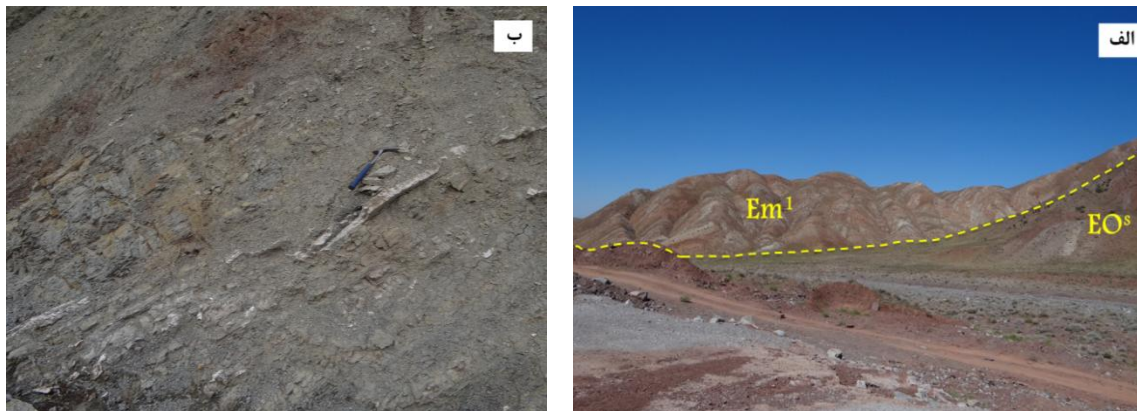
شکل ۲-۲: نمای کلی از واحدهای سنگی موجود در شرقی روستای اسفیز (دید به سمت شرق).

در ادامه به ویژگی‌های هر یک از واحدهای مذکور به اختصار اشاره می‌گردد.

۲-۲-۱ واحد Em^1

این واحد شامل مارن‌های قرمز و خاکستری گچ‌دار با میان لایه‌های شیل، سیلتستون و ساب‌لیت-ارنایت‌های خاکستری می‌باشد که دارای مورفولوژی پست و فرسایش یافته بوده و به صورت نوار باریکی از غرب منطقه تا شرق آن کشیده شده است. بر روی این واحد، واحد ماسه سنگی EO^5 به صورت هم‌شیب قرار دارد (شکل ۳-۳، الف). البته در آبراهه کدکن این واحد همراه با واحدهای نمکی

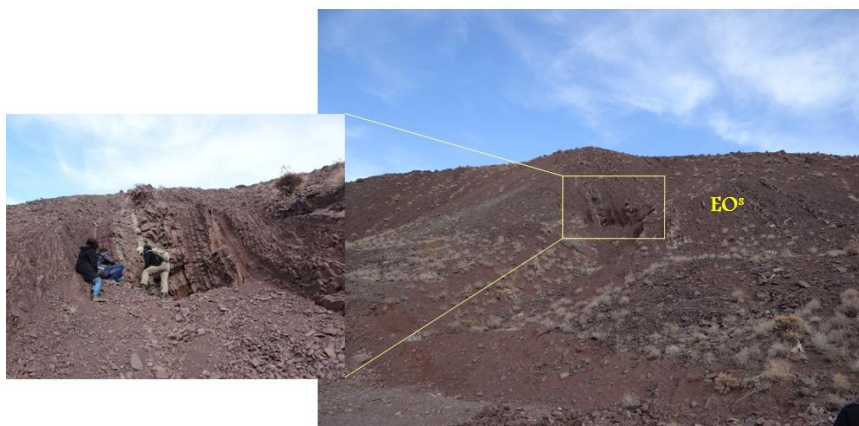
و ژپسی دیده می‌شود. هم‌چنین در این منطقه مارن‌ها دچار چین‌خوردگی و گسلش شده‌اند. واحدهای تبخیری در این توالی به صورت میان لایه‌هایی از ژپس، درون مارن‌ها قرار دارند (شکل ۳-۳ ب). این لایه‌های تبخیری، در تشکیل سیال کانه‌دار و شوری آن نقش به سزایی دارند.



شکل ۳-۲: نمایی از واحد مارنی (Em^1) (الف) مارن‌ها به همراه لایه‌های ژپس در آبراهه کدکن (دید به سمت شمال)، (ب) میان لایه‌های ژپس درون واحدهای مارنی در آبراهه اسفیز.

۲-۲-۲ واحد EO^8

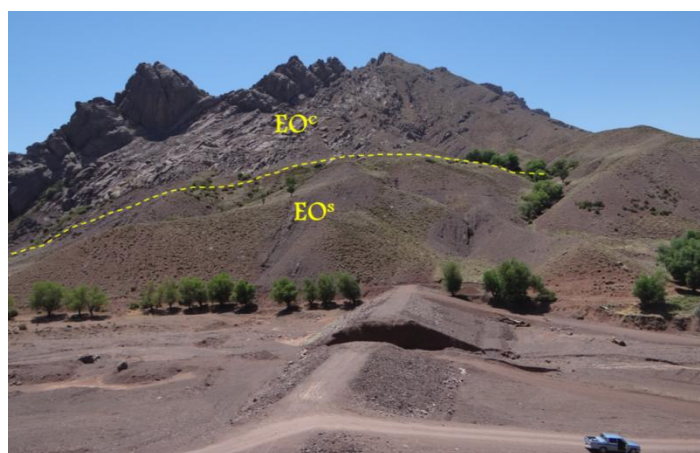
این واحد شامل سنگ‌های آواری سرخ رنگ می‌باشد که گستره وسیعی از منطقه را در بر گرفته است. این آواری‌ها شامل توالی ضخیمی از ماسه‌سنگ‌های قرمز رنگ و مارن می‌باشند (شکل ۳-۴). روند شرقی- غربی این رخساره و ضخامت زیاد آن بر اثر عملکرد گسل‌های راندگی در جنوب منطقه می‌باشد. به طور کلی اغلب سنگ‌های مارنی و سیلتستون‌ها فرسایش یافته، و ماسه‌سنگ‌ها به صورت ستیغ‌هایی صخره‌ای برون‌زد دارند، لذا مورفولوژی صخره ساز و مرتفعی را در همه این رخساره می‌توان مشاهده کرد. شیب لایه‌ها به سمت جنوب بوده و در نزدیکی گسل‌ها، شیب‌ها زیاد و در پاره- ای موارد به صورت عمودی می‌باشد. عملکرد گسل‌های راندگی، تناوبی با مارن‌های ائوسن (Em^1) در این واحد، ایجاد نموده است (نادری میقان و ترشیزیان، ۱۳۷۷). بر روی این واحد، به صورت تدریجی کنگلومرای EO^c قرار دارد. این واحد به همراه واحد کنگلومرای EO^c میزبان کانه‌زایی مس در منطقه هستند و لایه‌های سرخ رسوبات تخریبی ائوسن- الیگوسن را تشکیل می‌دهند.



شکل ۲-۴: نمایی از ماسه‌سنگ واحد EO^s در منطقه قندو (دید به سمت شرق).

۳-۲-۲ واحد EO^c

این واحد شامل کنگلومرای ستبر لایه توده‌ای قرمز رنگ با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ می‌باشد، که همراه واحد EO^s از غرب منطقه مورد مطالعه تا شرق آن رخنمون دارد. قطعات سنگی سازنده این کنگلومرا که بیشتر شامل قطعات ولکانیکی (بیش از ۷۰ درصد) و رسوبی (کمتر از ۳۰ درصد)، دارای قطر ۲ تا ۴ سانتی‌متر و گاهی بزرگ‌تر، فشردگی بالا، گردشگی خوب، جورشدگی ضعیف و فاقد لایه‌بندی و ساختمان رسوبی می‌باشند. این واحد به دلیل مقاومت زیاد در برابر فرسایش در بیشتر قسمت‌ها مورفولوژی خشن ایجاد کرده است. این واحد به طور هم شیب بر روی واحد EO^s قرار گرفته است (شکل ۳-۵).



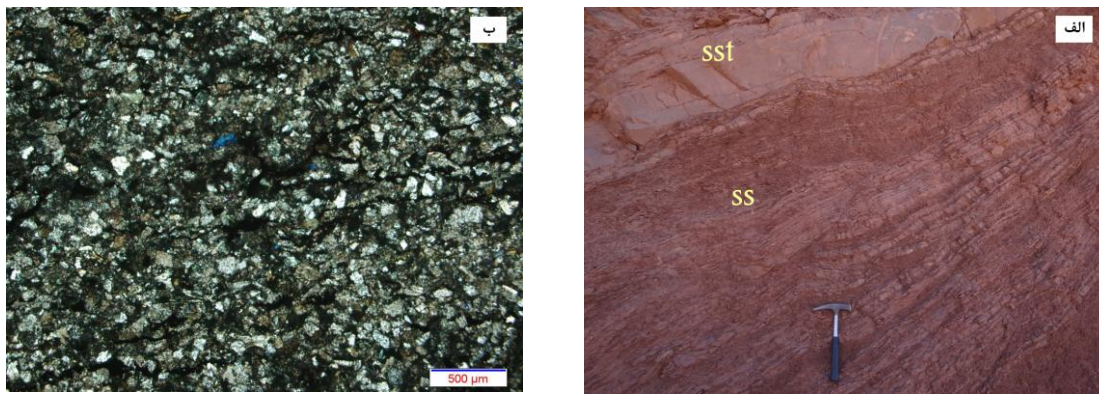
شکل ۲-۵: نمایی از توالی واحدهای کنگلومرای EO^c و ماسه‌سنگی EO^s منطقه قندو (دید به سمت غرب).

نظر به این که کانه‌زایی مس در توالی سرخ رنگ EO^s و EO^c صورت گرفته است و به دلیل اهمیت

آن در ادامه، سنگ‌شناسی و ویژگی این واحدها را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۱-۳-۲-۲ سیلتستون تا ماسه‌سنگ بسیار ریز دانه

این واحد دارای مورفولوژی نرم و رنگ قرمزتر نسبت به واحدهای دیگر می‌باشد (شکل ۳-۶ الف). به طور کلی فراوانی سیلتستون در بخش‌های پایینی توالی لایه‌های سرخ بیشتر است. ذرات تشکیل‌دهنده آن اغلب شامل کوارتز تخریبی در حد سیلت یا ماسه بسیار ریز به همراه فلدسپات تخریبی (اورتوکلاز) می‌باشد. همچنین در متن سنگ رس، سیمان کلسیتی و اکسید آهن مشاهده می‌گردد (شکل ۳-۶ ب).

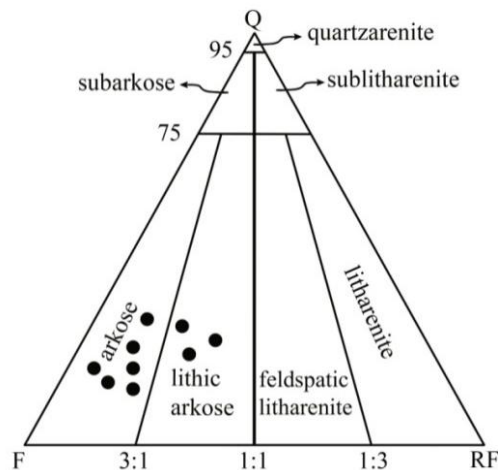


شکل ۳-۶: الف) نمایی از سیلتستون موجود در توالی لایه‌های سرخ در منطقه کدکن، ب) تصویر میکروسکوپی آن در نور xpl.

۲-۳-۲-۲ واحد ماسه‌سنگی

با توجه به بررسی‌های پتروگرافی ماسه‌سنگ‌های میزبان کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه، کانی‌های اصلی غالباً از کوارتز، فلدسپار، خرده‌های سنگی (رسوبی - ولکانیکی) و کانی‌های فرعی از کانی‌های رسی، بیوتیت، کلریت و اکسید آهن تشکیل شده‌اند. با توجه به مقادیر مودال کانی‌ها و استفاده از طبقه‌بندی ارائه شده توسط فولک^۱ (۱۹۸۰) این ماسه‌سنگ‌ها شامل لیتیک آرکوز و آرکوز می‌باشند (شکل ۳-۷). هرچند اغلب، ترکیب ماسه‌سنگ تابعی از سنگ منشأ می‌باشد، اما به طور کلی محیط رسوبی پیشنهادی برای آرکوزها، محیط رودخانه‌ای است (تاکر^۲، ۲۰۰۱).

1- Folk
2- Tucker



شکل ۷-۲: موقعیت نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه در نمودار سه متغیره کوارتز (Q)، فلدسپار (F) و خرده‌سنگ (RF) (فولک، ۱۹۸۰).

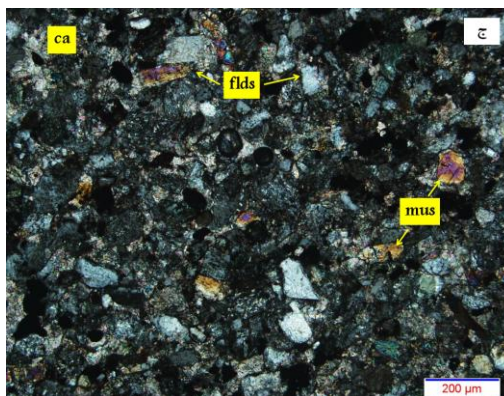
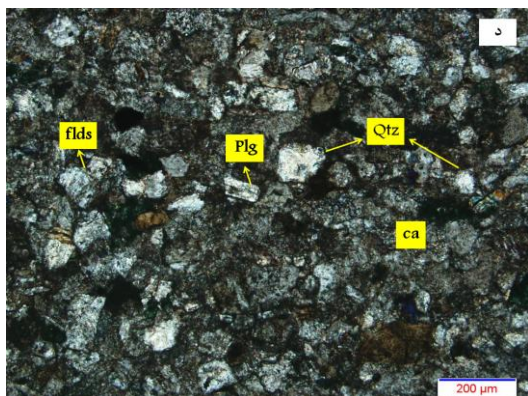
آرکوز تا لیتیک آرکوز

این دسته از ماسه‌سنگ‌ها دارای بیش از ۲۵ درصد فلدسپات، مقدار بیشتری کوارتز و مقداری خرده‌سنگ هستند. در ماسه‌سنگ‌های منطقه، فلدسپات‌ها عمدتاً از نوع فلدسپات پتاسیم است که بیشتر از نوع ارتوکلاز می‌باشد، که برخی از آن‌ها بر اثر دگرسانی یا هوازدگی به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. به طور تیپیک آرکوزها به علت رنگ فلدسپات، و به علاوه به علت وجود دانه‌های ریز و پراکنده هماتیت (چون که بیشتر آرکوزها در توالی‌های طبقات قرمز یافت می‌شوند)، به رنگ قرمز یا صورتی دیده می‌شوند (تاکر، ۲۰۰۱) (شکل ۳-۸ الف و ب).

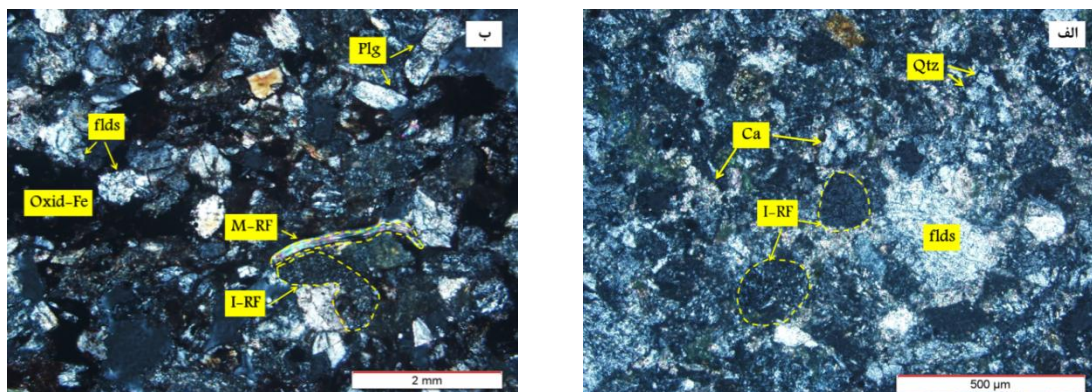
ذرات کوارتز به همراه فلدسپات (اغلب اورتوکلاز و مقداری میکروکلین) همراه با چرت، بیوتیت و کلریت، اجزای تخریبی این ماسه‌سنگ‌ها را در منطقه تشکیل داده است (شکل ۳-۸ ج و د). کوارتز در این ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً بی‌شکل و منوکریستالین بوده و به مقدار کمی کوارتز پلی‌کریستالین نیز مشاهده می‌شود. خرده‌سنگ‌های تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های منطقه، شامل چرت (کمتر از ۲ درصد)، خرده‌های آهکی (کمتر از ۵ درصد) و به مقدار فراوان خرده‌های ولکانیکی (بین ۱۵ تا ۴۰ درصد) است. زمینه در این ماسه‌سنگ‌ها شامل سیمان آهکی، هماتیتی و در بعضی مناطق ماتریکس رسی است که با توجه به شواهد دگرسانی فلدسپات‌ها احتمالاً بخشی از این رس‌ها منشأ دیاژنزی دارند (دهنوی و همکاران، ۱۳۹۰). آرکوزها از سنگ‌های غنی از فلدسپات، به ویژه گرانیت‌ها و

گنایس‌های حاوی فلدسپات پتاسیم سرچشمه گرفته‌اند. بافت یک آرکوز به طور تیپیک از جورشدگی ضعیف تا جورشدگی خوب و با دانه‌های خیلی زاویه‌دار تا نیمه گرد شده در تغییر است، که دقیقاً به میزان حمل و نقل وابسته است (تاکر، ۲۰۰۱) (شکل ۳-۹). ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه از گردشدگی ضعیف و جورشدگی متوسط تا ضعیف برخوردارند و از لحاظ مچوریتی بافتی ساب‌مچور می‌باشند.

علاوه بر یک وضعیت زمین‌شناسی مناسب در منشأ، آب و هوا و پستی و بلندی نیز از عوامل مهم هستند. تحت شرایط آب و هوای مرطوب، فلدسپات‌ها به کانی‌های رسی هوازده می‌شوند. بنابراین آب و هوای نیمه خشک و یخچالی برای تشکیل آرکوز مناسب است. با وجود این، اگر فرسایش خیلی سریع باشد، به ویژه در حالتی که پستی و بلندی ناحیه منشأ زیاد باشد، آن گاه آرکوز تخریبی می‌تواند علی‌رغم وجود هوازده‌گی شیمیائی شدید، تشکیل شود. بیشتر آرکوزها در محیط‌های رودخانه‌ای بر جای گذاشته شده‌اند (تاکر، ۲۰۰۱).



شکل ۲-۸: نمایی از ماسه‌سنگ‌های آرکوزی موجود در منطقه (الف، ب) و تصاویر میکروسکوپی آن (ج، د). بخش اعظم سنگ شامل فلدسپات (fld) است و مقدار کوارتز (Qtz) (حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد) موجود در این سنگ‌ها از مقدار خرده‌سنگ (Rf) بیشتر است. فضای بین دانه‌های آواری توسط سیمان کلسیتی (Cal) پر شده است.



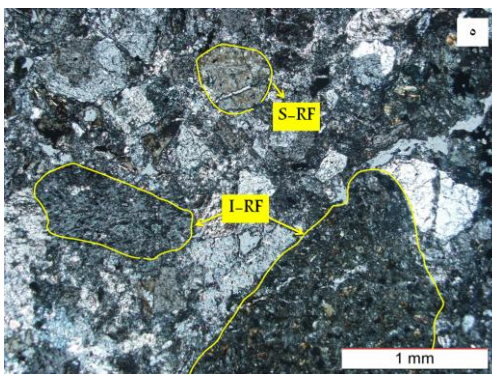
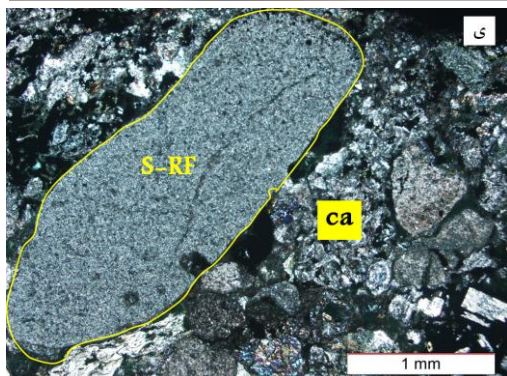
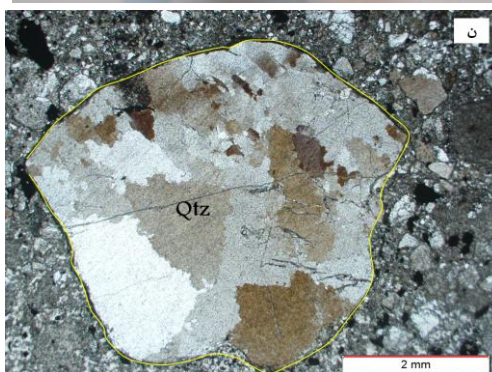
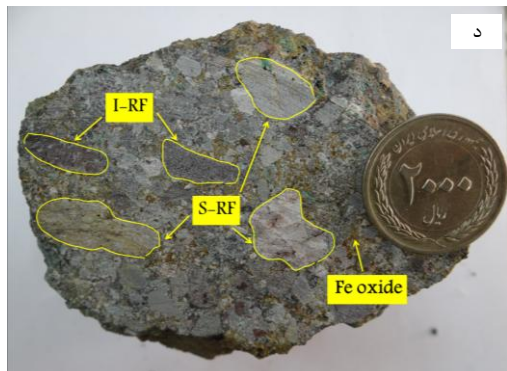
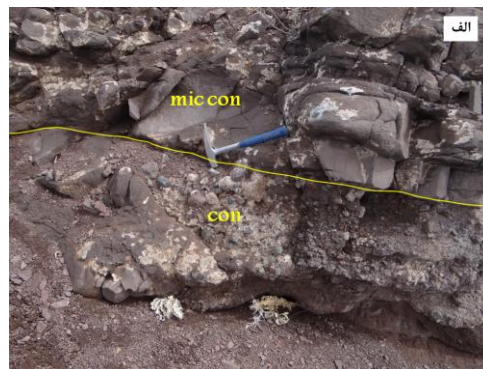
شکل ۲-۹: تصاویر میکروسکوپی از ماسه‌سنگ‌های لیتیک آرکوز موجود در منطقه در نور xpl. لیتیک آرکوز آهکی با بافت دانه‌ای درشت و ساب‌مچور که علاوه بر کوارتز و فلدسپات و پلاژیوکلاز سدیک دارای قطعات سنگی آذرین و گاه شیشه‌ای فراوان می‌باشد.

۲-۳-۳-۲ کنگلومرا و میکروکنگلومرا

میکروکنگلومرا و کنگلومرا، انتهای سیکل رسوب‌گذاری را در توالی سرخ رنگ منطقه تشکیل می‌دهند. میزان فراوانی میکروکنگلومرا بسیار بیشتر از کنگلومرا است و بیشتر کانه‌زایی، درون میکروکنگلومرا صورت گرفته است. ذرات تخریبی اصلی این سنگ شامل خرده‌سنگ‌های ولکانیکی، آهکی-کربناته، کوارتزهای مونوکریستالین و پلی کریستالین (نشان‌دهنده این است که قطعه خیلی حمل نشده است در غیر این صورت دچار خردشدگی می‌شد)، فلدسپات، بیوتیت و در بعضی قسمت‌ها اکسید آهن می‌باشد (شکل ۳-۱۰).

سیمان از نوع کلسیتی و در برخی مناطق اکسید آهن است و دانه‌های تشکیل‌دهنده سنگ دارای جورشدگی و گردشدگی ضعیف و سخت‌شدگی خوب می‌باشند (شکل ۳-۱۰).

کنگلومراها می‌توانند حاوی قطعات بسیار متنوعی باشند، خصوصاً اگر مواد سازنده، مسیر طولانی را طی کرده باشد. این گونه رسوبات را پلی میکتیک می‌نامند که برخی از رسوبات یخچالی و گراول‌های رودخانه‌ای از این جمله می‌باشند. کنگلومراهایی که فقط از یک نوع قطعه تشکیل شده‌اند را تحت عنوان الیگومیکتیک یا مونومیکتیک می‌نامند و معمولاً بر یک منشأ موضعی دلالت می‌کنند (تاکر، ۲۰۰۱). کنگلومراهای منطقه بیشتر از نوع پلی میکتیک می‌باشند.



شکل ۲-۱۰: نمایی از کنگلومرای موجود در منطقه و تصاویر میکروسکوپی آن، الف) تناوبی از کنگلومرا و میکروکنگلومرا در منطقه قنچی، ب) کنگلومرای کانه‌دار منطقه اسفیز، ج) نمونه دستی از کنگلومرای اسفیز که در آن قطعات خرده‌سنگ به خوبی قابل تشخیص هستند (قسمت مشخص شده قطعه‌ای بازال است)، د) نمونه‌ای از کنگلومرای قنچی دارای قطعات رسوبی و ولکانیکی که بخش اعظم سیمان آن را اکسید آهن و سیلیس شامل شده است، ن) کوارتز پلی‌کریستالین (دارای منشأ آذرین) در نمونه کنگلومرای قنچی، و) نمونه‌ای از کنگلومرای اسفیز دارای سیمان کلسیتی، ه) تصویر میکروسکوپی از کنگلومرای اسفیز که در آن قطعات خرده‌سنگی مشخص شده است، ی) تصویر میکروسکوپی از کنگلومرای قنچی دارای خرده‌سنگ رسوبی.

شواهد موجود در این واحد رسوبی نشان‌دهنده تشکیل این واحد توسط جریان‌های با بار رسوبی بالا بوده و این احتمال وجود دارد که در نزدیکی منشأ تشکیل شده باشد و می‌تواند جزء رخساره‌های پرکننده کانال محسوب شود (دهنوی و همکاران، ۱۳۹۰).

از جمله پدیده‌های شاخص در لایه‌های سرخ، وجود تغییرات جانبی لیتولوژی‌های مختلف از نظر ترکیب و ضخامت می‌باشد. به طوری که در برخی از سیکل‌های رسوبی تغییرات جانبی از کنگلومرا به سیلتستون و یا ماسه‌سنگ به صورت ناگهانی صورت می‌گیرد (شکل ۳-۱۱). این تغییرات به وضوح کانال‌های زیر آبی با مهاجرت جانبی کانال‌ها (Lateral accretion) را نشان می‌دهد و کانال‌های دیرینه (Paleochannel) را تشکیل می‌دهند. کانال‌های مذکور در محیط رودخانه‌ای و دلتایی متداول هستند.



شکل ۲-۱۱: تغییرات سریع جانبی ماسه‌سنگ به کنگلومرا در یک کانال قدیمی.

۲-۳-۴ ساختمان‌های رسوبی موجود در سازند قرمز قاره‌ای

ساختمان‌های رسوبی عمده موجود در این توالی شامل لایه‌بندی، لامیناسیون، طبقه‌بندی مورب، ریپل‌مارک و اثرات زیستی کرم‌ها (Burrows) می‌باشد.

ریپل‌های موجی از اشکال رسوبی ماسه‌سنگ در عمق کم (رودخانه‌ای و دلتایی) هستند. این ساختمان به فراوانی در ماسه‌سنگ موجود در توالی سرخ رنگ تشکیل شده است. ریپل‌ها در پهنه‌های جزرومدی معمولاً طرح‌های پیچیده را نشان می‌دهند که بر اثر تغییر عمق آب و جهت باد و آب

حاصل می‌گردد (تاکر، ۲۰۰۱). ریپل‌های تداخلی از انواع متداول این محیط‌ها می‌باشد که در ماسه-سنگ منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است (شکل ۳-۱۲، ب).

آثار حفاری موجودات (dwelling burrows) که به نظر می‌رسد از نوع Skolithos باشند، نشان‌دهنده محیط‌های کم انرژی در آب‌های دائمی و یا موقتی شامل رودخانه‌ای، پهنه‌های سیلابی و دریاچه‌ها می‌باشد (هی‌سوتیس^۱، ۲۰۰۴). در مجموع این حفرات نشان‌دهنده مقدار بالای رطوبت و بالا بودن سطح ایستابی هستند (دهنوی و همکاران، ۱۳۹۰).

در نهشته‌های الیگوسن منطقه، آثار فسیلی در قسمت میانی توالی‌ها همراه با واحدهای ماسه‌سنگی دانه درشت و دارای طبقه‌بندی افقی دیده می‌شود. با توجه به تشکیل این واحدهای ماسه‌سنگی که مربوط به قسمت‌های بالایی پشته‌های کانالی و داخل کانال است (کالیفا^۲ و کاتنینو^۳، ۲۰۰۸)، محیط تشکیل آن را در منطقه می‌توان کانال و حاشیه کانال در محیط‌های رودخانه‌ای در نظر گرفت (دهنوی و همکاران، ۱۳۹۰).

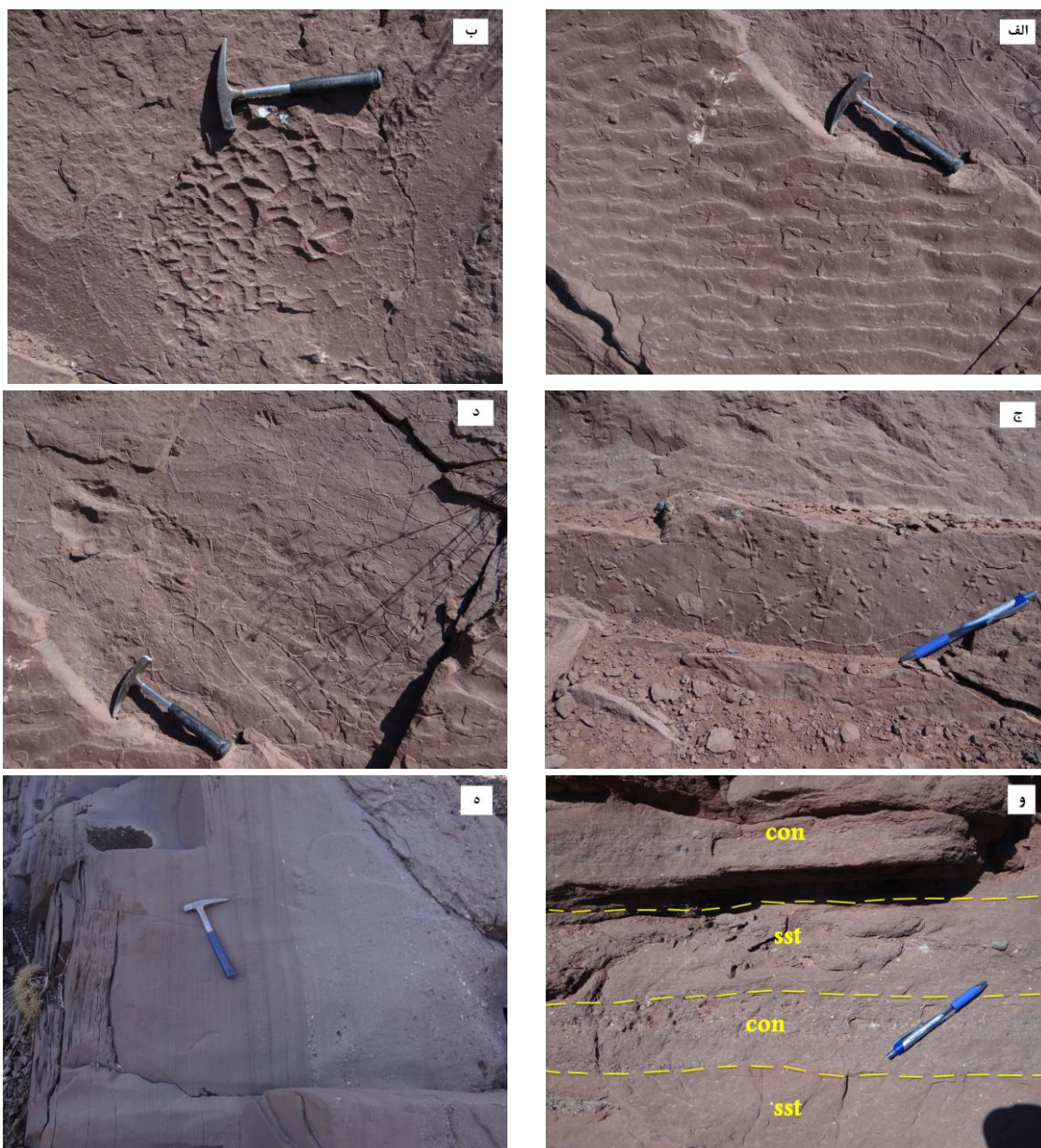
لایه‌بندی که از اشکال ویژه سنگ‌های رسوبی است، عمدتاً بر اثر تغییر شرایط رسوب‌گذاری (تغییر در ترکیب و یا اندازه دانه‌های رسوب) تشکیل می‌گردد (تاکر، ۲۰۰۱). در این منطقه لایه‌بندی درشت‌شونده است که مبین عدم هر گونه برگشتگی در طبقات است (شکل ۳-۱۲، و). هم‌چنین لامیناسیون که از تغییر اندازه دانه در لامینه‌ها و تغییر در ترکیب بین لامینه‌ها ناشی می‌شود نیز در رسوبات منطقه دیده می‌شود (شکل ۳-۱۲، ه).

ترک‌های گلی در رسوبات دانه ریز فراوان هستند، و اگر بر اثر خشک شدن تشکیل شده باشند، نشان‌دهنده رخنمون آن‌ها در معرض هوا است. این ساختمان‌ها در رخساره‌های پهنه جزرومدی و رودخانه‌ای فراوان هستند (تاکر، ۲۰۰۱) (شکل ۳-۱۲، د).

1 - Hasiotis

2 - Khalifa

3 - Catuneanu



شکل ۲-۱۲: ساختمان‌های رسوبی موجود در توالی لایه‌های سرخ میزبان در کال رودخانه، (الف) ریزل‌های موجی (wave-formed ripples)، (ب) ریزل‌های تداخلی (interference ripples)، (ج) آثار حفر کردن موجودات، (د) ترک-های گلی، (و) لایه‌بندی درشت‌شونده، (ه) لامیناسیون تناوبی از لایه‌های رسی و اکسیدهای آهن.

۴-۲-۲ واحد O^{sc}

در نهایت طبقات سرخ رنگ منطقه توسط واحد O^{sc} به صورت هم‌شیب پوشیده شده است. این واحد از ماسه‌سنگ‌های خاکستری، کنگلومرا با میان لایه‌هایی از سیلتستون تشکیل شده است (شکل ۳-۱۳). این واحد با سن الیگوسن هم‌روند با واحدهای قبلی، از غرب تا شرق منطقه امتداد دارد. رخنمون این واحد نسبت به واحدهای EO^s و EO^c محدودتر می‌باشد.



شکل ۲-۱۳: نمایی از واحد سنگی O^{sc} در منطقه قندو.

۳-۳ محیط رسوب‌گذاری لایه‌های سرخ

واژه طبقات سرخ به توالی‌های رسوبی اطلاق می‌شوند که رنگ سرخ دارند و معمولاً با نسبت‌های متفاوتی از میان لایه‌های خاکستری، خاکستری-سبز، قهوه‌ای یا سیاه همراه هستند و محدوده وسیعی از رخساره‌های محیط‌های رسوبی غیردریایی را شامل می‌شوند. طبقات سرخ نشان‌دهنده یک محیط قاره‌ای و خشکی هستند و در این نوع کانسارها منشاء مس و عناصر همراه می‌باشند (براون، ۱۹۹۳). واکنش‌های اکسیداسیون- احیا نقش کلیدی در تشکیل طبقات سرخ چه در مرحله رسوب‌گذاری و چه در مراحل بعد از رسوب‌گذاری دارند. هم‌چنین طبیعت و فراوانی مواد آلی در تعیین ویژگی‌های توالی طبقات سرخ عامل مهمی است.

واحدهای دریایی سرخ رنگ نیستند، دلیل آن وجود شرایط احیایی که در زیر سطح تماس آب- رسوب حاکم است، می‌باشد. اکسیدهای فریک موجود در طبقات سرخ نشان می‌دهند که تحت شرایط اکسیدان تشکیل شده‌اند و می‌توانند هم در شرایط خشکی و هم در شرایط استوایی مرطوب تشکیل شوند.

طبقات سرخ رنگ منشأ پلی‌ژنتیک دارند و شرایط تشکیل آن‌ها با شرایط لازم برای تشکیل هماتیت منطبق است. این شرایط شامل Eh مثبت و pH خنثی تا قلیایی است که این وضعیت در مناطق گرم و قاره‌ای با عرض جغرافیایی کم حاکم است (سپهری‌راد، ۱۳۸۸).

وجود چرخه‌های ریزشونده به سمت بالا با قاعده فرسایشی، وجود ساختارهای مربوط به محیط‌های قاره‌ای از قبیل ترک‌های گلی، ساختارهای رسوبی یک جهتی مانند ریپل‌مارک، مشخصات بافتی (جهت‌یافتگی در پیل‌ها، جورشدگی متوسط تا ضعیف و ذرات نیمه گرد شده تا زاویه‌دار)، رنگ قرمز رسوبات و نیز وجود کانال‌های قدیمه همگی مؤید محیط رسوبی رودخانه‌ای در این منطقه می‌باشد (دهنوی و همکاران، ۱۳۹۰).

توالی کنگلومرایی درشت دانه با ضخامت زیاد، همراه با میان لایه‌های ماسه‌سنگی که در قسمت ابتدایی و میانی سیکل رسوب‌گذاری دیده می‌شود توسط جریان‌های خرده‌دار با بار رسوبی بالا، در قسمت داخلی کانال در رودخانه‌های نزدیک به منشأ تشکیل می‌شوند (مایال^۱، ۲۰۰۰). هم‌چنین وجود توالی‌های ماسه‌سنگی و سیلتستونی که در قسمت میانی و انتهایی سیکل رسوب‌گذاری دیده می‌شود را می‌توان در ارتباط با تشکیل در پهنه‌های سیلابی و مناطق خارج از کانال در شرایط آشفته جریان، ریزش آب در مواقع سیلابی به خارج از کانال و سرازیر شدن رسوبات دانه درشت‌تر به این مناطق در نظر گرفت. وجود قطعات تشکیل‌دهنده آذرین با توجه به پایداری کم این قطعات در طی حمل و نقل و فراوانی آن‌ها در سنگ‌های مورد مطالعه، دلیل دیگری بر تشکیل در مناطق نزدیک به منشأ این سنگ‌ها است. با توجه به شواهد ذکر شده در بالا می‌توان محیط تشکیل را رودخانه نزدیک به منشأ در نظر گرفت (دهنوی و همکاران، ۱۳۹۰).

۳-۲ زمین‌شناسی ساختمانی منطقه معدنی

۱-۳-۲ گسل‌ها

گسل اصلی منطقه شامل گسل تراستی با روند شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشد که مرز بین توالی سرخ رنگ (EO^S) و واحد Ng^{CS} (کنگلومرا و ماسه سنگ) را تشکیل می‌دهد. سیستم دیگر گسل-های منطقه شامل گسل‌های با روند شمال شرقی- جنوب غربی تا شمالی- جنوبی می‌باشد که باعث جابجایی واحدهای سنگی در طول خود شده است.

1- Miall

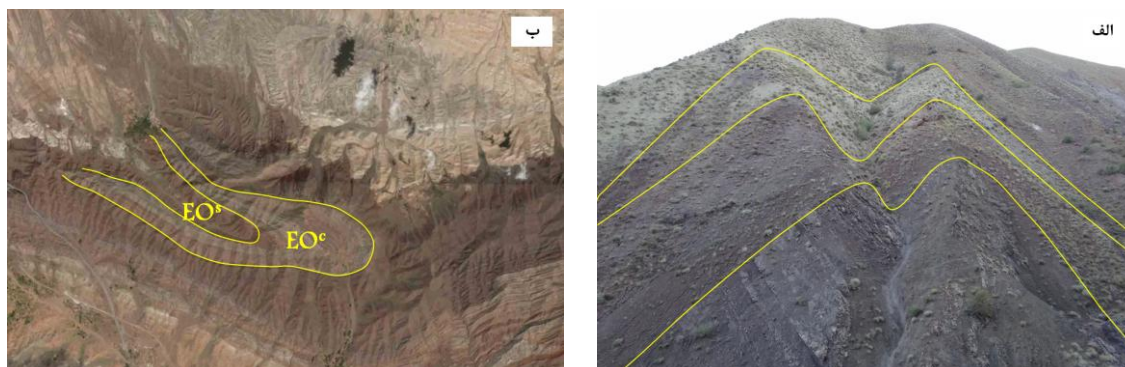
سیستم شکستگی و درزه‌های موجود در ماسه‌سنگ با سیستم گسل خوردگی منطقه منطبق بوده و به صورت تقریباً عمود بر هم مشاهده می‌گردند. کانه‌زایی مس درون این شکستگی‌ها، در نواحی دیده می‌شود که این سیستم‌ها، افق‌های احیایی کانه‌دار را قطع کرده باشند (شکل ۳-۱۴ الف). در غیر این صورت این سیستم درزه و شکستگی‌ها فاقد کانه‌زایی مس هستند (شکل ۳-۱۴ ب).



شکل ۳-۱۴: الف) گسلی در افق کانه‌دار کانسار اسفیز با روند شمالی - جنوبی. ب) درز و شکستگی‌هایی در معدن قندو با روند شمال شرقی - جنوب غربی که بر هم عمودند.

۲-۳-۲ چین خوردگی‌ها

چین خوردگی‌های منطقه بیشتر در ارتباط با چین خوردگی‌های درون سازندی است. این نوع چین خوردگی‌ها را می‌توان در منطقه اسفیز در واحدهای ماسه سنگی EO^S مشاهده نمود (شکل ۳-۱۵ الف). هم‌چنین در جنوب روستای قنچی چین خوردگی وجود دارد که در واحد کنگلومرای EO^C رخ داده و باعث ایجاد طاق‌دیس و ناودیس در کنگلومراها شده است (شکل ۳-۱۵ ب).



شکل ۳-۱۵: الف) چین خوردگی واحد ماسه‌سنگی و مارنی EO^S در منطقه اسفیز (دید به سمت جنوب). ب) چین خوردگی در واحدهای EO^S و EO^C در قنچی.

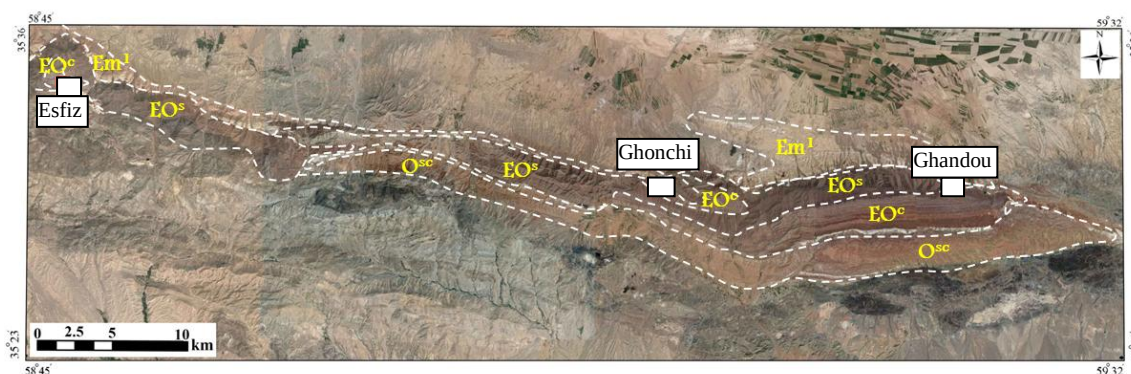
فصل چهارم

کانه زایی و دگرسانی

۱-۳ مقدمه

در بخش شمال و شمال غرب شهرستان تربت حیدریه کانه‌زایی مس رسوبی به ترتیب در ورقه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ کدکن، رباطسفید و تربت حیدریه رخ داده است. کانه‌زایی مس رسوبی از غرب ورقه کدکن آغاز شده، و تا جنوب شرقی ورقه رباطسفید ادامه دارد و بخش‌های شمالی ورقه تربت حیدریه را نیز در بر گرفته است. گسترش طولی کانه‌زایی مس رسوبی در این ناحیه به ۶۵ کیلومتر می‌رسد. کانی‌سازی در این فاصله کم و بیش به طور پراکنده و منقطع مشاهده می‌شود و حداکثر طول رخنمون پیوسته افق‌های مس‌دار کمتر از ۵۰ متر، با ضخامت متغیر (۲۰ سانتی‌متر تا یک متر) و به طور متوسط در حدود ۳۰ سانتی‌متر است. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در سال ۱۳۸۸، کانه‌زایی مس را در این محدوده مورد مطالعات مقدماتی قرار داده است.

در شکل (۱-۴) تصویر ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است، که در آن رخنمون‌های سنگی کانه‌دار با خط‌چین مشخص شده‌اند. هم‌چنین موقعیت سه کانسار مورد مطالعه در آن مشخص شده است.



شکل ۱-۳: تصویر ماهواره‌ای از واحدهای رخنمون یافته در منطقه معدنی و موقعیت کانسارهای مورد مطالعه.

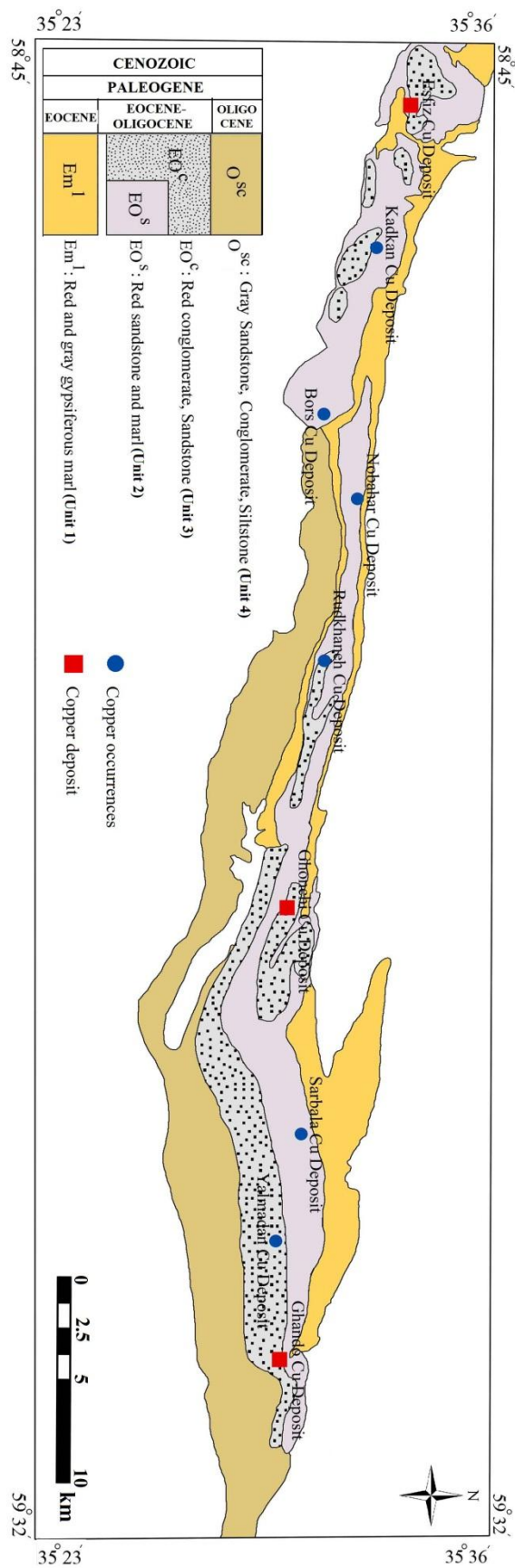
۲-۳ رخداد کانه‌زایی مس در شمال - شمال غرب تربت حیدریه

کانه‌زایی مس رسوبی در شمال - شمال غرب تربت حیدریه در مجموعه واحدهای رسوبی - تخریبی توالی سرخ رنگ قاره‌ای دیده می‌شود. کانه‌زایی در افق‌های احیایی و در ارتباط با کانال‌های دیرینه

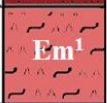
(Paleochannel) رخ داده است. کانال‌های دیرینه درون افق‌های احیایی از کنگلومرای ریزدانه در بخش زیرین تشکیل شده است که به سمت بالا از اندازه دانه‌ها کاسته و به تدریج به ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ بسیار دانه ریز تبدیل می‌شود. قطعات چوبی و فسیل‌های گیاهی به عنوان عامل اصلی احیای محیط در کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های موجود در کانال‌های دیرینه بیشترین تمرکز را دارند (جاویت^۱، ۱۹۹۱). وجود فسیل‌های گیاهی، جهت احیای محیط و نفوذپذیری مناسب در قاعده کانال‌های قدیمی موجود در توالی‌ها، محیط مناسبی را جهت کانه‌زایی مس با میزبان رسوبی، مهیا می‌سازد (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵؛ کرخام، ۱۹۹۶).

وجود کانسارها و اندیس‌های متعدد در این منطقه نشان از پتانسیل بالای کانه‌زایی مس در این مجموعه است. تعدادی از کانسارها و اندیس‌های موجود در این منطقه در شکل (۴-۲) نشان داده شده است که از مهم‌ترین آن‌ها در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ کدکن می‌توان از: اندیس کال اسفیز در غرب ورقه، کال کدکن و کال برس در وسط ورقه و کال نوبهار در شرق ورقه نام برد. همچنین در ورقه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ رباطسفید و تربت‌حیدریه می‌توان به اندیس‌های: کال رودخانه، قنچی، سربالا، یال معدن و قندو در ورقه رباطسفید و اندیس شمال کامه در ورقه تربت‌حیدریه اشاره کرد.

واحدهای سنگی مرتبط با کانه‌زایی به صورت تناوب لایه‌های تخریبی قرمز و اکسیدان با لایه‌های تخریبی احیایی و خاکستری رنگ می‌باشند. کانی‌سازی مس با میزبان رسوبی در این منطقه محدود به افق‌های چینه‌شناسی خاصی بوده و در دو افق اصلی کانه‌دار به صورت ناپیوسته در داخل لایه‌های احیایی رخ داده است. افق اول در واحد ماسه‌سنگی ضخیم لایه تا متوسط لایه به رنگ قرمز روشن تا خاکستری (EO^s) و افق دوم در واحدهای کنگلومرای (EO^c) وجود دارد (میلویش و همکاران، ۱۳۹۲). هر یک از این افق‌ها، شامل چندین زیر افق می‌باشند (شکل ۴-۳).



شکل ۲-۳: گسترش واحدهای سنگی مرتبط با کانه‌زایی و پراکندگی کنسارها و اندیس‌های مس واقع در شمال-شمال غرب تربت حیدریه.

OLIGOCENE	Unit 4		Gray sandstone, conglomerate, siltstone
EOCENE-OLIGOCENE	Unit 3		Esfiz Cu deposit Red conglomerate Ghonchi Cu deposit
	Unit 2		Ghandou Cu deposit Red sandstone and marl
EOCENE	Unit 1		Red and gray gypsiferous marl

شکل ۳-۳: ستون چینہ‌شناسی واحدهای سنگی موجود در منطقه معدنی و موقعیت افق‌های مس‌دار (مقیاس لحاظ نشده است).

کانسارهای مس رسوبی در واحدهای ماسه‌سنگی و کنگلومرای احيایي توالی سرخ به صورت چینہ‌سان و چینہ‌کران تشکیل می‌شوند، تجمع مس و سولفیدهای آن به همراه نقره، اورانیوم و وانادیوم توسط عوامل احيای نظیر قطعاتی از فسیل گیاهی، پیریت و سیالات هیدروکربنی کنترل می‌شود (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷).

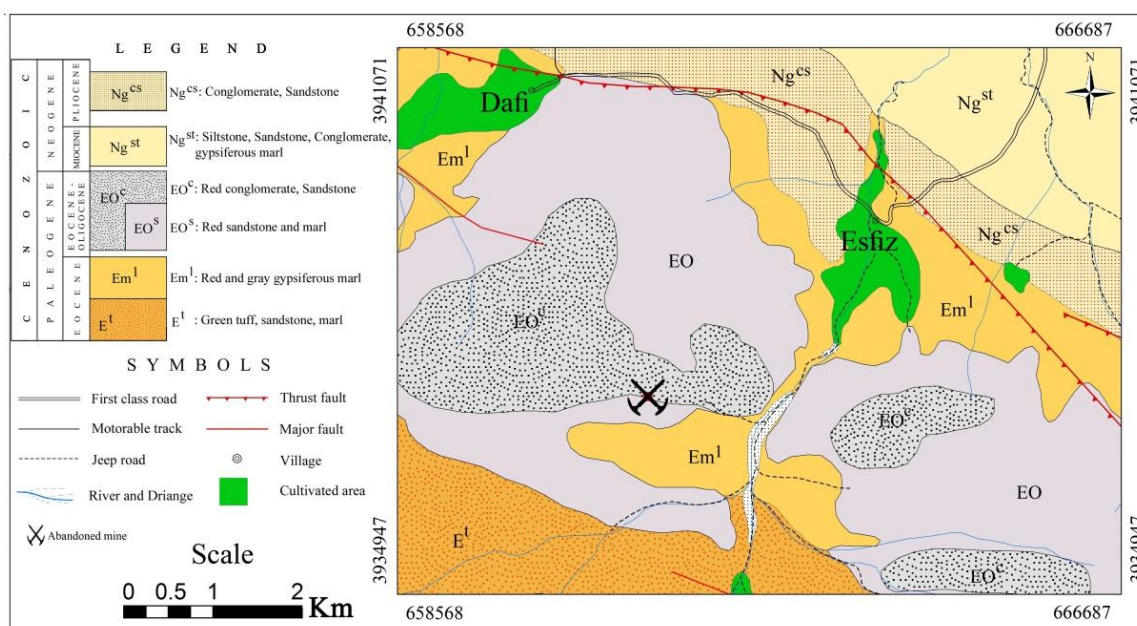
به طوری که ملاحظه می‌شود، این منطقه از نظر پتانسیل کانه‌زایی مس رسوبی حائز اهمیت بوده و قابلیت بررسی‌های بیشتر، دقیق‌تر و همه‌جانبه‌تر را جهت شناخت ویژگی‌های این تیپ کانه‌زایی و استفاده از آن جهت اکتشاف احتمالی در نواحی با زمین‌شناسی مشابه، در دیگر نقاط ایران را دارد. نظر به این که هدف اصلی این تحقیق، به ویژگی‌های کانه‌زایی مس رسوبی در کانسارهای اسفیز، قنچی و قندو اختصاص دارد، لذا در این فصل، کانه‌زایی مس در این کانسارها مورد توجه قرار گرفته است. در این معادن فعالیت‌های اکتشافی تنها به صورت حفر ترانشه‌های اکتشافی صورت گرفته است و در حال حاضر هیچ گونه فعالیت اکتشافی در آن‌ها انجام نمی‌گیرد.

۳-۳ کانه‌زایی مس در محدوده مورد مطالعه

کانه‌سازی مس در این منطقه به صورت کانسار و اندیس‌های متعددی رخ داده است، ولی ما در این تحقیق تنها به ۳ کانسار اسفیز، قندو و قنچی پرداخته‌ایم، که در زیر به طور مفصل توضیح داده خواهند شد.

۱-۳-۳ معدن متروکه اسفیز

روستای اسفیز در ۶ کیلومتری غرب کدکن واقع است (شکل ۱-۱). در حدود ۳ کیلومتری جنوب غرب این روستا درون واحدهای کنگلومرا- ماسه‌سنگی الیگوسن (EO^c) معدن متروکه‌ای به نام اسفیز قرار دارد (شکل ۴-۴).



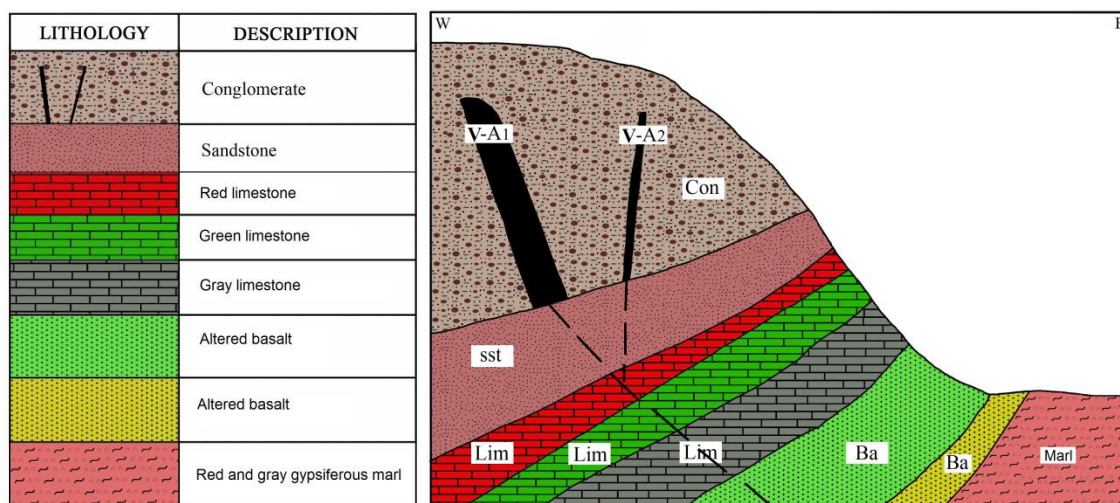
شکل ۴-۳: نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی اسفیز، که بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ تربت حیدریه (واعظی پور، ۱۳۷۰)، برداشت‌های صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای ترسیم شده است.

واحدهای سنگی موجود در معدن متروکه اسفیز از پایین به بالا شامل:

- واحدهای سنگی پایین دست معدن (ابتدای آبراهه) شامل طبقات ماسه‌سنگی، سنگ آهک (شکل ۴-۶ و) و مارن‌های سفید مایل به زرد همراه با میان لایه‌های ژئوپس است (شکل ۴-۶ ه) که احتمالاً این ژئوپس‌های موجود در توالی شوری لازم را برای سیال

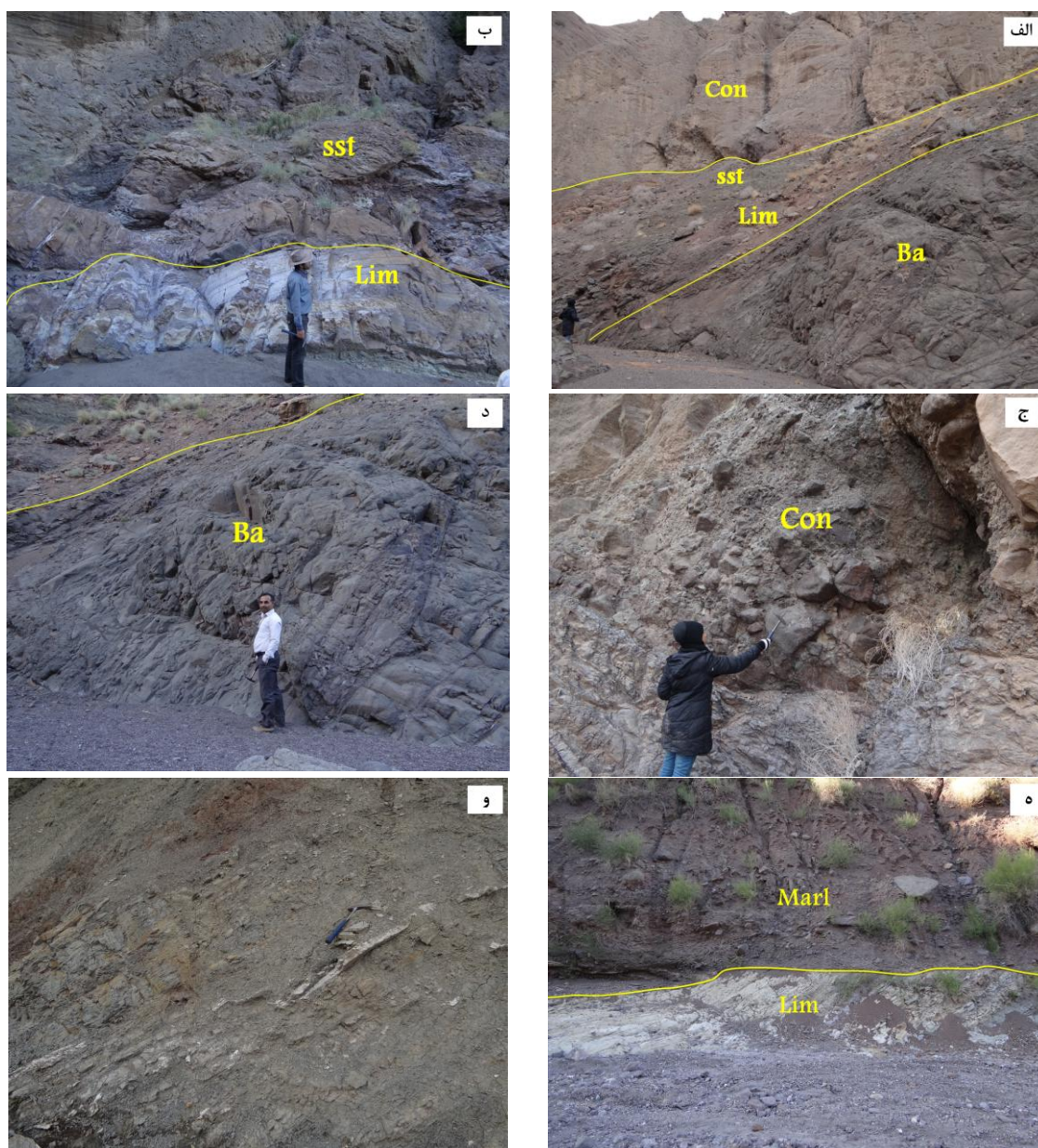
کانه دار تأمین کرده است.

- بازالت‌های دگرسان شده زرد رنگ (پیریت‌ها دگرسان شده و اکسیدهای آهن تشکیل شده اند) و بازالت‌های دگرسان نشده تیره رنگ (دارای فلدسپار و رگه‌های کلسیتی).
- سنگ آهک از نوع مادستون دارای فسیل‌های میلیولیده که به سمت بالا بیشتر دچار آلتراسیون شده‌اند.
- ماسه‌سنگ از نوع آرکوز دارای خرده‌سنگ‌های چرتی و ولکانیکی، پلاژیوکلاز و زیرکن که توسط سیمان کربناته دربر گرفته شده‌اند.
- کنگلومرای پلی‌میکتیک حاوی قطعات رسوبی و به مقدار خیلی بیشتر ولکانیکی با سیمان کلسیتی می‌باشد. این کنگلومرا دارای سخت شدگی قوی، جورشدگی و گردشگی ضعیف است (شکل ۴-۵).



شکل ۳-۵: الف) مقطع عرضی، ب) توالی چین‌های واحدهای سنگی معدن متروکه اسفیز (مقیاس لحاظ نشده است).

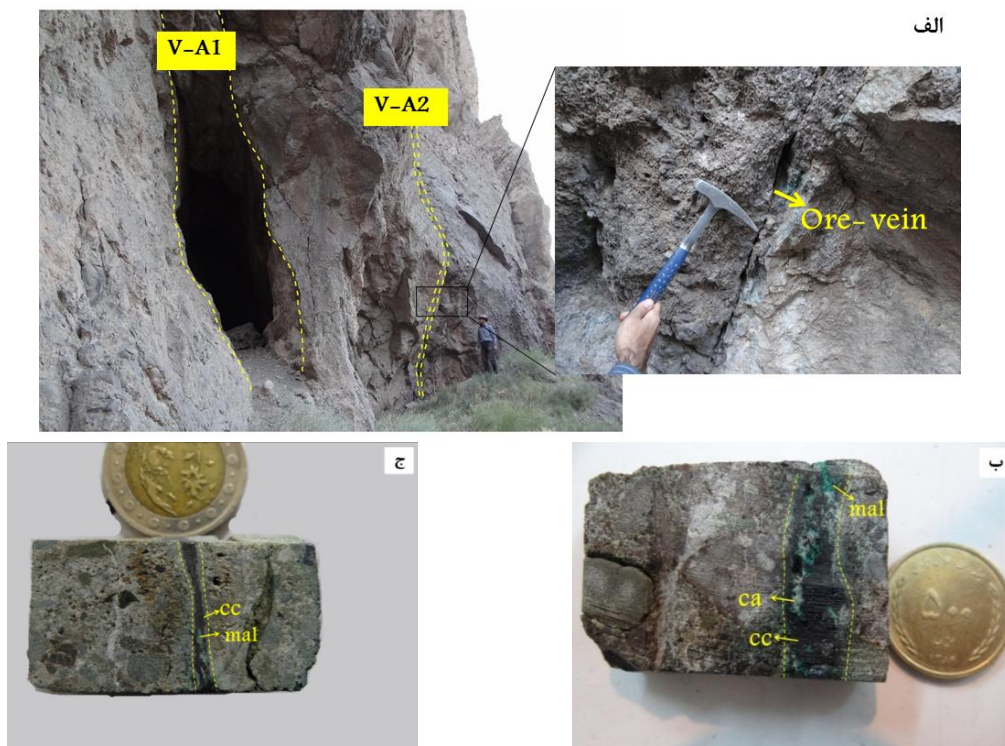
سنگ میزبان کانه‌سازی واحدهای کنگلومرای درشت دانه با امتداد تقریبی شرقی-غربی می‌باشد. شیب این طبقات ۷۰ درجه به سمت شمال شرق است (شکل ۴-۶ الف). قطعات کنگلومرا از واحدهای لیتیک گردشده و گاهی زاویه‌دار با ترکیب عمدتاً بازالتی-آندزیتی تشکیل شده است، که این قطعات اغلب به کالکوسیت و مالاکیت آغشته شده‌اند (شکل ۴-۶ ج).



شکل ۳-۶: تصاویری از معدن متروکه اسفیز: الف) توالی واحدهای سنگی، ب) توالی سنگ آهک و ماسه‌سنگ، ج) کنگلومرای حاوی ماده معدنی، د) بازالت‌های دگرسان شده، ه) توالی مارن‌های گچ‌دار و سنگ، و) مارن با میان لایه‌های ژئوپس.

کانی‌سازی در این معدن در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها به صورت رگه‌ای و چینه‌کران (Stratabound) درون واحد کنگلومرای صورت گرفته است (شکل ۴-۷ الف). به نظر می‌رسد این گسل‌ها و شکستگی‌ها با بالا بردن نفوذپذیری کنگلومرای سخت شده، معبر مناسبی برای عبور سیال کانه دار ایجاد کرده‌اند و منجر به رخداد دگرسانی‌ها و کانه‌زایی در منطقه شده‌اند. کانه‌سازی در این

معدن درون فضاهای خالی ایجاد شده توسط شکستگی‌ها رخ داده است (شکل ۷-۴ ب و ج).



شکل ۷-۳: الف) تصویری از رگه‌های کانهدار در داخل واحد کنگلومرایی در معدن متروکه اسفیز، ب و ج) نمونه دستی از معدن اسفیز (کالکوسیت و مالاکیت درون شکستگی‌های سنگ را پر کرده است).

پهنه کانهدار احیایی در این معدن درون واحدهای کنگلومرایی قرار دارد که شامل دو رگه کانهدار (V-A1 و V-A2) با روند شمالی- جنوبی می‌باشد. این رگه‌ها دارای کانی‌های اولیه پیریت، کالکوسیت، بورنیت، مگنتیت و کانی‌های ثانویه کوولیت، دیژنیت، مالاکیت و آزوریت می‌باشند. ماده معدنی به صورت پرکننده فضاهای خالی میان قطعات کنگلومرا تشکیل شده است که نشان از اپی‌ژنتیک بودن کانسار است.

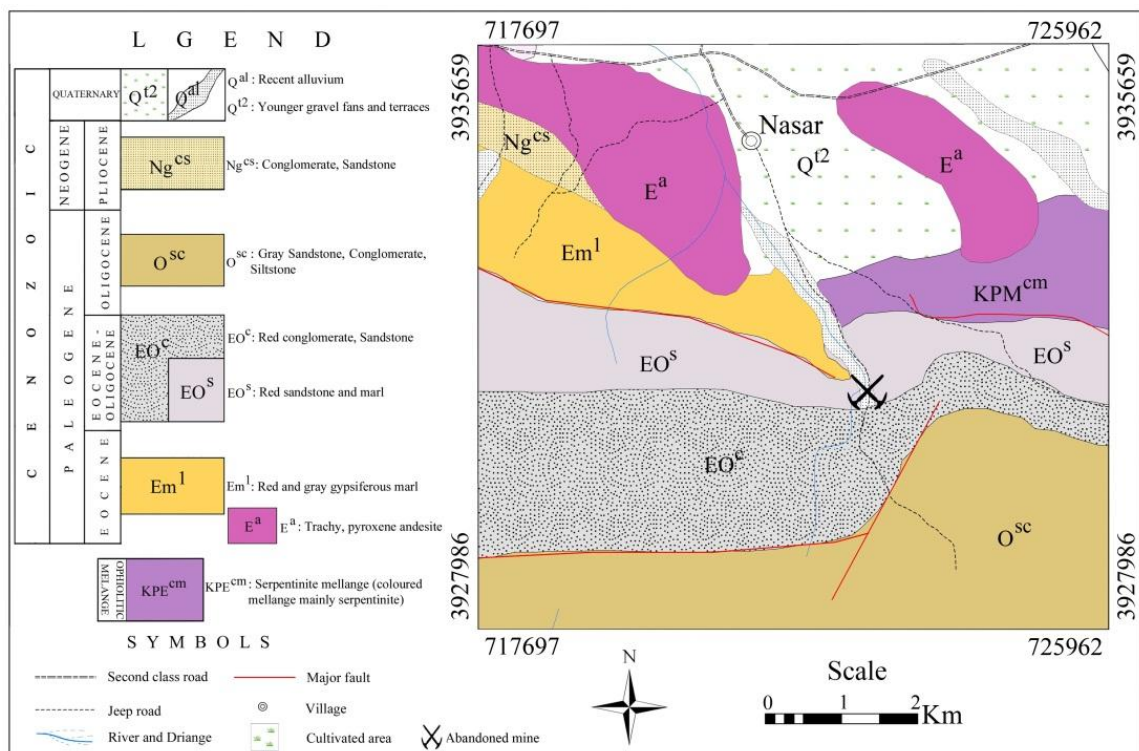
عامل کان‌زایی در این معدن حضور سیمان کلسیتی و کانی‌های مافیک و پیریت می‌باشد که باعث ایجاد محیط احیایی شده و شرایط مساعد برای ته‌نشینی مس را فراهم کرده است، به طوری که سولفیدهای مس جانشین کانی‌های مافیک و پیریت شده اند.

برای استخراج ماده معدنی، سینه‌کاری در ابعاد ۵×۴ متر احداث شده است که از آن دو تونل در امتداد رگه حفر شده است. رگه معدنی با زاویه در حد ۶۰ درجه امتداد سنگ میزبان را قطع کرده

است و شیب آن ۶۷ درجه به سمت جنوب شرق می‌باشد. ضخامت رگه سمت چپ در حدود یک متر و ارتفاع آن نیز تقریباً ۲۰ متر می‌باشد.

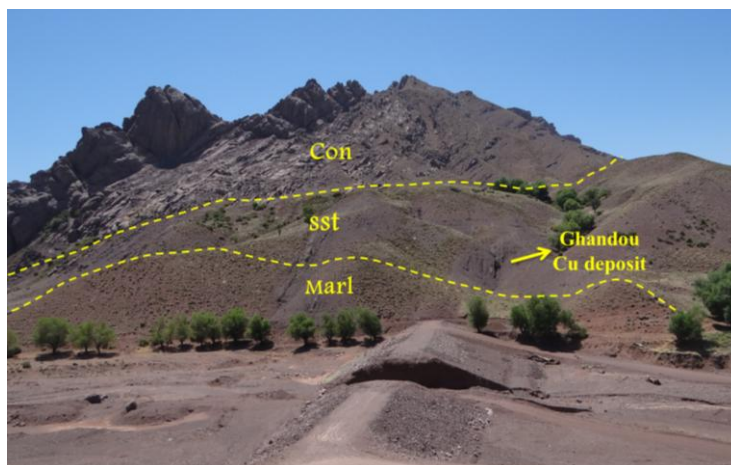
۲-۳-۳ معدن متروکه قندو (قنداب)

این معدن در ۳ کیلومتری جنوب روستای نسر قرار دارد (شکل ۲-۱). کانه‌سازی در این معدن در واحدهای ماسه‌سنگی EO^S رخ داده است (شکل ۴-۸).



شکل ۳-۸: نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی قندو، که بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت‌حیدریه (واعظی پور، ۱۳۷۰)، برداشت‌های صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای ترسیم شده است.

واحدهای سنگی موجود در محدوده معدنی قندو از پایین به بالا شامل (۱) مارن‌های گچ دار، (۲) ماسه‌سنگ قرمز رنگ با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ خاکستری احیایی و (۳) کنگلومرای قرمز رنگ سستبر لایه می‌باشد (شکل ۴-۹).

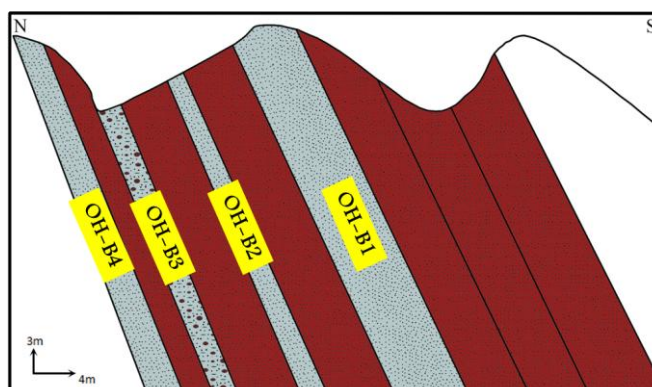


شکل ۳-۹: واحدهای سنگی رخنمون یافته و موقعیت کانسار در منطقه معدنی قندو (دید به سمت غرب).

ماسه‌سنگ‌های ضخیم لایه تا متوسط لایه به رنگ قرمز روشن (به دلیل وجود کانی‌های اکسید آهن) تا خاکستری (به دلیل وجود مواد آلی و پیریت) به صورت لایه‌ای و چینه‌سان (Stratiform) میزبان کانی‌سازی مس در این معدن هستند. این معدن دارای ۲ افق اصلی احیایی کانه‌دار می‌باشد. کانه‌زایی هم در افق احیایی ماسه‌سنگی و هم در افق احیایی کنگلومرایی رخ داده است. همچنین در این معدن ۴ زیر افق کانه‌دار قابل مشاهده است، که ۳ زیر افق در واحد ماسه‌سنگی (OH-B1، OH-B2 و OH-B4) و ۱ زیر افق در واحد میکرونگلومرایی (OH-B3) وجود دارد (شکل ۴-۱۰). ضخامت افق‌های کانه دار از ۲۰ سانتی‌متر تا ۳۰ سانتی‌متر متغیر است. شیب و امتداد لایه‌ها ۵۳SE و N70E می‌باشد.

طبق بررسی‌های صحرایی کمر بالا و پایین تمامی افق‌های کانی‌سازی به جز در مواردی که میکروکنگلومرا میزبان کانی‌سازی است از ماسه‌سنگ‌های خاکستری تا قهوه‌ای رنگ تشکیل شده است.

AGE	LITHOLOGY	DESCRIPTION
EOCENE - OLIGOCENE		Ore bearing gray reduced Sandstone (OH-B4)
		Ore bearing Conglomerate (OH-B3)
		Red Sandstone
		Ore bearing gray reduced Sandstone (OH-B2)
		Ore bearing gray reduced Sandstone (OH-B1)
		Red Sandstone



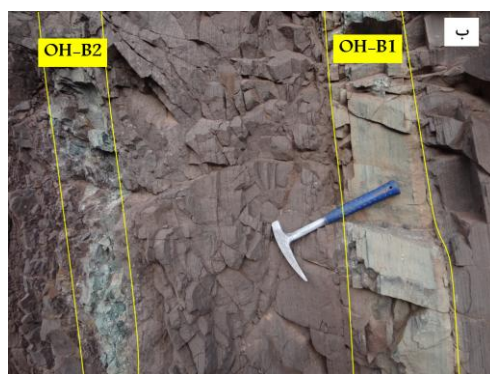
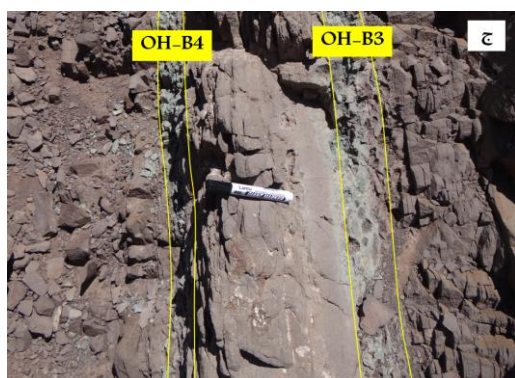
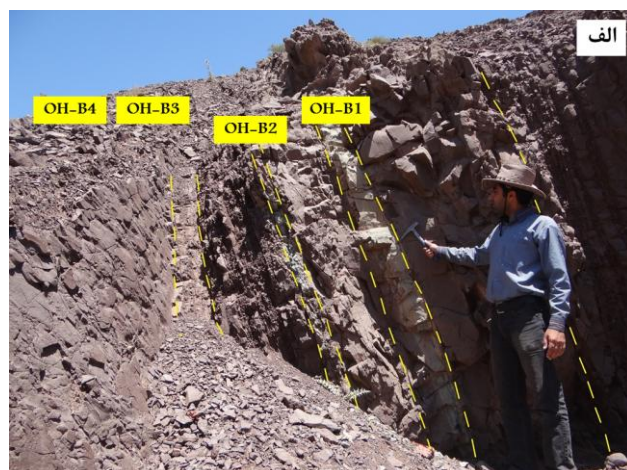
ب

الف

شکل ۳-۱۰: الف) مقطع عرضی، ب) توالی چینهای واحدهای سنگی معدن متروکه قندو (ستون چینه بدون مقیاس می باشد).

ماسه سنگ ها در این معدن از نوع آرکوز تا لیتیک آرکوز با جورشدگی و گردشدگی ضعیف می باشند. از نظر بافتی، این سنگ ها از نوع ساب مچور تا ایمچور هستند، به این مفهوم که اجزای تشکیل دهنده این سنگ ها مسافت زیادی را طی نکرده و مجموع انرژی مصرف شده برای تشکیل این سنگ، کم بوده است. اندازه دانه های تشکیل دهنده ماسه سنگ ها از سمت راست به سمت چپ افزایش یافته، که باعث افزایش تخلخل مفید و نفوذپذیری شده است. این افزایش تخلخل مفید به همراه عوامل احیایی مانند حضور فسیل گیاهی و پیریت باعث ته نشینی مس در برخی از افق ها شده است. کنترل کننده اصلی سیالات از منشأ تا فرایندهای اکسایش - کاهش، به نفوذپذیری اولیه واحدهای سنگی خاص (معمولاً ماسه سنگ های درشت دانه) بستگی دارد (اسلامی زاده و همکاران، ۱۳۹۱).

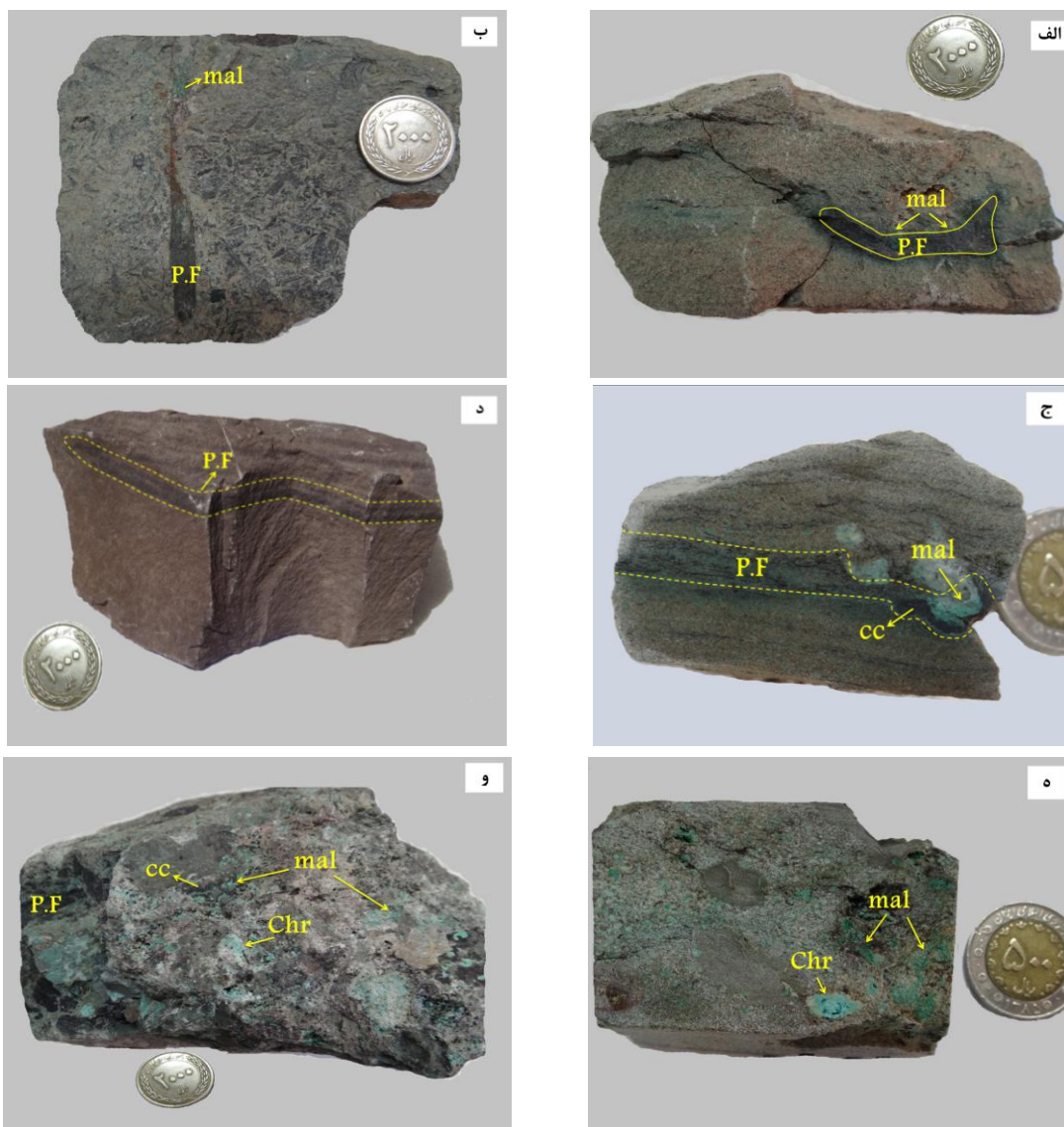
کانی سازی در این منطقه به دلیل هوازدگی سطحی سولفیدهای مس در سطح رخنمون های سنگی، به شکل کانی های کربناته مس شامل مالاکیت گسترش یافته است. کانه زایی مس در بخش های از این واحد که فسیل گیاهی وجود دارد، دیده می شود. کانی سازی اولیه مس، در حضور فسیل های گیاهی که محیط احیایی ایجاد می کنند، صورت گرفته است (شکل ۴-۱۱ الف تا ج).



شکل ۱۱-۳: الف) توالی لایه‌های سرخ و خاکستری در قندو، ب و ج) افق‌های کانه دار در قندو. افق OH-A3 درون واحد میکروکنگلومرایی و ۳ افق دیگر درون ماسه سنگ‌ها قرار دارند.

سولفیدهای مس اغلب در اطراف فسیل‌هایی که درون واحدهای سنگی درشت دانه و نفوذپذیر تجمع یافته‌اند، تشکیل شده‌اند. این در حالی است که در پهنه‌های با نفوذپذیری کم (ریز دانه) درون سنگ میزبان، قطعات فسیلی به ندرت دارای کانه‌زایی هستند (شکل ۴-۱۲ د). به عبارت دیگر، افزون بر حضور قطعات فسیل گیاهی، نفوذپذیری واحدهای سنگی درشت دانه، از عوامل عمده و اصلی تمرکز کانه‌زایی مس است (کرخام، ۱۹۹۶).

سولفیدهای مس در تمام یا بخشی از این فسیل‌ها جانشین شده و یا در اطراف آن تمرکز یافته‌اند. برخی از سولفیدهای مس جانشین پیریتی گردیده‌اند که خود در حضور مواد آلی تجمع یافته‌اند. مالاکیت و کریزوکلا در شکستگی‌ها و شکاف‌های بین دانه‌های سنگی و گاهی درون فسیل‌های گیاهی، به صورت ثانویه تمرکز یافته‌اند که هاله سبز-آبی را در اطراف فسیل‌های گیاهی و سولفیدهای دانه پراکنده ایجاد نموده‌اند (شکل ۴-۱۲ ه، و).



شکل ۳-۱۲: ماسه‌سنگ‌های میزبان کانه‌سازی در معدن قندو: الف، ب و ج) آثار مربوط به ساقه گیاهی (قسمت سیاه رنگ) و کانه‌زایی مس به صورت مالاکیت و کالکوسیت در افق‌های کانه‌دار. د) وجود فسیل گیاهی در ماسه‌سنگ دانه ریز قرمز رنگ که به دلیل نفوذپذیری پایین فاقد کانه‌زایی می‌باشد. ه) میکروکنگلومرای کانه‌دار دارای بافت پرکننده فضای خالی. و) ماسه‌سنگ دانه درشت کانه‌دار که کانه‌زایی مس درون حفرات سنگ رخ داده است.

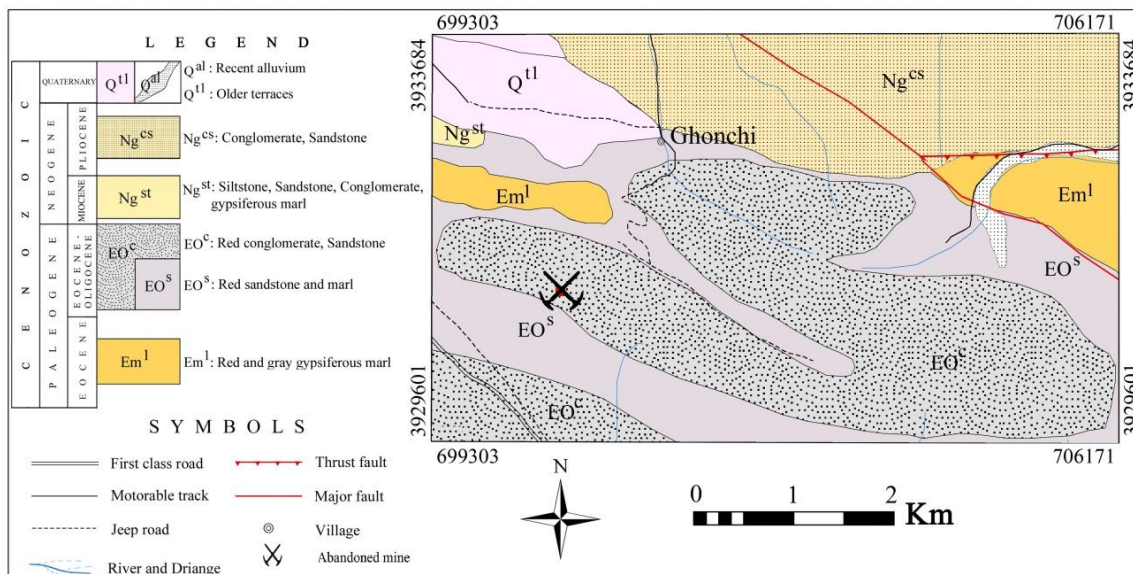
همان طور که در اشکال بالا دیده می‌شود، سولفیدهای مس (به خصوص کالکوسیت) با جانشین شدن در ساختمان‌های موجود در ساقه گیاه، ایجاد استوانه‌هایی از کالکوسیت می‌کنند. فسیل گیاهی در معرض هوازدگی سطحی قرار گرفته، بخش‌های نرم آن از بین رفته و استوانه‌های کالکوسیت به صورت پراکنده در اطراف محل کانه‌زایی دیده می‌شوند (شکل ۴-۱۲ ج).

این معدن شامل یک تونل استخراجی در امتداد لایه‌ها در کنار رودخانه، یک سینه‌کار در کناره

شرقی رودخانه (۳۵۰ متری تونل اصلی) و سینه کار دیگری در ۱۵۰ متری غرب تونل می باشد. تونل حدود ۲۵ متر طول دارد و ابعاد دهانه آن ۲×۱/۵ متر مربع می باشد. سینه کار غربی در ابعاد ۱۰×۵×۳ حفر شده که بیشتر برای شناسایی چگونگی گسترش و ابعاد کانی سازی بوده است (سپهری راد، ۱۳۸۸).

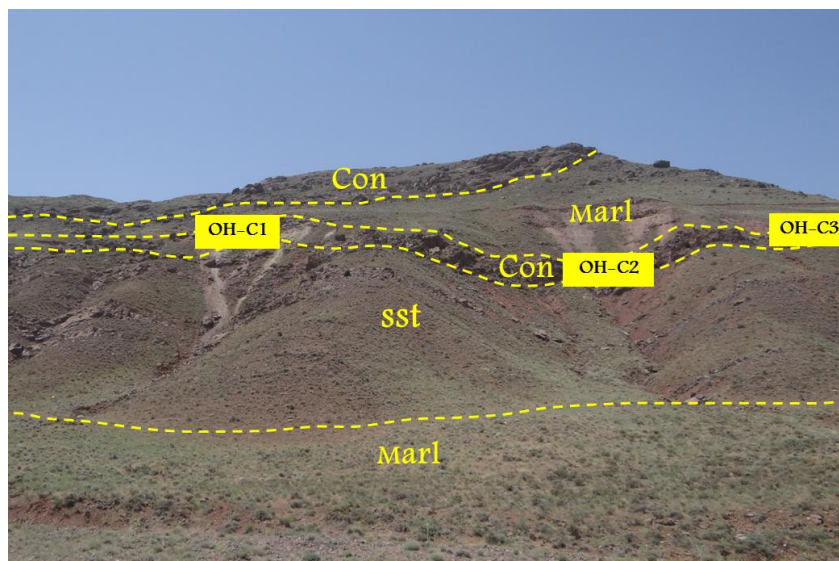
۳-۳-۳ کانسار قنچی

روستای قنچی در جنوب شرق رباط سنگ و ۴/۵ کیلومتری آن واقع است (شکل ۱-۲) و ما بین آن ها کارخانه گچی وجود دارد که گچ های موجود در رسوبات تبخیری نئوژن را استخراج می کند. در جنوب غربی این کارخانه و درون طبقات قرمز متشکل از ماسه سنگ، میان لایه های ضخیم میکروکنگلومرا رخمون دارند. کانه سازی در این اندیس در واحدهای کنگلومرای (EO^c) رخ داده است (شکل ۴-۱۳).



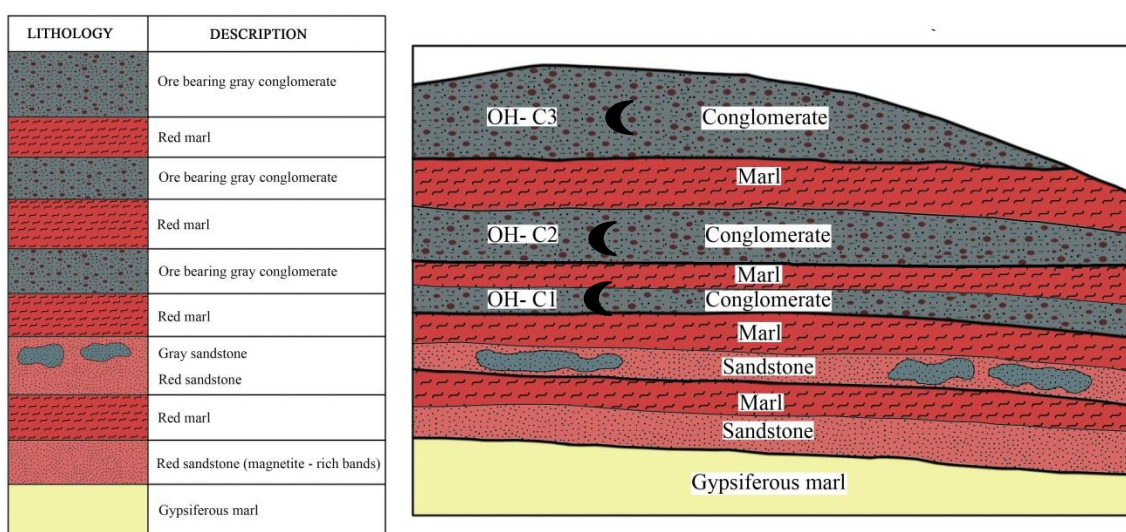
شکل ۳-۱۳: نقشه زمین شناسی منطقه معدنی قنچی، که بر اساس نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه (واعظی پور، ۱۳۷۰)، برداشت های صحرایی و تصاویر ماهواره ای ترسیم شده است.

در این کانسار توالی واحدهای سنگی از قسمت پایین به بالا شامل: (۱) مارن با میان لایه هایی از ژئپس، (۲) تناوبی از ماسه سنگ و مارن های قرمز رنگ و (۳) تناوبی از واحدهای کنگلومرای و مارنی می باشد (شکل ۴-۱۴).



شکل ۳-۱۴: واحدهای سنگی رخنمون یافته و موقعیت کانسار در منطقه معدنی قنچی (دید به سمت جنوب).

کانه‌زایی مس در این کانسار در افق احيایي کنگلومرایي و در ۳ زیر افق (OH-C1, OH-C2, OH-C3) صورت گرفته است (شکل ۴-۱۵). سنگ میزبان این افق کانهدار میکروکنگلومرای پلی‌میکتایت با خرده‌سنگ‌های ولکانیکی، کربناتی و ماسه‌سنگی است که دارای سیمان کربناته و اکسید آهن می‌باشد. در مقاطع میکروسکوپی بخشی از سیمان را کانی‌های اپک تشکیل داده است. ضخامت افق‌های کانی‌سازی در حدود یک متر و طول رخنمون‌دار به ۲۰ متر می‌رسد. شیب و امتداد این افق‌ها نیز 55SE و N25 است.



ب

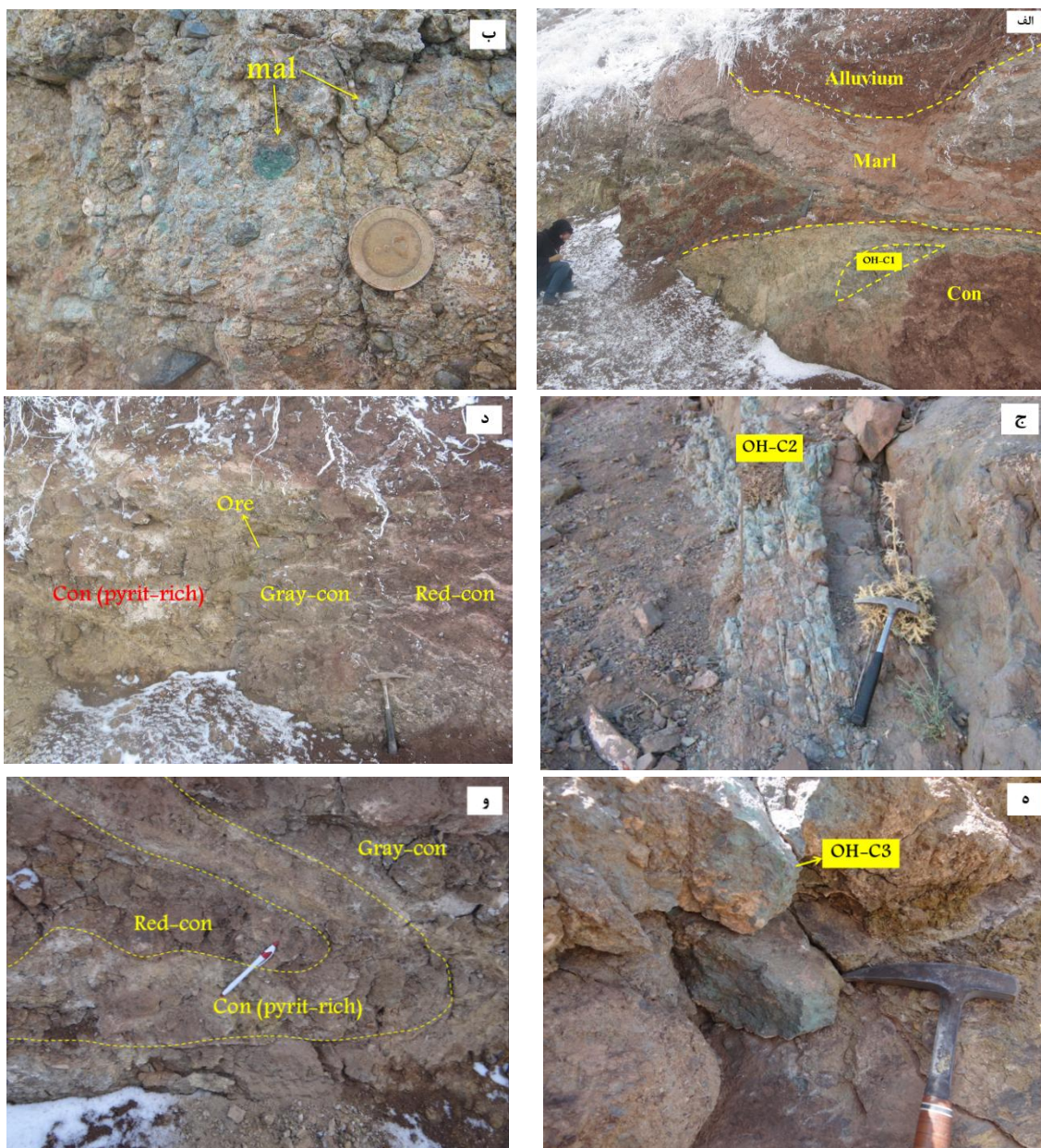
الف

شکل ۳-۱۵: توالی چین‌های واحدهای سنگی کانسار قنچی (مقیاس لحاظ نشده است).

افق OH-C1 به دلیل حرکت سیال کانه‌دار شدیداً دچار دگرسانی شده است، که حالت رول فرونت دارد (شکل ۱۶-۴ الف). این رول دگرسانی بر اساس تغییرات رنگ و کانی‌شناسی به صورت بخش‌های مجزا درآمده است. از این قسمت به صورت سیستماتیک نمونه‌برداری و آنالیز XRD روی آن‌ها انجام گرفته، که در بخش دگرسانی (بخش ۴-۴) به طور مفصل به آن پرداخته شده است. کانه‌زایی مس در این افق در بخش سبز رنگ کنگلومرا به صورت مالاکیته در اطراف قطعات کنگلومرا دیده می‌شود (شکل ۱۶-۴ ب). در این افق (OH-C1) بر روی واحد کنگلومرای کانه‌دار، واحدهای مارنی دگرسان شده قرار دارد که فاقد کانه‌زایی می‌باشند (شکل ۱۶-۴ الف).

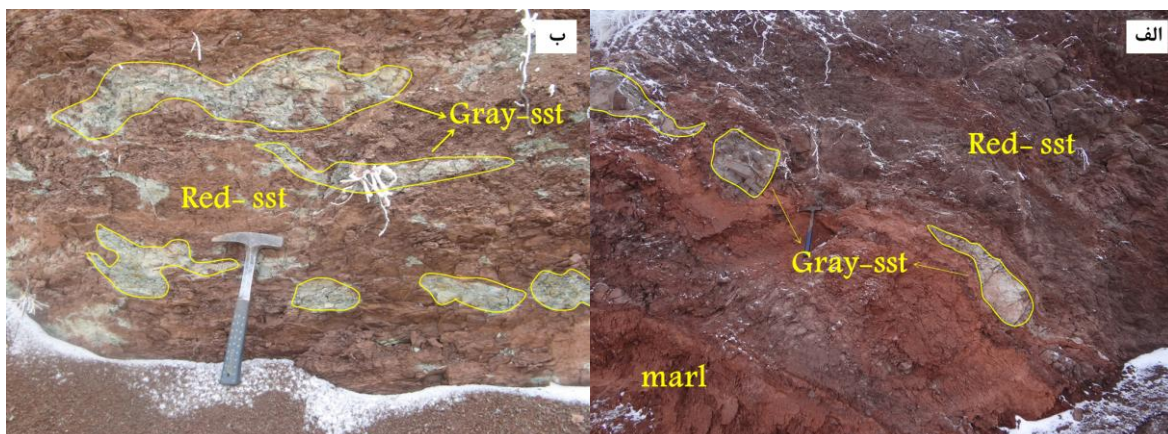
کنگلومرا به دلیل نفوذپذیری بالا فضای لازم و کافی برای عبور سیال کانه‌دار را دارد و ایجاد کانه‌زایی کرده است. حضور واحدهای مارنی در بخش فوقانی افق کانه‌دار، به عنوان سدهای ژئوشیمیایی (نفوذپذیری پایین) مانع عبور و نفوذ بیشتر سیال کانه‌دار به سمت بالای سیستم شده و ته‌نشست بیشتر مس را، سبب شده است. سیال در این واحدها به صورت پیچ پیچ باعث ایجاد محیط احيایی فاقد کانه‌زایی شده است. در افق دوم و سوم نیز حالت رول فرونت به صورت محدودتر وجود دارد. بیشترین کانه‌زایی در افق OH-C2 دیده می‌شود که حدود ۴۰ تا ۶۰ متر طول و حداکثر ۱/۵ متر ضخامت دارد (شکل ۱۶-۴ ج). در رول دگرسانی این افق کانه‌زایی خیلی ضعیف در بخش خاکستری رنگ کنگلومرا اتفاق افتاده است که می‌تواند زیر افقی از افق دوم باشد (شکل ۱۶-۴ د).

در افق OH-C3 کانه‌زایی به صورت جزئی درون کنگلومرای خاکستری احيایی دیده می‌شود. در این افق نیز سنگ میزبان به شدت دگرسان شده است (شکل ۱۶-۴ ه، و).



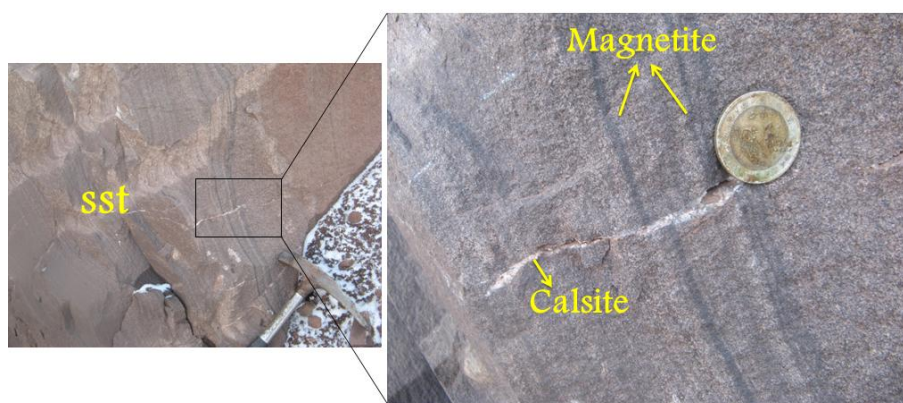
شکل ۳-۱۶: الف) افق کانهدار OH-C1 درون کنگلومرای احيایی که به شدت دگرسان شده است. ب) کانهازایی مس (ملاکیت) در اطراف قطعات کنگلومرا. ج) افق کانهدار OH-C2 دارای کانهازایی ملاکیت. د) دگرسانی افق دوم و ایجاد کانهازایی ضعیف درون کنگلومرای خاکستری. ه) افق کانهدار OH-C3 درون کنگلومرای احيایی. و) رول دگرسانی افق سوم که فاقد کانهازایی می باشد.

در ابتدای توالی کانسار قنچی بخش های کوچک احيایی فاقد کانهازایی درون واحدهای ماسه سنگی قرمز رنگ دیده می شوند، که این بخش های کوچک احيایی احتمالاً می توانند به علت عبور برخی سیالات و ایجاد کلریت درون ماسه سنگ ایجاد شده باشند. ولی چون این ماسه سنگ ها بسیار دانه ریز می باشند فضای کافی برای ایجاد کانهازایی وجود نداشته است (شکل ۴-۱۷ الف و ب).



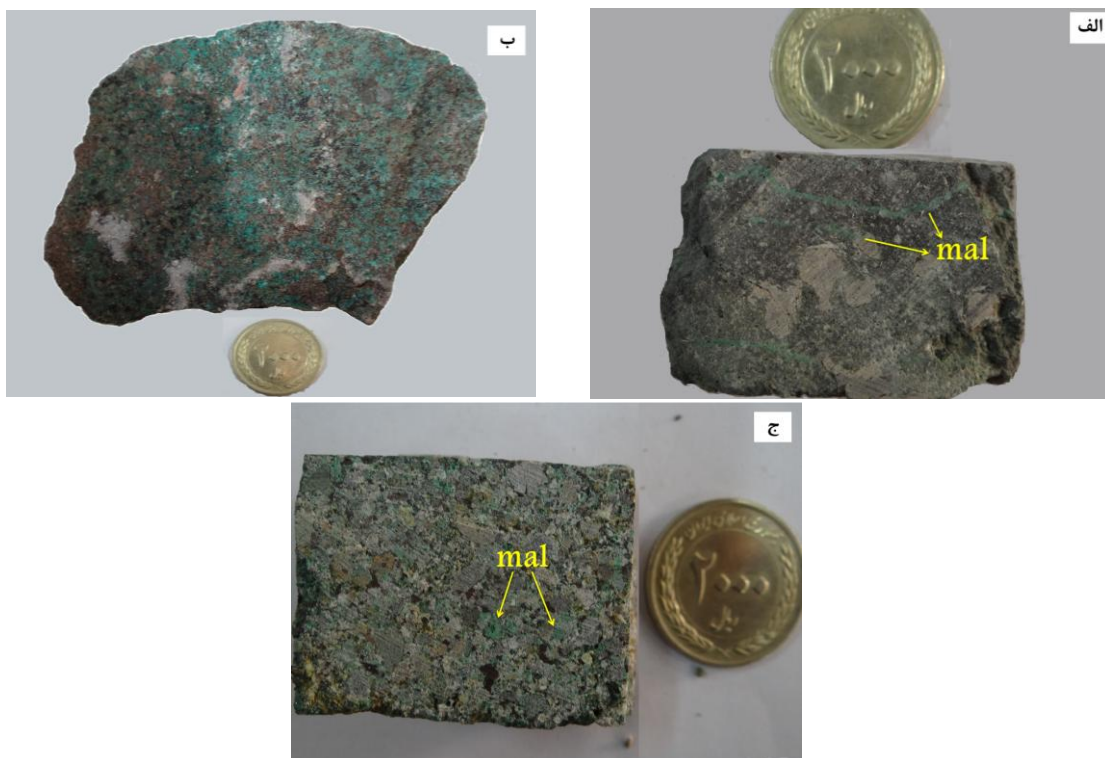
شکل ۳-۱۷: الف و ب) بخش‌های کوچک احيایي فاقد کانه‌زایی درون ماسه‌سنگ قرمز اکسیدان توالی کانسار قنچی.

پدیده دیگری که در ماسه‌سنگ‌های قرمز توالی قنچی دیده شد، وجود لامینه‌های مگنتیت در این سنگ‌هاست. به نظر می‌رسد تشکیل این لامینه‌ها در ارتباط با شسته شدن آهن از دانه‌های آواری ماسه‌سنگ‌ها در قسمت‌های شسته شده باشد. این آهن‌های آزاد به صورت یون‌های ساده و یا ترکیب کمپلکس توسط آب حمل می‌شوند، و در قسمت‌های قرمز رنگ که دارای شرایط اکسیدان هستند به صورت لامینه‌هایی از مگنتیت یا هماتیت ته‌نشین می‌شوند (شکل ۴-۱۸). در اینجا رگه‌های کلسیتی این لامینه‌ها را قطع کرده است.



شکل ۳-۱۸: لامینه‌های مگنتیت درون ماسه‌سنگ‌های قرمز توالی کانسار قنچی.

از ویژگی‌های کانی‌زایی مس در این کانسار فراوانی کانی‌های سولفیدی مس به شکل عدسی‌های کوچک و وجود حالت نواری و لامینه‌هایی از مالاکیت می‌باشد (شکل ۴-۱۹ الف). مالاکیت در سطح به فرم آغستگی (شکل ۴-۱۹ ب) و در متن سنگ به فرم پراکنده (شکل ۴-۱۹ ج) حضور دارد.



شکل ۳-۱۹: تصاویری از کنگلومراهای میزبان کانه‌زایی در کانسار فنچی: الف) مالاکیت به صورت لامینه‌های باریک در کنگلومرا، ب) کانی ثانویه مالاکیت در سطح سنگ تشکیل شده است، ج) مالاکیت به صورت پراکنده درون فضاهای خالی کنگلومرا ایجاد شده است.

۳-۴ پهنه‌بندی کانه‌زایی و دگرسانی

حجم و سرعت جریان سیال درون حوضه‌هایی که کانی‌سازی در آن‌ها انجام شده، متغیر است. کانسارهای دیاژنتیک اولیه و نیز حوضه‌هایی که چند اندیس و کانسار کوچک در آن‌ها تشکیل شده است، جریان سیال متوسطی داشته‌اند در صورتی که برای تشکیل کانسارهای بزرگ حجم سیال زیادی طی دوره‌های زمانی طولانی مورد نیاز می‌باشد.

سیالات مربوط به محیط‌های نزدیک سطح، شوری متوسط و درجه حرارت کمی دارند چنین سیالاتی قادر به انجام واکنش با کانی‌های درون سکانس طبقات قرمز هستند.

نوع کانی‌هایی که طی دیاژنز تشکیل شده‌اند به ترکیب سیال وابسته‌اند و خود ترکیب سیال نیز به منشاء سیال به دام افتاده، آب دریا، شورابه‌های دریاچه‌ای (غنی از سدیم و کلسیم) یا آب ناشی از

آب‌زدایی ژپس وابسته است. نوع کانی‌های دگرسانی به شیمی شورابه‌ها و شرایط فشار و حرارت بستگی دارد. کانی‌هایی که انتظار می‌رود طی دگرسانی ایجاد شوند همان کانی‌هایی هستند که طی دیاژنز معمولی تولید می‌شوند (آلبیت، فلدسپار پتاسیم، کوارتز، انواع کانی‌های کربناته و تبخیری، کلریت، مگنتیت، همتیت، آپاتیت و غیره). شدت دگرسانی به بالا بودن نسبت آب/سنگ، طولانی بودن زمان و مسیر مهاجرت سیال بستگی دارد.

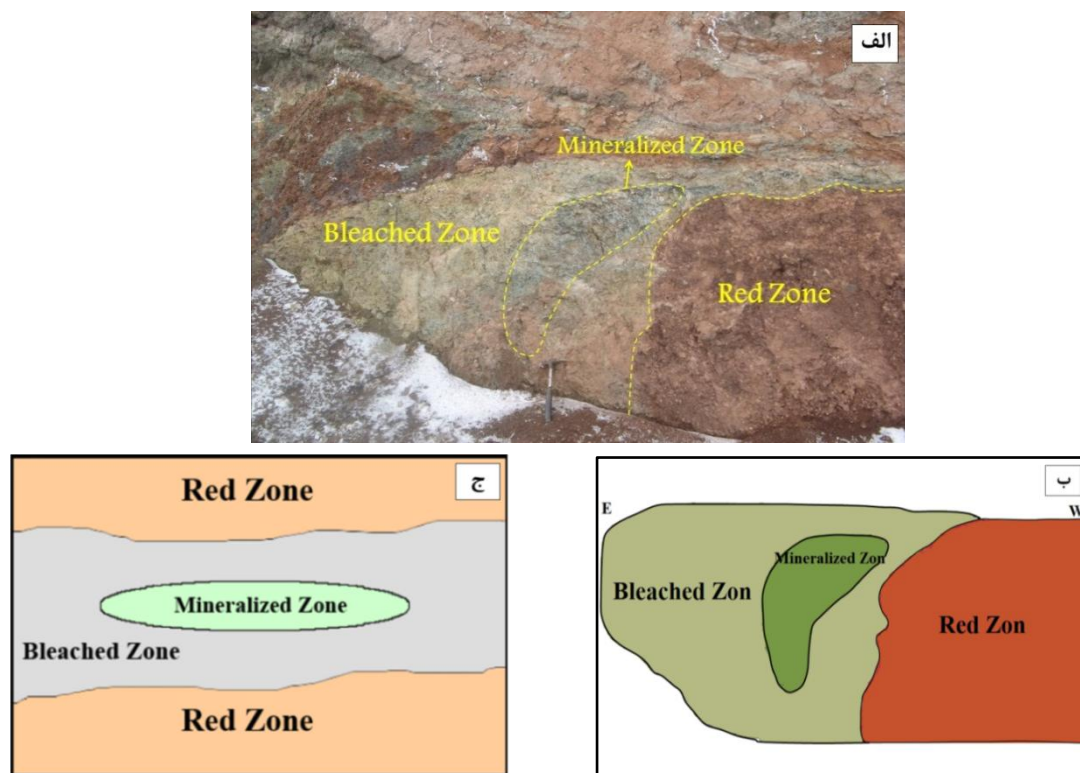
بر اساس کاکس و همکاران (۲۰۰۷) و هیتزمن و همکاران (۲۰۰۵) دگرسانی اصلی کانسارهای مس رسوبی اصطلاحاً از نوع سبز، سفید یا خاکستری شدن (Bleaching) سنگ‌های در برگیرنده است. سیالات درون سازندی، در مجاورت با مواد آلی، حالت احیایی پیدا می‌کنند و در مسیر خود از میان سنگ میزبان، در نتیجه واکنش با رسوبات قرمز، موجب دگرسانی (Bleaching) می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه شاخص‌ترین دگرسانی مربوط به کانسار قنچی می‌باشد. در افق‌های میزبان کانه‌زایی در این کانسار بر اساس دگرسانی صورت گرفته، شرایط اکسیداسیون و احیا، کانی‌شناسی و رنگ، سه بخش مجزا از یکدیگر قابل تشخیص است. این بخش‌ها عبارتند از:

۱- پهنه قرمز اکسیدان (Red Zone)

۲- پهنه شسته شده (Bleached Zone)

۳- پهنه احیایی کانه‌دار (Mineralized Zone)

نحوه قرارگیری این سه پهنه در افق احیایی میزبان کانه‌زایی (که در اینجا کنگلومرای احیایی است) به شکل یک رول فرونت می‌باشد که از نفوذپذیری سنگ‌های میزبان پیروی می‌کند. به طوری که واحد نفوذپذیر کنگلومرا بین واحدهای نفوذناپذیر مارن قرار دارد. در این رول فرونت، بخش اکسیدان قرمز رنگ در قسمت ابتدایی رول، بخش احیایی کانه‌دار در مرکز و بخش Bleached در انتهای رول و اطراف پهنه کانه‌دار قرار گرفته‌اند (شکل ۴-۲۰). هر سه پهنه قرمز اکسیدان، پهنه شسته شده و پهنه احیایی کانه‌دار، تحت تأثیر دگرسانی دارای رنگ‌های متفاوت شده‌اند.



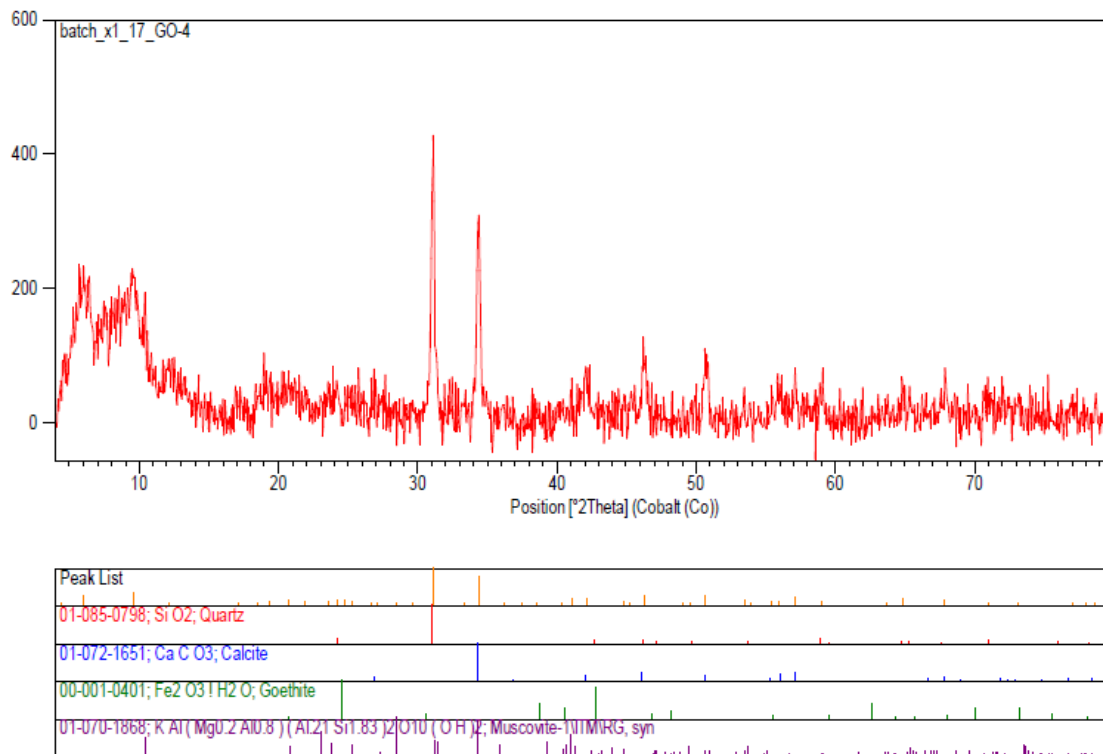
شکل ۳-۲۰: الف) نمایی از افق کانه‌دار OH-C1 در کانسار قنچی و پهنه‌های ایجاد شده توسط دگرسانی در آن. ب) شکل شماتیکی از پهنه‌های دگرسانی شکل الف. ج) شکل شماتیک عمومی از چگونگی قرارگیری و ارتباط پهنه‌های سه‌گانه در افق احیایی میزبان کانه‌زایی در کانسار مارکشه (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰).

با توجه به نقش و اهمیت این پهنه‌ها و دگرسانی درون آن‌ها، همچنین ارتباط با کانه‌زایی، در زیر به طور مختصر هر یک از پهنه‌ها جداگانه توضیح داده خواهد شد (به دلیل شدت دگرسانی در این پهنه‌ها امکان برداشت نمونه برای تهیه مقاطع میکروسکوپی وجود نداشت، به همین دلیل برای بررسی مطالعات کانی‌شناسی بر روی این پهنه‌ها آنالیز XRD انجام گرفت).

۳-۴-۱ پهنه قرمز اکسیدان

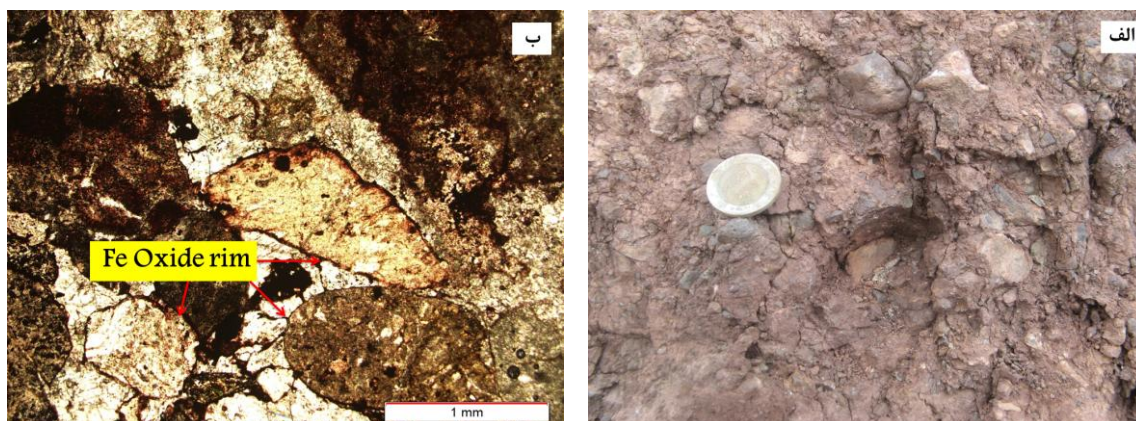
پهنه اکسیدان در قسمت ابتدایی رول دگرسانی قرار دارد (شکل ۴-۲۰) و حاوی مقادیر فراوانی اکسیدهای آهن است که به صورت پوشاننده دانه‌ها و ماتریکس کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ می‌باشد. رنگ این بخش از قهوه‌ای تیره تا قرمز- نارنجی روشن تغییر می‌کند. در نمونه‌های دستی بخش‌های دانه ریزتر رنگ قرمز تیره‌تری نسبت به قسمت‌های دانه درشت دارد. رنگ قرمز این پهنه به

دلیل وجود مقادیر زیادی اکسید آهن است. این بخش از کنگلومرای دانه ریز تا دانه متوسط تشکیل شده است. این پهنه فاقد کانه‌زایی می‌باشد. در نتایج حاصله از XRD کانی‌های کوارتز، کلسیت، گوتیت و موسکویت نشان داده شده است (شکل ۴-۲۱).



شکل ۳-۲۱: داده‌های حاصل از XRD برای نمونه GO-4 مربوط به پهنه قرمز اکسیدان در کانسار قنچی.

به هنگام ته‌نشست لایه‌های سرخ رنگ، سیلیکات‌های آهن‌دار ناپایدار همراه آن‌ها (مانند پلاژیوکلاز، بیوتیت، مگنتیت) وارد حوضه رسوبی شده‌اند. در اثر تجزیه این سیلیکات‌ها، آهن موجود در ساختمان آن‌ها خارج شده و به صورت اکسید آهن اولیه (Ferric oxide) که ماده اولیه تشکیل هماتیت (در شرایط Eh مثبت و pH خنثی تا قلیایی در مناطق گرم و قاره‌ای با عرض جغرافیایی کم) محسوب می‌شود (والکر^۱، ۱۹۸۹)، دور قطعات آواری را احاطه کرده و باعث قرمز شدن رسوبات می‌گردد (شکل ۴-۲۲).

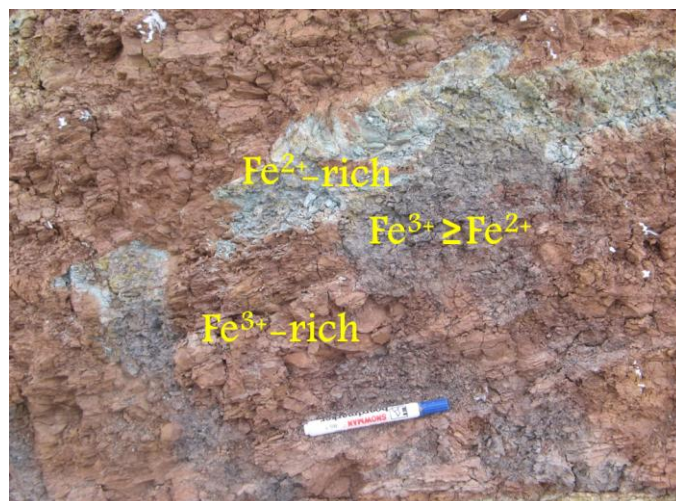


شکل ۲۲-۳: الف) تصویری از کنگلومرای قرمز رنگ مربوط به افق OH-C2، ب) تصویر میکروسکوپی (PPL) از کنگلومرای قرمز رنگ افق OH-C2 که اکثر دانه‌های آواری توسط نوار باریکی از اکسیدهای آهن احاطه شده‌اند.

انحلال سیلیکات‌ها در پهنه قرمز اکسیدان در زمان دیاژنز آغازین رخ داده است. در این زمان، تحت تأثیر اسید هومیک ناشی از تجزیه مواد آلی موجود در توالی رسوبی، دانه‌های آواری فلدسپات و دیگر سیلیکات‌ها، حل شده و یا به کانی‌های رسی تبدیل می‌شوند (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵، فلینت^۱، ۱۹۸۹ و و دوریوکس^۲ و براون، ۲۰۰۷). این کانی‌های سیلیکاته، درون شبکه خود دارای مقادیری مس و دیگر عناصر فلزی پایه می‌باشند (والکر، ۱۹۸۹). انحلال این کانی‌ها باعث خروج این عناصر از شبکه کانی می‌شود.

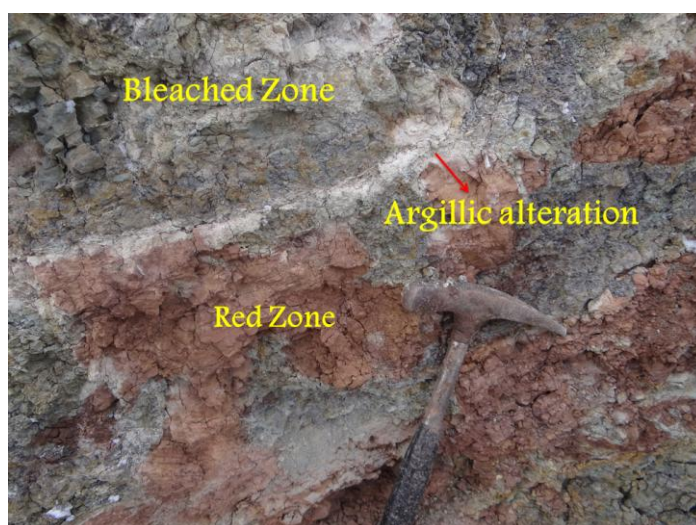
هم‌چنین در این پهنه دگرسانی تحت تأثیر حرکت سیال و تبدیل Fe^{3+} به Fe^{2+} پهنه‌بندی در پهنه قرمز اکسیدان ایجاد شده است (شکل ۴-۲۳). که در این پهنه‌بندی از قسمت قرمز رنگ (غنی از Fe^{3+}) به سمت قسمت آبی رنگ، مقدار Fe^{3+} کاسته شده و مقدار Fe^{2+} افزایش پیدا کرده است.

1 - Flint
2 - Durieux



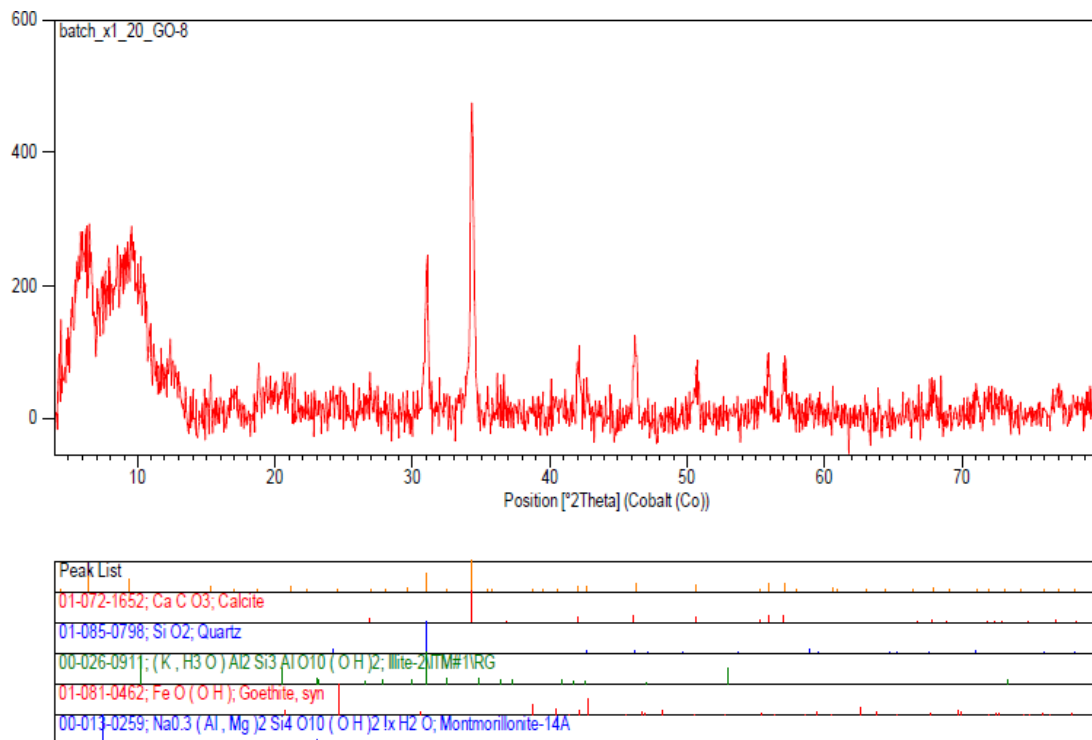
شکل ۳-۲۳: تصویری از پهنه قرمز اکسیدان در کانسار قنچی. پهنه‌بندی ایجاد شده به دلیل تغییرات کاتیون‌های آهن (که قسمت‌های قرمز رنگ غنی از آهن Fe^{3+} و آبی رنگ غنی از Fe^{2+} می‌باشند و در قسمت بنفش تقریباً برابرند و یا مقدار Fe^{3+} بیشتر است.

یکی دیگر از پدیده‌هایی که در پهنه قرمز اکسیدان مشاهده می‌شود، وجود دگرسانی آرژیلیتی به صورت بسیار محدود می‌باشد که باعث تشکیل مقادیر فراوان کانی‌های رسی و در نتیجه سفید رنگ شدن سنگ میزبان شده است. این دگرسانی در حد فاصل پهنه قرمز و پهنه شسته شده قرار دارد (شکل ۴-۲۴). به نظر می‌رسد این دگرسانی به دلیل برخورد سیال به منطقه احیایی و تجزیه پیریت‌ها ایجاد شده است. در اثر تجزیه پیریت‌ها اسید تولید می‌شود، که این اسید تولید شده کانی‌های فلدسپات موجود در سنگ‌های میزبان را به شدت تخریب و فرسایش کرده و آن‌ها را به کانی‌های رسی و کوارتز تبدیل می‌کند.



شکل ۳-۲۴: دگرسانی آرژیلیتی در حد فاصل پهنه قرمز و پهنه شسته شده درون افق کنگلومرای کانسار قنچی.

براساس نتایج به دست آمده از آنالیز XRD، این پهنه دگرسان شده دارای کانی‌هایی نظیر: کوارتز، کلسیت، ایلیت و مونت‌موریونیت می‌باشد (شکل ۴-۲۵). مقدار کم گوتیت حاصله از نتایج آنالیز به دلیل آغشتگی این پهنه با پهنه قرمز اکسیدان می‌باشد. وجود کانی‌های رسی همچون ایلیت و مونت‌موریونیت از ویژگی‌های دگرسانی آرژیلیتی می‌باشد.



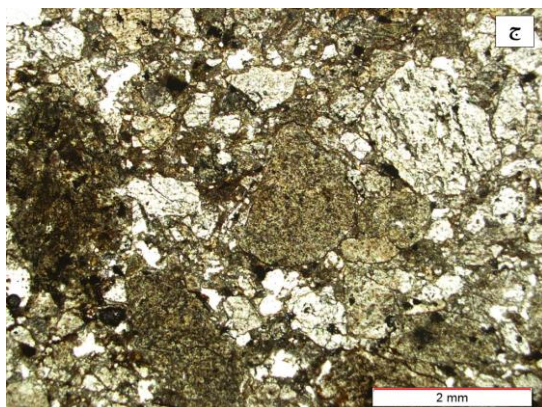
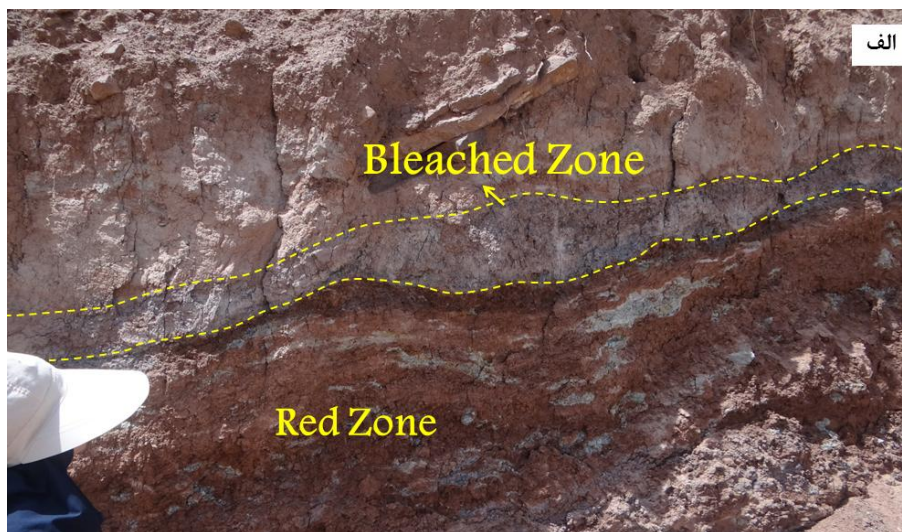
شکل ۳-۲۵: داده‌های حاصل از XRD برای نمونه GO-8 مربوط به دگرسانی آرژیلیتی در کانسار قنچی.

۲-۴-۳ پهنه شسته شده (Bleached Zone)

پهنه شسته شده در واقع بخشی از توالی لایه‌های سرخ رنگ است که در آن تأثیر فرایند دگرسانی، با توجه به تغییر رنگ ایجاد شده به خوبی دیده می‌شود. در این پهنه تحت تأثیر سیال احيایی، رنگ قرمز کنگلومرا به رنگ سفید، قهوه‌ای مایل به زرد، خاکستری و یا سبز تبدیل می‌شود (شکل ۴-۲۶ الف و ب). مرز بین بخش شسته شده و پهنه قرمز اکسیدان به نحوی است که تغییر رنگ سنگ‌ها از قرمز به خاکستری در کمتر از یک سانتی‌متر روی می‌دهد (مک‌این‌تایر^۱، ۲۰۰۵) (شکل ۴-۲۰). در سنگ‌های پهنه قرمز اکسیدان، رنگ سنگ‌ها به دلیل وجود اکسید آهن (غالباً هماتیت) در اطراف

1 - MacIntyre

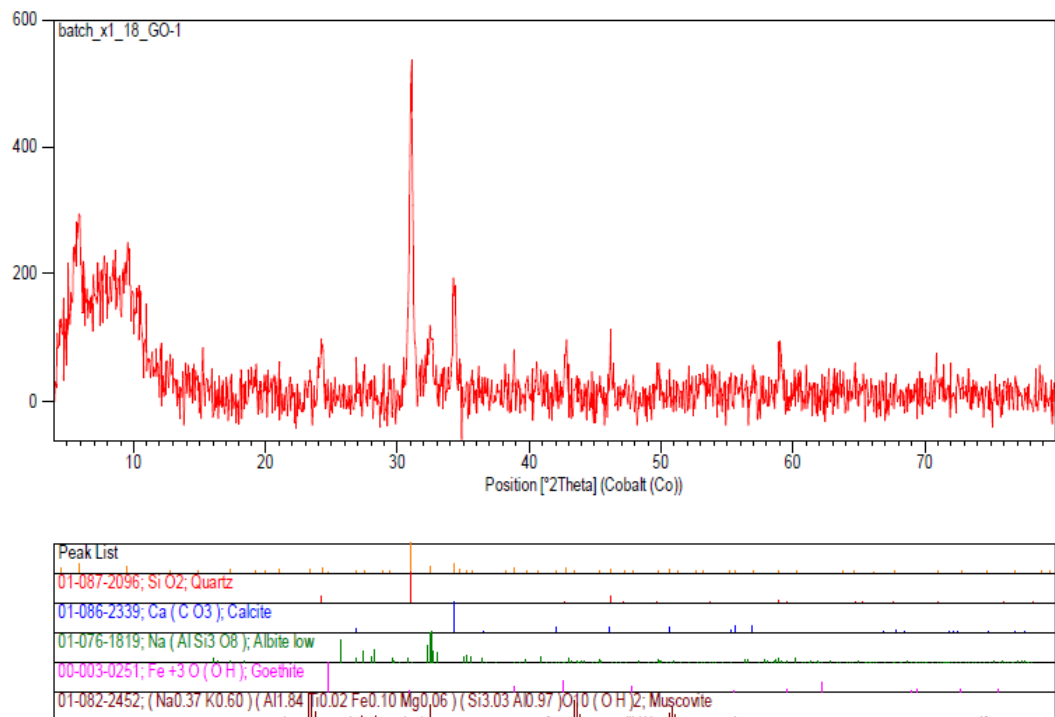
دانه‌ها، به صورت پراکنده و همراه کانی‌های رسی قرمز است. در حالی که در سنگ‌های بخش شسته شده اکسید آهن غایب است (شکل ۴-۲۶ ج). این امر بیانگر بروز دگرسانی در بخش شسته شده، در اثر عمل سیال احیا است که اکسید آهن را شسته است (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰). سنگ‌های این پهنه سست‌تر بوده و سیمان ضعیف‌تری دارند. در کانسارهای مورد مطالعه اثری از کانه‌زایی در پهنه Bleached دیده نمی‌شود.



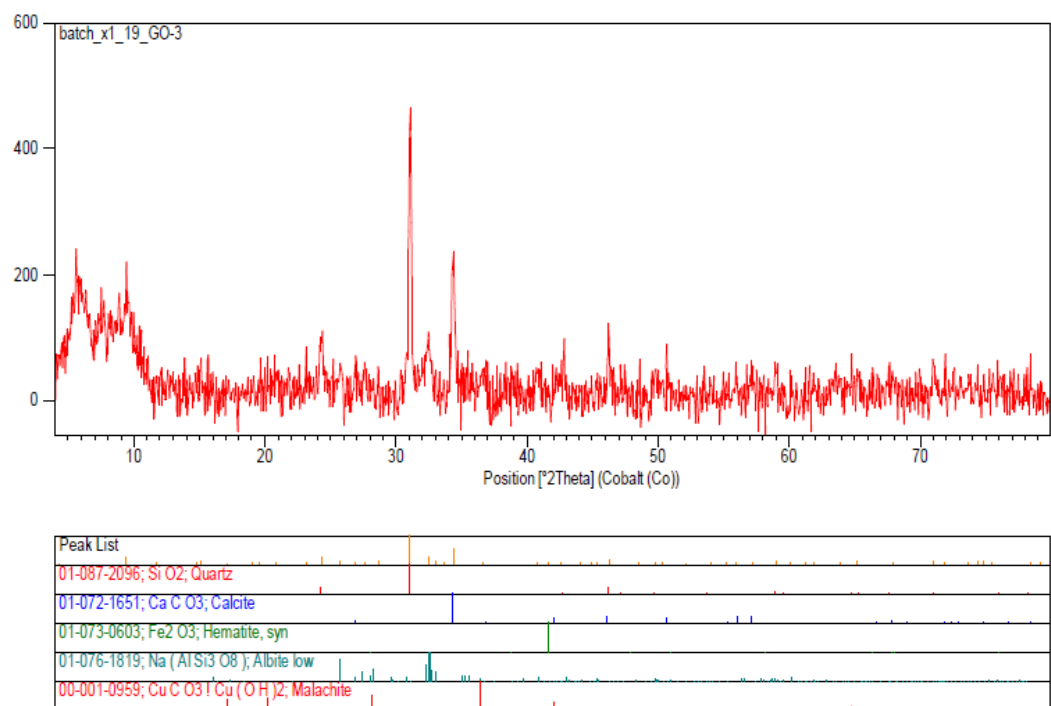
شکل ۳-۲۶: الف) پهنه شسته شده (Bleached Zone) در کانسار قنچی که بر روی پهنه قرمز قرار گرفته است و به رنگ سبز-خاکستری دیده می‌شود. ب) تصویری از کنگلومرای پهنه Bleach شده مربوط به افق OH-C2، ج) تصویر میکروسکوپی (PPL) از کنگلومرای Bleach شده که تمامی اکسیدهای آهن از اطراف دانه‌ها شسته شده است.

آنالیز XRD از این قسمت وجود کانی‌های کوارتز، کلسیت، آلبیت، گوتیت، هماتیت، موسکویت و مقدار کمی مالاکیت را برای این پهنه مشخص کرده است (شکل ۴-۲۷ الف و ب). پهنه شسته شده، چون یک پهنه بینابینی است (همان طور که در شکل ۴-۲۰ نشان داده شده است) دارای ترکیبی از

مجموع کانی‌های موجود در این دو پهنه است.



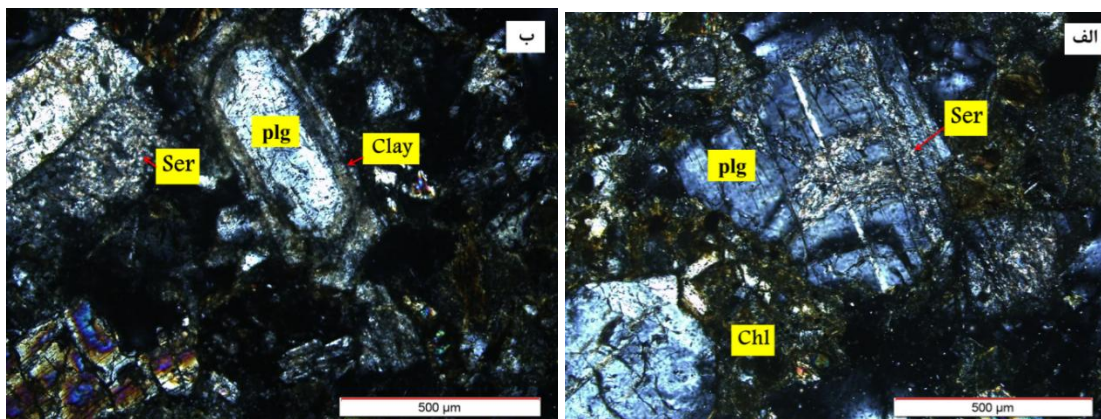
الف



ب

شکل ۳-۲۷: داده‌های حاصل از XRD مربوط به پهنه قرمز اکسیدان در کانسار قنچی: الف) مربوط به نمونه GO-1، ب) مربوط به نمونه GO-3.

در کانسار اسفیز هم آثار شسته شدن درون سنگ آهک و بازالت‌های این توالی دیده می‌شود، که باعث تغییر رنگ این سنگ‌ها شده است. همان طور که در شکل ۴-۵ دیده می‌شود از قسمت بالای توالی به سمت پایین تغییر رنگ سنگ آهک از قرمز به خاکستری می‌باشد که نشان‌دهنده دگرسانی Bleaching در این کانسار است. سیال کانه‌دار در ابتدا با داشتن دمای بالاتر نسبت به دمای سیال کانه‌ساز با شستن برخی عناصر از سنگ‌های موجود در این توالی ایجاد دگرسانی در بازالت و سنگ آهک کرده است، که به تدریج با کاهش دما از شدت دگرسانی آن کاسته شده است. و در نهایت در قسمت بالایی توالی (کنگلومرای کانه‌دار)، سیال حاوی عناصر شسته شده درون منافذ و شکستگی‌های کنگلومرا ته نشین شده است. در این کانسار درون سنگ آهک‌ها، دگرسانی سرسیتی و در بازالت‌ها نیز از دگرسان شدن پلاژیوکلازهای موجود در این آن، دگرسانی سرسیتی دیده می‌شود. از آن جایی که بازالت پتاسیم ندارد (برای ایجاد سرسیت و کانی‌های رسی)، نتیجه می‌گیریم سیال کانه‌دار حاوی پتاسیم بوده است و دگرسانی در ارتباط با کانه‌زایی است (شکل ۴-۲۸).



شکل ۳-۲۸: تصاویر میکروسکوپی از: الف و ب) سنگ بازالت دگرسان شده در کانسار اسفیز که در آن پلاژیوکلازها به سرسیت و کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند.

به دلیل اهمیت سیال احيایی و نقش آن در ایجاد دگرسانی در زیر ویژگی‌های سیال احياء مورد بررسی قرار گرفته است.

حرکت سیال و ایجاد دگرسانی در توالی‌های Redbed به دو طریق صورت می‌گیرد (کرخام، ۱۹۹۶؛

هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵) :

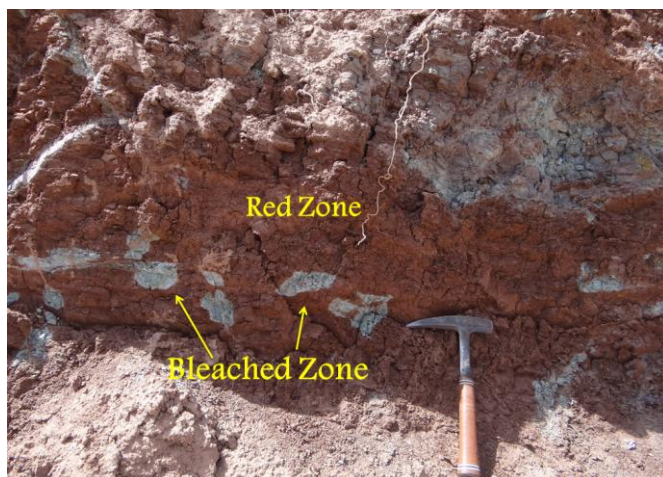
۱- سیال از طریق سیستم‌های گسل‌ها و شکستگی‌ها به درون توالی رسوبی وارد شده و با ایجاد پهنه‌های وسیع و نامنظم از دگرسانی Bleaching در بخش‌های نفوذپذیر، گستره وسیعی از سنگ‌های قرمز رنگ اطراف گسل‌ها نه تمام سنگ را به رنگ خاکستری در می‌آورد. بهترین مثال از این مورد ماسه‌سنگ شسته شده در حوضه Paradox است. این حوضه در ایالت‌های یوتا و کلرادوی آمریکا، میزبان چندین کانسار مس با میزبان رسوبی است که حرکت سیال در آن توسط گسل‌ها کنترل می‌گردد (دورسون^۱، ۲۰۰۴، هان^۲ و دورسون، ۲۰۰۵).

۲- در این روش حرکت سیال و ایجاد دگرسانی Bleaching در توالی‌های قرمز رنگ در ارتباط با نفوذپذیری سنگ‌های میزبان است و توسط سیستم‌های گسلی کنترل نمی‌شود (کرخام، ۱۹۹۶).

مثال این مورد، کانسار Nacimiento در نیومکزیکو است، که دگرسانی Bleaching در آن گستردگی کمتری داشته و هم‌روند با لایه‌بندی و در ارتباط با نفوذپذیری سنگ‌های موجود در توالی کانسار می‌باشد (وودوارد^۳ و همکاران، ۱۹۷۴).

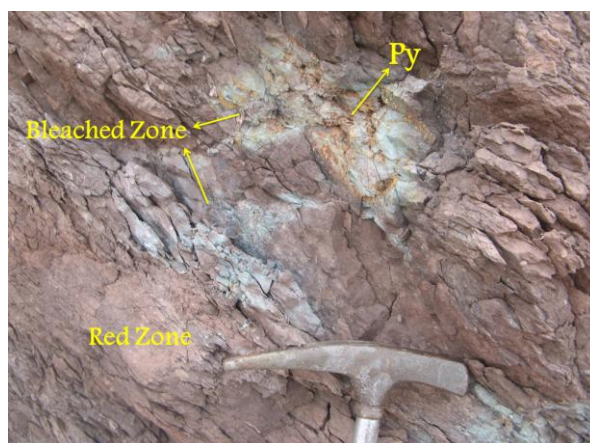
در منطقه مورد مطالعه، بروز دگرسانی Bleaching به صورت چند افق، هم‌روند بودن با لایه‌بندی و نبود دگرسانی گسترده، بیانگر این مطلب است که حرکت سیال در کانسارهای منطقه در ارتباط با گسل‌ها نبوده و پهنه شسته شده توسط میزان نفوذپذیری سنگ‌های میزبان کنترل می‌شود (شکل ۴-۲۹). در این حالت آب بین سازندی در بخش‌های نفوذپذیر، در صورتی که در مجاورت عوامل احیا نظیر مواد آلی، پیریت و مگنتیت قرار گیرد، احیا شده و باعث شسته شدن رسوبات قرمز اطراف خود می‌گردد (وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴).

1 - Thorson
2 - Hahn
3 - Woodward



شکل ۳-۲۹: بخش شسته شده در کنگلومرای قرمز کانسار قنچی. در اینجا شسته شدن در قسمت‌هایی با نفوذپذیری بالا صورت گرفته است.

در طی دیاژنز اولیه و در مجاورت بخش‌های غنی از فسیل گیاهی، در اثر احیای باکتریایی سولفات، H_2S تولید می‌شود. H_2S تولید شده علاوه بر احیای محیط، منبع مهمی جهت تأمین گوگرد مورد نیاز برای تشکیل پیریت به شمار می‌رود (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵) (شکل ۴-۳۰). بدین ترتیب در محیط احیای ایجاد شده توسط H_2S ، اکسید آهن اطراف دانه‌های آواری شسته می‌شود. این اکسیدهای آهن شسته شده درون پهنه قرمز لامینه‌های مگنتیتی یا هماتیتی را تشکیل می‌دهند (شکل ۴-۱۸).



شکل ۳-۳۰: تصویری از کانسار قنچی که تشکیل پیریت را در بخش شسته شده نشان می‌دهد. پیریت ایجاد شده در اثر پدیده‌های سطحی، به طور محلی اکسید گردیده و هاله‌هایی از اکسید آهن در اطراف خود ایجاد کرده است.

اکسیدهای آهن سخت شده به طور محلی درون پچ‌های شسته شده موجود در ماسه‌سنگ قرمز

رنگ (شکل ۴-۱۷ الف) در اثر تجمع آهن آزاد شده طی دگرسانی Bleaching تشکیل گردیده‌اند. اثرات این سخت‌شدگی به صورت دانه‌های کروی سیاه و برجسته در پچ‌های شسته شده کاملاً قابل تشخیص است (شکل ۴-۳۱ الف).

همچنین در بخش شسته شده برخی از درزه‌ها و شکستگی‌های موجود، توسط مواد آهن-مگنزدار پر شده‌اند. کانی‌های مگنزدار به طریق انتشاری در اطراف شکستگی‌ها، ایجاد ساختارهای دندریتی کرده‌اند که از ویژگی‌های این پهنه به شمار می‌رود (شکل ۴-۳۱ ب). که در این جا به دلیل هوازگی به صورت جزئی مالاکیت هم تشکیل شده است.



شکل ۳-۳۱: نمونه‌های دستی از پهنه شسته شده در کانسار قنچی: الف) اکسیدهای آهن سخت شده (نقاط پراکنده سیاه رنگ). ب) ساختارهای دندریتی غنی از مگنز و آهن (Mn-Fe rich).

۳-۴-۳ پهنه احیایی کانه‌زایی شده

مهم‌ترین عوامل مؤثر در تشکیل این پهنه، فراوانی قطعات فسیل گیاهی و مواد آلی به عنوان عامل احیا و نیز نفوذپذیری سنگ‌ها در بخش شسته شده می‌باشد. بافت کانه‌زایی غالباً جانشینی و دانه پراکنده است. مهم‌ترین کانی‌هایی که در این بخش دیده می‌شوند، عبارتند از: کالکوسیت، بورنیت، کوولیت و دیژنیت. سوپرژن سولفیدی، سولفیدهای مس اولیه را به کوولیت، مالاکیت و کریزوکلا تبدیل نموده است. مالاکیت و آزوریت به صورت پراکنده و نیز در درون شکستگی‌ها در اطراف بخش‌های کانه‌زایی شده، ایجاد یک هاله سبز رنگ می‌کند که تشخیص پهنه کانه‌زایی شده را آسان

می‌سازد.

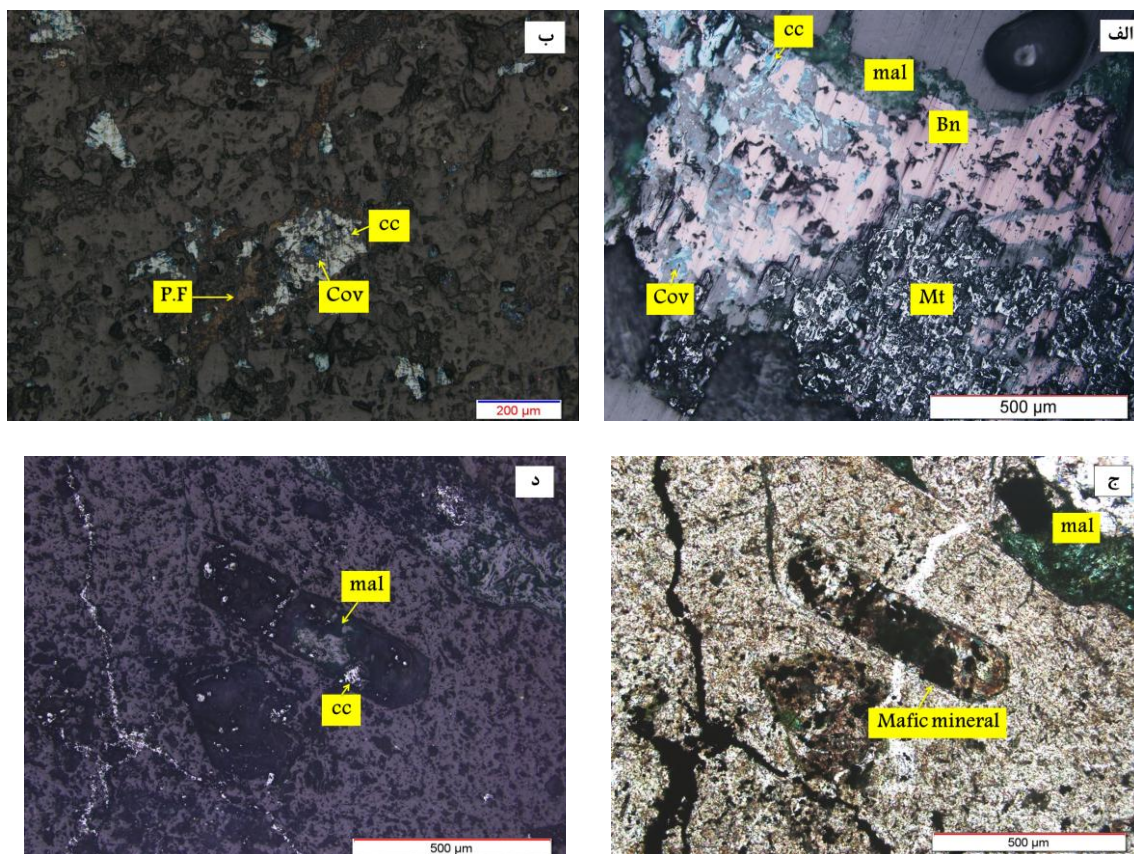
در کانسارهای مس رسوبی، احیا شدگی محیط مانند پهنه‌های حاوی پیریت و مواد آلی از جمله مهم‌ترین عوامل تهنشست کانه می‌باشند. البته منشأ سولفید بیوژنتیک را نیز باید در نظر گرفت. هم‌چنین نفوذپذیری بالای سنگ میزبان و یا وجود سیستم‌های گسلی در آن‌ها بسیار حیاتی است. فضای خالی بین دانه‌ای در رسوبات دانه ریز قبل از تراکم و سنگی شدن، می‌تواند موضع مناسب برای تهنشست باشد. عملکرد واحدهای شیلی و مارنی در بخش‌های فوقانی پهنه‌های کانی‌سازی شده بدین صورت است که به عنوان سدهای ژئوشیمیایی (نفوذپذیری پایین)، مانع از عبور و نفوذ بیشتر سیال حاوی مس به سمت بالای سیستم گشته و تهنشست بیشتر مس را سبب می‌شوند.

در کانسارهای مورد مطالعه (همین طور که در این فصل گفته شد)، پهنه احیایی کانه‌زایی شده به صورت افق‌های کانه‌دار در درون بخش شسته شده احیایی قرار دارند. کانه‌زایی در این کانسارها با هم متفاوت است.

در کانسار اسفیز عامل کانه‌زایی حضور سیمان کلسیتی و کانی پیریت و کانی‌های مافیک می‌باشد که باعث ایجاد محیط احیایی شده و شرایط مساعد برای تهنشینی مس را فراهم کرده است، به طوری که سولفیدهای مس جانشین این کانی‌ها شده‌اند (شکل ۴-۳۲ الف).

در کانسار قندو عامل احیا فسیل‌های گیاهی می‌باشند، به طوری که سولفیدهای مس در تمام یا بخشی از این فسیل‌ها جانشین شده و یا در اطراف آن تمرکز یافته‌اند (شکل ۴-۳۲ ب). مس بر روی مواد ارگانیکی جذب شده و توسط کربن موجود احیا می‌گردد. به دنبال این تهنشست، بافت‌های فسیل شده حاوی پیریت، کالکوپیریت، کوولیت و کالکوسیت شکل گرفته‌اند.

در کانسار قنچی سولفیدهای مس جانشین کانی پیریت و کانی‌های مافیک نظیر بیوتیت و پیروکسن شده‌اند (شکل ۴-۳۲ ج و د). به نظر می‌رسد عامل احیا در این کانسار پیریت و کانی‌های مافیک باشند.

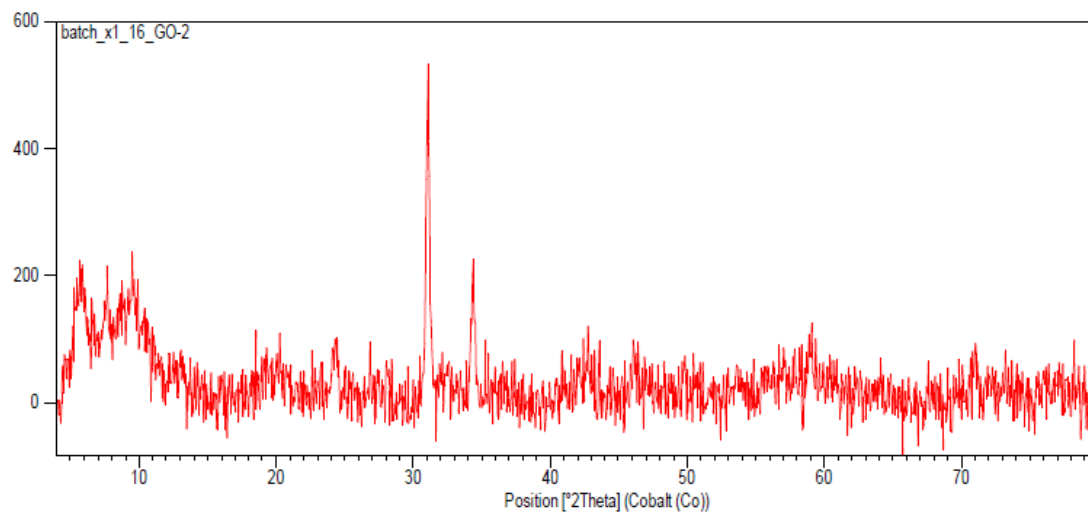


شکل ۳-۳۲: تصاویر میکروسکوپی از: (الف) جانشینی سولفیدهای مس در کانی مافیک (در نور انعکاسی) در کانسار اسفیز. در اینجا کانی‌های مافیک عامل احیا و ته‌نشینی سولفیدهای مس شده است. (ب) جانشینی سولفیدهای مس درون فسیل گیاهی (در نور انعکاسی) در کانسار قندو. قسمت‌های قهوه‌ای رنگ فسیل گیاهی می‌باشد. (ج) جانشینی سولفیدهای مس درون کانی مافیک در کانسار قنچی (PPL). (د) همان تصویر (ج) در نور انعکاسی که در آن سولفید مس نشان داده شده است.

طبق نتایج حاصله از XRD برای افق OH-C1 کانسار قنچی، این افق دارای کربنات مس

(مالاکیت)، کانی‌های رسی (مونت‌موریونیت)، کلسیت و کوارتز می‌باشد (شکل ۴-۲۹).

در فصل ۷ به طور مفصل در مورد چگونگی تشکیل این کانسارها بحث خواهد شد.



Peak List	
01-085-0796; SiO ₂ ; Quartz	
01-072-1652; CaCO ₃ ; Calcite	
00-001-0959; Cu ₂ C(OH) ₂ ; Malachite	
00-001-0401; Fe ₂ O ₃ ·H ₂ O; Goethite	
00-046-1409; (K, Ba, Na) _{0.75} (Al, Mg, Cr, V) ₂ (Si, Al, V) ₄ O ₁₀ (OH, O) ₂ ; Muscovite, vanadian parian	
00-013-0259; Na _{0.3} (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·xH ₂ O; Montmorillonite-14A	

شکل ۳-۳: داده‌های حاصل از XRD برای نمونه GO-2 مربوط به افق OH-C1 در کانسار قنچی.

فصل پنجم

کافی شناسی، بافت، ساخت و توالی پارازیتیک

۳-۵ مقدمه

نکات مهمی که در هنگام مطالعات کانی‌شناسی می‌توان مورد مطالعه و بررسی قرار داد، عبارتند از: شناسایی کانی‌های سازنده یک ذخیره و مطالعه بافت آن. هدف از این مطالعات بررسی شرایط و چگونگی تشکیل کانسار، تغییر پاراژنز در مراحل تبلور و تشخیص تعداد مراحل کانی‌سازی هر منطقه است. انتخاب روش تغلیظ مناسب، مستلزم شناسایی دقیق کانی‌ها و بافت کانسار است.

هر چند که به کمک روش پراش اشعه ایکس (XRD) می‌توان کانی‌های یک کانسار را در صورتی که بیش از حدود ۲ درصد (پودر چند کانی) باشند، تشخیص داد، اما شناسایی دقیق کانی‌های فلزی و مطالعه بافت آن‌ها با میکروسکوپ نور انعکاسی یا میکروسکوپ الکترونی امکان‌پذیر است. در ذخایری که دارای عیار پائین و ارزش اقتصادی هستند، تشخیص نوع کانی مفید در نمونه دستی امکان‌پذیر نیست و فقط به کمک میکروسکوپ می‌توان آن را تشخیص داد. بافت، درجه تبلور، اندازه دانه‌ها و فابریک یا رابطه هندسی میان اجزاء تشکیل‌دهنده یک سنگ را مشخص می‌کند.

نکاتی که در مورد بافت باید به طور دقیق مورد بررسی قرار گیرند عبارتند از: دامنه اندازه کانی‌های مفید، شکل کانی‌های مفید و باطله، نحوه رشد و ارتباط کانی‌های مفید و باطله و بالاخره نوع انکلوژیون‌های واقع در کانی‌های مفید. ویژگی بافت شناختی هر سنگ وابسته به شرایطی است که سنگ در آن ساخته می‌شود (کریم پور، ۱۳۸۴).

بدین منظور جهت بررسی ویژگی‌های ساختی و بافتی و کانی‌شناسی در منطقه مورد مطالعه تعداد ۴۲ مقطع نازک- صیقلی، ۱۰ عدد مقطع نازک و ۳ عدد مقطع صیقلی تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین در مطالعات کانی‌شناسی، به منظور تشخیص برخی از کانی‌ها، تعداد ۹ نمونه نیز به روش XRD مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعات نقش مهم و کلیدی در پیشبرد اهداف این تحقیق داشته است که در این فصل به شرح آن پرداخته می‌شود.

۳-۶ کانی‌شناسی

کانی‌شناسی مس به طور وسیع مورد مطالعه قرار گرفته و نسبتاً مشخص است، گرچه به علت وجود فازهای نیمه پایدار، پیچیدگی‌هایی در کانسارهای رسوبی وجود دارد. عمدتاً تنها سولفیدها و فلزات طبیعی از نظر اقتصادی با اهمیت هستند. هر چند کربنات‌هایی چون مالاکیت و آزوریت نیز رایج هستند و حتی بخش عمده تعداد کمی از کانسارها را تشکیل می‌دهند (مینارد^۱، ۱۹۸۳). به همین منظور در ادامه به بررسی کانی‌های مس موجود در کانسارهای مورد مطالعه و ویژگی‌های آن‌ها می‌پردازیم.

۳-۶-۱ کانی‌های اصلی

در کانسارهای مورد مطالعه کانی‌های اصلی شامل: کالکوسیت، بورنیت، پیریت و مگنتیت می‌باشند.

۳-۶-۱-۱ کالکوسیت

کالکوسیت با فرمول Cu_2S در سیستم ارتورومبیک متبلور می‌شود. بلورهای پهن و منشوری دارد. در ترکیب شیمیایی این کانی ۷۹/۹ درصد مس وجود دارد و گوگرد در آن به عنوان محصول فرعی می‌باشد. این کانی به رنگ خاکستری متمایل به سیاه تا سیاه است و دارای سختی ۳-۵/۲، چگالی ۵/۸ - ۵/۵، شکستگی صدفی است و در سطح شکست جلای فلزی دارد که فوراً رنگ تیره و جلای مات پیدا می‌کند. خط اثر آن جلای فلزی دارد و غالباً حاوی مقداری آهن و نقره به شکل ناخالصی است. کالکوسیت به صورت کانی اولیه از منشاء گرمابی تشکیل می‌شود. در تمامی انواع کالکوسیت، عنصر مس ممکن است با مقداری نقره، آهن و منگنز، در فرم‌های دما بالا جانشین شود (رمداهر^۲، ۱۹۸۰).

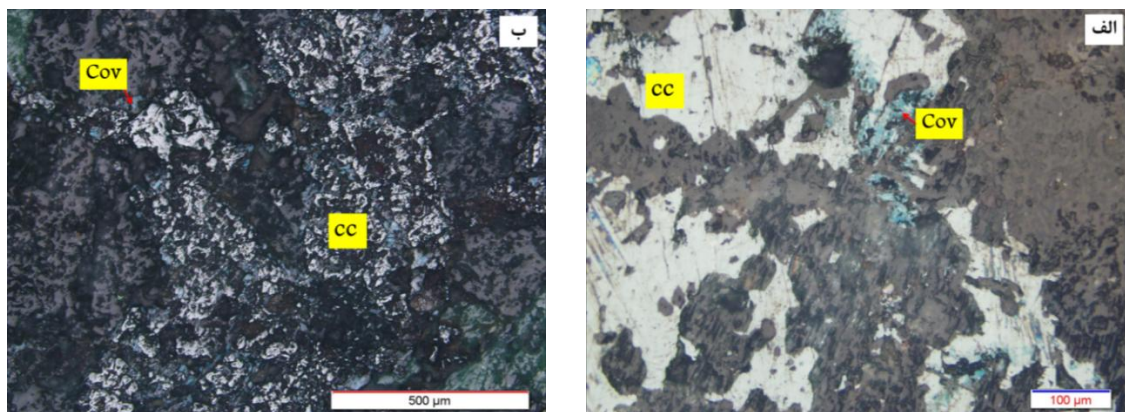
کالکوسیت، کانی سولفیدی اصلی و کانی اقتصادی موجود در کانسارهای مورد مطالعه محسوب می‌شود. این کانی با ابعاد کوچکتر از ۰/۱ میلی‌متر تا چند سانتی‌متر درون بخش احیایی کانه‌زایی

1 - Maynard

2 - Ramdohr

شده وجود دارد. کالکوسیت در نمونه دستی به صورت دانه‌های پراکنده نقره‌ای رنگ با جلای فلزی (بیشتر در کانسارهای قندو و قنچی) و رگه‌های نقره‌ای (در کانسار اسفیز) مشاهده می‌شود. بافت‌های جانشینی، دانه پراکنده و پرکننده فضای خالی در کانی کالکوسیت دیده می‌شود. در این بین بافت جانشینی کالکوسیت بیشتر از بقیه موارد است. که در مقاطع میکروسکوپی همراه با بورنیت و کولیت دیده می‌شود.

این کانسارها دارای دو نوع کالکوسیت هستند: (۱) کالکوسیت اولیه که طی فرآیند کانه‌زایی همراه بورنیت تشکیل شده است و به صورت جانشینی در مگنتیت و پیریت دانه پراکنده، فسیل گیاهی و سیمان کلسیتی دیده می‌شود. (۲) کالکوسیت ثانویه که طی مرحله سوپرژن جانشین کانی‌های مافیک شده است. کالکوسیت اولیه سخت‌تر بوده و دارای رنگ خاکستری متمایل به نقره‌ای می‌باشد و در دماهای بالاتر تشکیل می‌شود. این نوع کالکوسیت بیشتر در کانسارهای اسفیز و قندو دیده می‌شود (شکل ۵-۱ الف). ولی کالکوسیت ثانویه نرم بوده و حالت پودری دارد و فاقد جلای نقره‌ای می‌باشد. کالکوسیت‌های موجود در کانسار قنچی نمونه‌ای از این نوع کالکوسیت می‌باشند (شکل ۵-۱ ب).



شکل ۳-۳۴: الف) کالکوسیت اولیه در کانسار اسفیز، ب) کالکوسیت ثانویه در کانسار قنچی. همان طور که در تصاویر دیده می‌شود کالکوسیت اولیه ظاهری سخت‌تر نسبت به کالکوسیت ثانویه دارد.

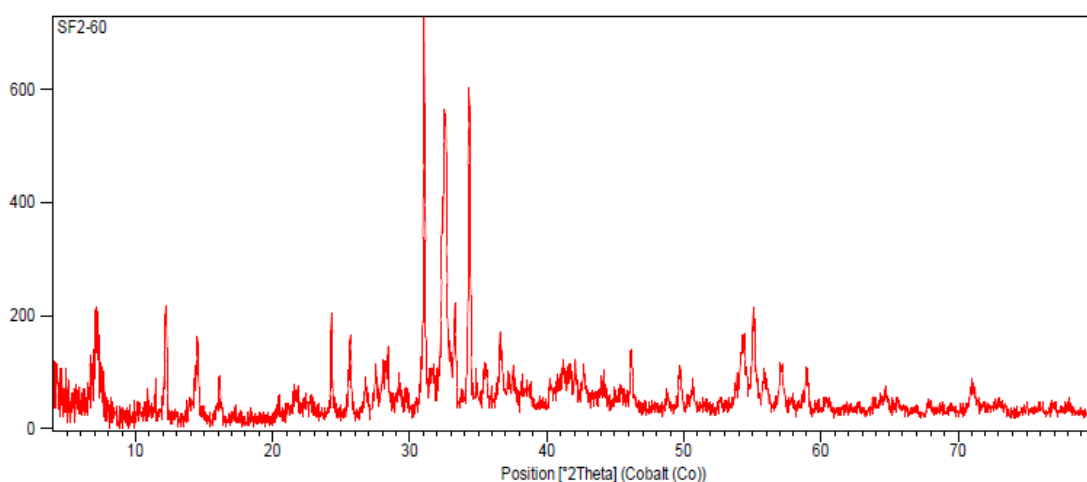
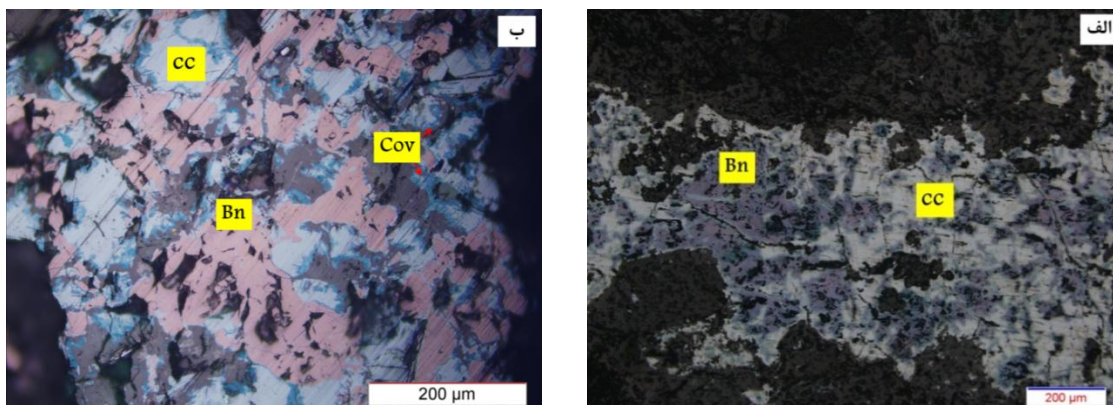
۲-۱-۶-۳ بورنیت

بورنیت دارای فرمول Cu_5FeS_4 می‌باشد. بورنیت به رنگ قرمز روشن (در سطح صاف) با سطوح زبر دیده می‌شود. بلور بورنیت دارای رخ نامشخص در جهت سطوح مکعبی و واجد شکستگی صدفی است.

خط اثر آن خاکستری تا سیاه است. در ترکیب شیمیایی بورنیت ۵۵-۶۳ درصد مس وجود دارد و گوگرد در آن به عنوان محصول فرعی می‌باشد. بورنیت اکثراً به حالت توده‌ای با دانه‌های درشت و یا فلس مانند دیده می‌شود و به ندرت منشاء ماگماتیک و اکثراً از منشاء پنوماتولیتی مجاورتی تشکیل می‌شود ولی فقط منشاء گرمابی یا رسوبی آن قابل استخراج است.

در کانسارهای مورد مطالعه بورنیت تنها در کانسار اسفیز وجود دارد. این کانی در نمونه دستی با چشم غیرمسلح قابل تشخیص نمی‌باشد. ولی در نتایج حاصله از آنالیز XRD و الکترون پروپ حضور این کانی تأیید شده است. بورنیت در مقاطع میکروسکوپی بی‌شکل بوده و به صورت هم‌رشدی با کالکوسیت دیده می‌شود. بر اساس رنگ در نمونه‌های مورد بررسی دو نوع بورنیت قابل تشخیص است: (۱) بورنیت صورتی که معمولاً غنی از گوگرد بوده و (۲) بورنیت بنفش که فقیر از گوگرد بوده و غنی از مس می‌باشد (براون، ۱۹۷۱). در مقاطع میکروسکوپی به طور کلی بورنیت صورتی رنگ در تماس با کالکوپریت ظاهر می‌شود و جایی که کالکوسیت در حواشی بورنیت قرار دارد، بورنیت بنفش رنگ (غنی از مس) مشاهده می‌گردد (رجب‌پور و همکاران، ۱۳۹۲).

در کانسار اسفیز در قسمت پایینی کنگلومرای کانه‌دار (مرز بین ماسه‌سنگ و کنگلومرا) به دلیل غنی‌تر بودن سیال از مس بورنیت‌ها به رنگ بنفش دیده می‌شوند (شکل ۵-۲ الف). ولی در قسمت‌های بالایی کنگلومرا به دلیل تهی شدن سیال از مس بورنیت‌های صورتی رنگ تشکیل شده‌اند (شکل ۵-۲ ب). به طور یقین می‌توان گفت کانی بورنیت به شکل فاز منفرد در مطالعات کانه‌نگاری دیده نشد و این کانی تقریباً در تمامی موارد به همراه کالکوسیت است. در نتایج حاصل از آنالیز XRD نیز کانی بورنیت شناسایی شده است (شکل ۵-۲ ج).



Peak List
01-079-1910; Si O ₂ ; Quartz
01-086-2334; Ca (C O ₃); Calcite
01-076-1819; Na (Al Si ₃ O ₈); Albite low
00-029-0701; (Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Clinoclinoite-101 M#00001RG, tenand
01-071-0368; Cu _{4.98} Fe _{1.02} S ₄ ; Bornite
00-031-0482; Cu ₂ S; Chalcocite

ج

شکل ۳-۳۵: تصاویر میکروسکوپی از هم‌رشدی کالکوسیت و بورنیت در کانسار اسفیز (نور انعکاسی): الف) بورنیت بنفش رنگ در مرز بین ماسه‌سنگ و کنگلومرا. ب) بورنیت صورتی رنگ مربوط به قسمت‌های بالایی کنگلومرا. ج) داده‌های به دست آمده از آنالیز XRD برای کنگلومرای کانهدار کانسار اسفیز، کانی بورنیت و کالکوسیت در آن شناسایی شده است.

۳-۱-۶-۳ پیریت

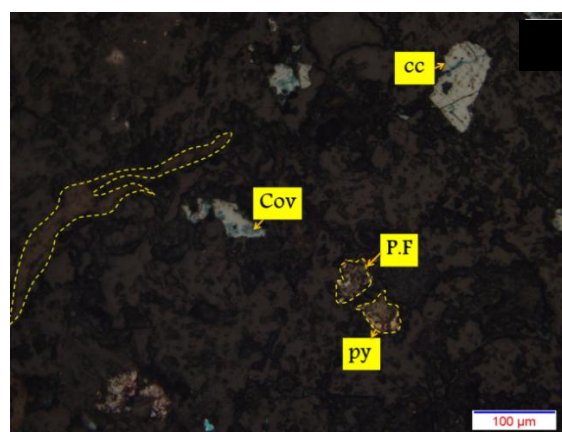
فرمول این کانی FeS_2 بوده و در ترکیب شیمیایی آن ۴۴/۶ درصد آهن و ۵۳/۴ درصد گوگرد وجود دارد. سختی بلور در مقیاس موس ۶ تا ۶/۵ و وزن مخصوص آن ۴/۹ تا ۵/۲ است. کانی در سیستم کوبیک متبلور می‌شود و رنگ آن از زرد برنجی تا زرد متمایل به قهوه‌ای تغییر می‌کند و به طور

معمول فاقد خاصیت مغناطیسی است. این کانه از مهم‌ترین سولفورهای آهن محسوب می‌شود.

بخش‌های کانه سازی نشده و احیایی کانه‌دار کانسارهای مورد مطالعه دارای دو نسل مختلف پیریت هستند: (۱) پیریت‌های ریز و خودشکل افشان که مربوط به مرحله تشکیل کانه هستند (شکل ۱۷-۵ ب). (۲) پیریت‌های فرامبوئیدال که مربوط به مراحل اولیه دیاژنز و قبل از کانی سازی بوده و به احیای محیط و ایجاد سیال احیایی کمک نموده‌اند.

پیریت فرامبوئیدال در شرایطی که سولفیدهای آهن با سرعت بالایی متبلور گردند، پس از ته‌نشست ژل سولفیدی، از تبدیل ژل FeS به پیریت FeS_2 و در مراحل اولیه دیاژنز تشکیل می‌گردد (کی‌ال‌ت‌ز و همکاران، ۲۰۰۵). این نسل از پیریت‌ها در پهنه قرمز اکسیدان نیز حضور دارند. پیریت فرامبوئیدال موجود در بخش‌های دگرسان شده در مراحل بعدی و طی مرحله کانه‌زایی، توسط سولفیدهای مس جانشین می‌شود (دوریوکس و براون، ۲۰۰۷). در کانسار قنچی، پیریت‌ها، اکسید شده و به گوتیت تبدیل شده‌اند (شکل ۴-۲۶).

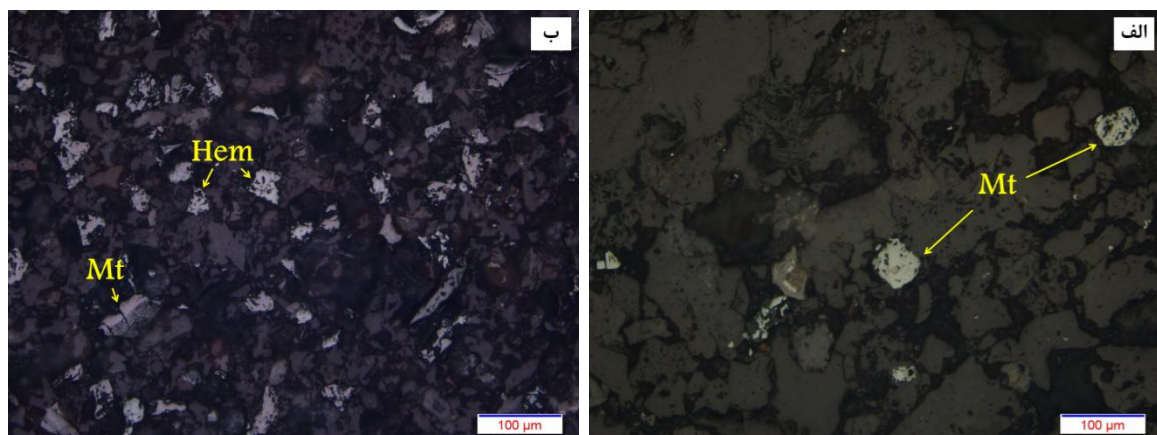
در کانسار قندو تجمع پیریت‌های دانه ریز در مجاورت مواد آلی به دلیل فعالیت‌های غیراکسیدی و احیاء سولفات باکتریایی است (شکل ۵-۳).



شکل ۳-۳۶: تصویر میکروسکوپی از تشکیل پیریت اطراف قطعات فسیل گیاهی در ماسه‌سنگ کانه‌دار و بافت جانشینی در کانسار قندو.

۴-۱-۶-۳ مگنتیت

مگنتیت یکی از کانه‌های آهن با فرمول شیمیایی Fe_3O_4 است و در حالت خالص ۷۲/۳۶ درصد آهن و ۲۷/۶۴ درصد اکسیژن دارد. رنگ آن از خاکستری تیره تا سیاه تغییر می‌کند و وزن مخصوص آن بین ۵/۱۶ تا ۵/۱۸ می‌باشد. خاصیت مغناطیسی قوی این کانه باعث می‌شود که بتوان آن را به روش جدا کننده مغناطیسی از مواد باطله جدا کرد. مگنتیت دارای شبکه کریستالی مکعبی می‌باشد. مگنتیت در نمونه دستی به صورت لامینه‌ای و دانه پراکنده در سنگ‌های میزبان کانه‌زایی دیده می‌شود. در محیط‌های کربناته با Eh بالا و pH پایین مگنتیت بسیار مقاوم است و می‌تواند به صورت پلاسری و لایه‌ای درون سنگ تجمع پیدا کند. این کانی در کانسنگ‌های کانسارهای مورد مطالعه به صورت دانه پراکنده حضور دارد (شکل ۴-۵).



شکل ۳-۳۷: تصاویر میکروسکوپی از ماسه‌سنگ‌های کانسار فندو: الف) مگنتیت خودشکل پراکنده که تقریباً در تمام بخش‌های کانسار دیده می‌شود، ب) هماتیت و مگنتیت دانه ریز پراکنده در پهنه اکسیدان.

۲-۶-۳ کانی‌های ثانویه

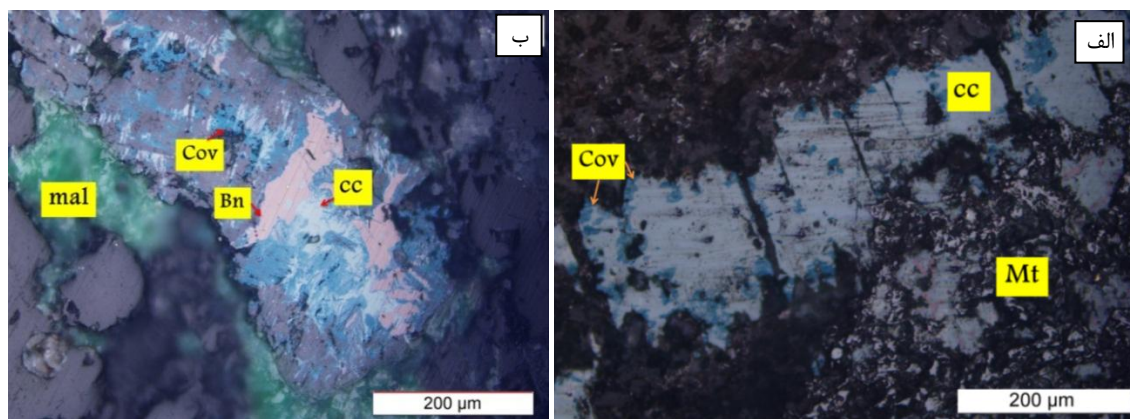
کانی‌های ثانویه موجود در کانسارهای مورد مطالعه عبارتند از: کوولیت، دیژنیت، کوپریت و مالاکیت.

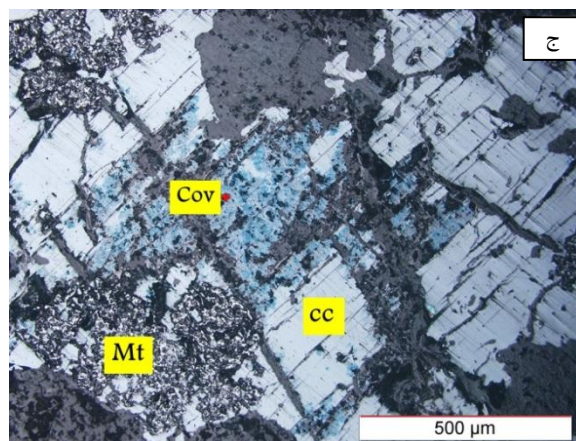
۱-۲-۶-۳ کوولیت

کوولیت با فرمول CuS نمایش داده می‌شود و در سیستم تری گونال متبلور می‌شود و به صورت

بلورهای هگزاگونال و زرد-قهوه‌ای رنگ دیده می‌شود و گوگرد در آن به عنوان محصول فرعی است. این کانی به رنگ آبی روشن تا تیره است و دارای سختی ۲-۱/۵، شکننده، چگالی ۴/۶۸ و در ترکیب شیمیایی این کانی ۶۶/۵ درصد مس وجود دارد. بلورهای تجزیه نشده آن جلای چرب دارند. این کانی خاصیت پراکندگی نوری قوی دارد و به آسانی ذوب می‌شود. ورقه‌های نازک این کانی نیمه شفاف است که در مقابل هوا به رنگ آبی سیاه در می‌آید. کوولیت فراوان‌ترین کانی منطقه اکسیداسیون است و به ندرت از منشاء آب‌های فرورو تشکیل می‌شود.

کوولیت، غالباً پس از تشکیل کالکوسیت و در شرایط سوپرژن سولفیدی تشکیل می‌گردد. این کانی در بخش احیایی کانه‌زایی شده و از تبدیل کالکوسیت نسل اول و گاهی نسل دوم به وجود آمده است (شکل ۵-۵ الف). کوولیت در نمونه دستی قابل تشخیص نمی‌باشد، ولی در در مقاطع میکروسکوپی به رنگ آبی پررنگ و به صورت تیغه‌های موازی (شکل ۵-۵ ب)، دسته جارویی، لکه‌ای (شکل ۵-۵ ج) و نامنظم در درون و اطراف کالکوسیت دیده می‌شود. این کانی به وسیله آنالیز الکترون پروب نیز شناسایی شده است.

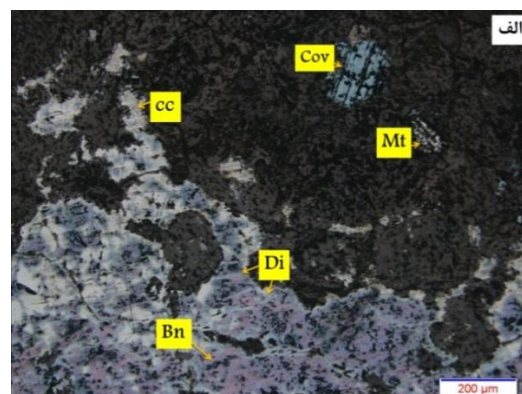
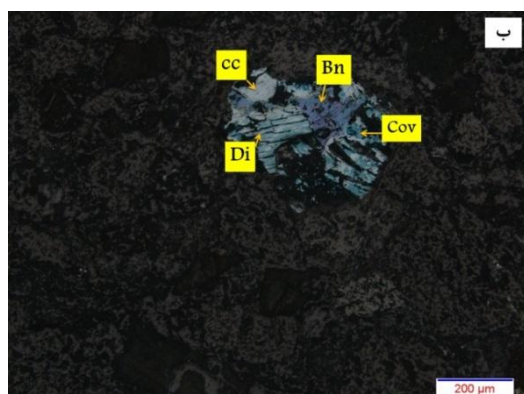




شکل ۳-۳۸: الف) جانشینی کوولیت در کالکوسیت در افق کانه‌دار اسفیز. این جانشینی از حاشیه‌ها شروع می‌شود. ب) جانشینی کوولیت به فرم تیغه‌ای درون کانی کالکوسیت (نور انعکاسی). ج) جانشینی کوولیت به جای کالکوسیت به صورت لکه‌ای (نور انعکاسی).

۲-۲-۶-۳ دیژنیت

دیژنیت با فرمول $\text{Cu}_{1.8-x}\text{Fe}_x\text{S}$ در سیستم کوبیک متبلور می‌شود. این کانی دارای رنگ خاکستری متمایل به آبی می‌باشد. تشخیص آن از کوولیت از روی رنگ آن صورت می‌گیرد. دیژنیت مقدار کمی آهن در ساختمان خود لازم دارد، و لذا ممکن است یک فاز حدواسط در طی تغییر شکل کالکوسیت به بورنیت یا بالعکس باشد (مینارد، ۱۹۸۳). دیژنیت در کانسار اسفیز و قندو، به صورت جانشینی در مرز بین کالکوسیت و بورنیت در بخش‌های کانه‌دار یافت می‌شود (شکل ۵-۶). تشخیص این کانی در مطالعات میکروسکوپی و نتایج حاصل از آنالیز الکترون پروب تأیید شده است.

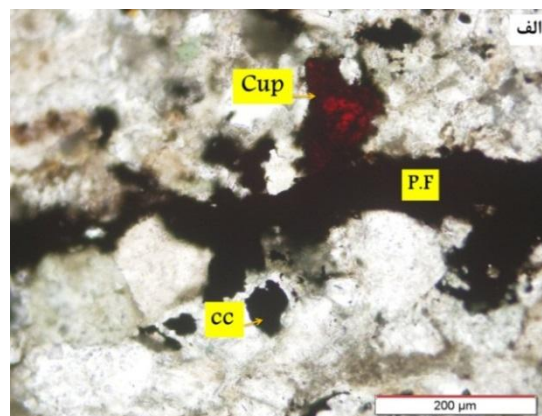
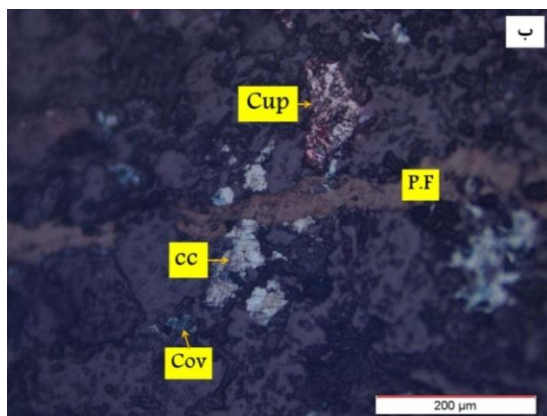


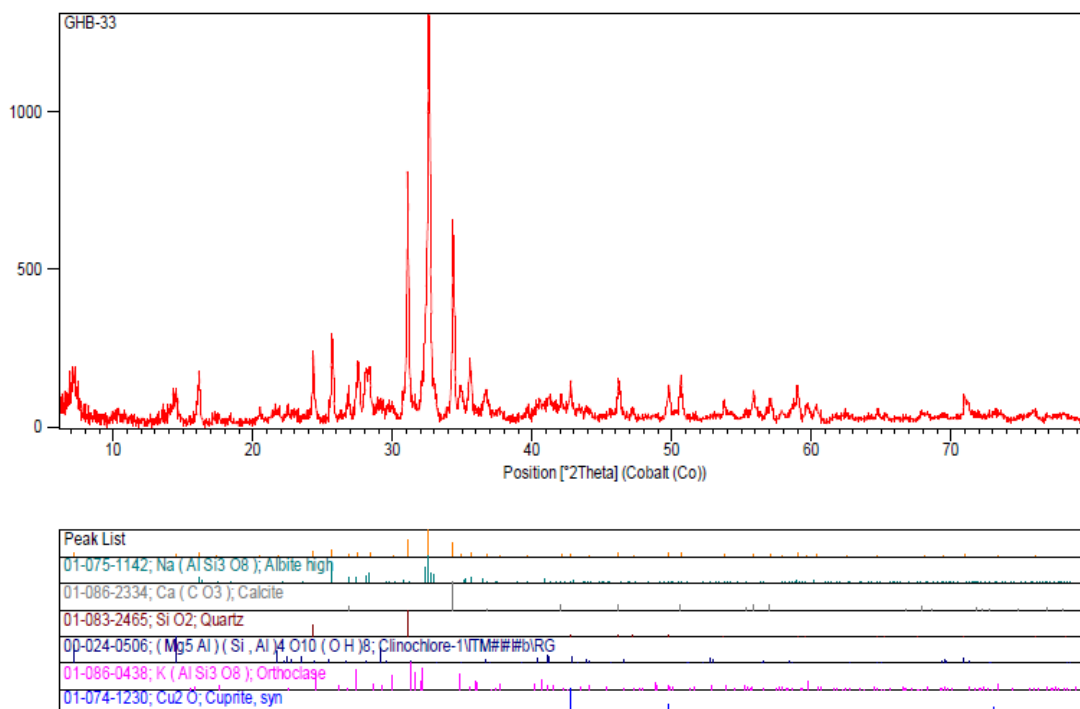
شکل ۳-۳۹: تصاویر میکروسکوپی از کانی دیژنیت و کانی‌های همراه آن در افق احیایی کانه‌دار کانسار اسفیز. همان طور که در شکل دیده می‌شود، کانی بنفش رنگ بورنیت، کانی خاکستری رنگ کالکوسیت، کانی آبی رنگ کوولیت و کانی که دارای رنگ خاکستری متمایل به آبی است دیژنیت می‌باشد. به نظر می‌رسد این کانی یک فاز حدواسط در طی تغییر شکل کالکوسیت به بورنیت یا بالعکس باشد.

۳-۲-۶-۳ کوپریت

کوپریت با فرمول Cu_2O نمایش داده می‌شود. نام دیگر کوپریت، مس سرخ اکسیده است. ترکیب شیمیایی این کانی حاوی ۸۸/۸ درصد مس است و دارای ناخالصی‌هایی از Fe_2O_3 , SO_2 , H_2O می‌باشد. این کانی در سیستم کوبیک متبلور می‌شود و به رنگ سرخ تا خاکستری سربی است. سطح تجزیه نشده بلور و سطح شکست آن دارای جلای الماسی است. بلور کوپریت نیمه شفاف تا کدر و به رنگ سرخ تا سرخ مایل به سیاه و نمونه‌های توده‌ای آن قهوه‌ای سرخ تا خاکستری سرخ تیره است. کوپریت در منطقه کلاه آهنین توده‌های معدنی مس گسترش زیاد دارد. کوپریت در قسمت‌های زیرین منطقه اکسیداسیون کانسارها و به ویژه در محل‌هایی که منطقه سمنتاسیون در معرض هوازدگی قرار می‌گیرد تشکیل می‌شود. کوپریت در جریان فرآیندهای اکسایش کانی‌های کالکوسیت، در منطقه سمنتاسیون (در زیر سطح آب‌های زیر زمینی) تشکیل می‌شود.

این کانی تنها در کانسار قندو در مقاطع میکروسکوپی به صورت دانه‌های پراکنده و منفرد در اطراف فسیل‌های گیاهی دیده می‌شود (شکل ۵-۷). همچنین در نتایج به دست آمده از آنالیز XRD وجود این کانی اثبات شده است. فراوانی کوپریت در کانسار قندو بسیار ناچیز است.





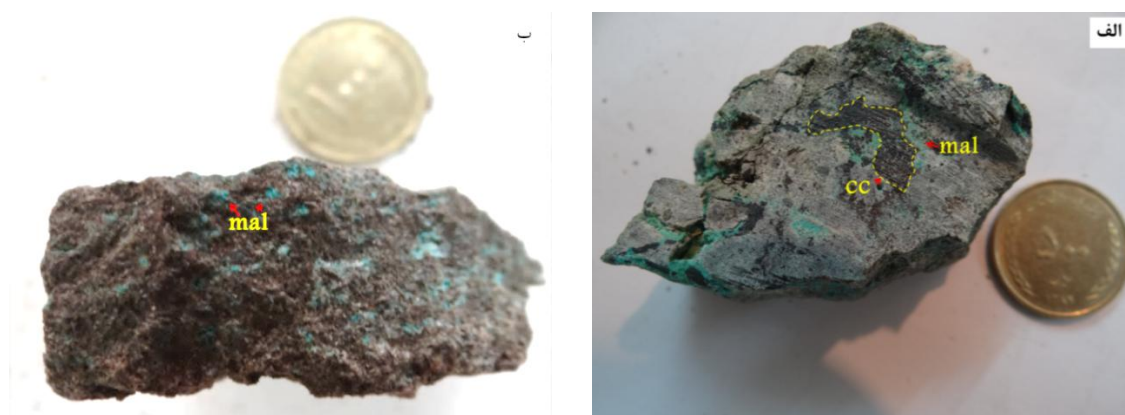
ج

شکل ۳-۴: تصویر میکروسکوپی از کانی کوپریت در بخش کانه‌دار کانسار قندو: الف) در نور عبوری (ppl). ب) در نور انعکاسی. ج) داده‌های به دست آمده از آنالیز XRD برای ماسه‌سنگ کانه‌دار کانسار قندو، که در آن کانی کوپریت نشان داده شده است.

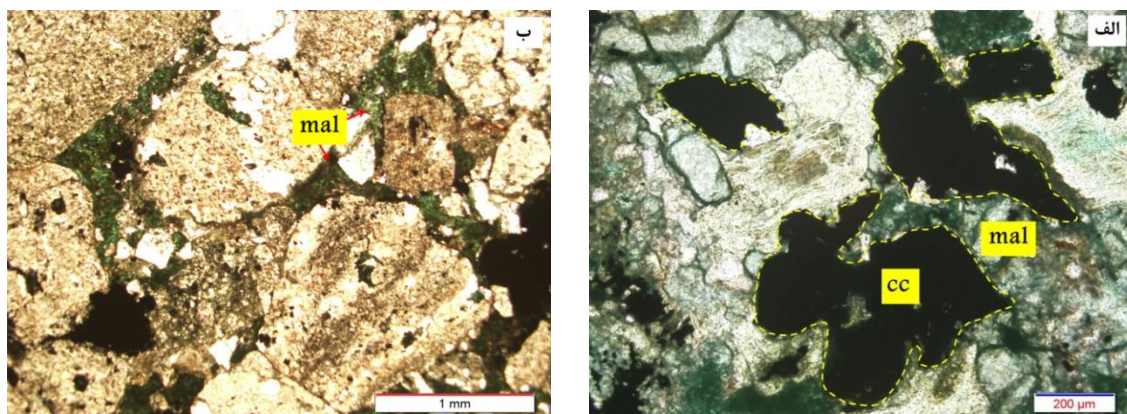
۴-۲-۶-۳ مالاکیت

مالاکیت با فرمول $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})$ در سیستم مونوکلینیک متبلور می‌شود و در ترکیب شیمیایی آن ۵۷/۵ درصد مس وجود دارد. مالاکیت غالباً به صورت رشته‌های شعاعی، متراکم، قله‌ای، دانه انگوری، گرهک مانند تا استالاکتیته تشکیل می‌شود. خط اثر آن سبز روشن است و در سطح شکست جلای ابریشمی تا مات دارد. حالت نیمه شفاف دارد و پلئوکروئیسم آن شدید و خاصیت نورانی آن منفی است. این کانی به رنگ سبز روشن تا تیره یا سبز متمایل به سیاه است و دارای سختی ۴-۳/۵، نیمه شفاف تا اپک و با چگالی ۴/۰۵ - ۴ می‌باشد. مالاکیت مهم‌ترین کانی منطقه اکسیداسیون است. مالاکیت فراوان‌ترین کانی غیرسولفیدی مس‌دار در کانسارهای مورد مطالعه است، و به دلیل حضور این کانی اکثر رخنمون‌های سطحی را غشای نازک سبز رنگی پوشانده است. مالاکیت می‌تواند از اطراف جانشین کالکوسیت گردد (شکل ۵-۸ الف). همچنین مالاکیت در برخی قسمت‌ها دارای بافت

دانه پراکنده و پرکننده فضای خالی می‌باشد (شکل ۵-۸ ب). این جانشینی یا به طور کامل انجام می‌گیرد و تمام کالکوسیت به مالاکیت تبدیل می‌شود و یا به صورت نوار سبز رنگ در اطراف کانی‌های سولفیدی جانشین می‌گردد (شکل ۵-۹ الف). این کانی در کانسارهای مورد مطالعه اکثراً همراه با کلسیت دیده می‌شود. و یا جانشین سیمان کربناته سنگ شده و به سنگ ظاهری سبز رنگ می‌دهد. به نظر می‌رسد کلسیت کربنات مورد نیاز برای تشکیل مالاکیت را فراهم کرده است (شکل ۵-۹ ب).



شکل ۳-۴۱: تصاویری از نمونه دستی‌های کانه‌دار: الف) تبدیل کالکوسیت به مالاکیت. این جانشینی از حاشیه کالکوسیت شروع می‌شود و ممکن است به صورت کامل انجام گیرد و تمام کالکوسیت به مالاکیت تبدیل شود. ب) مالاکیت دارای بافت دانه پراکنده.

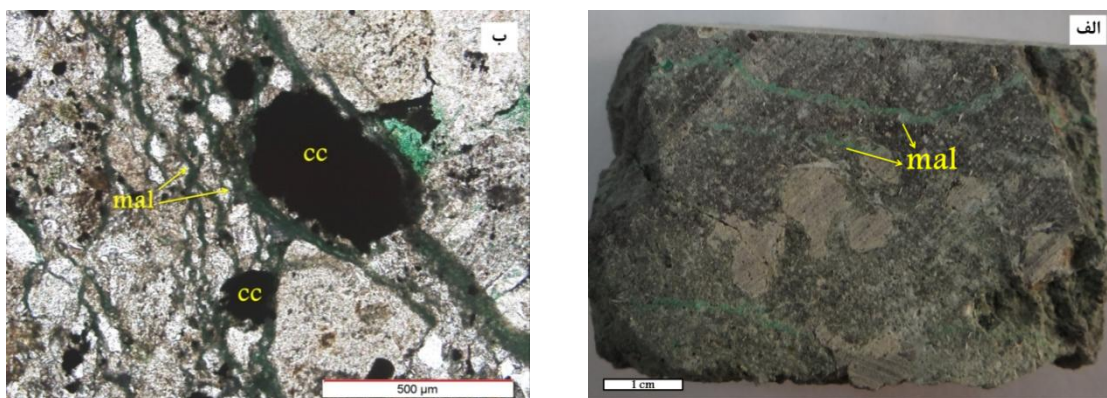


شکل ۳-۴۲: تصاویر میکروسکوپی از مالاکیت در کنگلومرای کانه‌دار کانسار قنچی (در نور عبوری ppl): الف) تشکیل کانی مالاکیت در اطراف کانی کالکوسیت. ب) جانشینی مالاکیت در سیمان کربناته بین دانه‌ها.

در کانسار قنچی درون کنگلومرای پهنه احیایی کانه‌زایی شده، نوارهایی از مالاکیت در سطوحی

موازی با لامیناسیون سنگ میزبان به چشم می خورد. وجود این نوارها ایجاد بافتی، به نام لامینه‌های کاذب یا درزه‌های انحلالی (Solution seam) می کند. این بافت غالباً پس از مرحله دیاژنز اولیه و قبل از دیاژنز تأخیری تشکیل می شود. در این بافت، در اثر فشار بار لیتواستاتیکی (عمود بر لامیناسیون سنگ)، ذرات قابل حل به صورت شیمیایی انحلال پیدا می کنند و در صورت وجود اجزای غیر قابل انحلال، این ذرات در بین دانه‌های انحلال یافته باقی می مانند. این اجزای غیر قابل حل می توانند کانی سولفیدی و یا مواد آلی باشند (دوریوکس و براون، ۲۰۰۷). این سولفیدهای باقی مانده در طی سوپرژن اکسیدی به مالاکیت تبدیل می گردند و به دلیل موازی بودن درزه‌های انحلالی با روند لامیناسیون سنگ، این مالاکیت ظاهری لامینه نشان می دهد. به دلیل حضور کانی‌های سولفیدی در درون این ساختار، تشکیل آن‌ها کمی پس از کانه‌زایی سولفیدی می باشد (دوریوکس و براون، ۲۰۰۷) (شکل ۵-۱۰).

تشکیل چنین ساختمانی در کانسار Juramento توسط دوریوکس و براون (۲۰۰۷) مورد بررسی قرار گرفته است، که تشکیل این بافت کمی پس از کانه‌زایی و قبل از دیاژنز دفنی تشخیص داده شده است.



شکل ۳-۴۳: الف) فرارگیری کانی مالاکیت درون درزه‌های انحلالی و ایجاد بافت لامینه کاذب در کنگلومرای پهنه کانه‌زایی شده کانسار قنچی. ب) این تصویر نشان می دهد که درون لامینه‌های کاذب، کانی‌های مالاکیت اطراف کانی‌های سولفیدی (کالکوسیت) را احاطه کرده است (نور عبوری ppl).

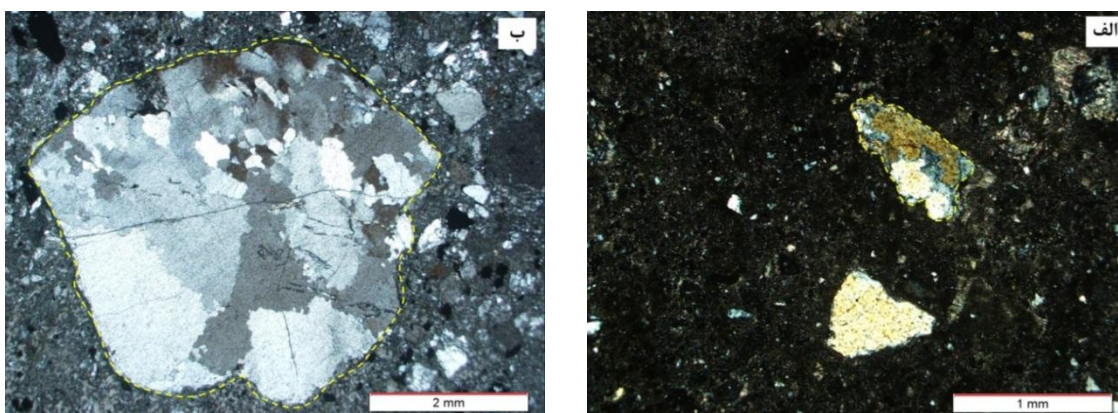
۳-۶-۳ کانی‌های باطله

با توجه به وجود انواع ذرات آواری به عنوان کانی‌های سنگ‌ساز سنگ میزبان، کانی‌های باطله مرتبط با کانه‌زایی در کانسارهای مورد مطالعه شامل کوارتز، فلدسپات، کلسیت، اکسید آهن و کانی‌های رسی می‌باشند. در زیر شرح مختصری از این کانی‌ها آورده شده است.

۳-۶-۳-۱ کوارتز

تمام سنگ‌های آذرین و اغلب سنگ‌های دگرگونی به استثنای سنگ کوارتزیت که ممکن است تا حدود ۱۰۰ درصد حجم سنگ از کوارتز تشکیل شده باشد، حاوی کوارتز هستند و مقدار آن از خیلی کم تا ۴۰ درصد حجم کل سنگ را تشکیل می‌دهد. ولی برعکس در سنگ‌های آواری تیپیک، کوارتز به طور فراوان یافت می‌شود، زیرا مقاومت مکانیکی و ثبات شیمیایی آن در مقابل عمل فرسایش بسیار زیاد است.

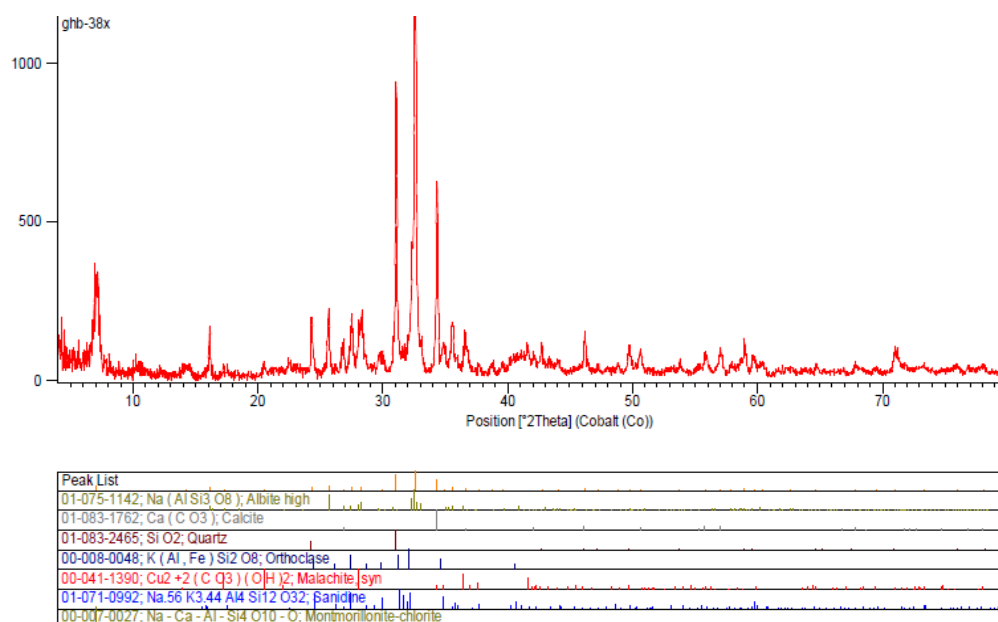
مطالعات دقیق پتروگرافی و کانی‌شناسی و نتایج حاصل از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) بر روی مقاطع میکروسکوپی کانسارهای مورد مطالعه نشان می‌دهد که دانه‌های تخریبی عمدتاً از جنس کوارتز بوده که به صورت اشکال تک بلوری تقریباً هم اندازه و بعضاً زاویه‌دار توزیع یافته‌اند. در مقاطع میکروسکوپی کوارتزهای پلی کریستالین به همراه کوارتزهای مونو کریستالین به صورت پراکنده حضور دارند (شکل ۵-۱۱).



شکل ۳-۴۴: تصاویر میکروسکوپی از کوارتزهای پلی کریستالین همراه کوارتزهای مونو کریستالین در کانسارهای مورد مطالعه در نور عبوری (xpl). کوارتزهای پلی کریستالین با خط چین مشخص شده‌اند.

این نوع کوارتز، بر اثر تحمل فشار دچار حالت پلی کریستالین شده است. که این فشار می تواند فشار لیتواستاتیک ناشی از لایه های بالایی، و یا فشار هیدرواستاتیک ناشی از سیال باشد. فلدسپات ها در سنگ های آواری از نظر اهمیت در درجه دوم قرار دارند، زیرا به علت داشتن رخ، مقاومت مکانیکی کمتری نسبت به کوارتز در مقابل عمل فرسایش دارند و در اثر عوامل شیمیایی به کانی های رسی تجزیه می شوند. به این دلیل، میزان دانه های فلدسپات در رسوبات رودخانه ای به مراتب بیشتر از ماسه های ساحلی و تپه های شنی است. فلدسپات ها در سنگ های آذرین و دگرگونی به طور فراوان یافت می شوند و بدین جهت در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد رسوبات آواری عهد حاضر را تشکیل می دهند.

طبق بررسی های کانی شناسی فراوان ترین فلدسپات های موجود در کانسارهای مورد مطالعه ارتوکلاز و پلاژیوکلاز می باشند، که بر اثر دگرسانی به کانی های رسی تبدیل شده اند. در برخی نمونه ها از دگرسانی پلاژیوکلازها، سرسیت تشکیل شده است (شکل ۵-۱۵). به همین دلیل این کانی ها در زیر میکروسکوپ ظاهری کدر دارند و به خوبی قابل تشخیص نیستند. نتایج به دست آمده از XRD وجود کانی های ارتوکلاز، آلبیت و سانیدین را همراه با کانی رسی مونت مورینیت تأیید کرده است (شکل ۵-۱۲).



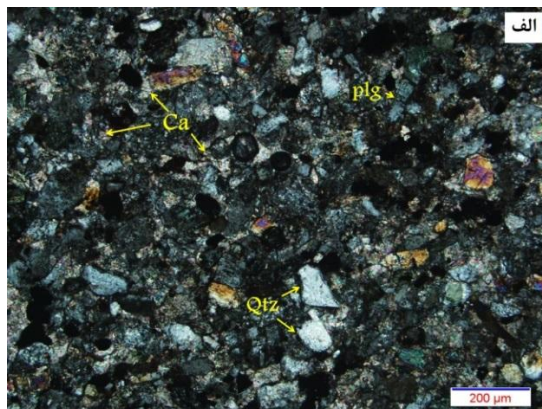
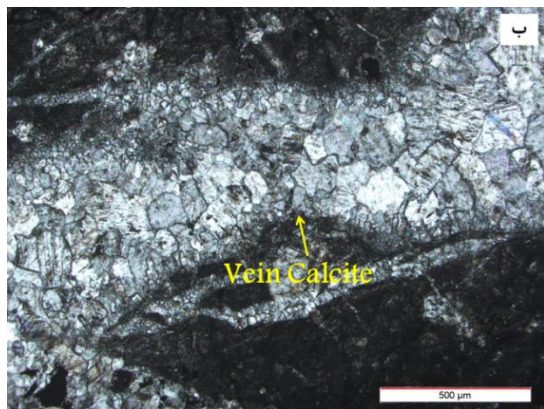
شکل ۳-۴۵: نتایج به دست آمده از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) از افق کانه دار کانسار قندو.

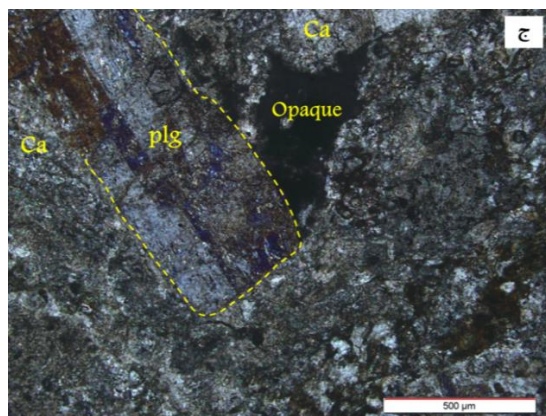
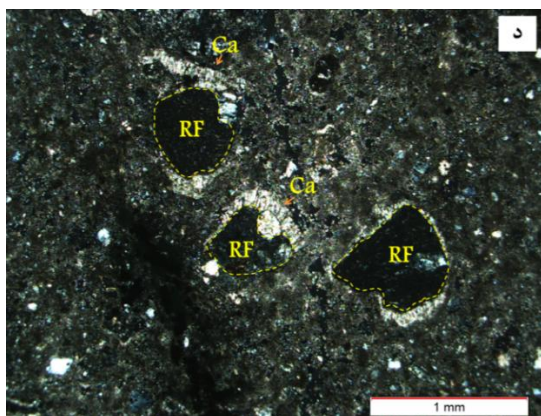
۳-۶-۳-۲ کلسیت

در کانسارهای مورد مطالعه کلسیت اکثراً به صورت سیمان کلسیتی بین قطعات آواری را پر نموده (شکل ۵-۱۳ الف)، همچنین درون برخی از شکستگی‌ها توسط کلسیت پر شده است (شکل ۵-۱۳ ب). این کانی در نمونه‌های دستی، مقاطع میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD تشخیص داده شده است. کلسیت یکی از متداول‌ترین سیمن‌های موجود در ماسه‌سنگ‌هاست (تاکر، ۲۰۰۱). این کانی علاوه بر پرکردن حفرات، ممکن است جانشین دانه‌ها نیز شود. این جانشینی می‌تواند در دانه‌های فلدسپات صورت پذیرد (شکل ۵-۱۳ ج، د).

۳-۶-۳-۳ اکسیدهای آهن

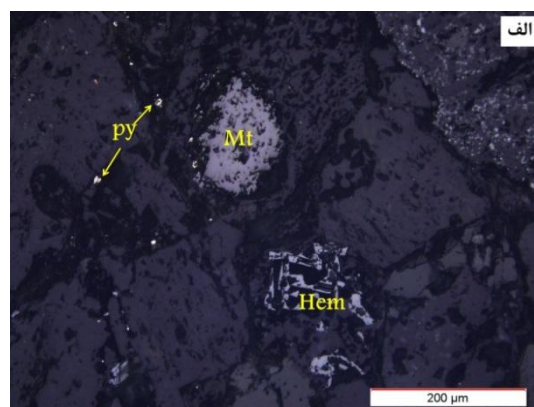
مگنتیت فراوان‌ترین اکسید آهن موجود در کانسارهای مورد مطالعه است. علاوه بر آن هماتیت (شکل ۵-۱۴ الف)، گوتیت (شکل ۵-۱۴ ب)، کانی تیتانومگنت و لیمونیت نیز به مقدار کم وجود دارند. بیشتر رسوبات تخریبی آواری به علت وجود هماتیت دارای رنگ قرمز هستند و در بیشتر موارد این سنگ‌ها در محیط‌های قاره‌ای رسوب کرده‌اند. هماتیت بطور تیپیک به فرم یک پوشش خیلی نازکی در اطراف دانه‌ها وجود دارد و کانی‌های رسی، کوارتز و فلدسپات را نیز به رنگ قرمز آغشته می‌کند (شکل ۵-۱۴ ج).

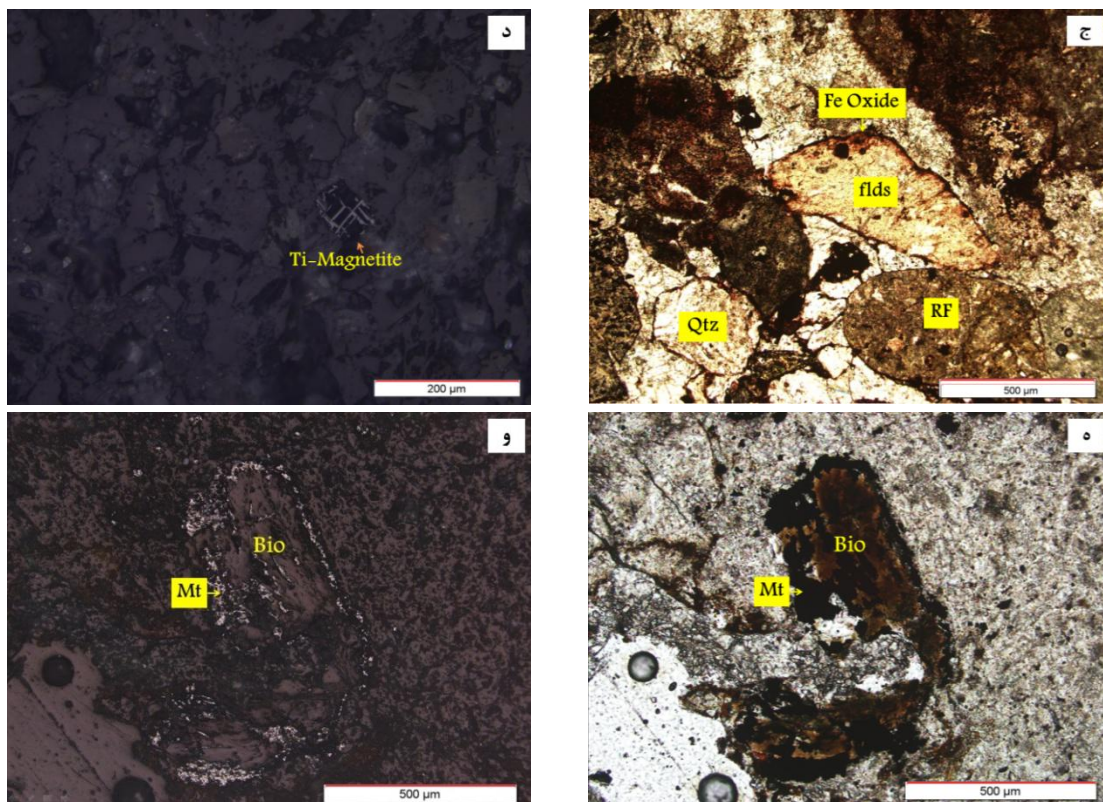




شکل ۳-۴: تصاویر میکروسکوپی در نور عبوری (xpl): الف) سیمان کلسیتی (Ca) در بین قطعات آواری. ب) رگه کلسیتی که شکستگی‌های موجود در سنگ را پر کرده است. ج) جانشینی کلسیت در کانی پلاژیوکلاز (جایی که خط چین قطع شده است کانی پلاژیوکلاز در حال تبدیل شدن به کلسیت است). د) جانشینی کلسیت در اطراف قطعات خرده‌سنگ‌های آواری (RF).

در مقاطع میکروسکوپی بعضی از دانه‌های آهن-تیتان دار دارای بافت داربستی (Trellis) هستند (شکل ۵-۱۴ د). این الگوی بافتی نشان می‌دهد که در ابتدا بافت اکسلوشن در مگنتیت-ایلمنیت وجود داشته و در اثر انحلال بعدی Fe^{2+} شسته شده و تیغه‌های انحلال‌ناپذیر تیتانیوم‌دار برجای مانده‌اند (هایز^۱، ۱۹۸۴). این کانی در آنالیز الکترون پروب نیز شناسایی شده است.





شکل ۳-۴۷: تصاویر میکروسکوپی از: الف) کانی مگنتیت به همراه هماتیت و پیریت، ب) کانی گوتیت دارای بافت کلوفرمی که جانشین پیریت فرامبوئیدال شده است. ج) پوشیده شدن دانه‌های آواری توسط اکسید آهن (نور عبوری ppl). د) کانی تیتانومگنتیت (Ti-magnetite) دارای بافت داربستی، که در اثر خروج بخش‌های انحلال‌پذیر و باقی ماندن تیغه‌های تیتان دار ایجاد شده است. ه) تشکیل مگنتیت اطراف کانی بیوتیت (نور عبوری). و) همان تصویر در نور انعکاسی.

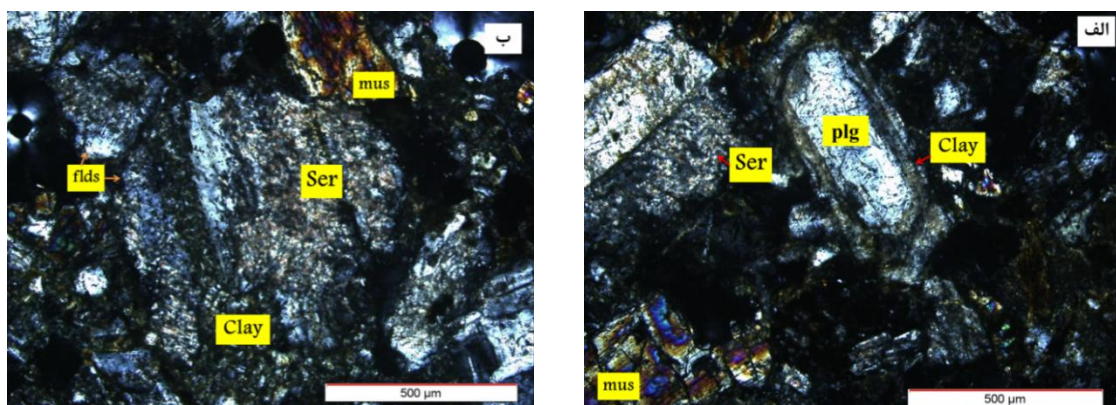
۳-۶-۳-۴ کانی‌های رسی

کانی‌های رسی به یک سری ذرات دانه ریز با شبکه‌ای لایه‌ای اطلاق می‌شود که بیشتر از هیدرات‌های آلومینیوم و سیلیکات تشکیل شده‌است. این کانی‌ها از تجزیه کانی‌های سیلیکاته تشکیل‌دهنده سنگ‌ها، بویژه فلدسپات‌ها و سیلیکات‌های فرومنیزیم، حاصل شده‌اند. کانی‌های رسی در اثر هوازدگی سنگ‌ها، در محیط‌های با درجه حرارت پایین و رطوبت زیاد، تشکیل می‌شوند. هم‌چنین این کانی‌ها، منعکس‌کننده نوع کانی هوازده و شرایط هوازدگی هستند. کانی‌های رسی در هنگام دیاژنز بر اثر تغییرات فیزیکی و شیمیایی به یکدیگر تبدیل می‌شوند. ایلیت، کائولینیت و مونت مورینیت از متداول‌ترین کانی‌های رسی موجود در ماسه‌سنگ هستند.

کانی‌های رسی در جازا به فرم سیمان پرکننده حفرات و رس‌های حاشیه‌ای در اطراف دانه‌ها یافت می‌شوند.

در برخی از نمونه‌های سنگی کانسارهای مورد مطالعه، ماتریکس رسی در بین دانه‌های آواری قابل تشخیص است. این کانی‌ها در مقاطع میکروسکوپی به صورت پچ‌های نامنظم درون شبکه‌ای و گاهی به صورت جانشینی در اطراف دانه‌های آواری دیده می‌شوند (شکل ۵-۱۵ الف، ب).

تعیین نوع کانی‌های رسی در زیر میکروسکوپ مقذور نمی‌باشد. به همین دلیل چند نمونه از بخش‌های مختلف کانسارها انتخاب و جهت تعیین نوع کانی رسی، بر روی آنها آنالیز XRD صورت گرفت. بر اساس داده‌های به دست آمده از این آنالیز کانی‌های مونت موریونیت، ایلیت و کلینوکلر شناسایی گردید، که بیشترین کانی رسی موجود در این کانسارها، کانی مونت موریونیت می‌باشد.



شکل ۳-۴: الف و ب) تصاویر میکروسکوپی از تجزیه شدن دانه‌های فلدسپار و تبدیل آن‌ها به کانی‌های رسی و سریسیست (نور عبوری xpl). همان‌طور که در تصاویر دیده می‌شود تشخیص نوع کانی رسی در مقاطع میکروسکوپی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

۳-۷ ساخت

ساختمان سنگ روی زمین تشخیص داده می‌شود مثل جهت‌یافتگی، نواربندی، درزه و شکاف. مشخصات سنگ‌ها به نموده‌های ساختی و بافتی سنگ وابسته است. چرا که لایه لایه بودن، توده‌ای بودن، شکل و نوع و اندازه کانی یا بلورهای تشکیل دهنده سنگ و ارتباط آن‌ها با هم به ساخت و بافت سنگ مربوط است.

ساخت‌های مشاهده شد در توالی کانسارهای مورد مطالعه به شرح زیر می‌باشد:

۱-۷-۳ ساخت رگه‌ای

این ساخت در کانسار اسفیز دیده می‌شود. عامل کنترل‌کننده این ساخت وجود سیستم‌های گسل، درزه و شکستگی‌ها می‌باشد. سیال کانه‌دار از طریق این شکستگی‌ها بالا آمده و درون درزه و شکستگی‌های موجود در کنگلومرا در صورت وجود شرایط مناسب کانه‌زایی ته‌نشین می‌شود. این امر باعث ایجاد ساخت رگه‌ای در این کانسار می‌گردد (شکل ۴-۷). این ساخت در نمونه دستی هم مشاهده می‌شود.

۲-۷-۳ ساخت لایه‌ای تا عدسی

این ساخت تحت تأثیر عواملی چون نفوذپذیری، دانه‌بندی و وجود مواد آلی در لایه‌های خاص ایجاد می‌شود. در منطقه مورد مطالعه این ساخت در کانسار قندو مشاهده می‌گردد. در این کانسار فقط در لایه‌هایی که دارای مواد آلی هستند و همچنین نفوذپذیری بالایی دارند کانه‌زایی رخ داده است. در نتیجه وجود کانه‌زایی در لایه‌های خاص، باعث ایجاد ساخت لایه‌ای تا عدسی در این کانسار شده است (شکل ۴-۱۱).

۳-۷-۳ ساخت هلالی شکل

عوامل ایجاد ساخت هلالی شکل (Roll front) تناوب لایه‌هایی با نفوذپذیری کم و زیاد، تجمع مواد آلی و قطعات احیایی و افزایش pH سیال در مسیر حرکتش می‌باشد، که باعث ایجاد ترمز برای ته‌نشست اجزای کانه‌زا می‌شوند. در کانسار قنچی وجود تناوبی از لایه‌های کنگلومرا (نفوذپذیری بالا)، و مارن (نفوذپذیری پایین) و حضور دانه‌های احیایی باعث تشکیل این ساخت شده است. سیال با برخورد به لایه‌های مارن متوقف می‌شود. در نهایت به دلیل بالا بودن جریان سیال در مرکز نسبت به حاشیه‌ها، شکل هلالی ایجاد می‌شود (شکل ۴-۲۰). همچنین افزایش pH سیال اکسیدان و اسیدی،

با عبور از واحدهای مارنی گچ‌دار، نیز می‌تواند عامل ایجاد این ساختار شود.

۳-۸ بافت

مهم‌ترین بافت‌های موجود در کانسارهای مس رسوبی مورد مطالعه شامل بافت دانه پراکنده، جانشینی، پرکننده فضای خالی و رگه- رگچه‌ای می‌باشد. که در این میان بافت دانه پراکنده، پرکننده فضای خالی و رگه- رگچه‌ای هم در نمونه‌های دستی و هم در مقاطع مشاهده می‌شوند. ولی مطالعه بافت جانشینی تنها در مقاطع میکروسکوپی امکان‌پذیر می‌باشد.

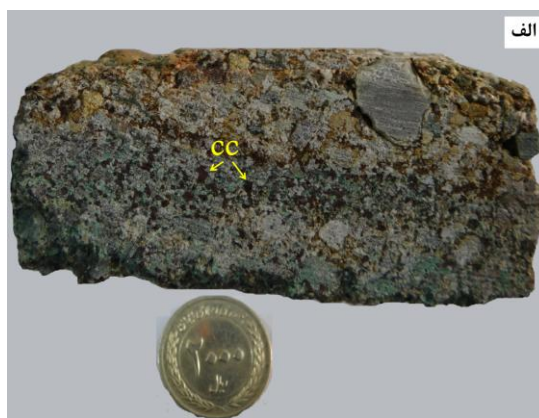
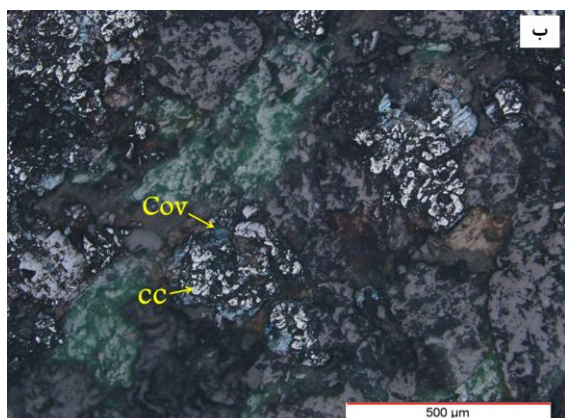
در این قسمت با توجه به کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسارهای مورد مطالعه، انواع بافت‌هایی که در این کانی‌ها دیده می‌شوند توضیح داده خواهد شد.

۳-۸-۱ بافت دانه پراکنده

بافت دانه پراکنده عمدتاً در بخش‌های نفوذپذیر و همچنین اطراف قطعات فسیل گیاهی دیده می‌شود. سولفیدهای مس، کانی‌های پیریت، اکسیدهای آهن، ملاکیت و کریزوکلا موجود در کانسارهای قندو و قنچی دارای این بافت هستند. این بافت در نمونه دستی و مقاطع میکروسکوپی به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۵-۱۶).

۳-۸-۱-۱ سولفیدهای مس با بافت دانه پراکنده

کانه‌زایی سولفیدهای مس (غالباً کالکوسیت) به صورت دانه پراکنده، می‌تواند با تراکم کم یا زیاد تشکیل شود (شکل ۵-۱۶). تراکم سولفیدهای مس پراکنده به فضای خالی موجود در سنگ بستگی دارد. به طوری که هرچه اندازه دانه‌های تشکیل‌دهنده کانسنگ بزرگتر باشد، تراکم سولفیدهای مس بالاتر است.



شکل ۳-۴۹: تصاویری از بافت دانه پراکنده: الف) بافت دانه پراکنده سولفیدهای مس در کنگلومرای کانه‌دار کانسار قنچی. نقاط سیاه رنگ کالکوسیت هستند که در این نمونه تراکم آن‌ها بالا است. ب) تصویر میکروسکوپی از دانه‌های پراکنده سولفید مس که معمولاً از کالکوسیت تشکیل شده‌اند. در این شکل بخشی از کالکوسیت در اثر اکسیداسیون بعدی به کوولیت تبدیل شده است.

در کانسار قنچی کالکوسیت دانه پراکنده، در اثر جانشین شدن به جای دانه‌های پراکنده پیریت و مگنتیت اولیه تشکیل شده‌اند. در برخی موارد بقایای کانی اولیه‌ای که کالکوسیت جانشین آن شده است هنوز دیده می‌شود.

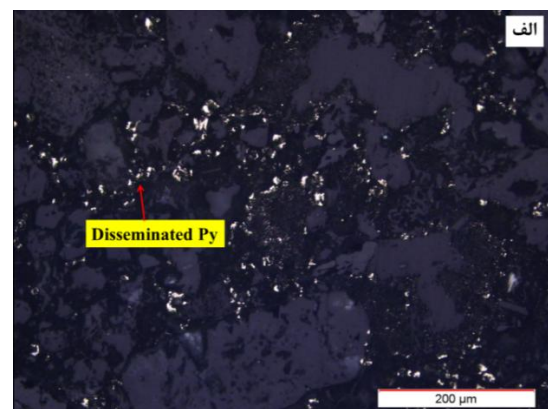
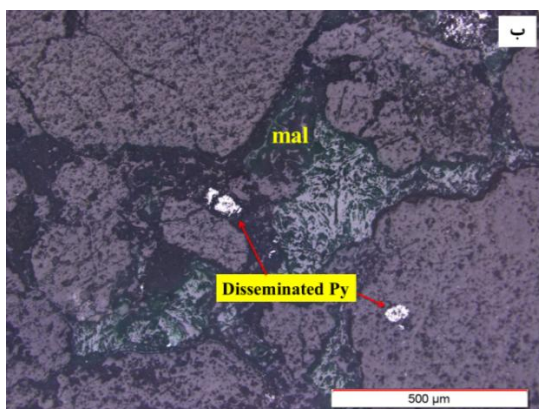
قابل ذکر است که بافت دانه پراکنده سولفیدهای مس در کانسارهای مورد مطالعه، بافت اولیه هم‌زمان با رسوب‌گذاری نمی‌باشد. این بافت در کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed، بافتی است که پس از پدیده دگرسانی Bleaching و احیای محیط، در اثر برخورد سیال اکسیدان با بخش‌های احیایی و در قسمت‌های با نفوذپذیری بالا در اثر جانشینی مس به جای پیریت و سیمان کربناته و یا به صورت پرکننده فضای خالی بین دانه‌ها تشکیل می‌شود (وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴). چنین بافتی در واقع بافت جانشینی، ولی به صورت دانه پراکنده است که در اکثر کانسارهای مس رسوبی دیده می‌شود (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷؛ هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵).

در کانسار Lisbon Valley بافت غالب، بافت دانه پراکنده است، که در آن سولفیدهای دانه پراکنده جانشین پیریت، سیمان کربناته و مواد هیدروکربنی موجود در بین دانه‌ها شده و در بخش‌های نفوذپذیر، فضای خالی بین دانه‌ها را پر نموده است (دورسون، ۲۰۰۵).

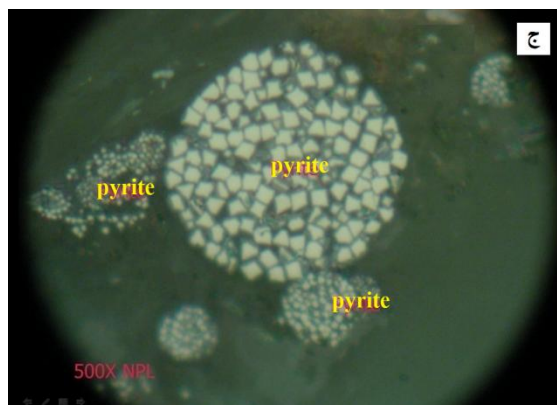
۳-۱-۸-۲ کاننی پیریت با بافت دانه پراکنده

کانسارهای مورد مطالعه دارای دو نسل مختلف پیریت هستند. نسل اول پیریتی است که در مراحل اولیه دیاژنز (کمی پس از ته‌نشست رسوبات) و پس از ته‌نشست ژل سولفیدی به صورت فرامبوئیدال از ژل سولفیدی متبلور شده‌اند (لاو^۱ و براکلی^۲، ۱۹۷۳). پیریت نسل دوم در طی دگرسانی دگرسانی Bleaching و احیا شدن محیط تشکیل گردیده است. هر دو نسل پیریت، به صورت دانه پراکنده در متن سنگ دیده می‌شوند.

پیریت فرامبوئیدال در کل توالی لایه‌های سرخ حضور دارند. در پهنه اکسیدان، این پیریت‌ها کاملاً اکسید شده و به صورت دانه‌های کروی اکسید آهن در متن سنگ پراکنده است. پیریت‌های نسل دوم به صورت دانه ریز خودشکل تا نیمه شکل‌دار، دارای بافت دانه پراکنده می‌باشند (شکل ۵-۱۷ الف). بر خلاف پیریت فرامبوئیدال که در کل توالی لایه‌های سرخ دیده می‌شوند (شکل ۵-۱۷ ج)، پیریت نسل دوم فقط در افق‌های احيایی و در مرحله دیاژنز تشکیل می‌شوند (شکل ۵-۱۷ ب). دانه‌های پراکنده پیریت در مراحل اولیه دیاژنز تشکیل شده‌اند، سپس در مرحله بعدی سیالات حاوی مس در برخورد با پیریت، مس را جایگزین کرده و کانه‌های سولفیدی بورنیت و کالکوسیت را به صورت بافت جانشینی تشکیل داده‌اند. در مواردی بقایای پیریت‌های اولیه هنوز مشاهده می‌گردد.



1 - Love
2 - Brockley



شکل ۳-۵: تصاویر میکروسکوپی از پیریت‌های موجود در کنسارهای مورد مطالعه (نور انعکاسی): الف) پیریت‌های دانه ریز اولیه با بافت پراکنده (Disseminated) در افق کانه‌دار کنسار اسفیز، ب) پیریت‌های دانه پراکنده تشکیل شده در کنگلومرا کانه‌دار کنسار قنچی، ج) پیریت فرامبوئیدال موجود در ماسه‌سنگ کانه‌دار منطقه (برگرفته از گزارش سپهری راد، ۱۳۸۸).

۳-۱-۸-۳ اکسیدهای آهن با بافت دانه پراکنده

در کنسارهای مورد مطالعه مگنتیت و هماتیت‌های دانه ریز خودشکل تا نیمه‌شکل‌داری وجود دارند که دارای بافت دانه پراکنده هستند. این کانی‌ها در کل توالی لایه‌های سرخ دیده می‌شوند و فقط منحصر به افق‌های کانه‌دار نیستند (شکل ۴-۵). هرچند بر اثر دگرسانی Bleaching فراوانی آن‌ها در افق‌های احیایی کمتر است. مگنتیت‌های دانه پراکنده، در مراحل اولیه دیاژنز، و قبل از کانه‌زایی همراه با پیریت‌های فرامبوئیدال تشکیل می‌شوند.

۲-۸-۳ بافت جانشینی

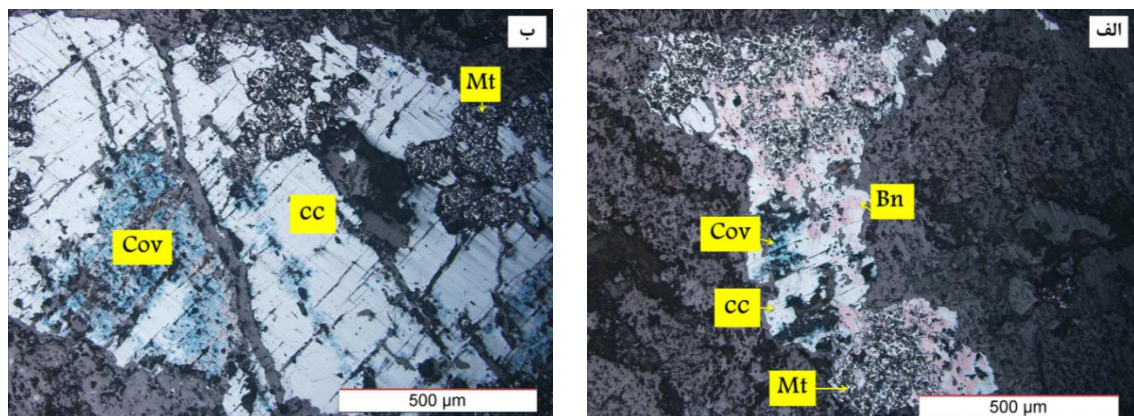
اصلی‌ترین بافت موجود در کنسارهای مورد مطالعه بافت جانشینی است. به طوری که در تمام کانی‌های سولفیدی مانند پیریت، کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت و نیز کانی‌های غیر سولفیدی مانند مالاکیت و کریزوکلا به چشم می‌خورد. در کنسار مس Nacimiento بافت جانشینی اصلی‌ترین بافت سولفیدهای مس به شمار می‌رود (وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴).

۱-۲-۸-۳ جانشینی در کانی‌های احیایی

کالکوسیت می‌تواند جانشین پیریت فرامبوئیدال و دانه پراکنده شود. در این حالت ساختار اولیه

پیریت ممکن است حفظ شده باشد. البته با کامل شدن فرآیند جانشینی این ساختار از بین رفته و کل سطح آن توسط کالکوسیت جانشین می‌گردد (ساولویکس^۱، ۱۹۹۰). چنین پدیده‌ای در کانسارهای کمر بند مس آفریقا نیز متداول است (کی‌ال‌تز و همکاران، ۲۰۰۵).

در کانسار اسفیز سولفیدهای مس مانند کالکوسیت و بورنیت جانشین کانی‌های مافیک و پیریت اولیه دانه پراکنده شده‌اند (شکل ۵-۱۸). سیال اسیدی حاوی گوگرد و مس با برخورد به پیریت و گرفتن یک الکترون از Fe^{2+} احیا می‌گردد. در نتیجه مس موجود در سیال به صورت کالکوسیت و بورنیت جانشین پیریت می‌شود.



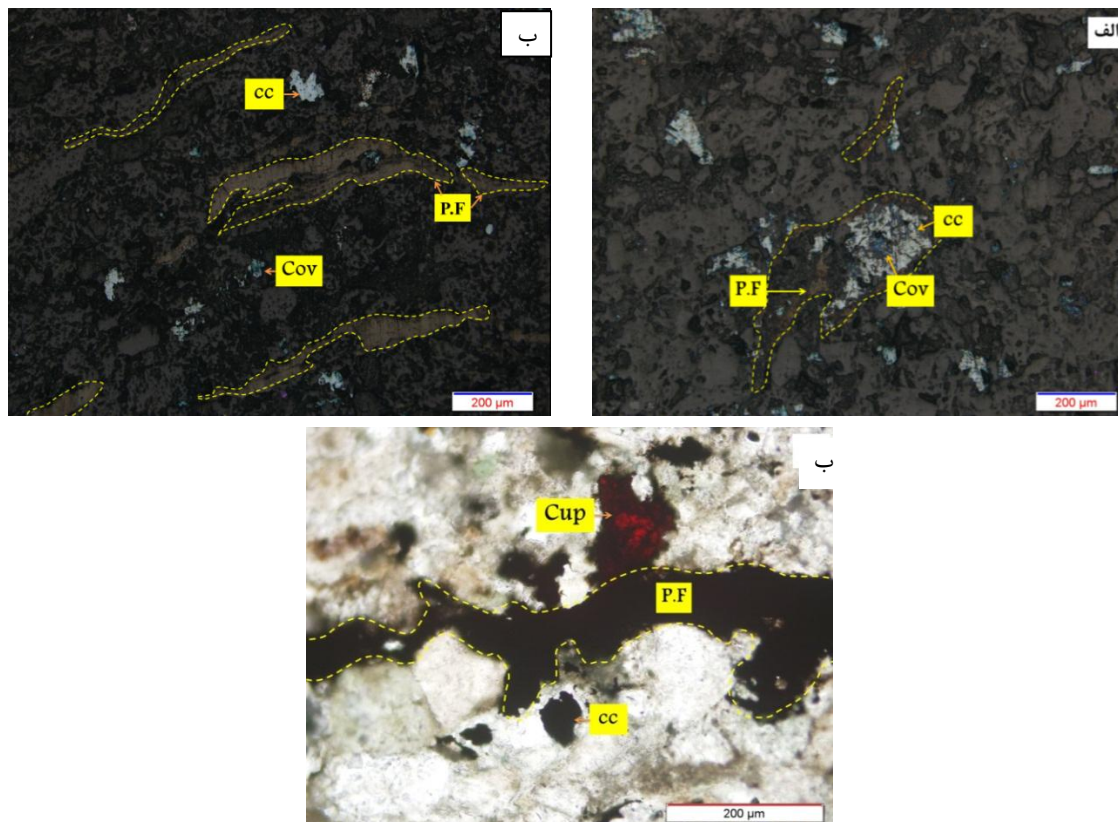
شکل ۳-۵۱: تصاویری از بافت جانشینی: الف و ب) جانشینی کانی‌های مافیک توسط سولفیدهای مس در کانسار اسفیز. همچنین کوولیت طی فرآیندهای بعدی جانشین کالکوسیت شده است.

۳-۲-۸-۲ جانشینی در فسیل‌های گیاهی

مواد آلی و فسیل‌های گیاهی به دلیل ایجاد شرایط احیایی، محیط مناسبی را جهت تشکیل و جانشینی کانی‌های سولفیدی در خودشان، ایجاد می‌نمایند (سوبیز^۲ و همکاران، ۲۰۰۳). در کانسار قندو سولفیدهای مس در مراحل اولیه کانه‌زایی در محل قطعات گیاهی تشکیل و جانشین قطعات فسیل گیاهی شده‌اند. سپس کالکوسیت جانشین شده در فسیل‌های گیاهی توسط کوولیت جانشین می‌گردد (شکل ۵-۱۹ الف). بنابراین تمام یا بخشی از فسیل گیاهی می‌تواند توسط سولفیدها جانشین شود (شکل ۵-۱۹ ب، ج). این جانشینی از اطراف شروع شده و گاهی تمام سطح فسیل گیاهی را در

1 - Sawłowicz
2 - Subias

می‌گیرد. طی این جانشینی سیال غنی از مس با عبور از فسیل‌های گیاهی، موجب تشکیل کالکوسیت و پیریت گردیده است.



شکل ۳-۵۲: تصاویری از بافت جانشینی در کانسار قندو: الف) جانشینی سولفیدهای مس درون فسیل گیاهی. ب) جانشینی کالکوسیت درون فسیل گیاهی و ایجاد بافت دانه پراکنده در اطراف این قطعات (نور انعکاسی). ج) جانشینی و تشکیل کانی کوپریت در اطراف فسیل گیاهی (در نور عبوری ppl). (قسمت‌های قهوه‌ای رنگ که با خط‌چین مشخص شده‌اند، فسیل گیاهی می‌باشند).

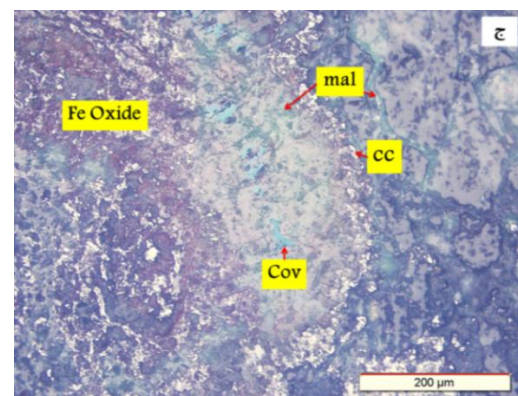
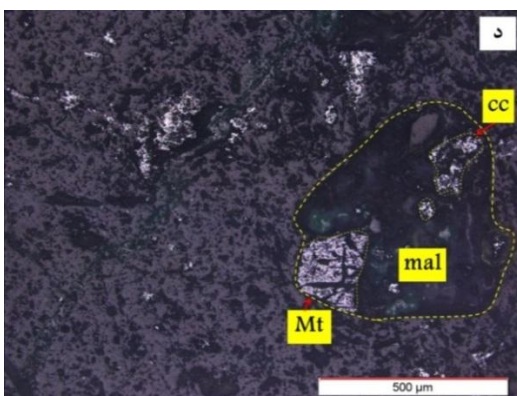
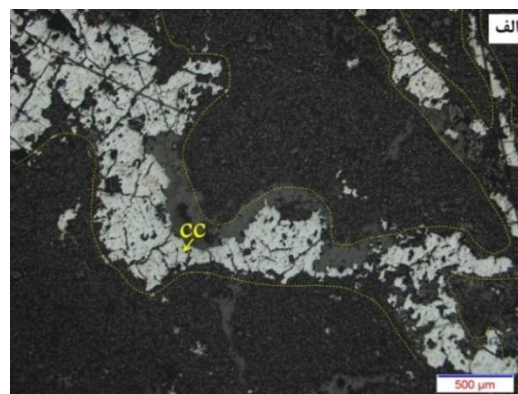
۳-۲-۸-۳ جانشینی در قطعات آواری و سیمان کربناته

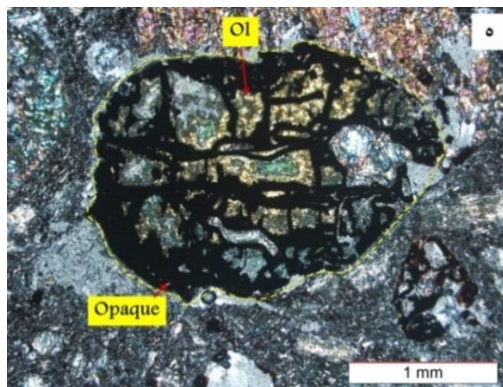
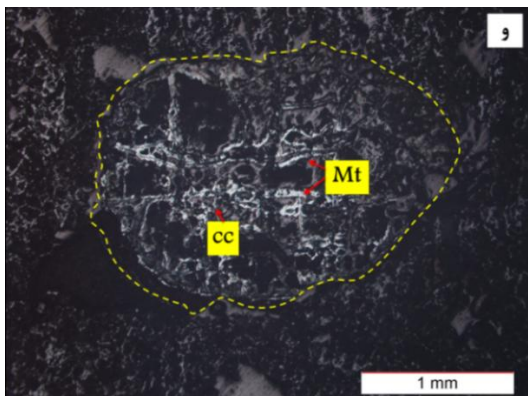
در بخش احیایی کانه‌زایی شده، قطعات آواری متعددی دیده می‌شوند که توسط کالکوسیت جانشین شده‌اند. برخی از کانی‌های فلدسپات، از محل رخ‌های خود توسط کالکوسیت جانشین می‌شوند (شکل ۵-۲۰ ب). کانی‌های آواری سیلیکاته ناپایدار موجود، شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت، پیروکسن، مگنتیت و قطعات سنگی (حاوی کانی‌های ناپایدار) می‌باشد که همه آن‌ها حاوی مقادیری مس و دیگر فلزات غیر آهنی درون شبکه خود هستند (والکر، ۱۹۸۹).

جانشینی سولفیدهای مس به جای سیمان کربناته سنگ نیز بسیار متداول است (هیتزمن و

همکاران، ۲۰۰۵، دورسون، ۲۰۰۵). سولفیدهای مس معمولاً جانشین سیمان کربناته و حاشیه‌های دانه‌های آواری می‌شود. در این حالت کانی کالکوسیت به طور بخشی و یا به طور کامل جانشین سیمان کربناته بین دانه‌ها می‌شود (شکل ۵-۲۰ الف). اگر این جانشینی به طور کامل صورت گیرد و تمرکز بالایی در یک بخش نشان دهد، ایجاد اشباع‌شدگی در سنگ خواهد کرد (مک‌ایننتایر، ۲۰۰۵).

این بافت در کانسار قنچی بافت غالب کانه‌زایی است. در این کانسار سیال حاوی مس و آهن با برخورد به کانی‌های مافیک (نظیر بیوتیت و پیروکسن)، در ابتدا تشکیل مگنتیت را داده و سپس کالکوسیت با یک تأخیر زمانی کم بعد از مگنتیت تشکیل می‌شود (شکل ۵-۲۰ د تا و). که علت این امر ته‌نشینی زودتر اکسیدها نسبت به سولفیدهاست. در واقع مگنتیت و کالکوسیت در یک فاز کانه‌زایی و به صورت هم‌رشدی جانشین دانه‌های آواری شده‌اند. از آن جایی که آهن موجود در سیال صرف تشکیل مگنتیت می‌شود، این کانسار فاقد کانه‌زایی بورنیت و دیژنیت می‌باشد. شسته شدن آهن موجود در پهنه اکسیدان توسط سیال، باعث غنی شدن این سیال از آهن می‌گردد.



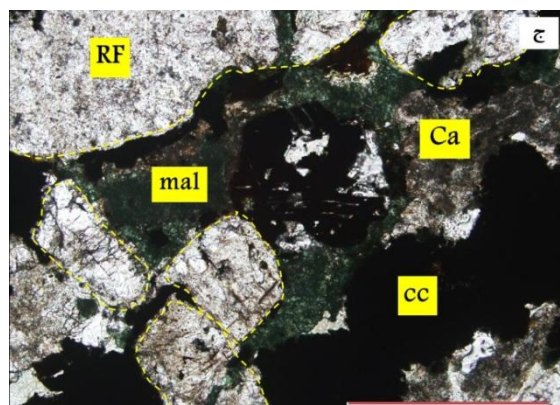
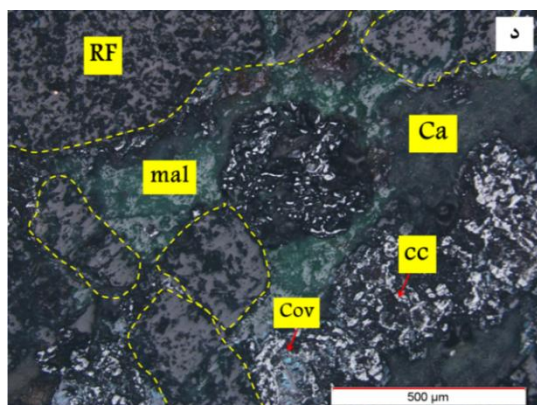
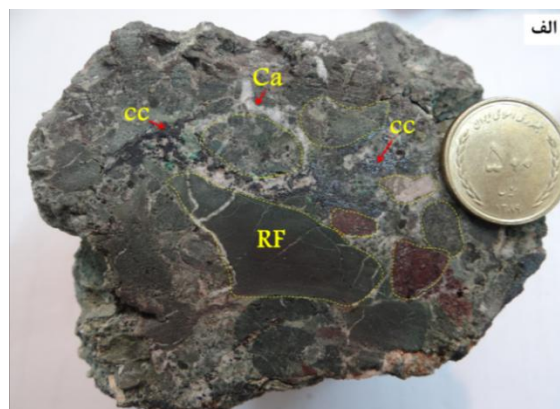
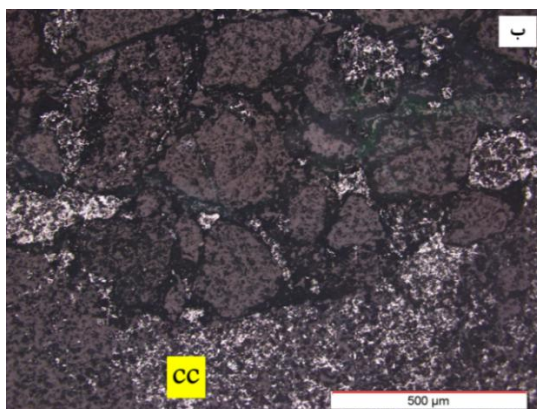


شکل ۳-۵۳: تصاویر میکروسکوپی از بافت جانشینی: الف) جانشینی کالکوسیت در سیمان کربناته. ب) نمایی از یک دانه آواری مافیک (احتمالاً پیروکسن) که کالکوسیت از محل سطوح ضعف و رخها جانشین آن شده است. ج) جانشینی سولفیدهای مس در کانی فلدسپار، در این شکل دانه فلدسپار شکل اولیه خود را حفظ کرده است. د) جانشینی کالکوسیت و مگنتیت درون کانی مافیک، مالاکیت در اثر فاز سوپرژن جانشین کالکوسیت شده است. ه) تصویری از یک دانه آواری (البوین)، که این کانی شکسته و فضای بین شکستگی‌ها توسط مگنتیت و کالکوسیت جانشین شده است (در xpl). و) همان تصویر (ه) در نور انعکاسی.

۳-۸-۳ بافت پرکننده فضای خالی (Open space filling)

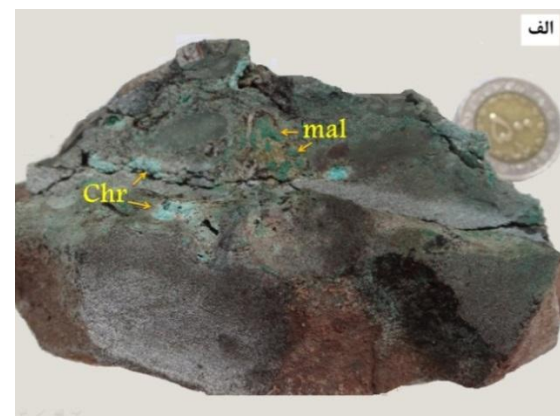
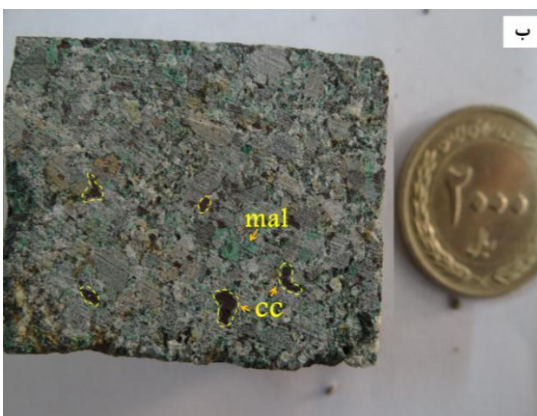
این بافت حالت خاصی از بافت دانه پراکنده است که در آن تمرکز سولفیدها در اطراف فضاهای خالی زیاد است و به آن سیمان بین دانه‌ای نیز گفته می‌شود (شکل ۵-۲۱). به نحوی که به نظر می‌رسد فضای بین دانه‌های سنگ میزبان توسط سولفیدهای مس اشباع شده است (مک‌این‌تایر، ۲۰۰۵).

از آن جایی که کانسارهای مورد مطالعه اپی‌ژنتیک می‌باشند، سیال کانه‌دار با برخورد به سنگ میزبان، در صورت وجود سدهای احیایی درون فضاهای خالی ایجاد کانه‌زایی می‌کند. این بافت در کانسارهای مورد مطالعه به شکل‌های مختلف دیده می‌شود.



شکل ۳-۵۴: تصاویری از بافت پرکننده فضای خالی در بین دانه‌های آواری سنگ‌های میزبان در پهنه احیایی کانه‌زایی شده که در آن کالکوسیت و مالاکیت به صورت سیمان بین دانه‌های آواری را پر نموده است: الف) در نمونه دستی کانسار قنچی. ب) تصویر میکروسکوپی (الف)، کالکوسیت فضای خالی بین دانه‌ها پر کرده است. ج) تصویر میکروسکوپی از کنگلومرای کانه‌دار کانسار قنچی در عبوری (xpl). د) همان تصویر (ج) در نور انعکاسی.

در کانسار قندو این بافت به صورت پچ‌هایی درون حفرات و فضاهای خالی ایجاد شده است (شکل ۵-۲۲ الف). در کانسار قنچی به دلیل بالا بودن تخلل و فضای بین دانه‌ها بافت پرکننده فضای خالی بیشتر به صورت پراکنده در متن سنگ دیده می‌شود (شکل ۵-۲۲ ب).

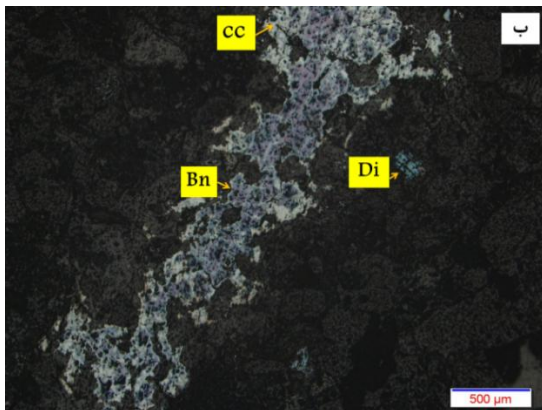


شکل ۳-۵۵: تصاویری از بافت پرکننده فضای خالی: الف) نمونه دستی از کنگلومرای کانه‌دار قندو که فضاهای خالی

توسط کریزوکلا و ملاکیت پر شده‌اند. ب) نمونه دستی از کنگلومرای کانهدار قنچی، کالکوسیت فضاهای خالی را پر کرده است. کالکوسیت‌ها کاملاً بی شکل هستند که از ویژگی‌های این بافت است.

۳-۸-۴ بافت رگه - رگچه‌ای

بافت رگه- رگچه‌ای در توالی چینه‌ای و نمونه‌های دستی کانسار اسفیز قابل مشاهده است. به طوری که کانی‌های فلزی در داخل درز و شکاف‌ها قرار گرفته‌اند. این بافت، نوعی بافت پرکننده فضای خالی است. علت این امر سخت‌شدگی شدید کنگلومرای کانهدار می‌باشد. به طوری که حرکت سیال فقط توسط درزه و شکستگی‌های موجود در این سنگ امکان‌پذیر است (شکل ۵-۲۳ الف، ب).



شکل ۳-۵۶: الف) نمونه دستی از کنگلومرای کانهدار کانسار اسفیز که در آن کالکوسیت درون درزه‌ها تشکیل شده است و حالت رگه‌ای پیدا کرده است. ب) تصویر میکروسکوپی از رگه کانهدار کانسار اسفیز در نور انعکاسی.

۳-۹ بافت و ساخت کانی‌های سوپرژن

آب‌های جوی، ضمن فرو رفتن، موجب انحلال کانی‌های سولفیدی اولیه، انتقال آن‌ها و نهایتاً تشکیل کانی‌های سولفید و اکسید ثانویه مس می‌گردند (ایونز^۱، ۱۹۹۷). سیالات جوی حاوی مس به صورت محلول، ضمن حرکت در بین لایه‌های سنگی، موجب تشکیل کانی‌های اکسیدی در بالای سطح آب زیرزمینی و کانی‌های سولفیدی در زیر سطح آب زیرزمینی (در شرایط احیا) می‌گردند. تشکیل کانی‌های اکسیدی و سولفیدی ثانویه مس در طی مرحله سوپرژن در کانسارهای مس با

1 - Evans

میزبان رسوبی متداول است (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵). چنین فرآیندی در کانسار Cashin Mine (مکاینتایر، ۲۰۰۵) نیز گزارش شده است. بر اساس این که کانی‌های ثانویه در بالای سطح آب زیرزمینی (شرایط اکسیدان) و یا پایین آن (شرایط احیایی) تشکیل شوند، می‌توان فرآیند سوپرژن را در دو مرحله سوپرژن سولفیدی و اکسیدی مورد بررسی قرار داد.

۳-۹-۱ سوپرژن سولفیدی

طی این مرحله کانی ثانویه سولفید مس نظیر کوولیت تشکیل می‌گردد. کوولیت غالباً پس از تشکیل کالکوسیت و در شرایط سوپرژن سولفیدی تشکیل می‌شود. این کانی در بخش کانه‌دار و از تبدیل کالکوسیت تشکیل می‌گردد. کوولیت به صورت تیغه‌های موازی و لکه‌ای در درون و اطراف کالکوسیت تشکیل می‌شود (شکل ۵-۵).

۳-۹-۲ سوپرژن اکسیدی

طی این فرآیند کانی‌های کربناته و سیلیکاته مس نظیر مالاکیت و کریزوکلا به همراه اکسیدهای آهن - منگنز تشکیل می‌گردند. این کانی‌ها به فراوانی در مناطق سطحی کانسارهای مورد مطالعه مشاهده می‌گردند. مالاکیت به همراه کریزوکلا فراوان‌ترین کانی غیرسولفیدی مس‌دار در این کانسارها می‌باشند. به نحوی که در رخنمون‌های سطحی تمام قسمت‌های کانه‌دار دارای یک هاله سبز-آبی در اطراف خود هستند. این کانی‌ها جانشین سولفیدهای مس شده و باعث ایجاد یک هاله سبز تا آبی رنگ در اطراف آن می‌گردد. این جانشینی یا به طور کامل انجام می‌گیرد و باعث می‌شود تمام کالکوسیت به مالاکیت تبدیل شود و یا به صورت نوار باریک سبز رنگ در اطراف کانی سولفیدی جانشین می‌گردد (شکل ۵-۸ الف).

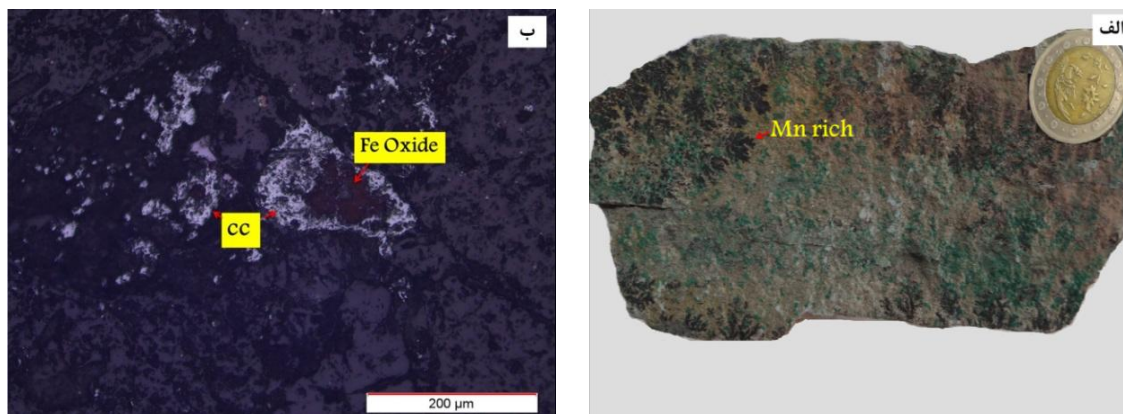
همچنین مالاکیت و کریزوکلا می‌توانند بافت دانه پراکنده داشته باشند، که در اثر تبدیل کالکوسیت دانه پراکنده به مالاکیت ایجاد می‌شود (شکل ۵-۸ ب).

همچنین در بخش سوپرژن اکسیدی، اکسیدهای منگنز با بافت دندریتی در اطراف درزه‌هایی که

توسط این اکسیدها پر شده‌اند، قابل مشاهده است (شکل ۵-۲۴ الف).

یکی دیگر از پدیده‌هایی که در مرحله سوپرژن اکسیدی به فراوانی قابل مشاهده است، تشکیل

اکسیدهای آهن در درون و اطراف سولفیدهای اولیه (کالکوسیت) است (شکل ۵-۲۴ ب).



شکل ۳-۵۷: تصاویری از پدیده‌هایی سوپرژن: الف) بافت دندریتی اکسیدهای منگنز. ب) کالکوسیت که توسط اکسیدهای آهن جانشین شده است.

۳-۱۰ مراحل تشکیل کانه‌ها و توالی پاراژنتیک

بر اساس مطالعات بافتی و کانی‌شناسی پهنه کانه‌دار و سنگ‌های میزبان کانسارهای مورد مطالعه،

توالی پاراژنتیکی شامل سه مرحله: قبل از کانه‌زایی (Pre-mineralization)، مرحله کانه‌زایی

(Mineralization) و مرحله پس از کانه‌زایی (Post-mineralization) می‌باشد.

مرحله قبل از کانه‌زایی شامل Syn depositional در زمان کمی پس از ته‌نشست رسوبات رخ

می‌دهند (دوریوکس و براون، ۲۰۰۷). پیریت فرامبوئیدال در مرحله Syn depositional تشکیل شده

است. بدین صورت که در زمان ته‌نشست رسوبات، ژل سولفیدی همراه با ذرات آواری رسوب کرده و

سپس در مراحل اولیه Early diagenesis پیریت فرامبوئیدال از این ژل سولفیدی متبلور گردیده است

(لاو و براکلی، ۱۹۷۳).

در این مرحله، قرمز شدن رسوبات رخ داده است. این فرآیند شامل تخریب کانی‌های سیلیکاته

آهن دار می باشد که طی آن، آهن موجود در شبکه آن ها به صورت Ferric Oxide آزاد شده، اطراف دانه های آواری را احاطه نموده و باعث قرمز شدن رسوبات می گردد (والکر، ۱۹۸۹). قرمز شدن رسوبات یک فرآیند تقریباً طولانی است و ممکن است تا اواخر Early diagenesis ادامه داشته باشد (والکر، ۱۹۸۹).

با ادامه فرآیند دیاژنز در Early diagenesis، سیمانی شدن کلسیت رخ می دهد (فلینت، ۱۹۸۶؛ دوریوکس و براون، ۲۰۰۷). به عقیده فلینت (۱۹۸۶) کلسیم مورد نیاز برای تشکیل سیمان کلسیتی از تخریب فلدسپات حاصل می شود. در اواخر Early diagenesis و در اثر تخریب مواد آلی موجود در توالی رسوبی (که به صورت قطعات گیاهی آواری، همزمان با رسوبات ته نشین شدند)، pH محیط کاهش یافته و باعث انحلال اسیدی دانه ها و سیمان بین آن ها، ایجاد تخلخل و نفوذپذیری می شود (والکر، ۱۹۸۹).

با ادامه فرآیند دیاژنز و در مرحله کانه زایی (Middle diagenesis)، با توجه به نفوذپذیری ایجاد شده، معبر لازم جهت عبور سیالات بین سازندی فراهم می گردد. سیال بین سازندی اکسیدان و گرم با شوری بالا که از واحدهای تبخیری منشاء گرفته اند (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵؛ کاکس و همکاران، ۲۰۰۷)، در مسیر عبور خود از بین رسوبات قرمز، مس آزاد شده از دانه های سیلیکاته ناپایدار را شسته و با خود به درون افق های احیایی حمل می نمایند. این سیال ضمن عبور از بخش های غنی از مواد آلی تحت تأثیر احیای باکتریایی سولفات موجود در آن و تولید H_2S باعث گسترش شرایط احیا و در نتیجه شسته شدن سنگ میزبان می گردد. سیال احیایی تولید شده، اکسیدهای آهن اطراف دانه ها را شسته و در مجاورت H_2S باعث تشکیل پیریت ریز و خود شکل دانه پراکنده می شوند. در این مرحله و در اثر احیای محیط و شسته شدن ماسه سنگ شرایط برای کانه زایی و ته نشین سولفیدهای مس فراهم می گردد.

در مرحله کانه زایی، سولفیدهای مس از قبیل بورنیت و کالکوسیت اولیه، جانشین فسیل های گیاهی می شوند (این شرایط در کانسار قندو دیده می شود). هم چنین کالکوسیت، جانشین پیریت و

کانی‌های مافیک سنگ شده و یا به صورت سیمان بین دانه‌ای (پرکننده فضای خالی)، در بین قطعات آواری و شکستگی‌های دانه‌ها قرار می‌گیرد (کانه‌زایی در کانسار اسفیز به این نحو می‌باشد). بافت اصلی موجود در این مرحله بافت جانشینی و پرکننده فضای خالی است.

هم‌چنین در این مرحله سیال حاوی مس و آهن با برخورد به دانه‌های آواری و کانی‌های مافیک (نظیر بیوتیت و پیروکسن)، در ابتدا تشکیل مگنتیت را داده و سپس کالکوسیت با یک تأخیر زمانی کم بعد از مگنتیت تشکیل می‌شود. در واقع مگنتیت و کالکوسیت در یک فاز کانه‌زایی و به صورت هم‌رشدی جانشین دانه‌های آواری شده‌اند (این نحوه کانه‌زایی در کانسار قنچی دیده می‌شود).

مراحل پس از کانه‌زایی شامل تدفین عمقی یا Late diagenesis می‌باشد که باعث فشردن شدن و سنگ شدن رسوبات می‌گردد. کانه‌زایی در کانسار اسفیز در این مرحله رخ داده است.

مرحله بعدی، مرحله سوپرژن است، که در این‌گونه کانسارها شامل مرحله سوپرژن سولفیدی و سوپرژن اکسیدی می‌باشد. تأثیر آب‌های جوی اکسیدان بر روی کانی‌های سولفیدی اولیه نزدیک سطح، موجب شسته شدن مس و انحلال آن از این کانی‌ها می‌گردد. این سیالات در طی مسیر خود، در بالای سطح آب زیرزمینی و در محیط اکسیدان، کانی‌های سوپرژن اکسیدی نظیر مالاکیت و کریزوکلا و کانی‌های آهن- منگنز را ایجاد می‌نمایند.

در مرحله سوپرژن اکسیدی همه سولفیدهای مس مراحل قبلی در معرض فرآیندهای اکسیداسیون قرار گرفته و تبدیل به مالاکیت و کریزوکلا می‌شوند. علاوه بر آن کالکوسیت، طی فرآیند سوپرژن اکسیدی توسط هماتیت جانشین می‌شوند. این هماتیت در آخرین مرحله، به طور محلی به وسیله گوتیت کلوform جانشین می‌شود. در مرحله سوپرژن اکسیدی بافت‌های جانشینی، رگه- رگچه‌ای، لکه‌ای، انتشاری و دندریتی به فراوانی قابل مشاهده است. برخورد سیالات جوی حاوی مس با کانی‌های سولفیدی (موجود در مسیر سیال)، در زیر سطح آب زیرزمینی، موجب ایجاد سولفیدهای ثانویه سوپرژن (سوپرژن سولفیدی) می‌گردد. در مرحله سوپرژن سولفیدی نیز بافت اصلی، جانشینی است. هم‌چنین کانی دیژنیت از تبدیل بورنیت حاصل می‌شود. با پیشرفت مراحل سوپرژن، کالکوسیت

و دیژنیت به کوولیت تبدیل می‌شوند. مراحل مختلف تشکیل و توالی پاراژنتیک کانی‌ها و کانه‌ها در کانسارهای مورد مطالعه در جدول ۵-۱ به طور خلاصه ارائه شده است.

جدول ۳-۱: مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانه‌ها، کانی‌ها، ساخت و بافت مربوط به کانسارهای مورد مطالعه.

Stag Mine		Pre-mineralization	Mineralization	Post-mineralization			
		Syn depositional	Diagenesis			Supergene	
			Early diagenesis	Middle diagenesis	Late diagenesis	Sulfide	Oxide
Minerals proceses	Redding						
	Calcite cementation						
	Organic destruction						
	Porosity generation						
	Bleaching						
	Compaction						
Minerals	Iron Hydroxide						
	Framboidal pyrite						
	pyrite						
	Bornite						
	Calcocite						
	Magnetite						
	Covellite						
	Digenite						
	Cuprite						
	Malachite						
	Chrysocolla						
	Hematite						
	Goethite						
Textures	Replacement						
	Solution seams						
	Vein-veinlet						
	Open space filling						
	Disseminated						

فصل ششم

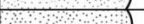
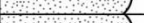
مطالعات ژئوشیمیایی

۱۱-۳ مقدمه

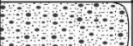
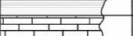
در این فصل ابتدا به نام‌گذاری، طبقه‌بندی و محیط تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه، با استفاده از یافته‌های ژئوشیمیایی پرداخته شده و سپس به تفصیل مبادرت به بررسی ژئوشیمی عنصری و رفتار عناصر در تکوین زون‌های کانی‌سازی شده گردیده است.

در این مرحله برای یافتن روابط هدفمند بین عناصر مختلف مانند ضریب همبستگی عناصر و توزیع و پراکندگی آن‌ها در واحدهای سنگی منطقه و چگونگی و میزان تمرکز عناصر گوناگون در کانسارهای مورد مطالعه، نمونه‌گیری به روش لیتوژئوشیمیایی صورت گرفته است. سپس نمونه‌ها به روش ICP-OES، XRF و نیز EPMA آنالیز گردیده که نتایج داده‌های آن در این فصل مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل (۱-۶) مقاطع عرضی ۳ کانسار، محل برداشت نمونه‌ها و شماره نمونه‌ها نشان داده شده است، که به ترتیب از کانسار اسفیز ۸ نمونه، کانسار قندو ۱۰ نمونه و از کانسار قنچی ۱۱ نمونه جهت انجام آزمایشات ICP-OES و XRF (فقط برای کانسار اسفیز و قندو) برداشته شده است.

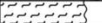
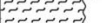
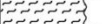
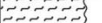
هدف از این گونه نمونه‌برداری چگونگی پراکندگی و تغییرات عناصر در افق‌های کانه‌دار و سنگ‌های میزبان این کانسارها می‌باشد. این نمونه‌ها پس از پودر شدن در آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشگاه تربیت مدرس، برای انجام آنالیزهای شیمیایی به آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران وابسته به سازمان توسعه نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) ارسال گردید. نمونه‌های مذکور به روش XRF آنالیز گردیده و مقادیر عناصر اصلی Cu و Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Na در آن‌ها اندازه‌گیری شده است (جدول ۲-۶). همچنین نتایج حاصل از آنالیز ICP-OES برای ۳ کانسار، تکمیل‌کننده داده‌های حاصل از XRF بوده و مقادیر برخی از عناصر اصلی دیگر و عناصر کمیاب را مشخص کرد، که در جدول ۳-۶ نشان داده شده است. با استفاده از نتایج حاصل از ICP-OES (جدول ۲-۶)، تغییرات برخی عناصر در طول ستون موردنظر هر کانسار ترسیم گردیده است.

LITHOLOGY	DESCRIPTION	SAMPLE NO
	Ore bearing gray reduced Sandstone	Ghb-39
	Red Sandstone	Ghb-38
	Ore bearing Conglomerate	Ghb-37
	Red Sandstone	Ghb-36
	Ore bearing gray reduced Sandstone	Ghb-35
	Red Sandstone	Ghb-34
	Ore bearing gray reduced Sandstone	Ghb-33
	Red Sandstone	Ghb-32
	Red Sandstone	Ghb-31
	Red Sandstone	Ghb-30

ب

LITHOLOGY	DESCRIPTION	SAMPLE NO
	Ore bearing Conglomerate	Sfz-12
	Red Sandstone	Sfz-13
	Altered (orange) limestone	Sfz-14
	Red Limestone	Sfz-15
	Green Limestone	Sfz-16
	Gray Limestone	Sfz-17
	Altered basalt	Sfz-18
	Altered basalt	Sfz-19
	Red and gray gypsiferous marl	

الف

LITHOLOGY	DESCRIPTION	SAMPLE NO
	Ore bearing gray conglomerate	GO-11
	Red marl	
	Ore bearing gray conglomerate	GO-8, GO-9, GO-10
	Green tuff	GO-7
	Red marl	GO-6
	Ore bearing gray conglomerate	GO-2, GO-3, GO-4, GO-5
	Red marl	
	Red sandstone & Gray sandstone	GO-1
	Red marl	
	Red sandstone (magnetite - rich bands)	
	Gypsiferous marl	

ج

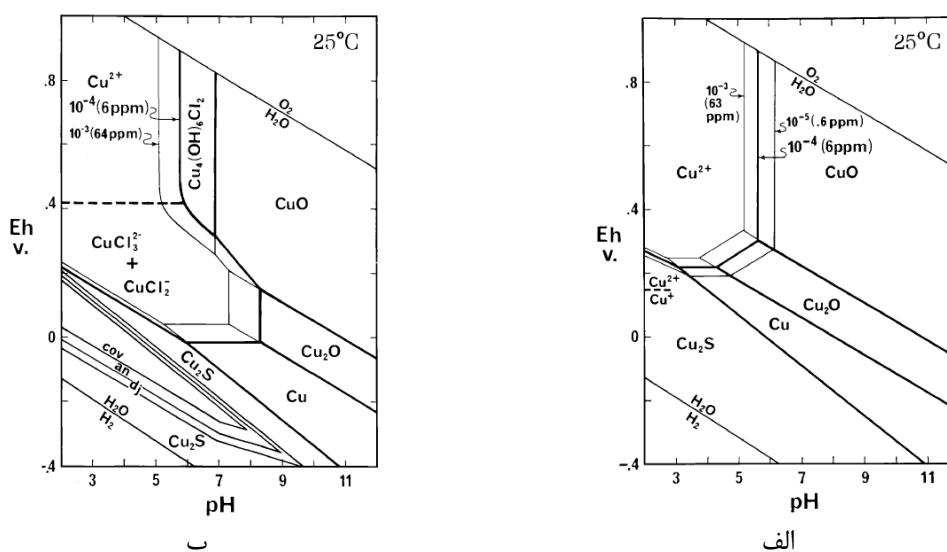
شکل ۱۰-۱: توالی چینه‌ای و موقعیت نمونه‌های برداشت شده در کانه‌زایی‌های مختلف مس در منطقه: الف) اسفیز، ب) قندو، ج) قنچی.

۳-۱۲ ژئوشیمی مس

مس فلزی به رنگ نارنجی یا قهوه‌ای مایل به قرمز، با جلای فلزی و هدایت الکتریکی و حرارتی بالا است. این عنصر دارای عدد اتمی ۲۹ و وزن اتمی ۶۴ می‌باشد. مس در دوره ۴ و گروه ۱۱ جدول تناوبی قرار دارد و دارای خواص فلزات انتقالی است. آرایش الکترونی مس به صورت $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 3d^{10}, 4s^1$ می‌باشد که رفتار شیمیایی آن بیشتر توسط آرایش الکترونی لایه d کنترل می‌شود (فیربریدج^۱، ۱۹۷۲). این عنصر در ترکیبات خود با از دست دادن تک الکترون از اوربیتال 4s می‌تواند عدد اکسیداسیون +۱ داشته و در شرایط مناسب با از دست دادن الکترون از اوربیتال 3d، می‌تواند به حالت اکسیداسیون +۲ و +۳ تبدیل شود. مس از لحاظ شیمیایی دارای خاصیت کالکوفیلی بوده و در مهم‌ترین ترکیبات خود دارای عدد اکسیداسیون +۲ است. مس دارای دو ایزوتوپ پایدار

1 - Fairbridg

Cu^{63} و Cu^{65} می‌باشد. فراوانی مس در پوسته زمین ۵۰ الی ۱۰۰ پی پی ام است. در سنگ‌های آذرین فراوانی مس حدود ۲۰ الی ۹۰ پی پی ام می‌باشد که پراکندگی آن در سنگ‌های آذرین توسط شعاع یونی آن کنترل می‌شود. Cu^{2+} به دلیل داشتن تشابه یونی ($0.27 \text{ \AA}$) با یون‌های Fe^{2+} ($0.82 \text{ \AA}$) و Mn^{2+} ($0.91 \text{ \AA}$) موقعیت‌های مشابهی را در شبکه بلوری کانی‌هایی نظیر پیروکسن و بیوتیت اشغال می‌نماید (استانتون، ۱۹۷۲). شیل‌های سیاه به طور میانگین ۹۵ پی پی ام مس دارند که نشان‌دهنده اهمیت شرایط احیایی برای ته‌نشینی مس در رسوبات می‌باشد (مینارد، ۱۹۸۳). در محیط‌های سطحی، pH و Eh عوامل اصلی کنترل‌کننده توزیع و مهاجرت مس می‌باشند. تحت شرایط اکسیدان و pH‌های متوسط تا پایین، مس قابلیت انحلال زیادی داشته و تمایل به خروج از مناطق اکسیده را دارد. با افزایش pH و شرایط احیایی قابلیت انحلال آن کاهش یافته و رسوب می‌کند (مینارد، ۱۹۸۳). در (شکل ۶-۲ ب) رز^۱ (۱۹۷۶) نشان داده که قابلیت انحلال مس در نتیجه تشکیل کمپلکس‌هایی چون CuCl_2 و CuCl_3 تا حد زیادی افزایش می‌یابد. در واقع حمل مقادیر کافی از مس جهت تشکیل توده‌های کانسنگی در غیاب کمپلکس‌های کلریدی مشکل و حتی غیر ممکن است، مگر این که یک غنی‌شدگی اولیه مانند آلتراسیون سوپرژن صورت گرفته باشد (مینارد، ۱۹۸۳).



شکل ۲-۰: نمودار محدوده‌های پایداری ترکیبات مس (رز، ۱۹۷۶) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد: (الف) در سیستم Cu-O-H-S-Cl ، (ب) در سیستم Cu-O-H .

۳-۱۳ طبقه‌بندی شیمیایی سنگ‌های رسوبی

طبقه‌بندی ژئوشیمیایی سنگ‌های رسوبی به گستردگی سنگ‌های آذرین نبوده و در اکثر سیستم‌های طبقه‌بندی سنگ‌های رسوبی ویژگی‌هایی را که در نمونه‌های دستی یا مقاطع نازک قابل رؤیت‌اند، مانند اندازه دانه‌ها و کانی‌شناسی اجزا و ماتریکس، به کار می‌برند. برخلاف سنگ‌های آذرین، یافتن رابطه ساده بین کانی‌شناسی ماسه‌سنگ و ترکیب شیمیایی آنها مشکل است. به این علت طبقه‌بندی ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ از طبقه‌بندی کانی‌شناسی قراردادی ماسه‌سنگ بر اساس کوارتز، فلدسپات و خرده‌سنگ پیروی نمی‌کند، اما رسوبات بالغ و نابالغ را از هم تفکیک می‌نماید.

ماسه‌سنگ‌هایی با جایگاه زمین‌ساختی متفاوت در منطقه منشأ (Tectonic provenance)، دارای درصد اجزای آواری و همچنین ژئوشیمی خاص خود می‌باشند. همچنین جایگاه زمین‌ساختی محیط‌های ته‌نشینی بر روی فرایندهای رسوبی، دیاژنز و در نتیجه ترکیب نهایی سنگ‌های رسوبی تأثیر می‌گذارد و بر همین اساس، مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات و سنگ‌های سیلیسی آواری، می‌توان نام‌گذاری، جایگاه زمین‌ساختی، سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌ها و هوازگی شیمیایی در منطقه منشأ را تعیین کند. در زیر سنگ‌های میزبان و کانسنگ‌های کانسارهای مورد مطالعه از منظرهای گوناگون مورد بررسی‌های ژئوشیمیایی قرار گرفته‌اند.

۳-۱۳-۱ طبقه‌بندی ماسه‌سنگ‌ها براساس یافته‌های ژئوشیمیایی

پتی‌جان^۱ و همکاران (۱۹۷۲) با استفاده از نمودار بلوغ شیمیایی و نسبت $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ یک طبقه‌بندی برای ماسه‌سنگ آواری پیشنهاد کردند که با ترسیم $\log (\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ در مقابل $\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ صورت می‌گیرد. آن‌ها اذعان داشتند که این نمودار برای نام‌گذاری مفید نبوده، اما به سادگی بعضی از روابط میان ترکیب عنصری، کانی‌شناسی و تیپ سنگی را نشان می‌دهد. این روش به

1 - Pettijohn

طور وسیع کاربرد دارد. در جدول (۶-۱) مشخصات نمونه‌های آنالیز شده و علامت به کار رفته در نمودارها و در جدول (۶-۲) نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها به روش XRF نشان داده شده است.

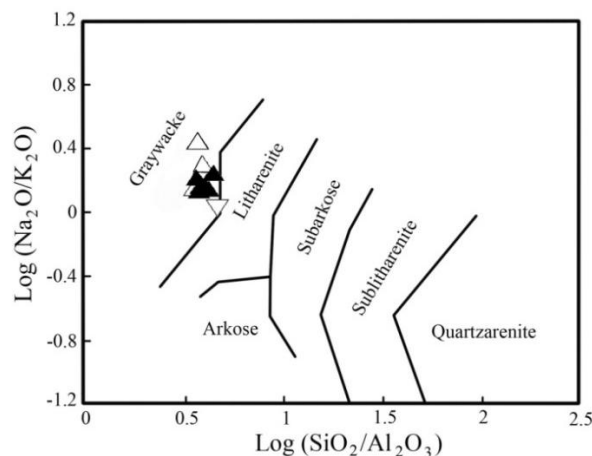
جدول ۱-۰: مشخصات نمونه‌های آنالیز شده و علامت به کار رفته در نمودارها.

علامت	نام سنگ	نام کانسار	شماره نمونه
●	کنگومرای پلی‌میکتایت	اسفیز	Sfz-12
▽	ماسه‌سنگ (آرکوز)	اسفیز	Sfz-13
■	سنگ آهک آتیره شده	اسفیز	Sfz-14
■	سنگ آهک (پکستون)	اسفیز	Sfz-15
■	سنگ آهک (مادستون)	اسفیز	Sfz-16
■	سنگ آهک (مادستون)	اسفیز	Sfz-17
*	بازالت آتیره شده	اسفیز	Sfz-18
*	بازالت آتیره شده	اسفیز	Sfz-19
▲	ماسه‌سنگ (آرکوز)	قندو	Ghb-30
▲	ماسه‌سنگ (آرکوز)	قندو	Ghb-31
▲	ماسه‌سنگ (آرکوز)	قندو	Ghb-32
△	ماسه‌سنگ (لیتیک آرکوز)	قندو	Ghb-33
▲	ماسه‌سنگ (لیتیک آرکوز)	قندو	Ghb-34
△	ماسه‌سنگ (لیتیک آرکوز)	قندو	Ghb-35
▲	ماسه‌سنگ (آرکوز)	قندو	Ghb-36
●	میکروکنگومرا	قندو	Ghb-37
▲	ماسه‌سنگ (آرکوز)	قندو	Ghb-38
△	ماسه‌سنگ (لیتیک آرکوز)	قندو	Ghb-39

جدول ۲-۰: فراوانی اکسیدهای اندازه‌گیری شده (بر حسب درصد وزنی) در نمونه‌های کانسارهای اسفیز و قندو به روش XRF.

	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	Na ₂ O	SrO	ZrO ₂	V ₂ O ₅
شماره نمونه	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Sfz-12	6.52	11.27	40.62	0.12	0.27	0.91	17.80	0.69	0.24	4.89	3.35	2.62	-	-	-
Sfz-13	7.50	12.68	60.31	0.15	-	1.90	4.72	0.83	-	5.33	-	1.51	0.09	-	-
Sfz-14	7.39	13.02	53.93	-	-	1.40	6.53	0.27	-	1.15	-	-	0.76	0.15	-
Sfz-15	0.75	1.88	6.53	-	0.11	0.50	50.89	-	0.59	0.71	-	-	-	-	-
Sfz-16	4.57	8.06	28.87	0.06	-	1.76	30.84	0.32	0.43	2.50	-	-	-	-	-
Sfz-17	1.49	2.41	11.17	0.08	0.16	0.49	45.19	-	0.59	1.49	-	-	-	-	-
Sfz-18	5.84	15.14	58.03	0.11	-	1.41	6.50	0.92	-	6.19	-	2.92	-	-	-
Sfz-19	7.05	14.61	51.80	-	3.26	0.68	6.91	1.06	-	6.46	-	3.20	-	-	-
Ghb-30	8.29	12.15	52.05	0.15	-	1.65	6.91	0.53	-	4.85	-	2.25	-	-	-
Ghb-31	7.21	11.80	53.31	0.16	-	1.50	10.10	0.65	0.16	5.25	-	2.60	-	-	-
Ghb-32	9.31	12.80	53.37	0.21	-	1.84	7.86	0.52	-	4.35	-	2.59	-	-	-
Ghb-33	5.16	13.50	50.64	0.17	0.98	1.49	8.38	0.52	-	1.50	5.17	4.08	-	-	-
Ghb-34	10.36	13.71	52.54	0.16	-	1.78	7.35	0.76	-	4.38	-	2.37	-	-	-
Ghb-35	6.33	13.36	52.87	0.14	-	1.59	6.84	0.69	-	-	4.80	3.12	-	-	0.20
Ghb-36	7.05	11.87	46.46	0.15	-	1.62	14.49	0.63	0.23	5.03	-	2.31	-	-	-
Ghb-37	6.82	12.84	44.94	0.14	-	1.47	10.39	0.56	-	1.87	6.78	2.81	-	-	-
Ghb-38	8.06	14.06	52.54	0.15	-	1.99	7.63	0.81	-	2.42	1.73	3.22	-	-	-
Ghb-39	6.84	13.72	50.16	0.27	-	2.11	6.26	0.69	-	2.13	6.37	2.96	-	-	-

طبقه‌بندی شیمیایی نمونه‌های ماسه‌سنگ آنالیز شده منطقه مورد مطالعه به روش پتی‌جان و همکاران (۱۹۷۲) در شکل (۳-۶) نشان داده شده است. براین اساس، نمونه‌های برداشت شده از منطقه در محدوده گری‌وک قرار می‌گیرند.

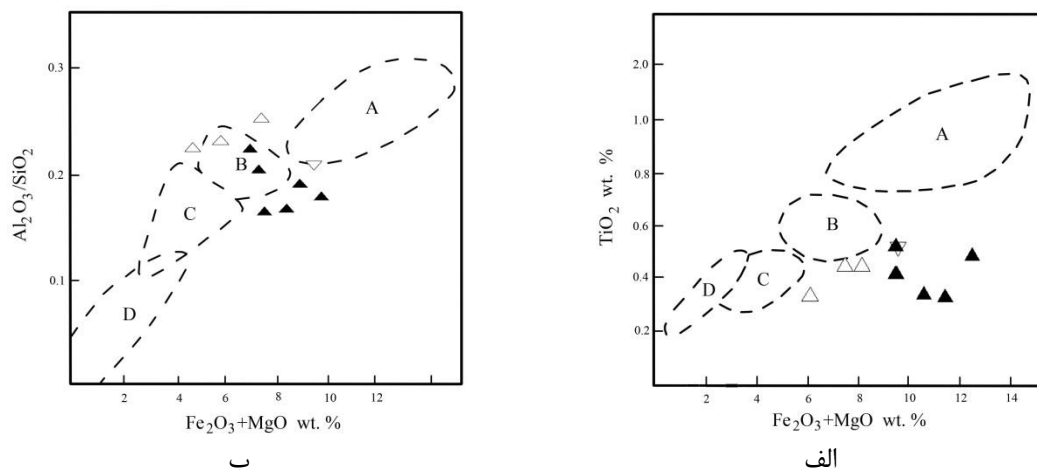


شکل ۳-۰: موقعیت نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه در نمودار دو متغیره $\log (Na_2O/K_2O) - \log (SiO_2/Al_2O_3)$ (پتی‌جان و همکاران، ۱۹۷۲).

۳-۱۴ تمایز محیط تکتونیکی با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی

۳-۱۴-۱ استفاده از دیاگرام تفکیکی باتیا^۱

ماسه‌سنگ‌های عهد حاضر که در محیط‌هایی مانند جزایر قوسی اقیانوسی و قاره‌ای، حواشی قاره‌ای غیرفعال و فعال نهشته شده‌اند، دارای ترکیب متفاوتی، به ویژه از نظر $Fe_2O_{3total} + MgO$ و نسبت Al_2O_3/SiO_2 ، K_2O/Na_2O و $Al_2O_3/(CaO + Na_2O)$ هستند. باتیا (۱۹۸۳) از ترکیبات شیمیایی فوق برای تفکیک محیط‌های تکتونیکی استفاده نموده و براین اساس یک سری نمودارهای دو متغیره ارائه کرده است (شکل ۴-۶ الف، ب). انطباق نتایج حاصل از آنالیزهای XRF ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه و ادغام نتایج حاصل از نمودارهای دومتغیره باتیا محیط مجاور کمان آتشفشانی (قسمت B) برای سنگ‌های منشاء رسوبات تخریبی پیشنهاد می‌شود (شکل ۴-۶).



شکل ۴-۰: نمودارهای متمایزکننده ماسه سنگ جهت تعیین موقعیت تکتونیکی (باتیا، ۱۹۸۳)، الف) نمودار دو متغیره (Fe_2O_3+MgO) در برابر TiO_2 ، ب) نمودار دو متغیره (Fe_2O_3+MgO) در برابر (Al_2O_3/SiO_2) . A: جزایر قوسی اقیانوسی، B: جزایر قوسی قاره‌ای، C: حاشیه قاره‌ای فعال و D: حاشیه قاره‌ای غیرفعال.

بر اساس اظهارات دیکینسون (۱۹۸۵) ماسه سنگ‌های مشتق شده از محیط‌های مختلف تکتونیکی

به شرح زیر می‌باشند:

۱- داخل قاره یا حاشیه فعال قاره: ماسه سنگ‌های کوارتزی با مقدار بالایی از کوارتز مونوکریستالین نسبت به کوارتز پلی کریستالین و فلدسپات‌های پتاسیم‌دار نسبت به انواع پلاژیوکلاز.

۲- کنار ریف‌ت گسیختگی: ماسه سنگ‌های کوارتز فلدسپاتی با مقدار کم خرده‌های سنگی.

۳- جزیره قوسی یا قوس قاره‌ای: ماسه سنگ‌های فلدسپات - خرده سنگ آذرآواری با مقدار بالایی از نسبت خرده سنگ‌های ولکانیکی به رسوبی.

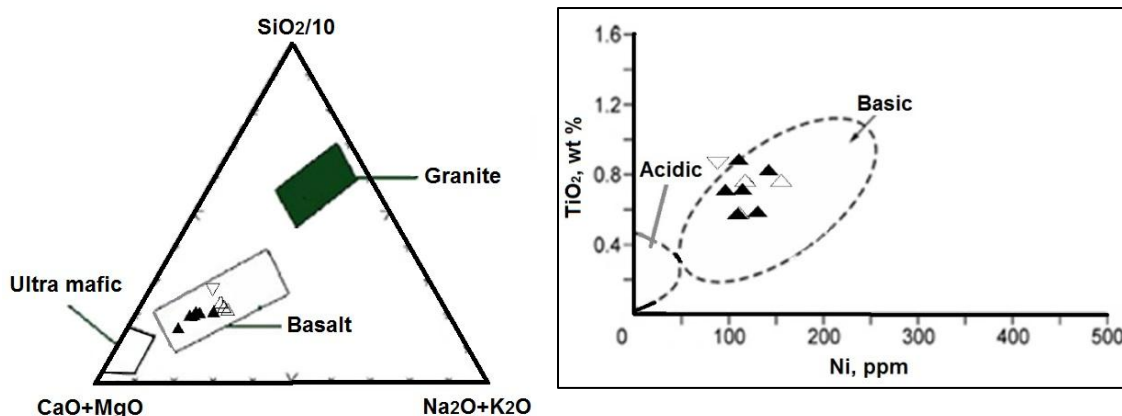
۴- کمپلکس فرورانش: ماسه سنگ‌های کوارتز- خرده سنگی با مقدار کمی فلدسپات و خرده سنگ‌های ولکانیکی و نسبت بالای کوارتز مونوکریستالین به پلی کریستالین و کوارتز پلی کریستالین به خرده سنگ‌های رسوبی.

طبق مطالعات کانی‌شناسی انجام شده در ماسه سنگ‌های منطقه، این ماسه سنگ‌ها دارای میزان بالایی فلدسپات هستند. همچنین قطعات خرده سنگ در این ماسه سنگ‌ها به وفور

یافت می‌شود، ولی فراوانی خرده‌سنگ‌های ولکانیکی بیشتر از خرده‌سنگ‌های رسوبی است. که این نتیجه تأییدی بر نتایج حاصل از نمودارهای باتیا، طبق اظهارات دیکینسون می‌باشد.

۳-۱۵ سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌ها

در این مطالعه برای تعیین سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه از دو نمودار ژئوشیمیایی استفاده گردید. اولین نمودار ژئوشیمیایی، نمودار دو متغیره $\text{TiO}_2 - \text{Ni}$ (فلوید^۱ و همکاران، ۱۹۸۹) می‌باشد. ترسیم مقادیر TiO_2 و Ni ماسه‌سنگ‌ها در نمودار دو متغیره مذکور (شکل ۵-۶ الف) نشان می‌دهد که ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه از نظر سنگ مادر، ترکیبی بازیک دارند. نمودار سه متغیره $(\text{CaO} + \text{MgO}) - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2/10$ (تیلور^۲ و مک‌لنن^۳، ۱۹۸۵)، دومین نمودار ژئوشیمیایی بوده است که برای تعیین سنگ مادر ماسه‌سنگ‌ها استفاده گردید. ترسیم مقادیر مذکور ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در نمودار شکل (۶-۶ ب) نشان می‌دهد که این ماسه‌سنگ‌ها حاصل دگرسانی و هوازدگی سنگ‌هایی در حد بازالت می‌باشند.



شکل ۵-۶: موقعیت ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در نمودار الف) دو متغیره $\text{TiO}_2 - \text{Ni}$ (فلوید و همکاران، ۱۹۸۹)، ب) سه متغیره $(\text{CaO} + \text{MgO}) - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2/10$ (تیلور و مک‌لنن، ۱۹۸۵).

1 - Floyd
2 - Taylor
3 - McLennan

۳-۱۶ مطالعه فراوانی، غنی‌شدگی و تغییرات اکسیدهای اصلی در سنگ‌های

میزبان و کانسنگ

مطالعه عناصر اصلی اغلب به ۱۱ عنصری محدود می‌شود که به طور مرسوم در تجزیه شیمیایی به صورت اکسید بیان می‌شوند (P, K, Na, Ca, Mg, Mn, Fe, Al, Ti, Si) (رولینسون^۱، ۱۹۹۳). توزیع عناصر اصلی، منعکس‌کننده کانی‌شناسی نمونه‌های مورد مطالعه است. در میان این اکسیدها K_2O , Na_2O , CaO , MgO متحرک و اکسیدهای Al_2O_3 و TiO_2 غیرمتحرک می‌باشند (بالاز^۲ و همکاران، ۲۰۰۰).

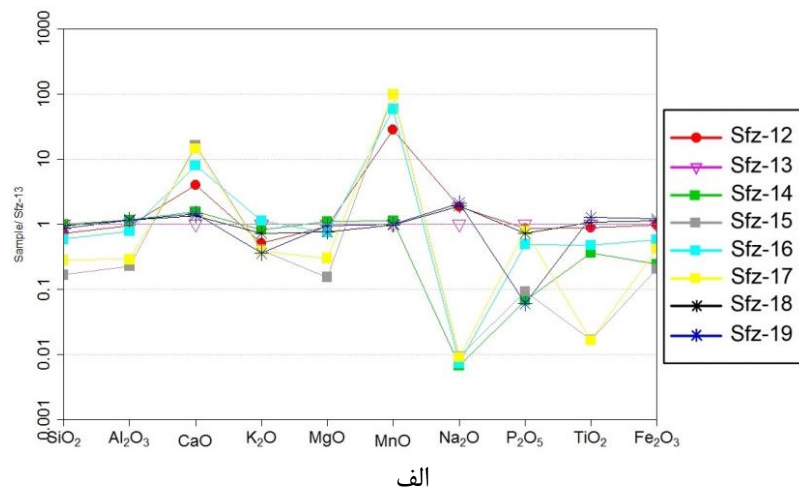
در شکل (۶-۶) نمودار تهی‌شدگی - غنی‌شدگی اکسیدهای اصلی برای کانسنگ و سنگ‌های میزبان کانسارهای مورد مطالعه نشان داده شده است که شکل (۶-۶ الف)، مربوط به کانسار اسفیز می‌باشد که در آن نمونه‌ها به نمونه Sfz-13 (ماسه‌سنگ قرمز) نرمالیز شده‌اند. در شکل (۶-۶ ب)، نمونه‌های کانسار قندو قرار دارد که به میانگین ماسه‌سنگ‌های قرمز نرمالیز شده‌اند، یعنی غنی‌شدگی - تهی‌شدگی ماسه‌سنگ‌های خاکستری نسبت به ماسه‌سنگ‌های قرمز نشان داده شده است.

در شکل (۶-۶ الف)، به نظر می‌رسد غنی‌شدگی Ca در کانسار اسفیز به واسطه حضور سنگ‌های آهکی در این توالی می‌باشد. همچنین خروج Mg از سیستم موجبات غنی‌شدگی درجای Ca در سیستم را فراهم نموده است. در شکل (۶-۶ ب)، تهی‌شدگی Mn به علت تحرک بالای این عنصر نسبت به عناصر دیگر در شرایط فیزیکوشیمیایی محیط نظیر Eh، pH، دما و فشار موجبات خروج بخشی از Mn از سیستم را فراهم نموده است. علت پایین بودن مقدار Fe در نمونه‌های ماسه‌سنگ خاکستری کانه‌دار نسبت به ماسه‌سنگ قرمز، احتمالاً به علت تشکیل کانی‌های لیمونیت و گوتیت در ماسه‌سنگ‌های طبقات قرمز و برجای ماندن شرایط اکسیدان بوده است. در نهایت بررسی اکسیدهای

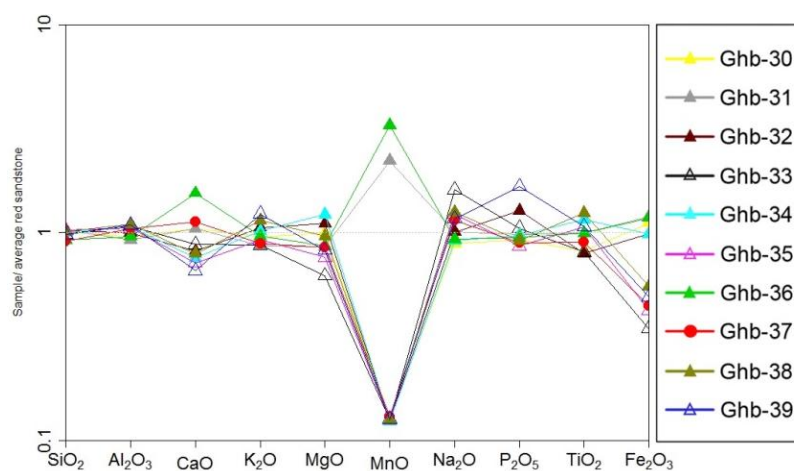
1 - Rollinson

2 - Bauluz

اصلی نشان دهنده غنی‌شدگی CaO و تهی‌شدگی Fe_2O_3 ، MgO و MnO در افق‌های کانهدار می‌باشد.



الف



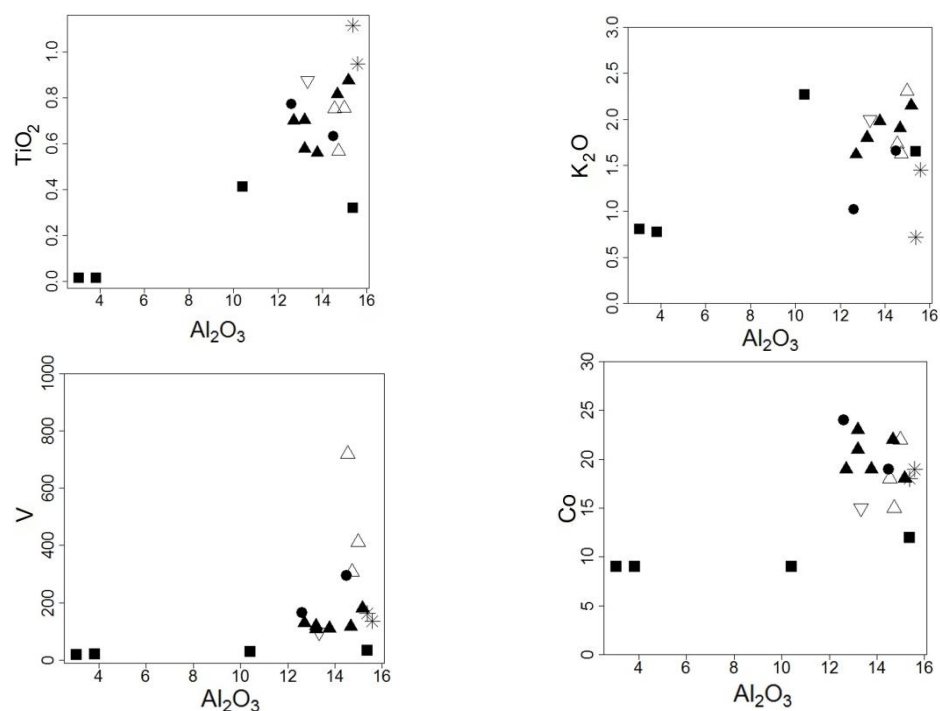
ب

شکل ۶-۰: نمودار تهی‌شدگی - غنی‌شدگی اکسیدهای اصلی برای کانسنگ و سنگ‌های میزبان (الف) اسفیز، (ب) قندو.

با توجه به جدول (۶-۲) در میان اکسیدهای اصلی، سیلیس بیشترین فراوانی را دارد و مقدار آن بین ۴۰ تا ۶۰ درصد در تغییر است. سیلیس بیشتر به شکل کانی کوارتز در کانسنگ و سنگ میزبان حضور دارد. اکسیدهای آلومینیوم از نظر فراوانی دومین مقام را دارند، به گونه‌ای که مقدار Al_2O_3 بین ۸ تا ۱۵ درصد متغیر است. اکسید کلسیم در این کانسارها دارای مقام سوم می‌باشد، CaO در سنگ‌های میزبان و کانسنگ بسیار متغیر است به طوری که در سنگ آهک‌های کانسار اسفیز به ۵۰ درصد و در بازالت‌های آن به ۶ درصد می‌رسد، ولی به طور میانگین و در بیشتر افق‌های کانهدار حدود ۱۰ درصد می‌باشد. دیگر اکسیدها هر یک سهم ناچیزی را در تجزیه‌های کل سنگ به خود اختصاص

داده و مقادیر کمی دارند.

در شکل (۶-۷)، نمودارهای تغییرات و همبستگی‌های بین اکسید آلومینیوم نسبت به برخی اکسیدها و عناصر برای سنگ‌های میزبان و کانسنگ‌های مورد مطالعه، به تصویر کشیده شده است. اکسید Al با اکسید K همبستگی مثبت دارد که ناشی از حضور کانی‌های فلدسپار می‌باشد. همچنین همبستگی مثبت Al با Ti، Co و V در سنگ‌های میزبان و کانسنگ بیان می‌کند که عناصر مذکور جانشین Ti در کانی‌های تیتان دار شده‌اند (مایندهلد^۱، ۲۰۱۰).

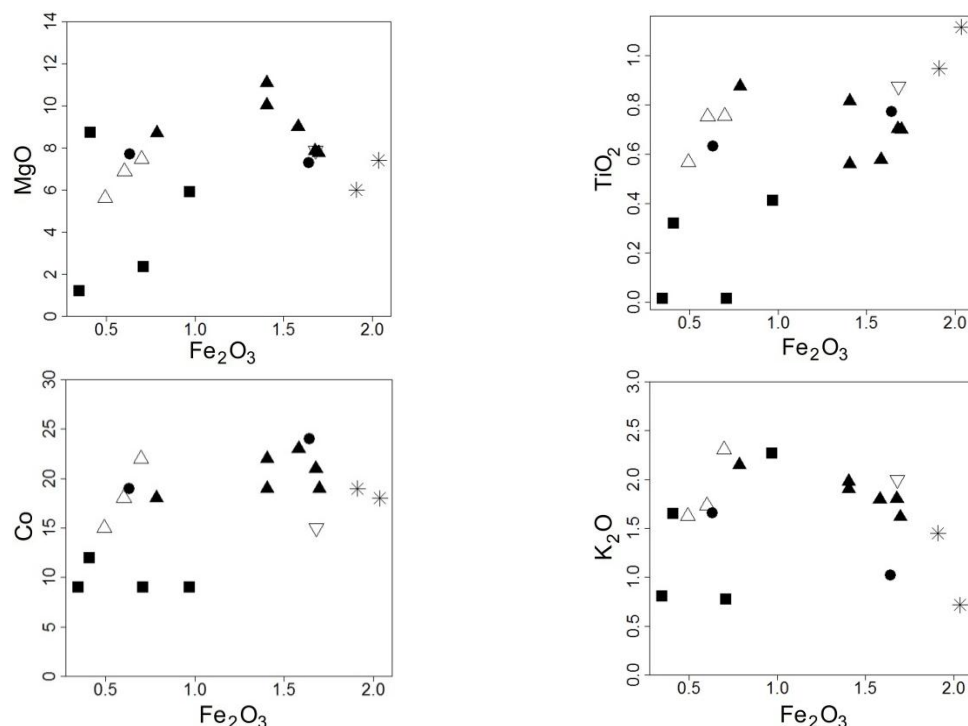


شکل ۷-۰: نمودارهای تغییرات و همبستگی بین اکسید آلومینیوم نسبت به برخی اکسیدها و عناصر.

در شکل (۶-۸)، همبستگی بین Fe_2O_3 با یکسری اکسیدها و عناصر نشان داده شده است. همان طوری که در شکل می‌بینیم، Fe_2O_3 با اکسیدهای نظیر Co, Mg و Ti در سنگ‌های میزبان و کانسنگ‌ها همبستگی مثبت نشان می‌دهد، زیرا Ti و Mg جانشین Fe شده است. Fe_2O_3 با Co نیز همبستگی مثبت نشان می‌دهد، که می‌توان آن را ناشی از جانشینی Co توسط اکسی-هیدروکسیدهای آمورف و متبلور آهن (گوتیت و لیمونیت) در نظر گرفت. Fe_2O_3 با K_2O همبستگی

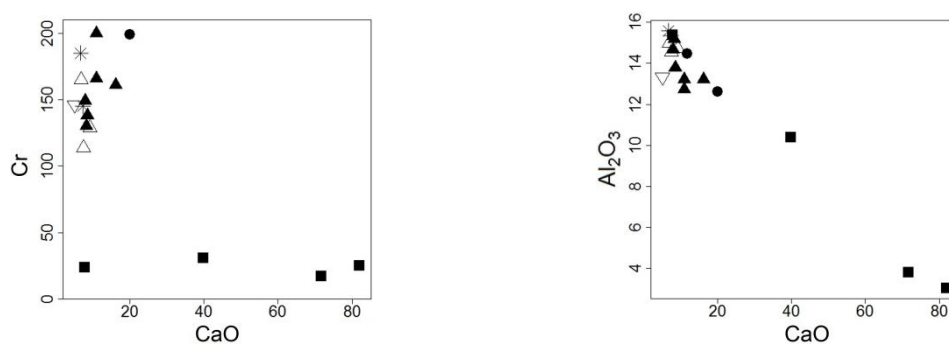
1 -Meinhold

منفی را متذکر می‌گردد، این امر احتمالاً به این علت است که سیال نشأت گرفته از طبقات قرمز حامل K_2O بوده است.



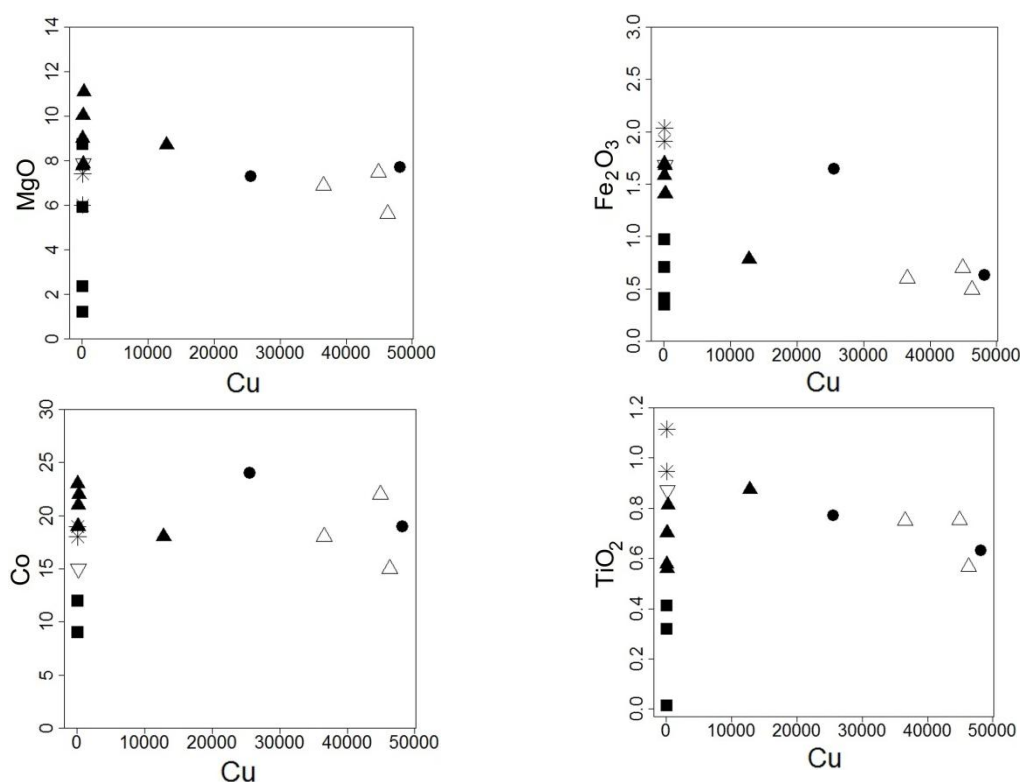
شکل ۸-۰: نمودارهای همبستگی بین اکسید آهن نسبت به برخی اکسیدها و عناصر.

همبستگی منفی Ca با Al احتمالاً به علت تجزیه کانی‌های فلدسپار (پلاژیوکلاز) می‌باشد (ما^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). همبستگی منفی Ca با Cr به دلیل رفتار ژئوشیمیایی متفاوت این دو عنصر نسبت به یکدیگر می‌باشد. در اشکال (۶-۹) همبستگی منفی Ca با Al و Cr در سنگ میزبان و کانسنگ‌ها مشاهده می‌گردد.



شکل ۹-۰: نمودارهای تغییرات و همبستگی منفی بین اکسید کلسیم نسبت به Cr و Al_2O_3 .

در شکل (۶-۱۰)، نسبت‌های عنصری مس با یک سری اکسیدها و عنصر Co به منظور شناسایی عوامل مؤثر در افزایش و کاهش مقدار مس موجود در نمونه‌های معدنی ترسیم شده است. همان طوری که مشاهده می‌گردد، عنصر مس با عناصر اصلی نظیر Fe, Mg و Ti و همچنین با عنصر جزئی Co همبستگی منفی نشان می‌دهد، طبق جدول ۶-۱ عناصر بالا در سنگ‌های توالی قرمز رنگ نسبت به سنگ‌های خاکستری احيایی فراوانی بیشتری دارند. در صورتی که انتقال و تحرک مس از طبقات قرمز به داخل طبقات خاکستری احيایی منجر به غنی‌سازی مس در این طبقات گردیده است.



شکل ۱۰-۱: نمودارهای تغییرات و همبستگی همبستگی منفی مس با برخی عناصر.

۳-۱۷ مطالعه فراوانی، غنی‌شدگی و تغییرات عناصر جزئی و کمیاب در

سنگ‌های میزبان و کانسنگ

وضعیت توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی هر منطقه و بررسی ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر، یکی از مهم‌ترین موارد در بررسی‌های ژئوشیمیایی می‌باشد زیرا با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی می‌توان تا حدودی به محیط و فرآیندهای مؤثر در تشکیل کانسار پی

برد (بارنس^۱، ۱۹۷۹).

فراوانی عناصر اصلی و کمیاب اندازه‌گیری شده (بر حسب ppm) در نمونه‌های مورد مطالعه در جدول (۳-۶) آورده شده است. مهم‌ترین عناصر کمیاب در پهنه‌های کان‌زایی کانسارهای مورد مطالعه شامل Sr, Ni, Y, V, Mo, Cr, Co می‌باشد. به طور کلی در رسوبات، فلدسپات‌ها غلظت عناصر Rb, Na, Ba, Cs و کانی‌های فرومنیزین غلظت Co, Cr و Ta را کنترل می‌کنند (رولینسون، ۱۹۹۳). میزان عناصر V, Co, Cr و Ni در سنگ‌های رسوبی دانه درشت نظیر ماسه‌سنگ کم است (حسنی‌پاک، ۱۳۸۳). آنومالی منفی Cr در این سنگ‌ها می‌تواند در ارتباط با این پدیده و نیز کانی‌های مافیک درون این سنگ‌ها باشد.

جدول ۳-۰: فراوانی عناصر اصلی و کمیاب اندازه‌گیری شده (بر حسب ppm) در نمونه‌های مورد مطالعه به روش ICP-OES.

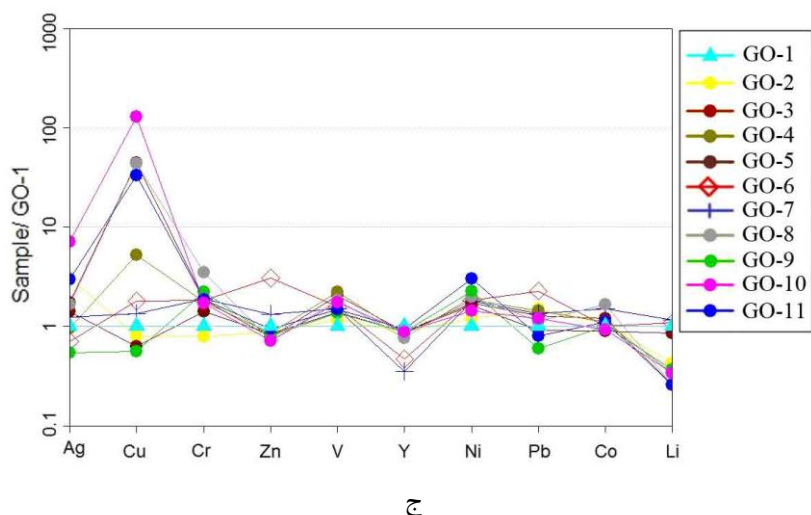
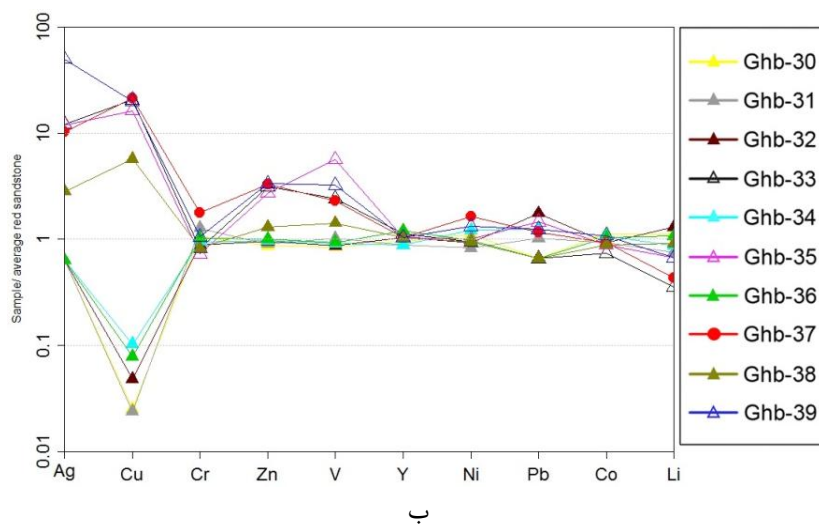
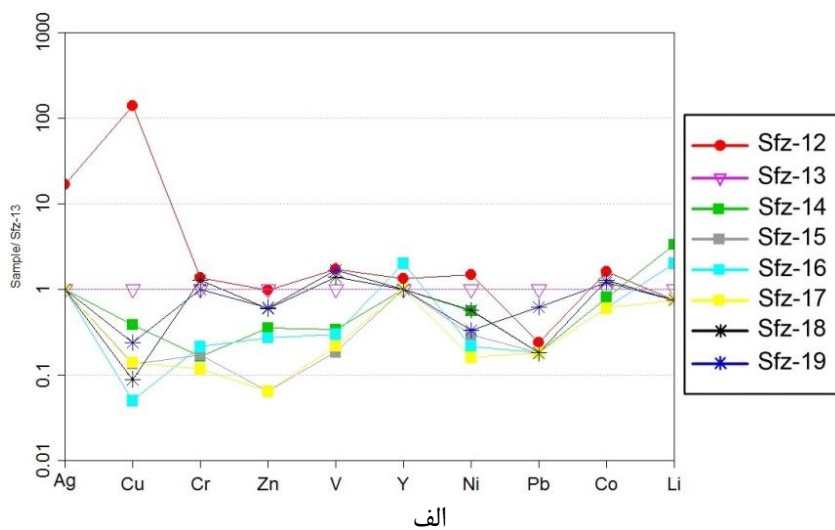
شماره نمونه	نام کانسار	علامت	Ag (ppm)	As (ppm)	Be (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Zn (ppm)	Ce (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)
Sfz-12	اسفیز	●	15.0	10	<1	<10	<1	137	26	24	199	25543
Sfz-13	اسفیز	▽	<1	55	<1	<10	<1	141	31	15	146	181
Sfz-14	اسفیز	■	<1	30	1	<10	<1	50	19	12	24	69
Sfz-15	اسفیز	■	<1	16	<1	<10	<1	<10	<10	<10	25	24
Sfz-16	اسفیز	■	<1	<10	<1	<10	<1	38	38	<10	31	<10
Sfz-17	اسفیز	■	<1	<10	<1	<10	<1	<10	13	<10	17	25
Sfz-18	اسفیز	*	<1	<10	<1	<10	<1	84	20	19	185	16
Sfz-19	اسفیز	*	<1	13	<1	<10	<1	86	22	18	145	43
Ghb-30	قندو	▲	<1	13	<1	<10	<1	52	33	23	166	56
Ghb-31	قندو	▲	<1	<10	<1	<10	<1	54	32	19	200	53
Ghb-32	قندو	▲	<1	<10	<1	<10	<1	57	32	19	138	107
Ghb-33	قندو	△	17.3	<10	<1	<10	<1	187	30	15	129	46261
Ghb-34	قندو	▲	<1	<10	<1	<10	<1	58	30	22	149	229
Ghb-35	قندو	△	17.0	<10	<1	<10	<1	163	31	18	114	36533
Ghb-36	قندو	▲	<1	<10	<1	<10	<1	60	45	21	161	175
Ghb-37	قندو	●	4.0	<10	<1	<10	<1	78	29	18	130	12796
Ghb-38	قندو	▲	14.7	<10	<1	<10	<1	199	32	19	279	48217
Ghb-39	قندو	△	70.8	<10	<1	<10	<1	200	30	22	165	44911
GO-1	قنچی	△	2.4	21	<1	<10	<1	80	40	28	67	258
GO-2	قنچی	●	4.2	<10	<1	<10	<1	71	32	30	53	207
GO-3	قنچی	●	7.5	<10	<1	<10	<1	62	22	34	126	11533
GO-4	قنچی	●	3.4	16	<1	<10	<1	69	21	31	119	1349
GO-5	قنچی	●	2.3	<10	<1	<10	<1	67	17	25	95	163
GO-6	قنچی	◆	1.7	24	<1	<10	<1	246	<10	28	124	466
GO-7	قنچی	+	3.0	12	<1	<10	<1	106	<10	42	127	347
GO-8	قنچی	●	4.0	14	<1	<10	<1	57	21	47	237	11427
GO-9	قنچی	●	1.3	<10	<1	<10	<1	64	23	28	150	146
GO-10	قنچی	●	17.3	12	<1	<10	<1	57	23	26	115	33569
GO-11	قنچی	●	7.2	<10	<1	<10	<1	76	24	31	125	8609

ادامه جدول ۳-۶

شماره نمونه	نام کانسار	La (ppm)	Y (ppm)	Li (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	V (ppm)	Sr (ppm)	Pb (ppm)	S (%)	Sb (ppm)	Sc (ppm)
Sfz-12	اسفیز	27	12	<10	<1	130	166	195	12	0.36	<10	17
Sfz-13	اسفیز	21	<10	12	3	88	98	578	50	0.07	<10	13
Sfz-14	اسفیز	18	<10	40	<1	49	33	4808	<10	0.07	<10	9
Sfz-15	اسفیز	23	<10	<10	<1	26	18	132	<10	0.10	<10	5
Sfz-16	اسفیز	42	18	24	<1	19	29	248	<10	0.09	<10	9
Sfz-17	اسفیز	32	<10	<10	<1	14	21	120	<10	0.14	<10	5
Sfz-18	اسفیز	18	<10	<10	<1	50	136	341	<10	0.06	<10	16
Sfz-19	اسفیز	19	<10	<10	<1	29	163	320	31	0.95	<10	18
Ghb-30	قندو	27	12	28	<1	130	108	239	<10	0.07	<10	14
Ghb-31	قندو	27	11	19	<1	96	130	253	14	0.07	<10	16
Ghb-32	قندو	25	13	33	<1	109	110	263	24	0.06	<10	15
Ghb-33	قندو	21	14	<10	<1	110	307	253	<10	1.09	<10	14
Ghb-34	قندو	23	11	22	<1	142	116	222	17	0.07	<10	13
Ghb-35	قندو	20	13	17	<1	117	720	221	20	0.07	<10	13
Ghb-36	قندو	36	15	27	<1	114	119	257	<10	0.07	<10	14
Ghb-37	قندو	21	13	23	<1	110	181	232	<10	0.08	<10	14
Ghb-38	قندو	23	13	11	<1	193	295	176	16	0.08	<10	13
Ghb-39	قندو	19	13	17	<1	155	412	204	17	0.09	<10	13
GO-1	قنچی	31	17	35	<1	25	87	232	25	0.40	<10	<10
GO-2	قنچی	23	15	15	<1	30	101	296	38	0.40	<10	<10
GO-3	قنچی	20	15	<10	<1	43	180	257	32	0.42	<10	<10
GO-4	قنچی	20	14	12	<1	47	193	250	36	0.47	<10	<10
GO-5	قنچی	23	15	30	<1	41	121	285	23	0.42	<10	<10
GO-6	قنچی	<10	8	38	<1	46	137	218	57	0.40	<10	11
GO-7	قنچی	<10	6	41	<1	45	132	124	34	0.38	<10	10
GO-8	قنچی	12	13	<10	<1	50	161	209	28	0.45	<10	11
GO-9	قنچی	20	15	13	<1	57	119	215	15	0.36	<10	10
GO-10	قنچی	14	15	12	<1	36	151	222	30	0.50	<10	<10
GO-11	قنچی	23	16	<10	<1	76	130	203	20	0.43	<10	11

در شکل (۶-۱۱) نمودار تهی‌شدگی - غنی‌شدگی عناصر جزئی و کمیاب برای کانسنگ و سنگ‌های میزبان کانسارهای اسفیز و قندو و قنچی نشان داده شده است که طبق نمودارهای شکل (۶-۶) نرمالیز شده‌اند. در کانسار قنچی نمودار به ماسه‌سنگ قرمز GO-1 نرمال شده است.

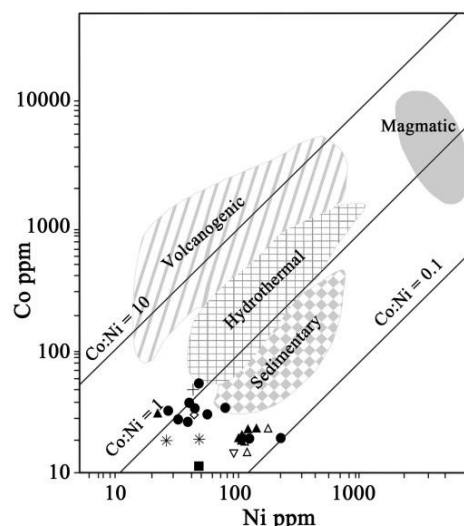
به طور کلی پراکندگی عناصر V, Cr, Co و Ni در سنگ‌های رسوبی از قطب ماسه‌سنگ به سمت سنگ‌های رسی افزایش می‌یابد ولی با ازدیاد کربنات، میزان آن‌ها کاهش می‌یابد (حسینی پاک، ۱۳۸۳). در شکل (۶-۱۱ الف)، سنگ آهک‌های کانسار اسفیز نیز نسبت به این عناصر تهی‌شدگی نشان می‌دهد. همچنین نسبت به کلارک پوسته‌ای از این عناصر تهی شده است که ناشی از شستشوی این عناصر طی فرآیند کانه‌زایی می‌باشد.



شکل ۱۱-۰: نمودار تهی‌شدگی- غنی‌شدگی عناصر فرعی و کمیاب برای کانسنگ و سنگ‌های میزبان (الف) اسفیز، (ب) قندو، (ج) قنچی.

غنی‌شدگی رسوبات از مواد آلی موجب می‌شود که میزان عناصر Ni و V و تا حدودی Cu افزایش

یابد، در صورتی که در میزان Cr و Co اثری ندارد (حسینی پاک، ۱۳۸۳). در کانسار قندو (شکل ۶-۱۱) (ب) افق‌های کانه‌دار (ماسه‌سنگ‌های خاکستری) به دلیل داشتن فسیل گیاهی از عناصر Cu، V و Ni غنی شده‌اند. در نهایت بیشترین میزان فراوانی مس در افق‌های کانه‌دار احیایی مشاهده شده است. هم‌چنین مقایسه الگوی پراکندگی عناصر کمیاب در ماسه‌سنگ خاکستری پهنه کانه‌زایی نسبت به ماسه‌سنگ قرمز آنومالی مثبت در Co، V، Cu و Ni را نشان می‌دهد. اما میزان Cr در آن‌ها آنومالی منفی‌تری نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر Ni و Co حاصل از تجزیه نمونه‌های منطقه مورد مطالعه و موقعیت قرارگیری آن‌ها در نمودار (بجوا^۱ و همکاران، ۱۹۸۷؛ بریل^۲، ۱۹۸۹؛ ژو^۳، ۱۹۹۸) منشأ رسوبی و دیاژنتیک برای کانسارهای این منطقه پیشنهاد می‌شود (شکل ۶-۱۲).

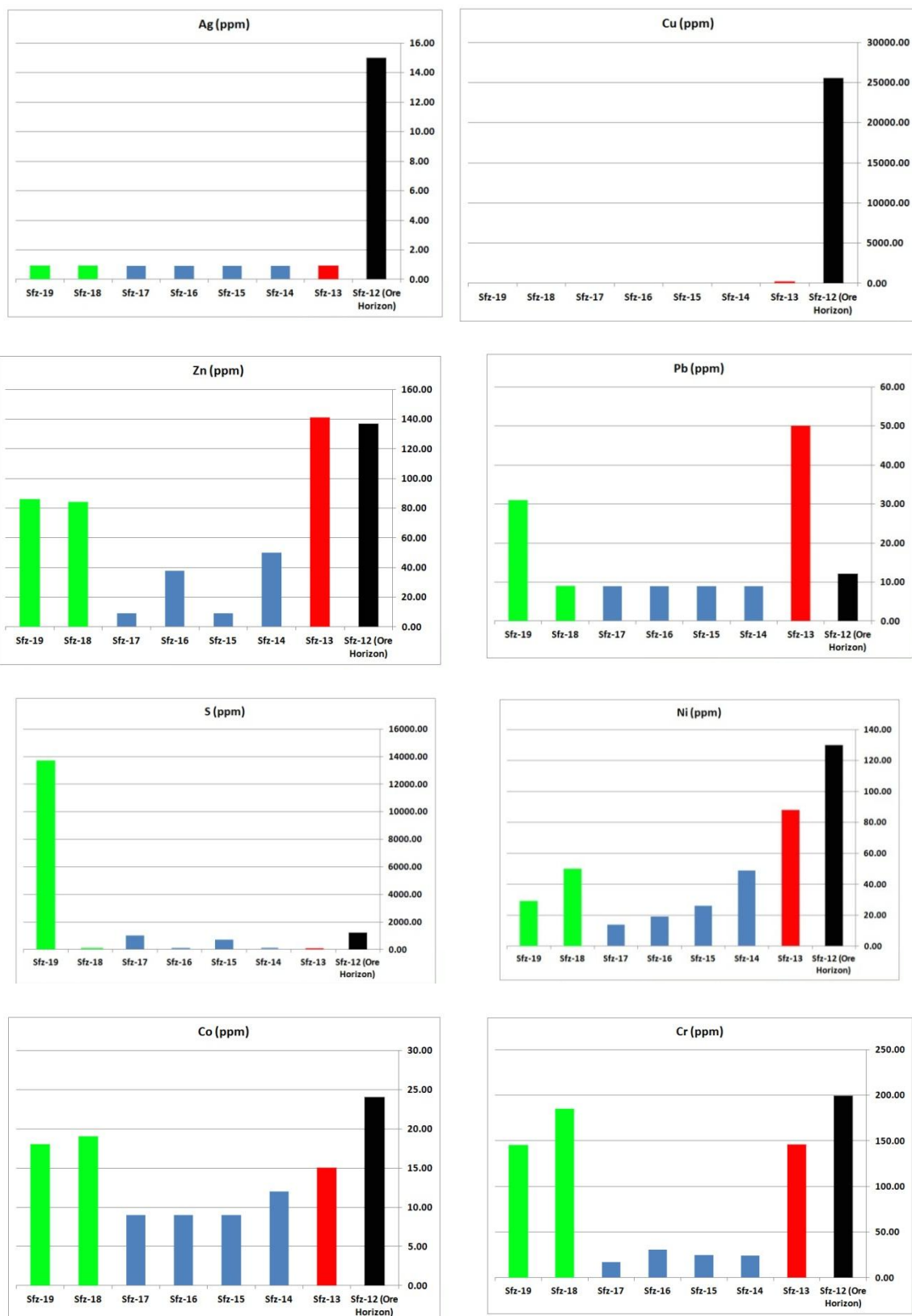


شکل ۱۲-۰: اختلاف مقادیر Ni و Co در نمونه‌های معدنی منطقه مورد مطالعه (بجوا و همکاران، ۱۹۸۷؛ بریل، ۱۹۸۹؛ ژو، ۱۹۹۸).

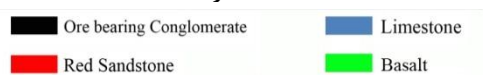
۳-۱۸ توزیع و پراکندگی عناصر فلزات پایه و نقره

در شکل (۶-۱۳) تغییرات فراوانی عناصر Cu، Zn، Pb، Ag، Co، Cr، Ni، S در کانسنگ و سنگ‌های میزبان کانسار اسفیز بررسی شده است.

1 - Bajwah
2 - Brill
3 - Xu



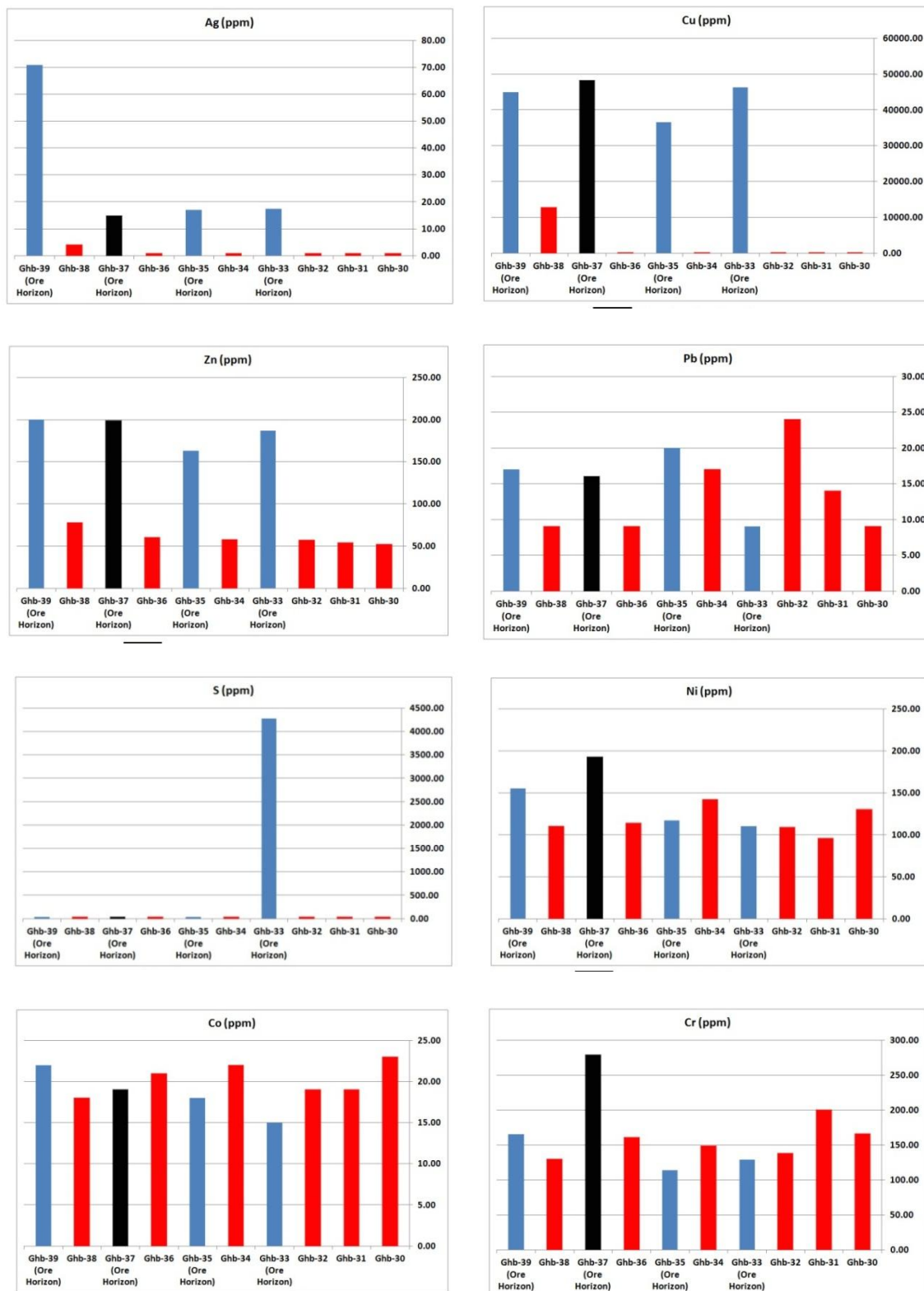
شکل ۳-۰: تغییرات فراوانی عناصر Cu, Ag, Pb, Zn, Ni, S, Co در کانسنگ و سنگ‌های میزبان کانسار اسفیز.



بیشترین فراوانی مس در کنگلومرای کانه‌دار دیده می‌شود. اکثر کانسارهای مس حاوی نقره هستند. نسبت Cu/Ag این سنگ‌ها نزدیک به نسبت پوسته‌ای می‌باشد. تغییرات عنصر نقره در این کانسار کاملاً مشابه تغییرات مس بوده و نشان‌دهنده همبستگی مثبت این دو عنصر با یکدیگر است. با این که میزان نقره در کانسارهای مورد مطالعه نسبت به عناصر دیگر نظیر سرب و روی کمتر است اما به طور کلی میزان این عنصر در این کانسارها نسبت به عیار زمینه بالا می‌باشد. بررسی ماتریس همبستگی Ag و Cu نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین این دو عنصر است. بررسی‌های صورت گرفته توسط وودوارد و همکاران (۱۹۷۴)، دوریوکس و براون (۲۰۰۷) بر روی کانسارهای Corocoro و Nacimientو نشان‌دهنده غنی بودن کانسارهای مس با میزان رسوبی از این عنصر و همبستگی مثبت بین مس و نقره در این کانسارها می‌باشد. ولی با توجه به بالا بودن میزان نقره، این عنصر فاز مستقلی تشکیل نداده (طبق مطالعات کانه‌شناسی صورت گرفته در فصل قبل هیچ کانی نقره‌داری در نمونه‌ها شناسایی نشد) و در شبکه کالکوسیت، جایگزین عنصر مس شده است. به دو دلیل میتوان اظهار کرد که کانی کالکوسیت، همان کانی مس مورد نظر است. دلیل اول این است که کانی کالکوسیت در این کانسارها، فراوان‌ترین کانی مس است و برای دلیل دوم می‌توان به مطلبی که در فصل قبل بیان شد، اشاره کرد که در تمامی انواع کالکوسیت، عنصر مس ممکن است با مقداری نقره، به ویژه در انواع حرارت بالا جانشین شود (رمداهر، ۱۹۸۰). بیشترین میزان فراوانی روی در قسمت‌هایی است که مس دارای حداقل فراوانی می‌باشد.

در شکل (۶-۱۴) نیز تغییرات فراوانی عناصر Cu, Zn, Pb, Ag, Co, Cr, Ni, S در کانسنگ و سنگ‌های میزان کانسار قندو بررسی شده است، که تغییرات عناصر در آن تقریباً مشابه کانسار اسفیز می‌باشد. مطالعات صورت گرفته در کانسارهای مشابه نظیر Nacimientو (وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴)، نشان‌دهنده بالا بودن میزان فلزات پایه در بخش کانه‌زایی بوده و به طرف ماسه‌سنگ قرمز این میزان به شدت کاهش می‌یابد. بررسی‌های ژئوشیمیایی کانسار قندو نشان‌دهنده تجمع Cu به همراه Ag در پهنه کانه‌زایی (محل تجمع فسیل‌های گیاهی) می‌باشد. به عبارت دیگر میزان این دو

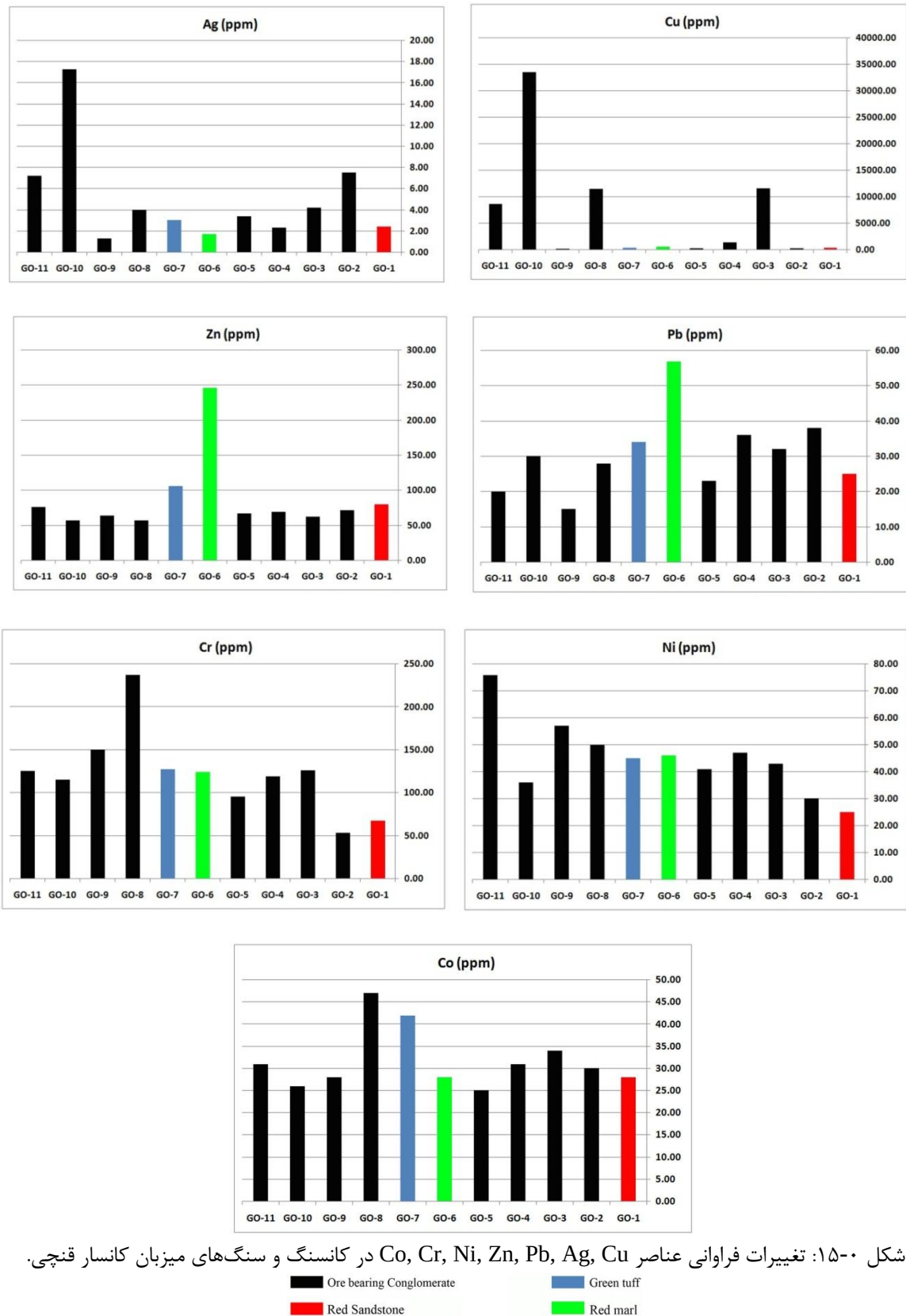
عنصر در پهنه کانه‌زایی بالا بوده و پهنه قرمز اکسیدان از این عناصر تهی می‌باشد.



شکل ۱۴-۰: تغییرات فراوانی عناصر Cu, Pb, Zn, Ni, S, Co, Cr در کانسنگ و سنگ‌های میزبان کانسار قندو.

Ore bearing Conglomerate
 Ore bearing gray reduced Sandstone
 Red Sandstone

در شکل (۶-۱۵) نیز تغییرات فراوانی عناصر Cu, Zn, Pb, Ag, Co, Cr, Ni در کانسنگ و سنگ‌های میزبان کانسار قنچی نشان داده شده است.



شکل ۱۵-۰: تغییرات فراوانی عناصر Cu, Ag, Pb, Zn, Ni, Cr, Co در کانسنگ و سنگ‌های میزبان کانسار قنچی.

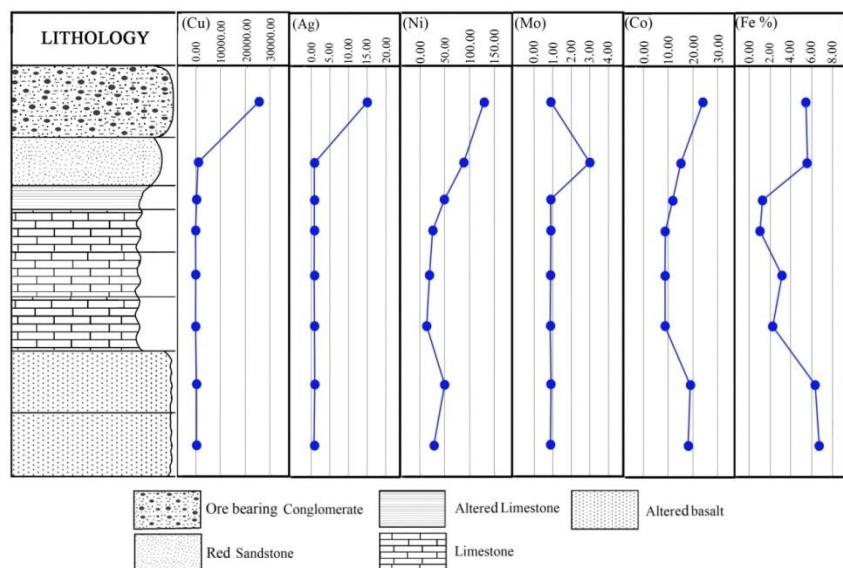
در این کانسار بیشترین عیار مس را در بخش کانه‌دار افق دوم (GO-10) با عیار ۳۳۵۷۰ پی‌پی‌ام داریم. همچنین در بخش کانه‌دار افق اول (GO-3) و افق سوم (GO-11) عیار مس به ترتیب ۱۱۵۳۰ و ۸۶۰۰ پی‌پی‌ام است. نقره هم فراوانی مشابه مس دارد و بیشترین عیار آن در بخش کانه‌دار افق دوم ۱۷/۳ پی‌پی‌ام می‌باشد.

بیشترین فراوانی عنصر نیکل درون کنگلومراهای کانه‌دار است (۷۶ ppm)، که دلیل آن می‌تواند فراوانی قطعات و کانی‌های مافیک در کنگلومرای این کانسار باشد. سرب و روی دارای همبستگی مثبتی هستند و تغییرات مشابهی از خود نشان می‌دهند، و با مس همبستگی منفی دارند. به طور کلی در هر سه کانسار، سرب یک سولفات نامحلول به نام آنگلزیت تشکیل می‌دهد و لذا در زون اکسیداسیون به صورت پراکنده باقی می‌ماند. از طرف دیگر روی در تمامی شرایط نسبتاً محلول است و تمایل دارد از سیستم خارج شود (مینارد، ۱۹۸۳).

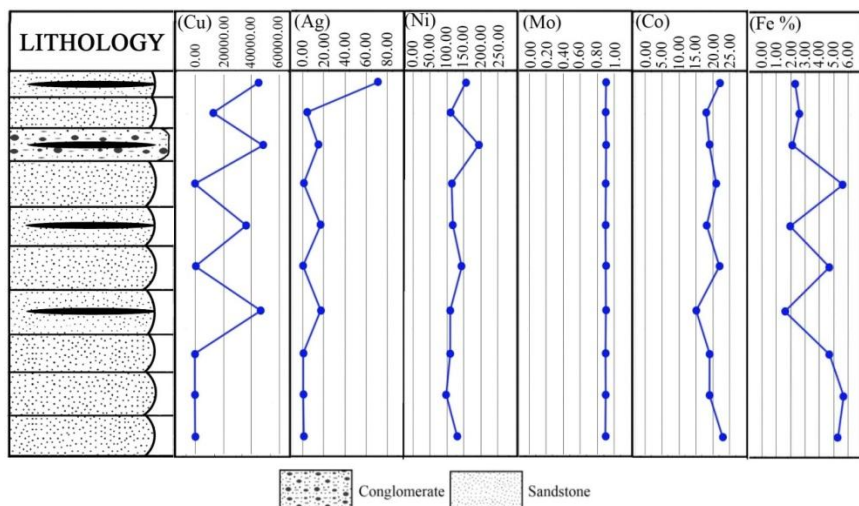
۱۹-۳ ستون‌های لیتوژئوشیمیایی و بررسی تغییرات عناصر

چگونگی توزیع و پراکندگی عناصر در افق‌های کانه‌دار و سنگ‌های میزبان آن‌ها، یکی دیگر از اهداف این تحقیق می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، برای هر کانسار ستون‌های لیتوژئوشیمیایی تهیه شد. برای ترسیم این ستون‌ها نمونه‌برداری به طور سیستماتیک صورت گرفته است. نمونه‌برداری به این صورت است که در ابتدا بر اساس تغییرات سنگ‌شناسی، رنگ و بافت برای هر کانسار یک مقطع عرضی ترسیم گردید، و در ادامه از هر واحد سنگی موجود در این مقطع عرضی نمونه برداشته شد.

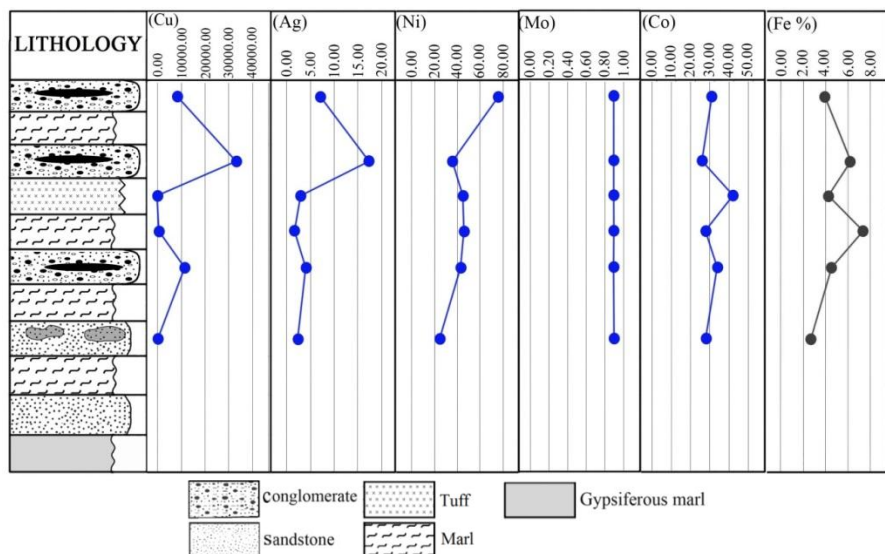
ترسیم و مطالعه این ستون‌ها تکمیل‌کننده و تأییدکننده مطالعات پیشین ما در این فصل می‌باشد. همان طور که در شکل‌های (۶-۱۶، ۶-۱۷ و ۶-۱۸) مشاهده می‌شود بیشترین فراوانی مس مربوط به افق‌های کانه‌دار است. همچنین نقره به دلیل همبستگی مثبت با مس در افق‌های کانه‌دار دارای بیشترین عیار می‌باشد. کبالت و نیکل دارای همبستگی مثبت می‌باشند و اکثراً بیشترین تمرکز را در افق‌های کانه‌دار دارند. مولیبدن تغییرات چندانی از خود نشان نمی‌دهد.



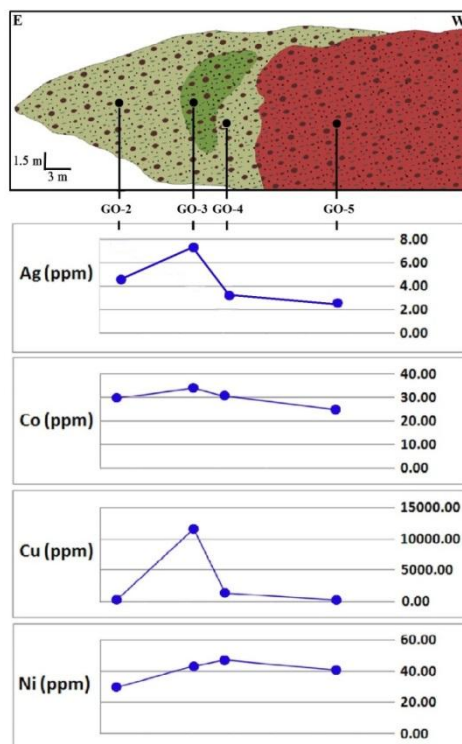
شکل ۱۶-۰: نمودار تغییرات عناصر در کانسار اسفیز بر اساس داده‌های ICP-OES.



شکل ۱۷-۰: نمودار تغییرات عناصر در کانسار قندو بر اساس داده‌های ICP-OES.



شکل ۱۸-۰: نمودار تغییرات عناصر در کانسار قنچی بر اساس داده‌های ICP-OES.



شکل ۱۹-۰: نمودار تغییرات عناصر افق اول در کانسار قنچی بر اساس داده‌های ICP-OES.

نتیجه‌گیری که تا این جا می‌توان داشت:

تغییرات Eh-pH و کمپلکس‌های کلریدی، رفتار مس و نقره را در دماهای پایین کنترل می‌کنند. مس تحت شرایط اکسیدان و pH متوسط تا پایین، دارای محدوده قابلیت انحلال وسیعی می‌باشد. آهن تحت این شرایط از قابلیت انحلال کمتری برخوردار است. لذا این تفاوت منجر به جدایش مس از آهن می‌شود. هم‌چنین مس تحت شرایط احیایی، بایستی به صورت سولفید یا مس طبیعی ترسیب شود. از این رو مس تمایل دارد از نواحی اکسیداسیون مهاجرت کرده و در نواحی احیایی متمرکز شود. رفتار Eh نقره مشابه مس است، تنها با این تفاوت که هیچ کانی اکسیدی یا کربناتی نقره، همانند مس وجود ندارد. به خاطر این تشابه، نقره موازی با مس تمایل به غنی‌شدگی دارد (مینارد، ۱۹۸۳). اکثر کانسارهای مس حاوی نقره هستند. نسبت Cu/Ag این کانسنگ‌ها نزدیک به نسبت پوسته‌ای می‌باشد (رز، ۱۹۷۶). یک استثنای مهم، کمر بند مس آفریقای مرکزی است که به جای نقره حاوی کبالت می‌باشد. محلول‌های حاوی کلرید در حمل این فلزات نقش مهمی دارند، چون حلالیت

آن‌ها در نتیجه تشکیل کمپلکس با کلرید افزایش می‌یابد (وایت^۱، ۱۹۶۸).

طبق بررسی توزیع، پراکندگی و همبستگی عناصر اصلی و کمیاب، بیشترین تمرکز مس در افق‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرایی احیایی (پهنه کانه‌زایی) دیده می‌شود. تغییرات عنصر نقره در این کانه‌زایی کاملاً مشابه تغییرات مس بوده و نشان‌دهنده همبستگی مثبت این دو عنصر با یکدیگر است. همچنین مقایسه الگوی پراکندگی عناصر کمیاب در ماسه‌سنگ خاکستری کانه‌دار نسبت به ماسه‌سنگ قرمز آنومالی مثبت در Cu, V, Co, Zn, Ag و Ni را نشان می‌دهد، که بر اساس (رولینسون، ۱۹۹۳) همبستگی بالای این عناصر با یکدیگر می‌تواند نشان‌دهنده هم‌زمانی ته‌نشینی آن‌ها با یکدیگر باشد. وجود مواد آلی موجب غنی‌شدگی عناصر Ni و V و Cu در ماسه‌سنگ‌های خاکستری شده است. همچنین سنگ آهک‌ها نسبت به ماسه‌سنگ قرمز از عناصر Zn, Ni, Co, Cr, V تهی شده‌اند که ناشی از شستشوی این عناصر طی فرآیند کانه‌زایی می‌باشد.

بررسی پراکندگی عناصر در سه پهنه قرمز اکسیدان، پهنه شسته شده و پهنه احیایی کانه‌زایی شده نشان می‌دهد که بخش شسته شده، نسبت به پهنه قرمز اکسیدان از عناصر As, S, Zn غنی‌شدگی و نسبت به Mo, Ni, Cr و Fe تهی‌شدگی نشان می‌دهد. همچنین بخش احیایی کانه‌زایی شده نسبت به پهنه قرمز اکسیدان و پهنه شسته شده، از عناصر Cu, Pb, Co, Ag غنی‌شدگی نشان می‌دهد.

بررسی اکسیدهای اصلی نشان‌دهنده غنی‌شدگی CaO و تهی‌شدگی MgO, Fe₂O₃ و MnO در پهنه کانه‌زایی می‌باشد. عناصر Fe, Mg, Mn و Ti در طبقات قرمز نسبت به طبقات خاکستری غنی‌شدگی نشان می‌دهند.

۲۰-۳ شیمی کانی‌ها بر اساس روش الکترون میکروپروب (EPMA)

این روش برای شناسایی دقیق کانی‌ها و تغییرات عنصری کانی‌ها (کانی‌هایی که با هم پاراژنز دارند) که در زیر میکروسکوپ قابل تشخیص نیستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. الکترون میکروپروب

1 - White

روشی تمام کیفی و کمی است که قادر است بدون تخریب نمونه، حجم بسیار کوچکی (در حد میکرونی) از نمونه را با حساسیت حدود ppm آنالیز کند. این دستگاه را می‌توان در مقایسه با دیگر میکرو آنالیزورها به عنوان دستگاهی که قادر است آنالیز با دقت و صحت بالاتری ارائه دهد، معرفی نمود. از کاربردهای این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- شناسایی کانی‌ها: به دلیل مجهز بودن به میکروسکوپ نوری و الکترونی امکان شناسایی کانی‌ها و فازهای مختلف را می‌دهد. مخصوصاً برای کانی‌های کدر و دانه‌های کوچک و یا کمیاب کاربرد دارد.

۲- سنگ‌شناسی توصیفی: میکروپروب با آنالیز کمی امکان توصیف و طبقه‌بندی سنگ‌ها را می‌دهد.

۳- مطالعات ژئومتری و ژئوبارومتری: ترکیب فازهای همراه با هم که توسط میکروپروب تهیه می‌شود، می‌تواند باعث تعیین دما و فشار تشکیل سنگ شود.

۴- تعیین شیمی سنگ‌های کیهانی

۵- تشخیص خصوصیات کانی‌شناسی نمونه مانند زونینگ، انکلوژیون‌های ریز و اکسلوشن.

۶- توانایی آنالیز دانه‌های بسیار کوچک و منفرد در بسیاری زمینه‌ها مانند رسوب‌شناسی و مطالعات زیست‌محیطی را دارد.

۷- مطالعه چگونگی پراکندگی و توزیع عناصر روی یک فاز مشخص.

در این تحقیق، آزمایش مذکور در آزمایشگاه EPMA مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (ایمیدرو) انجام گرفته است.

هدف از استفاده این روش (EPMA) در درجه اول شناسایی کانی‌های شناخته نشده موجود در کانسنگ می‌باشد. همچنین با توجه به این که نمونه‌های مورد مطالعه از افق‌های کانه‌دار می‌باشند به بررسی تغییر مقادیر عناصر شاخصی مثل مس و آهن در کانه‌های موجود در این افق‌ها پرداخته شده است.

۳-۲۰-۱ نتایج آنالیز EPMA

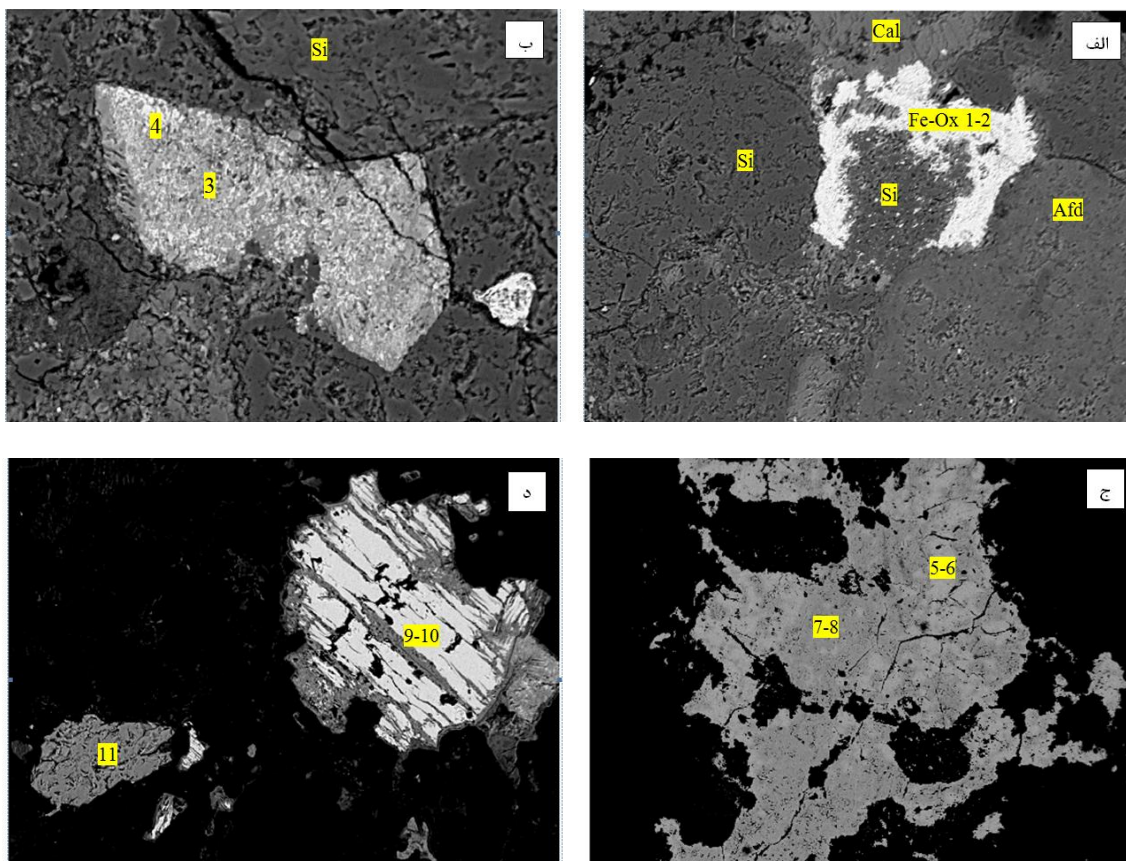
برای تشخیص ترکیب شیمیایی و شناسایی کانی‌های موجود در کانسنگ، یک نمونه از کانسار اسفیز (مقطع شماره M9) و یک نمونه از کانسار قندو (مقطع شماره M33) به کمک دستگاه الکترون میکروپروب مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت، که نتایج آنالیز این ۲ نمونه در ادامه توضیح داده خواهد شد:

- مقطع شماره M9

این نمونه از کنگلومرای کانه‌دار کانسار اسفیز (افق OH-A2) برداشت شده است. همان طور که در شکل (۶-۲۰) و جدول‌های (۶-۵ و ۶-۶) مشاهده می‌گردد، انجام آنالیز EPMA بر روی این نمونه منجر به شناسایی کانی‌های مگنتیت، تیتان مگنتیت، روتیل، دیژنیت، بورنیت و کوولیت گردید. در شکل ۶-۲۰ الف نقاط ۱ و ۲ کانی مگنتیت را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که کانی کوارتز دچار خوردگی شده و توسط کانی مگنتیت جانشین شده است. در شکل (۶-۲۰ ب) از حاشیه به سمت مرکز کانی عنصر تیتانیوم رو به افزایش است. به طوری که در مرکز (نقطه ۳) کانی روتیل وجود دارد و در اطراف آن (نقطه ۴) کانی تیتان مگنتیت حضور دارد. نقاط ۷ و ۸، تصویر (۶-۲۰ ج)، کانی بورنیتی را نشان می‌دهد، که از اطراف به کانی دیژنیت (نقاط ۵ و ۶) تبدیل شده است. در این کانی از حاشیه به سمت مرکز عنصر مس رو به افزایش است. همچنین به سمت مرکز کانی مقدار گوگرد رو به افزایش است. در تصویر (۶-۲۰ د)، نقاط ۹ و ۱۰ کانی کوولیت را نشان می‌دهد. وجود کانی‌های باطله نظیر فلدسپار و کوارتز نیز توسط این آنالیز نیز، مشخص شده است.

جدول ۴-۰: راهنمای علائم اختصاری و نشانه‌های روی اشکال.

نام	مگنتیت	سیلیس	کلسیت	آلکالی فلدسپات	عناصر نادر خاکی	کوارتز	مسیر آنالیز	نقاط آنالیز
علائم	Fe-Ox	Si	Cal	AFd	REE	Qz	→	1-2



شکل ۲۰۰: تصاویر مربوط به نمونه M9 که آنالیز الکترون میکروپروب روی آن انجام شده است (اعداد، محل آنالیز را نشان می‌دهد که در جداول ۴-۶ و ۵-۶ آمده است).

جدول ۵-۰: نتایج عنصری (بر حسب ppm) حاصل از آنالیز الکترون میکروپروب (EPMA) برای نمونه M9.

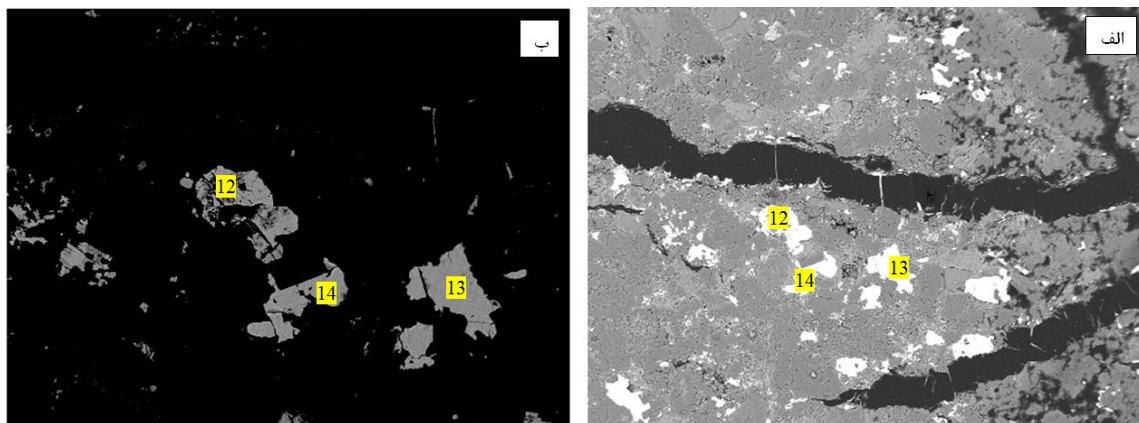
Point No.	Mn	Fe	S	Co	Ni	Cu	Zn	Mg	Al	Si	Ca	Ti	V	Cr	Name
1/1	0.02	63.13	0.09	0	0.01	0.96	0	0.01	0.42	1.05	0.1	0.2	0.37	0.03	Magnetite
2/1	0.03	61.5	0.02	0	0	1.05	0	0.02	0.42	1.35	0.1	0.1	0.21	0.02	Magnetite
3/1	0.02	4.14	0	0	0	0.02	0	0	0.19	1.21	1.65	51.97	0.18	0	Rottile
4/1	0.45	45.16	0.01	0	0.02	0.01	0	0.06	0.75	2.64	3.14	15.29	0.09	0.01	Ti-magnetite
5/1	0	0.16	21.3	0	0	77.25	0	0.01	0	0.28	0.01	0	0.02	0	Digenite
6/1	0	0.2	21.06	0.01	0	77.28	0	0	0.04	0.02	0.01	0.01	0	0	Digenite
7/1	0	10.76	25.65	0	0	62.12	0	0	0	0.01	0.03	0	0	0	Bornite
8/1	0	10.59	25.85	0	0	62.64	0	0	0	0.05	0.01	0	0	0	Bornite
9/1	0.01	0.03	32.85	0	0	65.68	0	0	0.06	0.02	0	0	0.02	0.01	Covellite
10/1	0	0.07	32.6	0.01	0	65.81	0	0	0.03	0.01	0	0	0	0	Covellite
11/1	0.38	59.92	0.01	0	0	0.07	0.03	0.64	0.26	0.04	0.05	3.18	0.08	0.02	Magnetite

جدول ۶-۰: نتایج اکسیدی (بر حسب درصد وزنی) حاصل از آنالیز الکترون میکروپروب (EPMA) برای نمونه M9.

Point No.	MgO	CaO	MnO	FeO	CoO	NiO	CuO	ZnO	Al2O3	V2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	SO2
1/1	0.01	0.14	0.03	84.98	0	0.02	1.26	0	0.75	0.58	0.04	2.16	0.35	0.18
2/1	0.04	0.15	0.04	83.92	0	0	1.37	0	0.75	0.33	0.03	2.77	0.17	0.04
3/1	0	2.4	0.03	5.19	0	0	0.03	0	0.36	0.29	0	2.27	90.3	0
4/1	0.09	4.64	0.61	59.96	0	0.03	0.01	0	1.35	0.14	0.02	5.46	27.15	0.01
11/1	1	0.07	0.52	80.88	0	0	0.09	0.04	0.47	0.13	0.03	0.08	5.75	0.01

- مقطع شماره M33

این نمونه مربوط به ماسه سنگ خاکستری کانه دار کانسار قندو (افق OH-B1) می باشد. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش که در شکل (۶-۲۱) و جدول (۶-۷) نشان داده شده است، کانی های دیژنیت و کولیت در این مقطع شناسایی شده است. همان طور که در شکل (۶-۲۱ الف) دیده می شود، کانی های دیژنیت (نقطه شماره ۱۲) و کولیت (نقاط شماره ۱۳ و ۱۴) در اطراف فسیل گیاهی (قسمت های سیاه رنگ) تشکیل شده اند. در تصویر (۶-۲۱ ب) نیز، این دو کانی توسط آنالیز الکترون پروب در این مقطع شناسایی شده است.



شکل ۲۱-۰: تصاویر مربوط به نمونه M33 که آنالیز الکترون میکروپروب روی آن انجام شده است (اعداد، محل آنالیز را نشان می دهد که در جدول ۶-۶ آمده است).

جدول ۷-۰: نتایج عنصری (بر حسب ppm) حاصل از آنالیز الکترون میکروپروب (EPMA) برای نمونه M33.

Point No.	Mn	Fe	S	Co	Ni	Cu	Zn	Mg	Al	Si	Ca	Name
12/1	0.02	0.1	22.63	0	0.02	75.53	0	0	0.03	0.03	0.08	Digenite
13/1	0.01	0.05	31.51	0	0.02	67.37	0	0	0.01	0	0.05	Covellite
14/1	0	0.03	31.83	0	0.01	67.14	0	0.05	0.07	0.18	0.15	Covellite

فصل، هفتم

نتیجه گیری: الگوی تشکیل، تیپ کانه زایی و

پیشهادات اکتشافی

۲۱-۳ مقدمه

کانه‌زایی مس در شمال - شمال غرب تربت حیدریه، درون توالی رسوبی - تخریبی ائوسن - الیگوسن رخ داده است. گسترش طولی کانه‌زایی مس رسوبی در این ناحیه به ۶۵ کیلومتر می‌رسد. کانی‌سازی در این فاصله کم و بیش به طور پراکنده و منقطع مشاهده می‌شود. وجود کانسارها و اندیس‌های متعدد در این منطقه نشان از پتانسیل بالای کانه‌زایی مس در این مجموعه است.

در این فصل، ابتدا به نتایج به دست آمده از مشاهدات صحرایی و آزمایشگاهی از جمله سنگ‌شناسی، بافت و ساخت، کانی‌شناسی و ژئوشیمی و تلفیق این شواهد و تجزیه و تحلیل آن‌ها می‌پردازیم. سپس شرایط و چگونگی تشکیل کانه‌زایی مس در کانسارهای مورد مطالعه در منطقه تربت حیدریه و مقایسه آن با دیگر کانسارهای مشابه در دنیا جهت مشخص کردن تیپ کانسار مورد بررسی قرار خواهد گرفت. و در پایان چند پیشنهاد جهت فعالیت‌های اکتشافاتی ارائه می‌گردد. اما در ابتدا اشاره مختصری به تقسیم‌بندی کانسارهای مس رسوبی و مشخص کردن جایگاه کانه‌زایی کانسارهای مورد مطالعه در این تقسیم‌بندی خواهیم داشت.

۲۲-۳ تقسیم‌بندی کانسارهای مس رسوبی و جایگاه کانسارهای مورد مطالعه در

شمال - شمال غرب تربت حیدریه

روشی‌ای^۱ در سال ۱۹۶۳، کانسارهای مس رسوبی را بر اساس نوع سنگ میزبان، به سه دسته کانسارهای همراه با ماسه‌سنگ دانه درشت، کانسارهای همراه با شیل و کانسارهای همراه با کربنات و شیست دولومیتی تقسیم‌بندی کرد. کرخام (۱۹۸۹) این ذخایر را به دو زیر گروه Kupferchifer-type که در ته‌نشست‌های محیط دریایی و یا دریاچه‌های بزرگ تشکیل می‌شوند، و Redbed-type که در سنگ‌های تشکیل شده در محیط قاره‌ای رخ می‌دهند، تقسیم نمود.

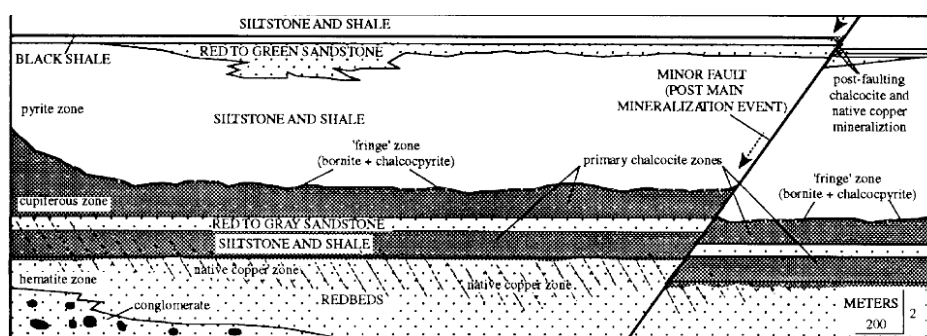
بر اساس هیتزمن و همکاران (۲۰۰۵) کانسارهای مس رسوبی به سه دسته Reduced facies،

1 - Rotieh

Revett و Redbed تقسیم می‌شوند. تفاوت این سه دسته در سنگ میزبان، نوع و میزان عامل احیا در محیط رسوب‌گذاری است.

(1) مدل رخساره احیایی (Reduced facies: RF)

ذخایر تیپ رخساره‌های احیایی در مناطقی یافت می‌شوند که در آن سنگ‌های رسوبی تخریبی قاره‌ای توسط شیل‌ها و کربنات‌های دریایی یا دریاچه‌ای غنی از پیریت و مواد آلی با گسترش وسیع در مقیاس ناحیه‌ای پوشیده شده باشند. این تیپ کانسارها دارای ذخیره عظیمی می‌باشند و اغلب به صورت معادن زیر زمینی برداشت می‌شوند. سنگ‌های شیلی و کربناتی سد ژئوشیمیایی مناسبی را در مقابل حرکت سیالات کانه‌ساز (با دمای ۵۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد) ایجاد می‌کنند و از این طریق باعث ته‌نشست کانه‌های فلزی می‌گردند. سنگ میزبان شیل‌ها یا کربنات‌ها و یا سنگ‌های مجاور آن‌ها، ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومرا می‌باشند. این نوع کانسارها در موقعیت تکتونیکی آلاکوژن و یا ریف‌ت درون قاره‌ای و محیط جزر و مدی تشکیل می‌شوند (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵؛ کاکس و همکاران، ۲۰۰۷). دگرسانی غالب در این کانسارها، Bleaching و دولومیتی شدن می‌باشد. مس در این دسته از کانسارها، از رسوبات Redbed کمر پایین تأمین می‌گردد (کرخام، ۱۹۹۶؛ هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵). خود رخساره احیایی روی سنگ‌های بازالتی موجود در محیط ریف‌تی قرار می‌گیرد.



شکل ۲۲-۰: شکل شماتیک از کانه‌زایی در کانسار وایت پاین، تیپ رخساره احیایی (ماک^۱ و هیشیما^۲، ۱۹۹۲) برگرفته از مقاله کاکس (۱۹۸۶).

در مواقعی که شاهی برای ریف‌ت‌شدگی دیده نمی‌شود، رخساره احیایی روی سنگ‌های رسوبی تخریبی قدیمی که دارای ماهیت تخریبی از سنگ‌های مافیک است، قرار دارد (براون، ۱۹۷۱؛ کاکس و

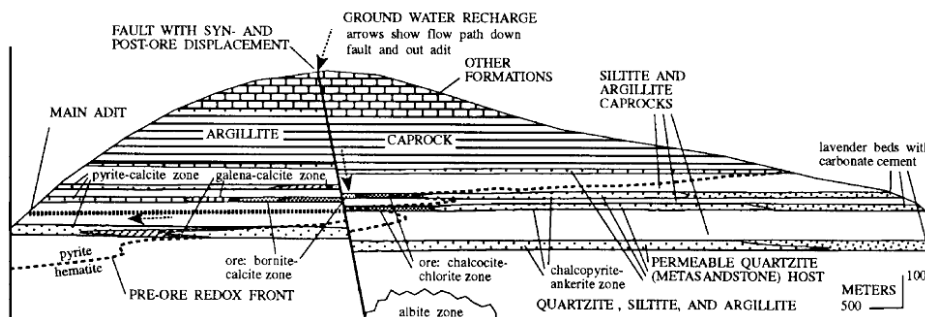
1 - Mauk

2 - Hieshima

همکاران، ۲۰۰۷؛ هیتزمن و همکاران، ۲۰۱۰). از مهم‌ترین کانسارهای این تیپ می‌توان به کانسار کوپرشیفر، کانسارهای مس زامبیا و کانسار Kamoto در کنگو اشاره نمود.

۲) مدل رخساره‌های ماسه‌سنگی احیایی (Revett: RV)

این مدل که با غنی‌شدگی نقره مشخص می‌گردد، دارای سنگ میزبان ماسه‌سنگ کوارتزی، متاسیلستون و شیل و رس می‌باشد. این سنگ‌ها معمولاً آثاری از دگرگونی را نشان می‌دهند. این تیپ ذخایر در طبقات ضخیم کوارتزیت احیایی (پیریت‌دار) که تا حدی دگرگون شده‌اند، یافت می‌شود. در این تیپ کانی‌سازی‌ها، گسل‌ها نقش کنترل‌کننده توزیع کانسنگ‌ها را ایفا می‌کنند. همچنین عامل احیا گسترده و پراکنده بوده و علاوه بر قطعات فسیل گیاهی، در برخی از کانسارها به صورت مایع و یا گاز هیدروکربوری دیده می‌شود (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷) (شکل ۷-۲). از مهم‌ترین کانسارهای این تیپ، کانسار Dzhezkazgan در قزاقستان و کانسار Spar Lake در مونتانی آمریکا می‌باشد.



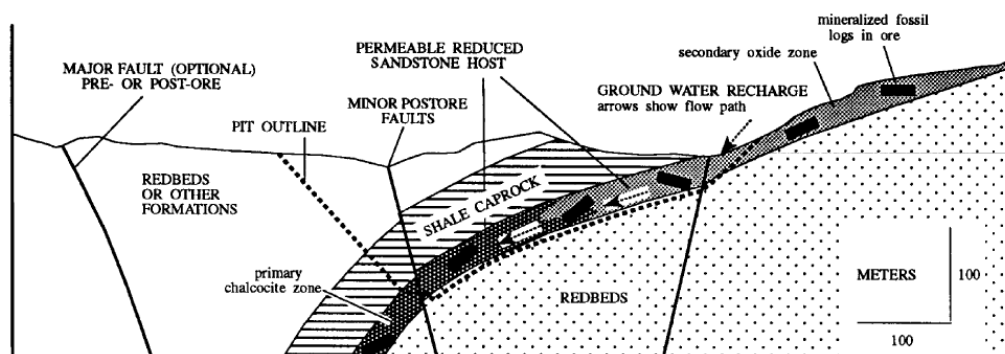
شکل ۲۳-۰: شکل شماتیک از کانه‌زایی تیپ رخساره ماسه‌سنگ احیایی (هایز، ۱۹۹۰؛ هائز و اینادی^۱)، برگرفته از مقاله کاکس (۱۹۸۶).

۳) مدل رخساره اکسیدی یا طبقات قرمز (Red Beds: RB)

کانسارهای Redbed، در توالی رسوبی-تخریبی شامل ماسه‌سنگ، کنگلومرا و کمی شیل تشکیل می‌شوند. محیط‌های ریفتی و کششی و نواحی گنبدی‌های نمک، برای تشکیل این کانسارها مناسب می‌باشند. محیط تشکیل این کانسارها، محیط‌های ساحلی و نواحی کم عمق است (کرخام، ۱۹۹۶؛

1 -Einaudi

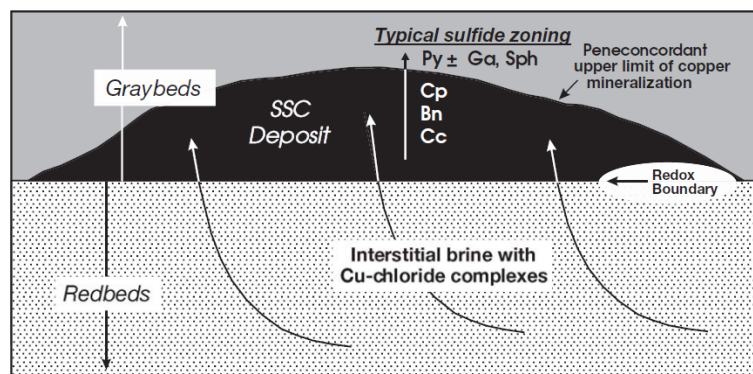
هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵). در کنسارهای نوع Redbed عامل احیا گستردگی کمتری دارد و غالباً شامل واریزه‌های ارگانیکی موجود در ماسه‌سنگ و به مقدار کمتر پیریت می‌باشد. دگرسانی غالب در این کنسارها، دگرسانی Bleaching بوده که در همه کنسارهای مس رسوبی نوع Redbed قابل مشاهده است (دورسون و مک‌اینتایر، ۲۰۰۵). این مدل کنسارها، ذخایر نسبتاً کمی دارند و اغلب نزدیک به سطح قرار گرفته، از این رو معدن‌کاری آن‌ها عمدتاً روباز صورت می‌گیرد. از مهم‌ترین کنسارهای این تیپ می‌توان به کنسارهای Nacimientو در ایالت نیومکزیکو آمریکا (وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴)، کنسار Corocoro در بولیوی (فلینت، ۱۹۸۹؛ آویلا سالیناز^۱، ۱۹۹۰) و کنسارهای Lisbon Valley و Cashin Mine (دورسون و مک‌اینتایر، ۲۰۰۵؛ مک‌اینتایر، ۲۰۰۵) در حوضه پارادوکس واقع در ایالت‌های یوتا و کلرادو آمریکا اشاره نمود.



شکل ۲۴-۰: شکل شماتیک از کانه‌زایی تیپ رخساره اکسیدی یا طبقات قرمز (تالبوت^۲، ۱۹۷۴؛ وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴)، برگرفته از مقاله کاکس (۱۹۸۶).

هر سه تیپ ذخیره ممکن است در یک ناحیه یافت شوند، زیرا هر سه مدل در ارتباط ژنتیکی با یکدیگر بوده و ممکن است از یک سیال کانه‌ساز سرچشمه گرفته باشند. گسترش زیاد شیل‌های سیاه و سنگ‌های آهکی احتمالاً تیپ رخساره احیایی، وجود شرایط احیایی محلی در طبقات قرمز احتمال تشکیل تیپ رخساره طبقات قرمز و گسترش شرایط احیایی در ماسه‌سنگ‌ها احتمال تشکیل تیپ ماسه‌سنگ احیایی را افزایش می‌دهد.

1 -Avila-Salinas
2 -Talbot



شکل ۲۵-۰: مدل تشکیل کانسارهای مس استراتی فرم و منطقه‌بندی کانی‌شناسی. Cc = کالکوسیت، Bn = بورنیت، Cp = کالکوپیریت، Py = پیریت، Ga = گالن و Sph = اسفالریت (براون، ۲۰۰۹).

کانی‌سازی مس در این ذخایر به صورت پراکنده، چینه‌کران و به صورت موضعی به شکل چینه‌سان یافت می‌شود. در کانسارهای این ذخایر ممکن است منطقه‌بندی کانه‌شناسی دیده شود. در این صورت کالکوسیت و بورنیت در بخش مرکزی و کالکوپیریت در بخش حاشیه‌ای و گالن و اسفالریت در بخش خارجی یافت می‌شود (براون، ۱۹۹۷؛ کاکس و همکاران، ۲۰۰۷؛ هیتزمن و همکاران، ۲۰۱۰) (شکل ۴-۷).

خصوصیات کلی کانسارهای مورد مطالعه در منطقه با هر یک از این سه تیپ کانسار مس رسوبی، در جدول (۷-۱) مقایسه شده است. با توجه به نوع سنگ درون‌گیر، نوع عامل احیا، محیط رسوبی و کانی‌شناسی، به نظر می‌رسد کانه‌زایی مس در محدوده مورد مطالعه در رده کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed قرار گیرد.

از مهم‌ترین تفاوت‌های کانسارهای مورد مطالعه با کانسارهای تیپ رخساره احیایی و رخساره ماسه‌سنگی احیایی، می‌توان به سنگ میزبان، کانی‌شناسی، عامل کنترل‌کننده و عامل احیا اشاره کرد. سنگ میزبان در کانسارهای مورد مطالعه ماسه‌سنگ و کنگلومرا است، در حالی که در تیپ رخساره احیایی شیل و کربنات، سنگ میزبان کانه‌زایی می‌باشند. کانسارهای تیپ رخساره احیایی و ماسه‌سنگ احیایی، علاوه بر کالکوسیت و بورنیت دارای کانی‌های گالن، اسفالریت، نقره طبیعی و مس طبیعی هستند. ولی این کانی‌ها، در کانسارهای مورد مطالعه یافت نمی‌شوند. هم‌چنین عامل

کنترل کننده در تیپ رخساره احیایی، شیل‌های سیاه پیریتی می‌باشد، ولی در کانسارهای مورد مطالعه عامل احیا و نفوذپذیری سنگ‌های میزبان، از عوامل کنترل کننده هستند. مهم‌ترین تفاوت این تیپ کانسارها با یکدیگر، گسترش و نوع عامل احیا است. به طوری که عامل احیا در کانسارهای مورد مطالعه گسترش کمی دارد و شامل کانی‌های احیایی و فسیل‌های گیاهی می‌باشد. ولی در کانسارهای تیپ رخساره احیایی و ماسه سنگ احیایی، عامل احیا گسترش زیادی دارد و حتی مواد هیدروکربنی (در رخساره ماسه‌سنگ احیایی) نیز می‌توانند نقش عامل احیایی را ایفا کنند.

جدول ۸-۰: مقایسه ویژگی‌های کانسارهای مس مورد مطالعه با انواع کانسارهای مس رسوبی.

نام کانسار	Reduced facies Cu	Revett Cu	Red Beds Cu	اسفیز	قندو	قنچی
موقعیت تکتونیکی	ریفت درون قاره‌ای	ریفت و به طور کلی محیط کشتی	محیط کشتی و نواحی دارای گنبد نمکی	محیط کشتی پشت کماتی		
محیط ته‌نشست	جزر و مدی	حوضه‌های بسته پلایا و محیط‌های ساحلی	محیط‌های ساحلی و نواحی کم عمق	رودخانه‌ای		
سنگ میزبان	شیل، سیلتستون، کربنات ریفی و شیل دولومیتی	سکانس ضخیم ماسه‌سنگی و به مقدار کمتر سیلتستون و شیل	سکانس تخریبی سرخ شامل ماسه‌سنگ و کنگلومرا	سکانس تخریبی سرخ شامل تناوب سیلتستون، ماسه‌سنگ و کنگلومرا		
سن	نئوپروتروزوئیک		ائوسن - الیگوسن			
شکل ماده معدنی	لایه‌ای، عدسی	عدسی، هم‌روند با لایه‌بندی	عدسی، هم‌روند با لایه‌بندی	رگه - رگچه‌ای	عدسی، هم‌روند با لایه‌بندی	رول فرونت، هم‌روند با لایه‌بندی
باقث	دانه پراکنده، جانشینی، لامینه و کلوفرم	دانه پراکنده و جانشینی	دانه پراکنده، جانشینی	دانه پراکنده، جانشینی، رگه - رگچه‌ای	دانه پراکنده، جانشینی، پرکننده فضای خالی	دانه پراکنده، جانشینی، پرکننده فضای خالی
کانی‌شناسی	کالکوسیت، بورنیت، کوپریت، کالکوپیریت، دیژنیت، مس طبیعی، پیریت، گالن و اسفالریت	کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، نقره طبیعی، گالن و اسفالریت	کالکوسیت، کوپریت، بورنیت، مس و نقره طبیعی	کالکوسیت، بورنیت، کوپریت، دیژنیت، مالاکیت و کریزوکلا	کالکوسیت، کوپریت، دیژنیت، کوپریت، مالاکیت و کریزوکلا	کالکوسیت، کوپریت، دیژنیت، مالاکیت و کریزوکلا
عامل کنترل کننده	محیط احیاء شامل شیل سیاه پیریتی، جلبک‌ها و سولفید بیوزنیک، نفوذپذیری رسوبات کمر پایین	نفوذپذیری لایه‌ها، وجود عامل احیاء، گسل خوردگی	نفوذپذیری لایه‌های ماسه‌سنگ و فسیل‌های گیاهی	وجود پیریت و مگنتیت به عنوان عامل احیاء، درزه و شکستگی‌ها	وجود فسیل گیاهی به عنوان عامل احیاء، نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود کانی‌های مافیک به عنوان عامل احیاء، نفوذپذیری سنگ میزبان
دگرسانی	Bleaching و دولومیتی شدن	Bleaching	Bleaching	Bleaching و سرسیتی شدن		
عامل احیاء	عامل احیا گسترده شامل مقادیر فراوان پیریت و جلبک	عامل احیا گسترده شامل واریزه‌های فسیل گیاهی و مواد هیدروکربوری	عامل احیا گسترش کمی دارد و شامل واریزه‌های فسیل گیاهی و پیریت	پیریت و مگنتیت موجود در سنگ میزبان	واریزه‌های فسیل گیاهی موجود در افق‌های کانهدار	کانی‌های مافیک موجود در سنگ میزبان
منبع مس	رسوبات سرخ کمر پایین	توالی سرخ رنگ	توالی سرخ رنگ	توالی سرخ رنگ موجود در منطقه		
مثال	کوپرشیر در آلمان، زامبیا و کاموتو در آفریقا	Dzhezkazgan در قرقازستان، Spar Lake در آمریکا	Nacimientو در Corocoro نیومکزیکو، در بولیوی			

برای روشن شدن هرچه بیشتر تیپ کانه‌زایی کانسارهای مورد مطالعه، و مقایسه آن با کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed در ادامه ویژگی‌های مهم این کانسارها با هم مقایسه شده است.

۳-۲۳ مقایسه کانه‌زایی کانسارهای مس شمال - شمال غرب تربت حیدریه با

ذخایر مس رسوبی نوع Redbed

۱-۲۳-۳ محیط تکتونیکی

بر اساس جاویت (۱۹۸۹) و کرخام (۱۹۹۶) کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed در بالای توالی رسوبات تخریبی قاره‌ای تشکیل می‌شوند که دارای خصوصیات حوضه‌های ریف‌ت قاره‌ای (Continental rift) هستند.

هیتزمن و همکاران (۲۰۰۵) معتقدند کانه‌زایی مس رسوبی غالباً در رسوبات Redbed پرکننده ریف‌ت درون قاره‌ای صورت می‌گیرد.

کاکس و همکاران (۲۰۰۷) محیط تکتونیکی تشکیل کانسارهای مس رسوبی Redbed را مربوط به حوضه‌های گسلیده در نواحی مختلف مانند ریف‌ها، حوضه‌های کششی و حوضه‌های فورلند می‌داند. منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات ساختمانی در پهنه ایران مرکزی و زیر پهنه سبزوار قرار دارد. پهنه سبزوار، در یک محیط کششی از نوع حوضه‌های پشت کمانی در اواخر پالئوسن تا اواسط ائوسن تشکیل شده است. این کشش در اثر فرورانش ورقه اقیانوسی سبزوار به زیر لبه جنوبی اوراسیا (البرز) رخ داده است (قاسمی و رضایی، ۲۰۱۴).

۲-۲۳-۳ سنگ میزبان

سنگ میزبان کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed ماسه‌سنگ، کنگلومرا و آركوز مربوط به

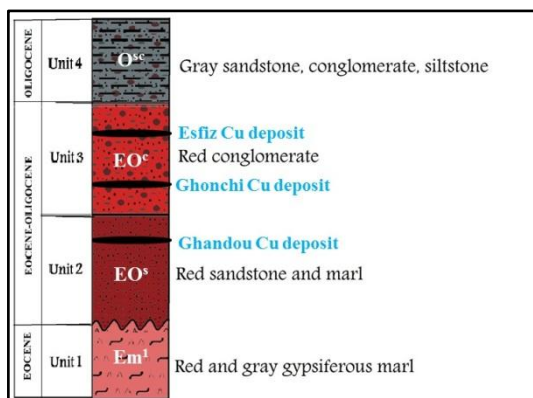
محیط‌های با انرژی بالا و دارای منشاء قاره‌ای می‌باشند (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷). هم‌چنین، براساس هیتزمن و همکاران (۲۰۰۵) کانسارهای مس رسوبی Redbed در فصل مشترک ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمز اکسیدان (هماتیت‌دار) و خاکستری احیایی (معمولاً پیریت‌دار) تشکیل می‌شوند. سنگ میزبان کانسار Nacimiento در نیومکزیکو، ماسه‌سنگ خاکستری موجود در توالی لایه‌های سرخ به سن تریاس است (وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴). میزبان اصلی کانسارهای مس رسوبی حوضه پارادوکس (مانند Lisbon Valley به سن کرتاسه زیرین و Cashin Mine به سن ژراسیک زیرین) نیز توالی ماسه‌سنگ و کنگلومرا است (دورسون، ۲۰۰۵؛ دورسون و مک‌این‌تایر، ۲۰۰۵).

کانه‌زایی در کانسارهای مس رسوبی منطقه تربت‌حیدریه، در ماسه‌سنگ و کنگلومرای ریز دانه موجود در افق‌های احیایی توالی سرخ رنگ، رخ داده است، که این واحدهای کانه‌دار بر روی واحدهای تبخیری (ژپس‌دار) قرار گرفته‌اند. یکی از ویژگی‌های مهم این کانسارها، کانه‌زایی مس درون کانال‌های قدیمی موجود در توالی سرخ رنگ می‌باشد. این کانال‌های قدیمی به صورت یک چرخه ریزشونده به سمت بالا هستند، که به ترتیب از کنگلومرای ریز دانه، ماسه‌سنگ و سیلتستون تشکیل شده‌اند.

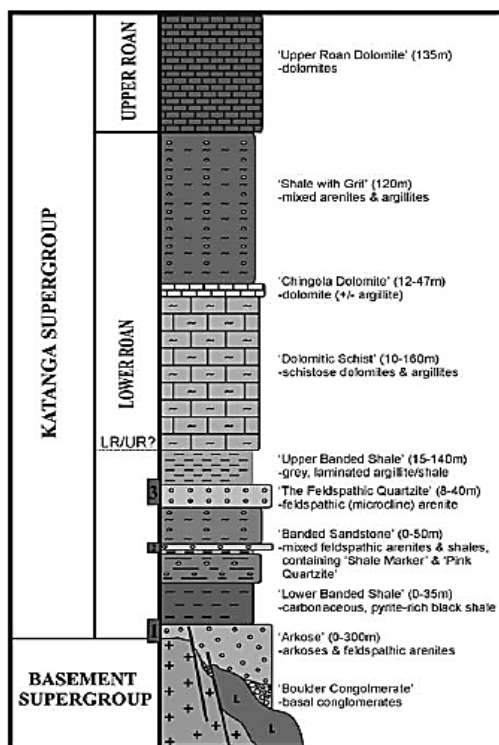
در شکل (۷-۵) توالی چینه‌شناسی واحدهای سنگی موجود در منطقه معدنی مورد مطالعه و کانسارهای شاخص مس رسوبی جهان، مثل کانسارهای کوپفرشیفر و زامبیا نشان داده شده است. توالی چینه‌شناسی در کانسار کوپفرشیفر از پایین به بالا شامل: کنگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل، سنگ آهک، دولومیت، سنگ آهک و انیدریت می‌باشد. همان طور که ملاحظه می‌کنید، در این کانسار تبخیری‌ها در قسمت بالای توالی قرار گرفته‌اند.

هم‌چنین در کانسار مس زامبیا در آفریقا توالی چینه‌شناسی از پایین به بالا عبارتند از: کنگلومرا، ماسه‌سنگ (آرکوز و فلدسپات ارنایت)، شیل سیاه پیریت‌دار، ماسه‌سنگ با میان لایه‌های شیل و کوارتزیت، کوارتزیت، شیل و سنگ آهک آرژیلتی، دولومیت شیست، دولومیت، شیل و در نهایت دولومیت. حضور واحدهای دگرگونی نظیر دولومیت شیست نشان‌دهنده رخداد دگرگونی در این

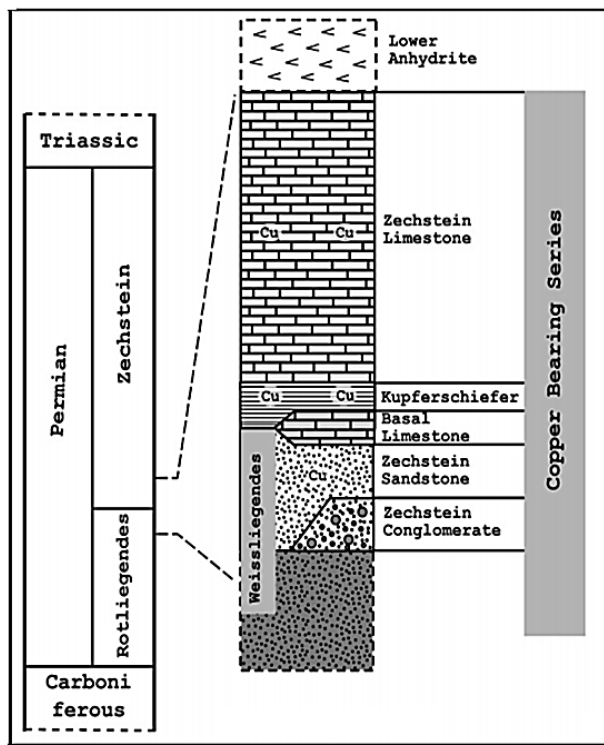
کانسار می‌باشد. کانسارهای مس رسوبی شمال - شمال غرب تربت حیدریه از پایین به بالا از واحدهای مارنی با میان لایه‌های ژئوپس، ماسه‌سنگ قرمز و مارن، کنگلومرای قرمز و سیلتستون تشکیل شده‌اند. در این کانسارها، واحدهای تبخیری در قسمت پایینی توالی قرار گرفته‌اند.



الف



ج



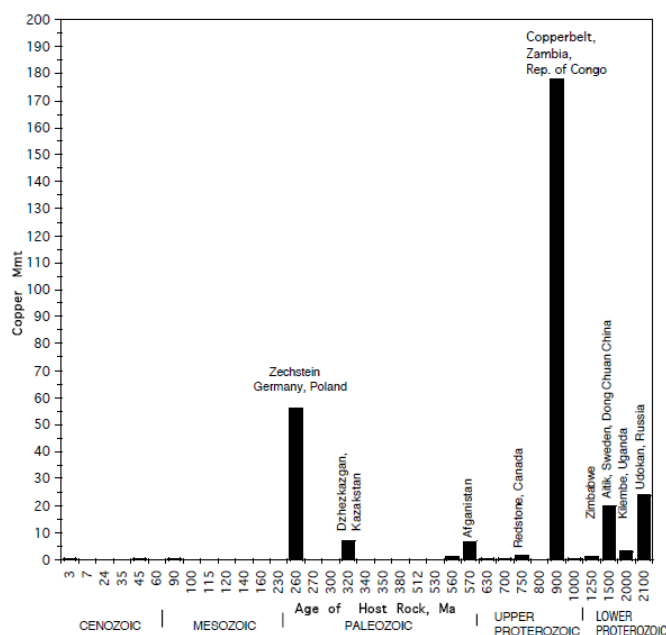
ب

شکل ۲۶-۰: توالی چینه‌شناسی واحدهای سنگی موجود در منطقه معدنی: الف) شمال - شمال غرب تربت حیدریه. ب) کوپفرشایفر (اوسزچپالسکی، ۱۹۹۹)، ج) زامبیا (رابرتز^۱ و مک‌گاون^۲).

1 - Roberts
2 - McGowan

۳-۲۳-۳ سن کانه‌زایی

این نهشته‌ها از نظر زمانی و مکانی توزیع گسترده‌ای، از پروتروزوئیک تا ترشیری دارند. اما فراوانی آن‌ها در پروتروزوئیک بالایی و پالئوزوئیک بالایی بیشتر است (شکل ۶-۷). هر دو دوره زمانی مذکور با ریفت ابرقاره‌ها، ته‌نشست تبخیری‌ها و دوره‌های یخچالی منطبق است (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵). کانسارهای مس رسوبی به سن آرکئن شناخته نشده‌اند (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷).



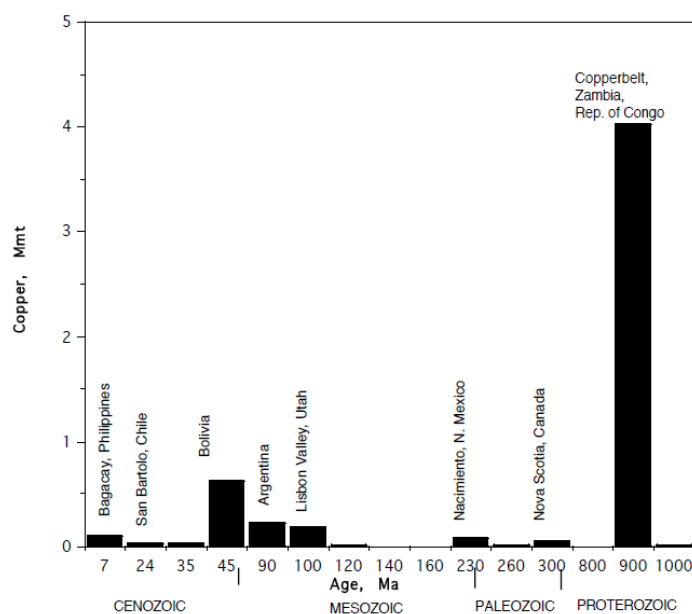
شکل ۲۷-۰: توزیع زمانی کانسارهای مس رسوبی. بیشترین فراوانی این کانسارها در پروتروزوئیک و اواخر پالئوزوئیک است (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷).

به طور کلی، کانسارهای مس رسوبی تیپ کوپرشیفِر: (۱) کمربند مس زامبیا به سن پروتروزوئیک میانی (فلایشِر^۱ و همکاران، ۱۹۷۶) و (۲) کانسارهای کوپرشیفِر در آلمان و لهستان در پالئوزوئیک فوقانی (پرمین) (اوسزچپالسکی، ۱۹۹۹) گسترش دارند. در صورتی که کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed علاوه بر پروتروزوئیک میانی، در اواخر مزوزوئیک و اوایل ترشیری (مانند کانسار Argon در اسپانیا) نیز گسترش زیادی دارند. از کانسارهای به سن مزوزوئیک می‌توان به کانسارهای Lisbon Valley به سن کرتاسه زیرین، Cashin Mine به سن ژوراسیک زیرین و Nacimientو به سن تریاس

1 - Fleischer

در آمریکا اشاره نمود (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷) (شکل ۷-۷).

مطالعات چینه‌شناسی انجام شده توسط آقانیاتی (۱۳۸۳) در ایران مرکزی و منطقه تربت حیدریه نشان می‌دهد، در این منطقه نهشته‌های سرخ رنگی با سیمای مشابه سازند سرخ بالایی وجود دارد که کانه‌زایی مس در داخل ماسه‌سنگ و کنگلومرای این توالی با سن ائوسن - الیگوسن رخ داده است. اما سن کانه‌زایی پس از راسب شدن سنگ میزبان است. همان طور که در جدول (۵-۱) آورده شده است، کانه‌زایی در این منطقه پس از دیاژنز آغازین و قبل از تدفین عمقی رخ داده است.



شکل ۲۸-۰: توزیع زمانی کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed. این کانسارها علاوه بر پروتروزوئیک، فراوانی قابل توجهی در ژوراسیک، کرتاسه و اوایل ترشیری داند (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷).

۳-۲۳-۴ محیط تشکیل

وجود توالی‌های ضخیم Redbed و سنگ‌های تبخیری، بیانگر تشکیل سنگ میزبان کانسارهای مس رسوبی در آب و هوای قدیمه گرم و خشک و عرض‌های جغرافیایی پایین (۲۰-۳۰ درجه) می‌باشد (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵؛ کاکس و همکاران، ۲۰۰۷؛ لیفی‌بور^۱ و آلدریک^۲، ۱۹۹۶). محیط‌های ساحلی، دریاچه‌ای و یا دریایی کم عمق قاره‌ای و حوضه‌های تبخیری مرتبط با آن‌ها برای

1 - Lefebure
2 - Alldrick

تشکیل کانسارهای مس رسوبی مناسب هستند.

در منطقه مورد مطالعه وجود چرخه‌های ریزشونده به سمت بالا با قاعده فرسایشی، وجود ساختارهای مربوط به محیط‌های قاره‌ای از قبیل ترک‌های گلی، ساختارهای رسوبی یک جهتی مانند ریپل‌مارک، مشخصات بافتی (جهت‌یافتگی در پیل‌ها، جورشدگی متوسط تا ضعیف و ذرات نیمه گرد شده تا زاویه‌دار)، رنگ قرمز رسوبات و نیز وجود کانال‌های قدیمه همگی مؤید محیط رسوبی رودخانه-ای در این منطقه می‌باشد.

۳-۲۳-۵ شکل هندسی ماده معدنی

اکثر کانسارهای مس رسوبی، چینه‌سان هستند (براون، ۱۹۹۷). واژه چینه‌سان برای این کانسارها، بیشتر شکل هندسی کانسار مدنظر را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، بیشتر کانسارهای مس رسوبی هم‌روند با لایه‌بندی سنگ میزبان تشکیل می‌شوند. کرخام (۱۹۸۹) معتقد است شکل هندسی این کانسارها از حالت صفحه‌ای با گسترش افقی زیاد تا صفحه‌ای و هلالی شکل با گسترش افقی محدود، تغییر می‌کند.

به طور کلی، توده معدنی هم‌روند با لایه‌بندی است. با این حال، می‌تواند با زاویه کم لایه‌بندی را قطع کند. کانه‌زایی، معمولاً در چند افق، با ضخامت‌های متفاوت (ده‌ها سانتی‌متر تا چند متر) رخ می‌دهد. گسترش جانبی کانسارهای نوع صفحه‌ای به ده‌ها کیلومتر نیز می‌رسد (لیفی‌بور و آلدریک، ۲۰۰۳). بعضی از کانسارها، در مقطع عرضی ساختاری شبیه رول فرونت دارند، مانند کانسار Mufulira در زامبیا (کرخام، ۱۹۸۹). هم‌چنین در کانسار Cashin Mine کانه‌زایی در ارتباط با گسل بوده و ماده معدنی درون شکستگی‌ها تمرکز پیدا کرده است (دورسون و مک‌این‌تایر، ۲۰۰۵).

در کانسارهای مورد مطالعه در منطقه تربت‌حیدریه کانه‌زایی در چند افق با ضخامت‌های مختلف رخ داده است. ضخامت این افق‌های کانه‌دار متغیر بوده (۲۰ سانتی‌متر تا یک متر) و به طور متوسط در حدود ۳۰ سانتی‌متر است. شکل ماده معدنی در هر یک از کانسارهای مورد مطالعه متفاوت است. در

کانسار اسفیز کانه‌زایی در ارتباط با گسل بوده و ماده معدنی درون شکستگی‌ها تمرکز پیدا کرده است، و شکل رگه- رگچه‌ای دارد. در کانسار قندو کانه‌زایی هم‌روند با لایه‌بندی بوده و دارای عدسی‌هایی از ماده معدنی می‌باشد. و در نهایت کانه‌زایی در کانسار قنچی ساختاری شبیه رول فرونت دارد.

۳-۲۳-۶ بافت ماده معدنی

به طور کلی، بافت‌های غالب در کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed دانه پراکنده و جانشینی است (براون، ۱۹۹۷؛ کاکس و همکاران، ۲۰۰۷؛ هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵). سولفید مس جانشین ماتریکس، سیمان و در بعضی کانسارها جانشین پیریت و واریزه‌های گیاهی می‌شود. هم‌چنین سولفیدها به صورت دانه پراکنده در بخش کانه‌زایی، دیده می‌شود. در کانسار Nacimiento سولفیدهای مس و آهن جانشین قطعات فسیل گیاهی شده‌اند (وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴). بخش‌های دارای جانشینی سولفید مس به جای سیمان کربناته در کمر بند مس زامبیا مشاهده می‌شود (دارنلی^۱، ۱۹۶۰).

مهم‌ترین بافت قابل مشاهده در این کانسارها، بافت جانشینی است. در کانسار اسفیز سولفیدهای مس مانند کالکوسیت و بورنیت جانشین مگنتیت و پیریت اولیه دانه پراکنده شده‌اند. در کانسار قندو سولفیدهای مس در مراحل اولیه کانه‌زایی در محل قطعات گیاهی تشکیل و جانشین قطعات فسیل گیاهی شده‌اند. سپس کالکوسیت جانشین شده در فسیل‌های گیاهی توسط کولیت جانشین می‌گردد. بنابراین تمام یا بخشی از فسیل گیاهی می‌تواند توسط سولفیدها جانشین شود. در کانسار قنچی مگنتیت و کالکوسیت در یک فاز کانه‌زایی و به صورت هم‌رشدی جانشین دانه‌های آواری شده‌اند.

از دیگر بافت‌های موجود در این کانسارها، می‌توان به بافت دانه پراکنده، پرکننده فضای خالی و رگه- رگچه‌ای اشاره کرد.

بافت دانه پراکنده عمدتاً در بخش‌های نفوذپذیر و هم‌چنین اطراف قطعات فسیل گیاهی دیده

1 -Darnley

می‌شود. سولفیدهای مس، کانی‌های پیریت، اکسیدهای آهن، مالاکیت و کریزوکلا موجود در کانسارهای قندو و قنچی دارای این بافت هستند.

بافت پرکننده فضای خالی حالت خاصی از بافت دانه پراکنده است که در آن تمرکز سولفیدها در اطراف فضاهای خالی زیاد است و به آن سیمان بین دانه‌ای نیز گفته می‌شود. این بافت در کانسارهای مورد مطالعه به شکل‌های مختلف دیده می‌شود. در کانسار قندو این بافت به صورت پچ‌هایی درون حفرات و فضاهای خالی ایجاد شده است. در کانسار قنچی به دلیل بالا بودن تخلخل و فضای بین دانه‌ها بافت پرکننده فضای خالی بیشتر به صورت پراکنده در متن سنگ دیده می‌شود.

بافت رگه- رگچه‌ای در توالی چین‌های و نمونه‌های دستی کانسار اسفیز قابل مشاهده است. به طوری که کانی‌های فلزی در داخل درز و شکاف‌ها قرار گرفته‌اند.

۳-۲۳-۷ کانی‌شناسی

تمامی کانسارهای مس رسوبی دارای کالکوسیت و دیگر سولفیدهای مس، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت و گاهی اسفالریت و گالن هستند (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷). کالکوسیت نزدیک به منشاء اکسیدان و پیریت نزدیک به منبع احیایی تشکیل می‌شود. اورانیوم ممکن است اطراف آلی تجمع یابد. هم‌چنین مس طبیعی در محیط‌های فقیر از گوگرد تشکیل می‌شود (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷). کانی‌شناسی در کانسارهای مورد مطالعه شامل کالکوسیت، بورنیت، پیریت، مگنتیت، کولیت، دیژنیت و کوپریت است. مالاکیت و کریزوکلا در سطح شکستگی‌ها و اطراف سولفیدهای مس حضور دارند. این کانی‌شناسی شبیه کانی‌شناسی در کانسارهای تیپ Redbed از قبیل Nacimiento و Cashin Mine می‌باشد.

کانی‌های موجود در کانسار Cashin Mine (در کلرادو با میزبان ماسه‌سنگی) شامل پیریت، اسفالریت، گالن، آرژانتیت، کالکوسیت، دیژنیت، بورنیت، کولیت، کالکوپیریت، انارژیت، تنانتیت، تنوریت و کوپریت می‌باشند (دورسون و مک‌این‌تایر، ۲۰۰۵).

در کانسار Nacimiento (در نیومکزیکو و با میزبان ماسه‌سنگی)، کانی‌های اصلی شامل کالکوسیت،

بورنیت، کالکوپیریت و پیریت می‌باشد. نقره طبیعی در ارتباط با سولفیدهاست. در این کانسار به مقدار کمتر کوپریت و مس طبیعی یافت می‌شود (وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴).

۳-۲۳-۸ دگرسانی

در کانسارهای مس رسوبی حرکت سیالات کانه‌ساز، در سنگ میزبان باعث ایجاد دگرسانی گسترده می‌شود که به عنوان راهنمای اکتشافی محسوب می‌شود (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵). سنگ‌های میزبان در برگیرنده کانه‌زایی مس، در هنگام ته‌نشست قرمز نیستند. با گذشت زمان و طی فرآیند دیاژنز آغازین (Early diagenesis) کانی‌های سیلیکاته ناپایدار آهن‌دار مانند پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند موجود در بین رسوبات، دگرسان شده و آهن موجود در شبکه آن‌ها آزاد می‌شود. این آهن آزاد شده به صورت آمورف در اطراف کانی‌ها رسوب کرده و باعث قرمز شدن رسوبات می‌گردد (والکر، ۱۹۸۹).

دگرسانی اصلی کانسارهای مس رسوبی اصطلاحاً از نوع سبز، سفید یا خاکستری شدن یا شستشو (Bleaching) سنگ‌های در برگیرنده است (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷؛ هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵). سیالات درون سازندی، در مجاورت با عوامل احیا (نظیر مواد آلی) احیا می‌شود و در مسیر خود از میان سنگ میزبان، در اثر واکنش با رسوبات قرمز رنگ، موجب دگرسانی Bleaching می‌شوند (فصل ۴).

دگرسانی Bleaching در مقیاس وسیع در حوضه پارادوکس برای کانسارهای مس تشکیل شده در این حوضه، تشخیص داده شده است. مطالعات اخیر صورت گرفته در این منطقه (بیتلر^۱ و همکاران، ۲۰۰۳) نشان می‌دهد که وسعت زیادی از لایه‌های سرخ ژوراسیک این منطقه دچار دگرسانی Bleaching گردیده‌اند.

در کانسارهای اسفیز و قنچی، سنگ‌های میزبان به صورت هم‌روند با لایه‌بندی دچار دگرسانی Bleaching شده‌اند. این دگرسانی با رنگ سفید یا سبز-خاکستری از سایر لایه‌ها قابل تشخیص

1 - Beitler

می‌باشد. در کانسار قنچی دگرسانی شدیدتر بوده و باعث از هم پاشیدگی سنگ‌ها شده است (فصل ۴).

۳-۲۳-۹ عیار و تناژ

تناژ متوسط کانسارهای مس رسوبی ۱۱ میلیون تن است. تناژ متوسط کانسارهای نوع رخساره احیایی ۳۳ میلیون تن، نوع Revett ۱۴ میلیون تن و نوع Redbed ۱/۲ میلیون تن می‌باشد. همچنین عیار متوسط مس در کانسارهای مس رسوبی نوع رخساره احیایی ۲/۳ درصد، نوع Redbed ۱/۷ درصد و نوع Revett ۰/۷۹ درصد است. عیار نقره در این کانسارها به طور متوسط ۳۰ گرم بر تن و عیار کبالت ۰/۲ می‌باشد (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷؛ کرخام و همکاران، ۱۹۹۴). عیار و تناژ در کانسارهای مورد مطالعه نامشخص است.

۳-۲۴ نحوه تشکیل و مدل ژنتیکی

در بررسی نحوه تشکیل کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed عواملی مانند منشاء سیال کانه‌ساز، منشاء سولفور، منشاء فلزات و فرآیندهای دگرسانی و حرکت سیالات مؤثر در کانه‌زایی باید مورد بررسی قرار گیرند. در ادامه هر یک از این پدیده‌ها به اختصار مورد بررسی قرار گرفته و سپس با توجه به مطالب ارائه شده، مدل تشکیل کانسارهای مس رسوبی منطقه مورد مطالعه ارائه خواهد شد.

۳-۲۴-۱ منشاء فلزات

طبق بررسی‌های صورت گرفته توسط کرخام (۱۹۹۶)، هیتزمن و همکاران (۲۰۰۵) و کاکس و همکاران (۲۰۰۷) منشاء فلزات در کانسارهای مس رسوبی، سنگ‌های رسوبی طبقات قرمز (Redbed) که دارای اکسیدهای آهن آمورف هستند که همراه خود مقداری فلز پایه دارند (والکر، ۱۹۸۹). همچنین در برخی از حوضه‌ها، مخصوصاً حوضه‌های تشکیل شده در مراحل اولیه ریفت، لایه‌های سرخ قاعده‌ای دارای سنگ‌های آتشفشانی (غالباً بازالت) هستند. این سنگ‌ها می‌توانند منشاء مهمی برای مس و دیگر فلزات محسوب شوند. لایه‌های سرخ (Redbed)، سیکل اول رسوب‌گذاری را در

محیط‌های ریفتی و حاشیه آن تشکیل می‌دهند (والکر، ۱۹۸۹). این رسوبات در هنگام ته‌نشست، حاوی مقادیر فراوانی کانی‌های آواری سیلیکاته ناپایدار مانند پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت، پیروکسن، مگنتیت و قطعات سنگی (حاوی کانی‌های ناپایدار) هستند. که همه آن‌ها مقادیری مس و دیگر فلزات غیر آهنی درون شبکه خود دارند. که ممکن است حین دیاژنز اولیه ضمن تولید هیدروکسیدهای آهن وارد آب‌های سازندی شوند.

با توجه به این که سنگ میزبان کانسارهای مس رسوبی در عرض‌های جغرافیایی پایین تشکیل می‌شوند، حاوی مقادیر فراوانی کانی‌های تبخیری و مقداری مواد آلی هستند. مواد آلی با تولید اسید هومیک باعث کاهش pH محیط و هیدرولیز کانی‌های سیلیکاته می‌شوند، که این خود باعث ایجاد یک محیط اکسیدان می‌گردد (والکر، ۱۹۸۹). آهن آزاد شده از دانه‌های آواری آهن‌دار مانند هورنبلند و بیوتیت، به صورت اکسید آهن سه ظرفیتی آمورف، در اطراف دانه‌های آواری رسوب می‌نمایند. این فرآیند باعث قرمز شدن رسوبات Redbed می‌شود. بنابراین، رسوبات لزوماً در هنگام ته‌نشست قرمز نبوده‌اند. اکسیدهای آهن، کلوئیدهایی دارای بار الکتریکی منفی می‌باشند که جاذب عناصر فلزی (از جمله فلزات پایه و کمیاب) می‌باشند، که در طی تبدیل این اکسیدها به کانی هماتیت، این عناصر از درون شبکه آن‌ها آزاد می‌گردند.

طبق شواهد به دست آمده از کانسارهای مورد مطالعه به نظر می‌رسد در کانسار اسفیز منشاء فلزات به ویژه مس، بازالت‌های دگرسان شده قسمت پایینی توالی کانسار باشد. این فلزات توسط شکستگی‌های موجود در توالی کانسار، به کنگلومرای احیایی منتقل شده و به دلیل وجود شرایط احیایی، ایجاد کانه‌زایی کرده‌اند. در کانسارهای قندو و قنچی منشاء فلزات، کانی‌های آواری سیلیکاته ناپایدار مانند پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت، پیروکسن و قطعات سنگی موجود در لایه‌های سرخ می‌باشند.

بر اساس والکر (۱۹۸۹) این فلزات طی دو مرحله دگرسانی می‌توانند از داخل کانی‌ها جدا شوند:

۱) دگرسانی‌هایی که در مرحله دیاژنز آغازین رخ می‌دهند.

۲) دگرسانی‌هایی که در مراحل بعدی و پس از مرحله دیاژنز آغازین به وقوع می‌پیوندند.

۳-۲۴-۲ دگرسانی و دیاژنز

۳-۲۴-۱-۲ دگرسانی در مرحله دیاژنز آغازین

این مرحله دگرسانی شامل انحلال کانی‌های سیلیکاته ناپایدار و شسته شدن بیوتیت می‌باشد. هنگام ته‌نشینی رسوبات به همراه دانه‌های آواری، کانی‌های آواری سیلیکاته ناپایدار ماند هورنبلند، پلاژیوکلاز و بیوتیت نیز ته‌نشین می‌شوند. بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط والکر (۱۹۸۹)، وجود مقادیری مس در شبکه این کانی‌های ناپایدار اثبات شده است (جدول ۷-۲). مس موجود در این کانی‌ها می‌تواند در اثر دیاژنز اولیه و هیدرولیز، از شبکه آن‌ها آزاد و در سیال کانه‌ساز به صورت محلول وارد و حمل شوند. در طی انحلال، همه عناصر شیمیایی درون کانی، مانند مس، سرب و روی آزاد می‌شوند. در صورتی که شرایط شیمیایی، برای حفظ یون‌های فلزی در محلول، فراهم باشد فلز می‌تواند توسط سیالات حمل شود. بخشی از این عناصر نیز می‌توانند توسط هیدروکسیدهای فریک یا کانی‌های رسی جذب شوند و فلزات را در خود حفظ کنند. بیوتیت نسبت به هورنبلند و پلاژیوکلاز کمتر آلت‌ر می‌شود. تغییر مهمی که در این کانی رخ می‌دهد، احاطه شدن بیوتیت توسط هیدروکسیدهای آهن قرمزی است که از درون کانی شسته و آزاد شده است (والکر، ۱۹۸۹).

با توجه به فراوانی پلاژیوکلاز و بیوتیت در سنگ‌های موجود در توالی سرخ رنگ منطقه تربت حیدریه، و نیز قابلیت این سیلیکات‌ها، این کانی‌ها می‌توانند منشاء مهمی برای تأمین فلزات در کانسارهای منطقه باشند. همچنین مطالعات میکروسکوپی این کانسارها، نشان‌دهنده انحلال کانی‌های سیلیکاته مخصوصاً پلاژیوکلازها می‌باشد (شکل ۵-۱۳ و ۵-۱۵). در برخی قسمت‌ها نوار باریک هیدروکسید آهن اطراف دانه‌های بیوتیت را احاطه کرده است (شکل ۵-۱۴).

جدول ۹-۰: محتوای مس موجود در کانی‌های ناپایدار ماسه‌سنگ‌های سیکل اول (والکر، ۱۹۸۹).

نام کانی	میانگین محتوای مس
پیروکسن	۱۲۰
بیوتیت	۸۶
آمفیبول	۷۸
مگنتیت	۷۶
پلاژیوکلاز	۶۲
پتاسیم فلدسپار	۲۰ - ۱

۳-۲۴-۲-۲ دگرسانی پس از مرحله دیاژنز آغازین

با ادامه فرآیندهای مهمی از قبیل: پایدار شدن هیدروکسیدهای آمورف آهن و تبدیل آن‌ها به هماتیت، تبدیل اسمکتیت به ایلیت، جانشینی فلدسپات و کانی‌های رسی به وسیله سیمان کربناته و آلبیتی شدن کانی‌های رسی رخ می‌دهد. که همه این‌ها می‌تواند منجر به آزاد شدن مقدار زیادی فلزات کمیاب از شبکه این کانی‌ها گردد (والکر، ۱۹۸۹). در این بین، بلوغ هیدروکسیدهای آهن و تبدیل آن به هماتیت و تبدیل اسمکتیت به ایلیت دارای اهمیت بیشتری است (والکر، ۱۹۸۹).

۳-۲۴-۳ منشاء سولفور

هیتزمن و همکاران (۲۰۰۵)، سه منشاء برای گوگرد در حوضه‌های رسوبی بیان کردند: (۱) سولفور حاصل از انحلال واحدهای تبخیری، (۲) مستقیماً از آب دریا به وجود می‌آید و (۳) H_2S موجود در نفت.

۱- سولفات موجود در واحدهای تبخیری توالی Redbed، در مرحله دیاژنز آغازین توسط باکتری‌های بی‌هوازی احیا می‌شود. باکتری‌های احیاکننده سولفات باعث ایجاد H_2S می‌شوند.

در نتیجه واحدهای تبخیری نقش مهمی در تأمین گوگرد، جهت کانه‌زایی ایفا می‌کنند (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵).

واحدهای تبخیری می‌توانند حل شوند و شورابه‌های غنی از سولفات را به وجود آورند، که منبع مهمی برای گوگرد خواهند بود.

ضخامت قابل توجهی از سنگ‌های تبخیری سولفات‌دار در بخش بالایی کوپرشیفر (زیگلر^۱، ۱۹۸۲؛ گلنی^۲، ۱۹۸۹) و کانسارهای کمر بند مس زامبیا (گارلیک^۳ و فلاشر، ۱۹۷۶؛ جکسون^۴ و همکاران، ۲۰۰۳) مشاهده شده است. در کانسار Lisbon valley در حوضه پارادوکس، واحدهای تبخیری در زیر توالی Redbed قرار گرفته‌اند. هم‌چنین واحدهای تبخیری می‌توانند درون توالی Redbed قرار گیرند، مانند کانسار Redstone (چارترند^۵ و همکاران، ۱۹۸۹).

۲- در بعضی از کانسارهای Early diagenesis سولفیدهای مس در عمق بسیار کم تشکیل شده‌اند. در این حالت سولفات موجود در آب دریا توسط باکتری‌های احیاکننده سولفات، احیا می‌گردد. به طور کلی، احیای باکتریایی سولفات، قبل از دفن رسوبات و در عمق کم (کمتر از ۵۰ سانتی‌متر) رخ می‌دهد (برنر^۶ و ریزول^۷، ۱۹۸۳).

۳- H_2S حاصل از تجزیه مواد نفتی، علاوه بر احیای محیط، نقش مهمی در تأمین گوگرد ایفا می‌کند. بر اساس تحقیقات انجام گرفته (دورسون، ۲۰۰۵؛ مک‌اینتایر، ۲۰۰۵) وجود مواد نفتی در بین واحدهای سنگ میزبان کانه‌زایی، نقش اصلی را در تأمین گوگرد و ته‌نشست سولفید ایفا کرده است.

در منطقه مورد مطالعه، به دلیل عدم حضور مواد هیدروکربنی، این مواد نقشی در احیای محیط، ایجاد دگرسانی و تأمین گوگرد ایفا نمی‌کنند. به دلیل نبود اطلاعات ایزوتوپی از کانسارهای مورد

1 - Ziegler
2 - Glennie
3 - Garlick
4 - Jackson
5 - Chartrand
6 - Berner
7 - Raiswell

مطالعه، تشخیص منشاء سولفور دشوار است. ولی بر اساس مطالعات صورت گرفته، واحدهای تبخیری موجود در کمر پایین توالی سرخ را می توان به عنوان منشاء سولفور در این کانسارها در نظر گرفت.

۳-۲۴-۴ تله های فلزی

در کانسارهای رسوبی برای تهنشست سولفیدها شرایط احیایی لازم است (رز، ۱۹۸۹). مواد آلی، هیدروکربن های متحرک و سولفیدهای از قبل موجود مانند پیریت دیاژنتیک از عوامل احیا در حوضه های میزبان این کانسارها می باشد (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵).

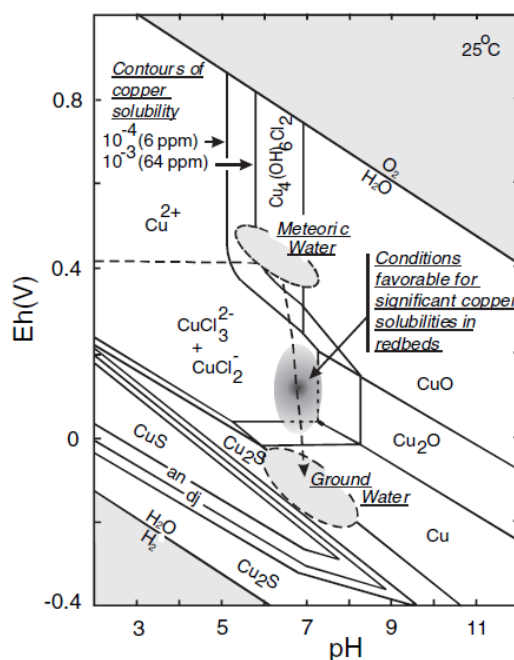
در هر یک از کانسارهای مورد مطالعه عامل احیا متفاوت است. در کانسار قندو، وجود مواد آلی (قطعات فسیل گیاهی) عامل تهنشست سولفیدها محسوب می شوند. ولی در کانسار اسفیز و قندو سولفیدهای دیاژنتیک (پیریت) و مگنتیت های دانه پراکنده با ایجاد شرایط احیایی باعث تهنشست سولفیدها شده اند.

۳-۲۴-۵ منشاء سیال

جهت تشکیل یک کانسار عمده مس با میزبان رسوبی به مقادیر بالایی از سیال نیاز است. سیالات موجود در فضاهای خالی رسوبات، می توانند ناشی از شورابه های مربوط به آب دریا، شورابه های تلخابی باقی مانده، شورابه های ناشی از انحلال تبخیری ها، سیالات آبگین ناشی از بلوغ هیدروکربن ها، بی آب شدن ژئیس، تبدیل اسمکتیت به ایلیت و واکنش های آب زدا مربوط به دگرگونی تدفینی درجه پایین باشند (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵). سیال کانه ساز یا دارای منشاء آب های جوی است، و یا در اثر وزن رسوبات بالایی به صورت شورابه های زیر زمینی از بین رسوبات خارج شده و به صورت های مختلف در مجموعه توالی Redbed به حرکت در می آید (براون، ۲۰۰۵).

محدوده مناسب جهت انحلال مس، توسط شورابه های کلریدی دما پایین در شکل (۷-۸) نشان داده شده است. آب جوی دارای شرایط کاملاً اکسیدان است. در صورتی که آب های زیرزمینی نزدیک

همچنین آب‌های زیرزمینی، در صورتی که تحت تأثیر واحدهای تبخیری، شرایط اکسیدان‌تری پیدا کنند، جهت حمل مس به صورت کمپلکس کلریدی مناسب می‌شوند. این سیالات نسبت به آب جوی، نقش مهم‌تری در تشکیل کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed ایفا می‌کنند (براون، ۲۰۰۵).



شکل ۲۹۰: محدوده مناسب جهت انحلال مس به صورت کمپلکس کلریدی در یک شوره دما پایین بهترین شرایط برای حمل کلرید مس، $\text{pH}=7$ و Eh پایین تر از آب جوی و بالاتر از شوره های زیرزمینی است (براون، ۲۰۰۵).

۱۸۳

۱- کانسارهایی که در آنها سیالات کانه‌ساز از آب جوی تغذیه می‌شوند. در این ذخایر عموماً پس از دیاژنز دفنی، آب جوی از طریق گسل‌های موجود در منطقه وارد توالی لایه‌های سرخ شده و با شستشوی لایه‌های سرخ ماسه‌سنگ، مس را شسته و در توالی شیل پوشاننده ماسه‌سنگ ته‌نشست می‌دهند.

۲- ذخایری که در آنها توالی ماسه‌سنگی میزبان کانه‌زایی و در ارتباط نزدیک با لایه‌های ضخیم تبخیری است. لایه‌های تبخیری مهم‌ترین منشاء شورابه‌های زیرزمینی اکسیدان در کانسارهای مس رسوبی با میزبان ماسه‌سنگی محسوب می‌شوند (براون، ۱۹۹۷؛ هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵).

۳- کانسارهایی که در آنها سیالات اکسیدان کانه‌ساز از آب بین سازندی درون توالی ماسه‌سنگی منشاء می‌گیرند. در این ذخایر شورابه‌های درون سازندی در اثر فشار لایه‌های فوقانی، درون توالی ماسه‌سنگی شروع به چرخش کرده و فلزات را از درون ماسه‌سنگ می‌شویند. برخورد این سیالات با ماسه‌سنگ حاوی مواد آلی موجب احیای سیالات و ته‌نشینی مس می‌گردد.

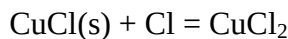
در منطقه مورد مطالعه سیال اکسیدان کانه‌ساز از آب بین سازندی توالی سرخ، و در اثر فشار لیتواستاتیکی لایه‌های بالایی (Compaction) و همچنین در اثر آب‌زدایی و انحلال کانی‌های تبخیری موجود در توالی کانسارها ایجاد می‌گردد.

۳-۲۴-۶ حرکت سیال

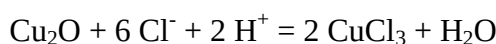
عبور سیال از واحدهای تبخیری و انحلال آنها باعث می‌گردد تا سیال کانه‌دار، در کانسارهای مس رسوبی، درجه شوری متوسط تا بالایی داشته و حاوی مقادیر زیادی کلر به صورت کمپلکس کلریدی باشد (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵).

تشکیل کمپلکس‌های قوی بین مس و یون کلر، در شورابه‌های دمای پایین توسط براون (۲۰۰۵) و

رز (۱۹۷۶) مورد بررسی قرار گرفته است. مهم‌ترین کمپلکس‌های کلریدی تشکیل‌شونده در شورابه‌های محبوس طبقات قرمز به شرح زیر می‌باشد (مسمر^۱ و بی‌آز^۲، ۱۹۷۴):



آب‌شویی مس از سنگ منشاء طبقات قرمز در pH پایین می‌تواند توسط واکنش زیر توجیه گردد (رز، ۱۹۷۶):



تبخیری‌هایی که معمولاً به صورت بین لایه‌ای همراه با طبقات قرمز قرار دارند، می‌توانند منشاء شورابه، در این واکنش باشد (رز، ۱۹۸۹).

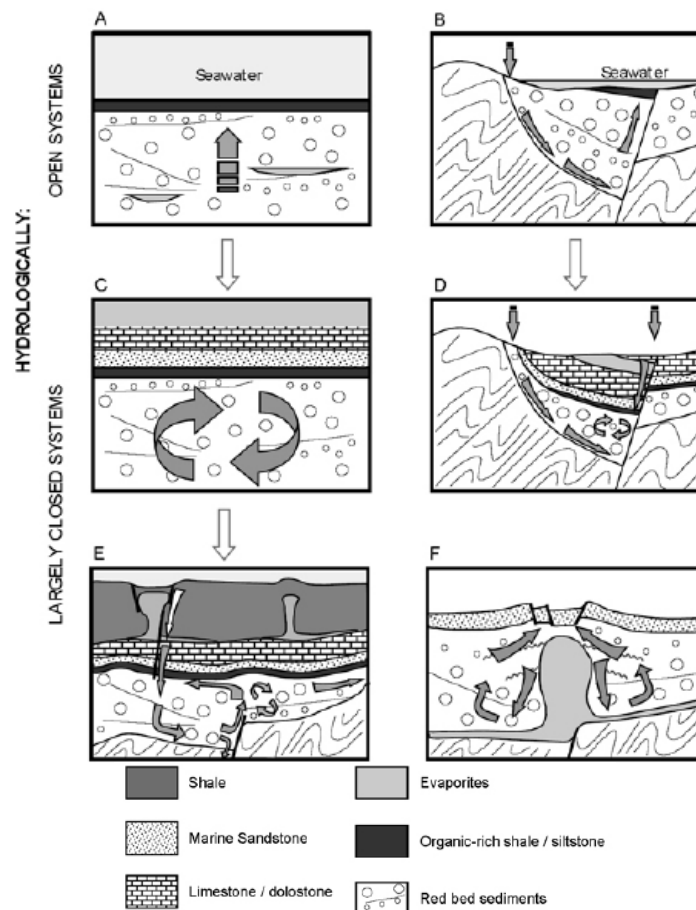
در شکل (۷-۹) مدل‌های مختلف حرکت سیال در کنسارهای مس رسوبی نشان داده شده است که به ترتیب عبارتند از (A) خروج سیالات از توالی سرخ در اثر فشار و حرکت به سمت شیل‌های کربن‌دار و سیلتستون‌های دریایی و دریاچه‌ای. (B) نفوذ سیالات بر اثر گراویده از طریق توپوگرافی کف حوضه و حرکت به سمت شیل‌های کربن‌دار و در نتیجه شستشوی توالی سرخ. (C) چرخش سیالات درون بخش‌های نفوذپذیر توالی سرخ، که توسط واحدهای نفوذناپذیر پوشیده شده است. (D) حرکت سیال بر اثر توپوگرافی، در رسوباتی که توسط لایه‌های نفوذناپذیر پوشیده شده است، و در نتیجه سیالات درون توالی سرخ به چرخش در می‌آیند. (E) حرکت سیال از طریق گسل‌ها و انحلال تبخیری‌ها و در نهایت، به چرخش در آمدن درون توالی سرخ. (F) تغذیه توالی سرخ توسط شورابه‌های حاصل از انحلال تبخیری‌ها و چرخش در توالی سرخ (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵).

به نظر می‌رسد تحرک مس در تشکیل افق‌های کانه‌دار منطقه مورد مطالعه، به واسطه دسترسی مس به لیگاندهای کلریدی و تشکیل کمپلکس‌های کلریدی بوده است. شورابه‌های کلریدی حاصل از تراکم و دیاژنز، مس را از کانی‌های مس‌دار طبقات قرمز موجود شسته و به واسطه نفوذپذیری بالای

1 - Mesmer

2 - Beas

ماسه‌سنگ و کنگلومرا و در برخی قسمت‌ها، حضور درز و شکستگی‌ها به بخش بالایی توالی رسوبی منتقل کرده‌اند.



شکل ۳۰-۰: مدل‌های مختلف حرکت سیال در کانسارهای مس رسوبی (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵).

۷-۲۴-۳ درجه حرارت تشکیل

علی‌رغم کمبود اطلاعات سیالات درگیر این توافق عمومی وجود دارد، که فلزات از منشاء خود تا محل ته‌نشست با سیالات آبگین درجه حرارت پایین تا متوسط (۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) و شوری متوسط تا بالا حمل می‌شوند. سولفیدهای مس نیز در حرارت‌های پایین تشکیل می‌شوند. مدرک خوب در این باره وجود کالکوسیت اورتورومبیک در برخی کانسارهاست که بالاتر از ۱۰۳ درجه پایدار نیست. هم‌چنین بورنیت غنی از گوگرد که در حرارت بالاتر از ۷۵ درجه، کالکوپیریت به صورت اکسلوشن از آن خارج می‌شود. وجود این کانی‌ها نشان می‌دهد که سنگ‌های میزبان در زمان

کانی‌سازی بیش از ۱۰۰ درجه گرم نشده‌اند (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵).

۳-۲۴-۸ انرژی لازم در سیستم

موضوع اساسی در تمامی کانسارهای مس با میزبان رسوبی وجود یک منبع انرژی برای به حرکت در آوردن سیال درون سکناس طبقات قرمز است. در سیستم‌های باز هیدرولوژیکی ورود سیالات بیرونی ممکن است برای به جریان انداختن سیالات کافی باشد. سیستم‌های بسته هیدرولوژیکی برای شروع چرخش به انرژی نیاز دارند. عامل دفن باعث حرارت می‌شود. گرادیان خیلی کم حرارتی ممکن است، باعث چرخش سیالات شود.

فعالیت آذرین به عنوان منبع فلزات و سولفور در چنین سیستم‌های کانساری اهمیتی ندارد، اما ممکن است در برخی حوضه‌ها حرارت لازم برای شروع چرخش سیالات را تأمین نماید همانند کمر بند مس زامبیا.

در حوضه‌هایی که با تکتونیک نمک همراه هستند، آنومالی‌های حرارتی با دی‌پایریسم نمکی همراه است که ممکن است برای شروع چرخش کافی باشد. در حوضه‌های دارای نهشته‌های تبخیری مهم، اختلاف درجه شوری سیالات موجود در فضاها می‌تواند باعث چرخش شود. به نظر می‌رسد انرژی لازم برای جریان سیال در کانسارهای مورد مطالعه عامل دفن و فشار لیتواستاتیکی ناشی از رسوبات بالایی باشد.

۳-۲۴-۹ نحوه تشکیل و مدل ژنتیکی کانسار مس رسوبی مورد مطالعه

۳-۲۴-۹-۱ مرحله قبل از کانه‌زایی

۱- در شمال شرقی ایران مرکزی به ویژه در حوضه‌های تربت‌حیدریه، تربت‌جام، کاشمر و ...، نهشته‌های سرخ رنگی با سیمای مشابه سازند سرخ بالایی وجود دارد (آقانباتی، ۱۳۸۳). این

توالی سرخ رنگ با سن ائوسن- الیگوسن در محیط رودخانه‌ای تشکیل شده‌اند، و شامل تناوبی از واحدهای مارن، سیلتستون، ماسه سنگ و کنگلومرا می‌باشد.

۲- طی (Syn depositiona) همزمان با نهشته گذاری فرآیندهای هیدرولیزی، موجب ناپایداری کانی‌های سیلیکاته موجود در توالی Redbed، مانند پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت می‌گردد. هیدرولیز این کانی‌ها موجب آزاد شدن آهن موجود در شبکه آن‌ها، به صورت هیدروکسید آهن فریک (پیش ماده اولیه هماتیت) می‌شود. هیدروکسیدهای آهن ایجاد شده در اطراف دانه‌های آواری تجمع پیدا می‌کنند و موجب قرمز شدن رسوبات در مراحل اولیه دیاژنز می‌گردند (فرآیند قرمز شدن (Redding)، در جدول ۵-۱).

۳- هم‌چنین در این مرحله و در اثر تخریب مواد آلی، اسید هومیک ایجاد شده و محیط اسیدی ناشی از آن، باعث ادامه تخریب برخی از کانی‌های سیلیکاته می‌گردد (تخریب مواد آلی (Organic destruction) در جدول ۵-۱). در اثر تخریب کانی‌های سیلیکاته و شسته شدن بیوتیت، عناصر فلزی موجود در شبکه آن‌ها آزاد شده و توسط هیدروکسیدهای آهن و کانی‌های رسی موجود در زمینه رسی ماسه‌سنگ، جذب می‌گردند.

۳-۲۴-۹-۲ مرحله کانه‌زایی

در مراحل بعدی دیاژنز، طی تبلور و بلوغ اکسیدهای آهن آمورف و تبدیل آن‌ها به هماتیت و هم‌چنین تبدیل اسمکتیت به ایلیت، محتوای فلزی درون این کانی‌ها از جمله مس و نقره آزاد گشته و این عناصر می‌توانند توسط سیال اکسیدان کانه‌ساز حمل گردند. این سیال اکسیدان کانه‌ساز در اثر فشار لیتواستاتیکی لایه‌های بالایی (Compaction) (که از دیاژنز آغازین تا دیاژنز پایانی ادامه دارد (جدول ۵-۱)، و در اثر آب‌زدایی و انحلال کانی‌های تبخیری موجود در توالی کانسارها ایجاد می‌گردد. این سیال که غنی از کلرید با شوری متوسط تا بالا می‌باشد، تحت تأثیر عامل دفن و فشار لیتواستاتیکی ناشی از رسوبات بالایی، در توالی سرخ به گردش در می‌آید. این سیال، مس و دیگر

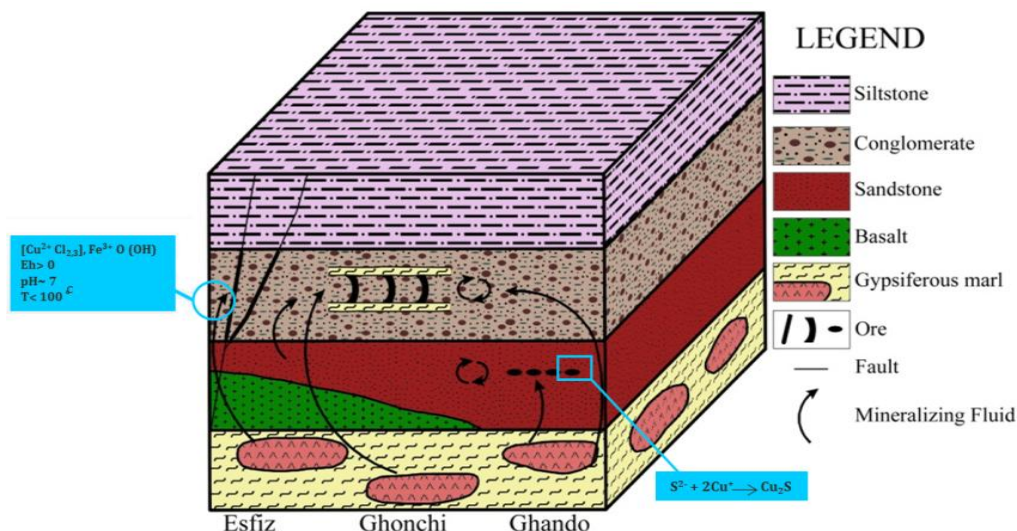
فلزات آزاد شده از کانی‌های ناپایدار را به صورت کمپلکس کلریدی حمل می‌نماید.

عوامل احیایی، در این کانسارها گستردگی کمی دارند. اما واریزه‌های فسیل گیاهی و نفوذپذیری سنگ میزبان و همچنین حضور پیریت به عنوان عوامل احیاءکننده محیط و حضور لایه‌های رسوبی تبخیری، به عنوان منبع احتمالی تامین‌کننده کمپلکس‌های کلریدی انتقال‌دهنده مس، نقش اساسی در انجام کانی‌سازی مس داشته‌اند.

وجود تمرکز بالای عوامل احیا، در برخی از افق‌های توالی سرخ، باعث می‌گردد که آب بین سازندی موجود در اطراف بخش‌های غنی از فسیل یا پیریت، احیا شده و موجب تشکیل سیال احیایی شود. باکتری‌های بی‌هوازی، سولفات موجود در آب بین سازندی را به H_2S احیا نموده و علاوه بر ایجاد گوگرد باعث دگرسانی Bleaching در افق‌های غنی از عوامل احیایی، می‌گردند. همان طور که در جدول (۵-۱) آورده شده است، دگرسانی Bleaching، پس از مرحله دیاژنز آغازین و در مرحله دیاژنز میانی رخ داده است.

سیال اکسیدان کانه‌دار در مسیر چرخش خود درون لایه‌های سرخ، با رسیدن به افق‌های احیایی، باعث ناپایدار شدن کمپلکس‌های کلریدی شده، و در نهایت سولفیدهای مس ته‌نشین می‌شوند. این فرآیند کمی پس از شروع Bleaching (محیط احیایی مناسب برای ته‌نشینی کانی‌های سولفیدی) رخ داده است. بنابراین کانی‌های سولفیدی مانند کالکوسیت و بورنیت با بافت جانشینی، دانه پراکنده و پرکننده فضای خالی در مرحله دیاژنز میانی تشکیل شده‌اند (جدول ۵-۱).

و در نهایت در مرحله پس از کانه‌زایی، بر اثر فرسایش افق‌های کانه‌دار، سولفیدهای آهن و مس و دیگر عناصر موجود در این افق‌ها، به کانی‌های سوپرژن و اکسیدی تبدیل می‌گردند. بر این اساس مدل ژنتیکی تشکیل کانسارهای مس رسوبی در منطقه مورد مطالعه در شکل (۷-۱۰) ارائه شده است.



شکل ۳۱-۰: مدل ژنتیکی تشکیل کانسارهای مس رسوبی در منطقه مورد مطالعه.

۳-۲۵ مثال‌هایی از کانسارهای مس با سنگ میزبان رسوبی در دنیا

کانسارهای مس چین‌سان- چین‌کران بعد از مس پورفیری منبع مهم مس دنیا به شمار می‌روند. این کانسارها از دو میلیارد سال قبل تا میوسن تشکیل شده‌اند (ساو‌کینز^۱، ۱۹۸۴). این کانسارها اکثراً در مراحل ابتدایی ریفت‌ها به وجود آمده‌اند. مهم‌ترین کانسارهای مس این نوع عبارتند از: کمر بند مس زامبیا، مس کوپفرشیفر در اروپا، وایت پاین در آمریکا. ویژگی‌های مهم‌ترین کانسارهای مس رسوبی دنیا در جدول (۷-۳) آورده شده است.

جدول ۱۰۰۰: ویژگی‌های مهم‌ترین کانسارهای مس رسوبی دنیا (گوستافسون و ویلیامز، ۱۹۸۱).

نام کانسار	کوپفرشیفر	زامبیا	ژئیر	وایت پاین
موقعیت تکتونیکی	ریفت درون قاره‌ای	ریفت درون قاره‌ای	ریفت درون قاره‌ای	ریفت درون قاره‌ای
سن	اوایل پرمین	اواخر پروتروزوئیک	اواخر پروتروزوئیک	اواخر پروتروزوئیک
سنگ‌شناسی	شیل، آهک، دولومیت، انیدریت و ماسه‌سنگ قرمز	شیل، دولومیت و کربنات	رسوبات تبخیری و کربنات	ماسه‌سنگ غنی از قطعات آتشفشانی، آرکوز، شیل و سیلتستون
میزان ذخیره	1000×10^6	28×10^6	1000×10^6	550×10^6
عیار مس (درصد)	۱/۴	۳/۴۷	۴/۵	۱/۲

1-Sawkins

۳-۲۵-۱ کمر بند مس آفریقا

این محدوده بزرگ‌ترین کانسار مس با سنگ میزبان رسوبی است که در کشورهای زامبیا، کنگو و زئیر توسعه دارد. ذخیره این کانسار در کنگو به بیش از ۱۰۰ میلیون تن و در زامبیا به حدود ۹۰ میلیون تن می‌رسد. این کانسار در طبقات پروتروزوئیک قرار داشته و علاوه بر مس دارای مقدار فراوان کبالت است. سن آن به ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ میلیون سال می‌رسد. توده‌های معدنی اصلی در رسوبات گروه کاتانگا قرار دارد، که در حوضه کراتنی و با امتداد شمال غربی رسوب کرده است. کنگلومراها، آرنایت‌ها و آرنایت‌های فلدسپاتی رخساره‌های قاره‌ای به سمت بالا، به رسوبات متنوع‌تری تبدیل می‌شوند که این امر نشانگر شرایط متلاطم دریایی است که به سمت شرق پیشروی کرده است (آنل^۱ و سیموند^۲، ۱۹۸۴).

کانه‌زایی کبالت در این کانسار، به خوبی مس می‌باشد. نسبت کبالت به مس به سمت بیرون توده‌های معدنی زئیر افزایش می‌یابد که شبیه منطقه‌بندی کانه‌های مس از کالکوسیت به بورنیت و کالکوپیریت می‌باشد. آنل و سیموند (۱۹۸۴) به دلیل وجود کبالت به مقدار فراوان، نتیجه گرفتند که فلزات از هوازدگی زمین‌های اطراف ساحل مشتق نشده است. بنابراین آن‌ها یک منشاء آتشفشانی مافیک وابسته به ریفت را برای این فلزات پیشنهاد کردند.

۳-۲۵-۲ کوپفرشیر اروپا

این نهشته احتمالاً شناخته شده‌ترین شیل غنی از مس دنیاست. سن آن پرمین پسین بوده و در ناحیه مانسفلد آلمان تقریباً ۱۰۰۰ سال مورد بهره برداری قرار گرفته است. کوپفرشیر در کشورهای آلمان، لهستان، هلند و انگلستان در حدود ۶۰۰ هزار کیلومتر مربع وسعت دارد. اگر چه در تمام کوپفرشیر مقدار فلزات پایه به نحو نابهنجاری بالاست اما فقط در نواحی محدودی عیارهایی در حد یک کانسنگ وجود دارد. برجسته‌ترین اکتشاف‌های اخیر مربوط به جنوب لهستان است که دو دهه

1 - Annels

2 - Simmonds

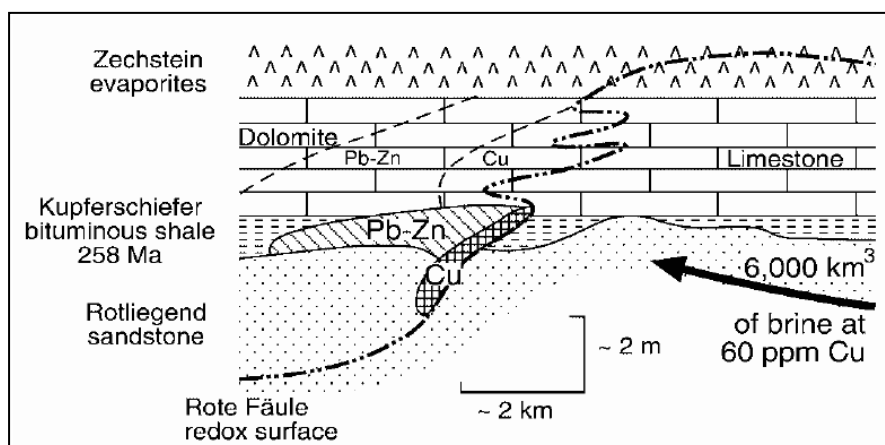
گذشته نهشته‌هایی در ژرفای ۶۰۰ تا ۱۵۰۰ متر در آن پیدا شده است (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷).

ضخامت کوپفرشیفر در این ناحیه بین ۰/۴ تا ۵/۵ متر متغیر است. میانگین مس حدود ۱/۵ درصد است و وجود ذخیره ۳۰۰۰ میلیون تنی با ۱ درصد مس لهستان را به اولین تولیدکننده مس در اروپا مبدل کرده است. کوپفرشیفر از لایه‌های متناوب نازک کربناتی، رس و مواد آلی همراه با بقایای ماهی تشکیل شده است، که موجب ایجاد رنگ خاکستری تیره تا سیاه می‌شود. کوپفرشیفر نخستین واحد پیشروی دریایی بر روی واحد غیردریایی روتلی جندز (Rotliegendes) پرمین زیرین است. روتلی جندز توالی ماسه قرمزی است که در زیر سنگ آهک زخ اشتاین (Zechstein) که به وسیله یک توالی ضخیم تبخیری پوشیده می‌شود، قرار می‌گیرد (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵) (شکل ۷-۱۱).

کوپفرشیفر و تبخیری‌های زخ اشتاین ممکن است نشان‌دهنده وجود یک محیط باتلاقی یا سبخایی باشد که هنگام پیشروی دریا بر روی ماسه‌های بیابانی تشکیل شده است. کانه‌زایی سولفید در سطح تماس میان توالی دریایی پرمین بالایی زخ اشتاین و لایه قرمز پرمین پایینی روتلی جندز قرار دارد (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵).

کانسنگ در کوپفرشیفر، سنگ آهک بالایی و ماسه سنگ زیرین قرار دارد (شکل ۷-۱۱). مس و دیگر فلزات در سراسر زمینه کانسنگ به صورت سولفیدهایی ریز دانه عمدتاً شامل بورنیت، کالکوسیت، کالکوپریت، گالن و اسفالریت پراکنده می‌باشند، که معمولاً جانشین سیمان کلسیتی قدیمی‌تر، قطعات سنگی و دانه‌های کوارتز و هم‌چنین سولفیدهای دیگر شده‌اند. رگچه‌های ژپس، کلسیت و سولفیدهای فلزات پایه در منطقه لوبین رایج می‌باشد. این رگچه‌ها را ناشی از شکسته‌شدگی هیدرولیکی می‌دانند. یک منطقه قرمزشدگی دیاژنزی که به عنوان رخساره روته فاوول شناخته شده است، بر روی افق‌های چینه‌شناسی پیشروی کرده است.

کانه‌زایی مس مستقیماً روی روته فاوول قرار می‌گیرد، و منطقه مس‌دار نیز خود به وسیله کانه‌زایی سرب و روی پوشیده می‌شود (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵).



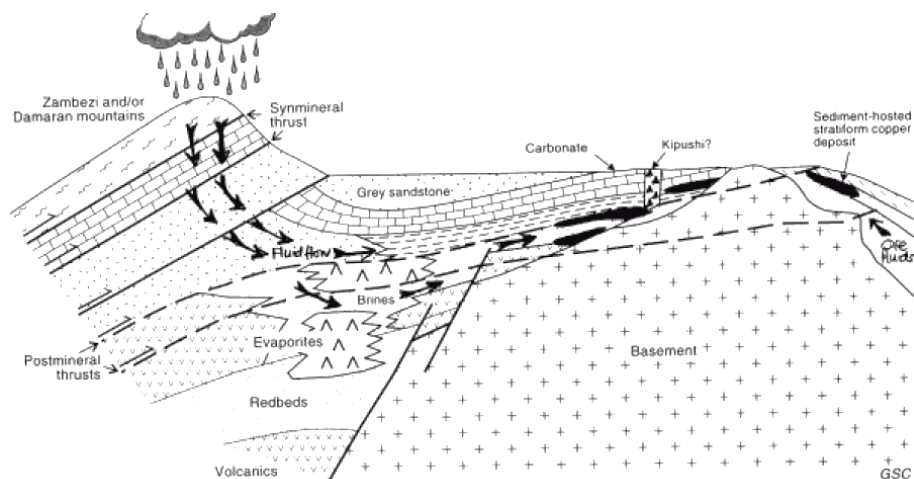
شکل ۳۲-۰: تصویر شماتیک از مقطع عرضی کانسار کوپفرشایفر (بلوندل^۱ و همکاران، ۲۰۰۳).

۳-۲۵-۳ کمر بند مس زامبیا

این کانسارها که بخشی از کمر بند بزرگ مس آفریقای مرکزی واقع در زامبیا و زئیر است، در حدود ۱۷ درصد مس جهان غرب را تولید می‌کند (شکل ۷-۱۲). کانی‌سازی در این کانسارها در اواخر پروتوزوئیک (۸۵۰-۱۳۰۰ میلیون سال پیش) صورت گرفته است (گستافسون^۲ و ویلیامز^۳، ۱۹۸۱). عیار کانسنگ در معادن اصلی از ۱/۴۹ تا ۲/۸۱ درصد متغیر است، افزون بر این از بعضی معادن، مقادیر قابل توجهی کبالت به عنوان محصولی جانبی به دست می‌آید. تقریباً تمام مس استخراج شده، از افق‌های محصور در رسوبات پروتروزوئیک کاتانگایی در لوفیلیان آرک (Lufilian Arc) به دست آمده است.

کاتانگا به طور دگر شیب روی یک پی سنگ گرانیت-شیست - کوارتزیت قرار می‌گیرد. در زامبیا بیشتر کانه‌زایی در سازند اور (Ore Formation) قرار دارد. شیل یا شیل دولومیتی سنگ میزبان، حدود ۶۰ درصد از منطقه مینرالیزه را تشکیل می‌دهد. توالی کمر پایین متشکل از کوارتزیت، ماسه‌سنگ‌های فلدسپاتی و کنگلومرایی با هر دو منشأ آبی و بادی است. سازند اور، معمولاً با ضخامت ۱۵ تا ۲۰ متر، به وسیله مجموعه‌های متناوبی از آرنایت و آرژیلیت پوشیده می‌شود.

1 - Blundell
2 - Gustafson
3 - Williams



شکل ۳۳-۰: شکل شماتیک از کانسار مس زامبیا (براون، ۱۹۹۷).

تمام سنگ‌ها و کانی‌های مس‌دار واقع در آن دگرگونی رخساره شیست سبز درجه پایین تا بالا را متحمل شده‌اند. این سنگ‌ها در برخی نقاط به شدت چین‌خورده‌اند. مس همراه با مقدار ناچیزی آهن و کبالت، بیشتر در بخش‌های زیرین سازند اور به صورت کانی‌های افشان بورنیت، کالکوپیریت، و کالکوسیت یافت می‌شود. بر خلاف کوپفرشیفر این کانسار فاقد سرب و روی می‌باشد (گستافسون و ویلیامز، ۱۹۸۱). در برخی نقاط کانه‌زایی در لایه‌های بالایی نیز سرایت می‌کند. حد بالایی و زیرین کانه‌زایی معمولاً مشخص و ناگهانی است (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵).

۳-۲۶ مهم‌ترین افق‌های کانه‌زایی مس رسوبی در ایران

کانه‌زایی مس رسوبی در ایران در ۴ افق متمایز رخ داده است. این افق‌ها، شامل (۱) سنگ‌های همراه با گنبد‌های نمکی پهنه زاگرس، (۲) سازند نایبند تریاس بالایی، (۳) سازند گردو ژوراسیک بالایی-ابتدای کرتاسه زیرین و (۴) سازند قرمز بالایی میوسن می‌باشد. در این بین سازند‌های گردو در حوضه راور-طبس و قرمز بالایی در حوضه تبریز-خوی در برگیرنده بخش عمده کانه‌زایی مس رسوبی در ایران هستند (آقازاده و بدرزاده، ۱۳۸۹).

۳-۲۶-۱ افق کانه‌زایی سازند نایبند (تریاس بالایی)

سازند نایبند کهن‌ترین واحد چینه‌ای گروه شمشک است که عمدتاً در حوضه ایران مرکزی گسترش دارد. این سازند در بر گیرنده بخشی از نهشته‌های زغالی ایران است. در سازند نایبند، در منطقه روستای بیداخوید تفت، کانه‌زایی مس رسوبی گزارش شده است (آقازاده، ۱۳۸۸). سنگ‌های رخنمون‌یافته در این محدوده شامل رخنمون‌های شیلی، ماسه‌سنگی، کوارتز آرنایتی، کنگلومرای و گاهی آهکی هستند. کانی‌سازی در لایه‌های سیلتستونی و ماسه‌سنگی و در بخش‌های غنی از مواد آلی تمرکز یافته است. با توجه به گسترش وسیع این سازند در حوضه ایران مرکزی، امید می‌رود که کانه‌زایی‌های مشابهی در نقاط مختلف ایران مرکزی در این سازند کشف شود.

۳-۲۶-۲ افق کانه‌زایی سازند گردو (ژوراسیک پایانی - ابتدای کرتاسه زیرین)

سازند گردو در حوضه ایران مرکزی گسترش دارد و در واقع یکی از مهم‌ترین افق‌های کانه‌زایی مس رسوبی در ایران می‌باشد. این سازند یکی از واحدهای چینه‌ای معرف ردیف‌های آواری سرخ رنگ اواخر ژوراسیک - اوایل کرتاسه ایران مرکزی است. در سازند گردو اندیس‌های مس رسوبی مارکشه، نجف آباد، باغ پهلوان، آغل مسی، تلنبه، کمر قرمز و چشمه سفید عشق آباد شناسایی شده است (آقازاده و ابراهیمی، ۱۳۸۵؛ آقازاده و فرد، ۱۳۸۵؛ مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶).

۳-۲۶-۳ افق کانه‌زایی سازند قرمز بالایی (میوسن)

هرچند که سازند قرمز بالایی در نواحی ایران مرکزی و آذربایجان گسترش زیاد دارد، ولی کانه‌زایی مس در این سازند فقط در نواحی آذربایجان، آن هم فقط در حوضه کوه‌های میشو و مورو گزارش شده است (آقازاده و فرد، ۱۳۸۵؛ آقازاده و فرد، ۱۳۸۹؛ نقی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶). کانه‌زایی مس رسوبی، از بخش خواجه تبریز تا روستای ولدیان خوی به طول تقریبی ۲۵۰ کیلومتر کشیده شده

است. این سازند در نواحی مورو و میشو دارای ترکیب سنگ‌شناسی کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلتستون، مارن ژئوپس و نمک‌دار و گاهی میان لایه‌های آهک می‌باشد. در حوضه تبریز- خوی، اندیس‌های متعدد مس رسوبی گزارش شده است (آقازاده و فرد، ۱۳۸۵؛ آقازاده و فرد، ۱۳۸۹؛ نقی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶). از جمله این اندیس‌ها می‌توان به چشمه کنان، چهرگان، زنجیره، ولدیان و آنا خاتون و معدن مس سرخه مرند اشاره کرد.

۳-۲۶-۴ کانه‌زایی مس رسوبی در ارتباط با گنبد‌های نمکی زاگرس

گنبد‌های نمکی زاگرس به سری هرمز تعلق دارند که در زمان پرکامبرین پسین - کامبرین پیشین نهشته شده‌اند. ترکیب سنگ‌شناسی سری هرمز شامل سنگ نمک، ژئوپس، سنگ آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ اکسیدی قرمز هماتیت‌دار، شیل‌های الوان، سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی می‌باشد. در گنبد نمکی سیاتک بندر خمیر، به عنوان نمونه‌ای از گنبد‌های نمکی پهنه زاگرس، در بخش‌های ماسه‌سنگی و شیلی اکسیدان، لایه‌های احیایی با کانه‌زایی مس رخنمون دارند.

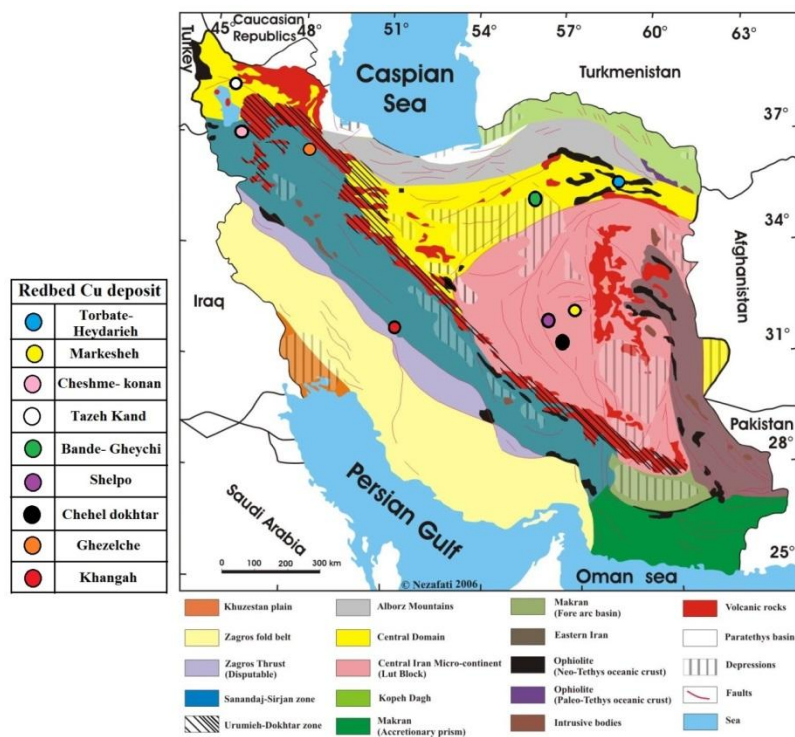
۳-۲۷ مثال‌های شاخص از کانسارهای Redbed در ایران و جهان

در شکل (۷-۱۳) پراکندگی کانسارهای مس تیپ Redbed در ایران نشان داده شده است. همچنین در جدول (۷-۴) دو کانسار Nacimiento در نیومکزیکو (وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴) و Lisbon Valley در کلرادو (دورسون، ۲۰۰۵)، به عنوان دو مثال شاخص از کانسارهای نوع Redbed مورد بررسی قرار گرفته است. این کانسارها، در توالی ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمز رنگ در یک محیط کشتی حاشیه ریفتی، تشکیل شده‌اند. مهم‌ترین تفاوت میان این دو کانسار، نحوه دگرسانی Bleaching و به تبع آن کانه‌زایی می‌باشد. دگرسانی Bleaching و کانه‌زایی در کانسار Nacimiento، در امتداد افق‌های ماسه‌سنگی و به صورت هم‌روند با لایه‌بندی سنگ میزبان می‌باشد. اما در کانسار Lisbon Valley، دگرسانی Bleaching و کانه‌زایی در اطراف گسل‌ها و گاهی در امتداد افق‌های

ماسه‌سنگی رخ داده است و کانه‌زایی دارای کنترل‌کننده گسلی می‌باشد.

هم‌چنین میزان نقره در کانسار Nacimiento، نسبت به کانسار Lisbon Valley بالاتر است. دیگر خصوصیات این دو کانسار مشابه یکدیگر است.

چند مثال از کانسارهای مهم ایران نیز که در این جدول ذکر شده است. که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به کانسارهای مارکشه در کرمان (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰) و تسوج در استان آذربایجان غربی (رجب‌پور و همکاران، ۱۳۹۲) اشاره کرد.



شکل ۳۴-۰: نقشه پهنه‌های ساختاری ایران (بر اساس آقنابتی، ۱۳۸۳ و علوی، ۱۹۹۴) و پراکندگی کانسارهای مس تیپ Redbed.

جدول ۱-۰: مهم‌ترین ویژگی‌های کانسارهای Redbed شاخص ایران و جهان.

نام کانسار	اسفیز	قندو	قنچی	Nacimiento	Lisbon Valley	مارکته	چشمه کتان	چهل دختر	شلیو	تازه کند	پند قیچی
موقعیت	شمال - شمال غرب تبت-حیدریه - ایران	نیومکنکو- آمریکا	یوتا- آمریکا	شمال غرب راور- ایران	شمال غرب ایران	شمال شرقی - تسوج - ایران	شمال شرقی - زرد - ایران	شمال شرقی - بهاباد - ایران	شمال شرقی - تبریز - ایران	شمال شرقی - تبریز - ایران	جنوب شرقی - تروند - ایران
سن	ائوسن - الیگوسن	ترباس	کرتاسه نتانی	زوراسیک - کرتاسه	میوسن	زوراسیک - کرتاسه	زوراسیک - کرتاسه	میوسن	زوراسیک - کرتاسه	میوسن	الیگوسن - میوسن
موقعیت تکتونیکی	محیط کشتی پشت کمائی	ریت و محیط کشتی	ریت و محیط کشتی	محیط کشتی	حاشیه غیرفعال قاره‌ای	محیط کشتی	محیط کشتی	محیط کشتی	ریت‌ها و حوضه‌های درون قاره‌ای	-	-
محیط ته‌نشست	رودخانه‌ای	کم عمق	جزر و مدی	جزر و مدی	جزر و مدی	جزر و مدی	جزر و مدی	جزر و مدی	دلتایی و دریای کم عمق	شورابه‌ای، دریای کم عمق	شورابه‌ای، دریای کم عمق
عناصر معدنی	مس	مس و نقره	مس	مس و نقره	مس	مس	مس	مس	مس (نقره)	مس (نقره)	مس
شکل ماده معدنی	رگه - رچیه‌ای	عدسی، هم‌رند یا لایه‌بندی	رول فرونت، هم‌رند یا لایه‌بندی	عدسی و هم‌رند یا لایه‌بندی	چینه‌کران تا چینه‌سان	عدسی و هم‌رند یا لایه‌بندی	چینه‌سان	عدسی و هم‌رند یا لایه‌بندی	لایه‌ای	لایه‌ای	چینه‌سان و چینه‌کران
سنگ میزبان	کنگلومرا	ماسه سنگ و کنگلومرا	ماسه سنگ و کنگلومرا	ماسه سنگ و میکرو کنگلومرا	ماسه سنگ	ماسه سنگ	ماسه سنگ	ماسه سنگ	ماسه سنگ	ماسه سنگ	ماسه سنگ و کنگلومرا
کانی‌شناسی	کالکوسیت، بورنیت، کوولیت، دیزنیت، مالاکیت و کپیزوکلا	کالکوسیت، کوولیت، دیزنیت، کوپریت، مالاکیت و کپیزوکلا	کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، کپیزوکلا و آرژنیت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، کوپریت، گالن و اسفالیت	کالکوسیت، کوولیت، بورنیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، توریت و آرژنیت	کالکوسیت، کوولیت، بورنیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت	کالکوسیت، کوولیت، پیریت، مالاکیت و اتاکامیت	کالکوسیت، کوولیت، روتیل و مالاکیت	کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت	کالکوسیت، کوولیت و اتاکامیت	کالکوسیت، کوولیت، بورنیت، اتاکامیت، پیریت، مالاکیت و آزوریت
یافت	دانه پراکنده، جانشینی، رگه - رچیه‌ای	دانه پراکنده، جانشینی، پرکنده فضای خالی	دانه پراکنده، جانشینی، پرکنده فضای خالی	دانه پراکنده، جانشینی، رگه و رچیه‌ای	جانشینی و دانه پراکنده	دانه پراکنده، جانشینی، سیمان میان دانه‌ای	دانه پراکنده، جانشینی، خالی	دانه پراکنده، جانشینی، رگه - رچیه‌ای	دانه پراکنده، جانشینی، خالی	دانه پراکنده، جانشینی، خالی	پرکنده فضای خالی، دانه پراکنده رگه - رچیه‌ای
دگرسانی	Blaeching و سببیت شدن			Blaeching	Blaeching	Blaeching	-	قلیتی شدن، سببیتی شدن و لیمونیتی شدن	-	-	آرژلی و هماتی
عامل احیا	پیریت و مگنتیت موجود در سنگ میزبان	واپزه‌های قسبل گیاهی موجود در افق‌های کانهدار	کانی‌های مافیک موجود در سنگ میزبان	قسبل گیاهی و پیریت دیازنتیکی و مواد هیدروکربنی	قسبل گیاهی و پیریت دیازنتیکی	قسبل گیاهی و پیریت دیازنتیکی	قسبل گیاهی و پیریت دیازنتیکی	-	کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و آرسنوپیریت دیازنتیکی	قسبل گیاهی	حضور مواد آلی
عوامل کنترل‌کننده	وجود پیریت و مگنتیت به عنوان احید درزه شکستگی‌ها	وجود قسبل گیاهی به عنوان احید، نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود کانی‌های مافیک به عنوان احید، نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیا و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیا و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احید، نفوذپذیری سنگ میزبان و سیستم هم‌گش	-	وجود عامل احیایی و قسبلی و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیایی و قسبلی و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیا و نفوذپذیری سنگ میزبان	پیریت و نفوذپذیری سنگ میزبان
تیپ کان‌زایی	Redbed	Redbed	Redbed	Redbed	Redbed	Redbed	Redbed	Redbed	Redbed	Redbed	-
منابع	میلوش و همکاران، ۱۳۹۳			Thorson, 2005	مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰	رجب‌پور و همکاران، ۱۳۹۲	کریمی و حسینی، ۱۳۸۸	اسلامی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱	عنایتی کولای و همکاران، ۱۳۹۰	صالحی نسب و همکاران، ۱۳۹۳	

۳-۲۸ پیشنهاد اکتشافی

۱- با توجه به گسترش کانی‌سازی مس رسوبی در منطقه شمال - شمال غرب تربت‌حیدریه، به

طول بیش از ۶۵ کیلومتر و حضور چندین کانسار و تعداد زیادی نشانه معدنی در این گستره،

به نظر می‌رسد پتانسیل مس در این منطقه بالا است. به همین دلیل انجام مطالعات آکادمیک

علمی و دقیق بر روی این کنسارها و نشانه‌های معدنی ضروری می‌باشد.

۲- انجام مطالعات ایزوتوپی مخصوصاً ایزوتوپ گوگرد (S) و به صورت جزئی ایزوتوپ‌های اکسیژن (O) و کربن (C).

۳- انجام مطالعات ژئوفیزیک، برای یافتن کانی‌زایی‌هایی پنهان در مناطق پوشیده شده، مفید می‌باشد.

۴- اطلاعات جمع‌آوری شده در این تحقیق همگی با استفاده از مشخصات سطحی کنسار بوده است. به همین دلیل انجام عملیات حفاری (مغزه‌گیری) در کنسارهای مورد مطالعه و دیگر کنسارهای موجود در منطقه، جهت پیگیری پهنه‌های کانه‌دار و بررسی دقیق‌تر ساختار درونی پیکره‌های معدنی، پیشنهاد می‌گردد.

۵- با توجه به کانی‌سازی‌های گسترده مس رسوبی در شمال راور با سن ژوراسیک- کرتاسه، تسوج- مرند آذربایجان شرقی و شمال- شمال غرب تربت حیدریه با سن ائوسن- الیگوسن، بازسازی شرایط قدیمه حوضه در زمان تشکیل این کنسارها جهت انطباق شرایط حاکم بر این محیط با محیط‌های مشابه در دیگر نقاط ایران لازم است. همچنین جهت تعیین گستردگی هر یک از آنها با هدف پی‌جویی و اکتشاف مس رسوبی در ایران ضروری به نظر می‌رسد.

منابع

منابع فارسی:

- آقازاده، م.، (۱۳۸۸)، "گزارش بررسی اندیس مس رسوبی بیداخوید تفت"، شرکت مهندسی مشاوره‌ای پارس اولنگ.
- آقازاده، م.، ابراهیمی، ع.، (۱۳۸۵)، "گزارش جامع ارزیابی اندیس مس مارکشه راور"، صندوق بیمه فعالیت‌های معدنی کشور.
- آقازاده، م.، بدرزاده، ز.، (۱۳۸۹)، "معرفی افق‌های کانه‌زایی مس رسوبی در ایران"، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین بهمن ۱۳۸۹.
- آقازاده، م.، فرد، م.، (۱۳۸۵a)، "گزارش جامع ارزیابی اندیس مس چشمه سفید عشق آباد طبس"، صندوق بیمه فعالیت‌های معدنی کشور.
- آقازاده، م.، فرد، م.، (۱۳۸۵b)، "گزارش جامع ارزیابی اندیس مس چهرگان تسوج"، صندوق بیمه فعالیت‌های معدنی کشور.
- آقازاده، م.، فرد، م.، (۱۳۸۹)، "گزارش جامع ارزیابی اندیس پلی‌متال آناختون تبریز"، صندوق بیمه فعالیت‌های معدنی کشور.
- آقائباتی، ع.، (۱۳۸۳) "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶ ص.
- اسلامی زاده، ع.، سامانی راد، ش.، حسن‌پور، ش.، (۱۳۹۱) "تشکیل مس رسوبی استراتاباند در ماسه‌سنگ‌های شلیو واقع در غرب لوت"، فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط زیست، سال ششم، شماره ۱۸.
- بدرزاده، ز.، سبزه‌یی، م.، امامی، م.، خیمنو، د.، (۱۳۸۹) "مراحل مختلف کانه‌زایی سولفیدی در کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد سرگز، شمال باختر جیرفت، سهندج- سیرجان جنوبی"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۶.
- بشارتی، س.، ذاکری، ل.، فتاحی، ش.، (۱۳۸۵)، "بررسی مینرالیزاسیون و ژنز کانسار مس قزل‌داش خوی (استان آذربایجان غربی)"، چهاردهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران.

- بویری کناری، م.، (۱۳۸۹)، پایان‌نامه ارشد "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، ژئوشیمی، ژنز و تیپ مس کشت مهکی، شمال باختر صفاشهر (استان فارس)"، دانشگاه تربیت مدرس.
- بهزادی، م.، (۱۳۷۳)، پایان‌نامه ارشد "بررسی زمین‌شناسی اقتصادی اندیس مس قبله بولاغ واقع در منطقه طارم سفلی - استان زنجان"، دانشگاه شهید بهشتی.
- حسنی پاک، ع.ا.، (۱۳۸۳) "اصول اکتشافات ژئوشیمیایی"، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۵ صفحه.
- حیدری، ا.، مناف نژاد، م. ص.، (۱۳۷۸)، "گزارش اکتشافات چکشی ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شامکان"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- خلقی خسرقی، م. ح.، (۱۳۷۵)، "نقشه و گزارش زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تربت حیدریه"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- درویش‌زاده، ع.، (۱۳۸۱) "زمین‌شناسی پوسته اقیانوسی، پترولوژی و دینامیک درونی"، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۶۹ صفحه.
- دری، م. ح.، (۱۳۷۷)، "پی‌جویی مواد معدنی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ کدکن"، حوزه معاونت اکتشاف.
- دهنوی، د.، موسوی حرمی، ر.، محمودی قرائی، م. ح.، (۱۳۹۰) "لیتوفاسیس و پتروفاسیس نهشته‌های الیگوسن در زون بینالود با تأکید بر موقعیت تکتونیکی منشاء رسوبات در برش باغشن گچ در شمال نیشابور"، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال بیست و هفتم، شماره سوم.
- رجب پور، ش.، عابدینی، ع.، علی پور، ص.، ذاکری، ل.، (۱۳۹۲) "بررسی کانی‌سازی و منشاء مس چینه‌سان در منطقه چشمه کنان تسوج، استان آذربایجان شرقی"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره اول.
- رضازاده، ش.، (۱۳۸۹)، پایان‌نامه ارشد "کانی‌شناسی، ساخت، بافت و ژئوشیمی مظهر معدنی مس رسوبی رباطسنگ شمال تربت‌حیدریه (استان خراسان رضوی)"، دانشگاه آزاد تهران واحد علوم تحقیقات و فناوری.
- روشن روان، ج.، (۱۳۹۱)، "تهیه اطلس زمین‌شناسی و اکتشافی شهرستان تربت‌حیدریه"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مدیریت منطقه شمال شرق.

- سامانی، ب.، (۱۳۸۱)، "متالوژی کانسارهای مس (نوع مانتو) در ایران"، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- سپهری‌راد، ر.، (۱۳۸۸)، "گزارش پی‌جویی مس رسوبی در محور کدکن - ششتمد (شمال تربت‌حیدریه)"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- سهندی، م. ر.، واعظی‌پور، م. ج.، (۱۳۸۸)، "تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ رباطسفید"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شهاب‌پور، ج.، (۱۳۸۴) "زمین‌شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۵۳۴ ص.
- شیرزاده، ب.، (۱۳۸۱)، پایان‌نامه ارشد "مطالعات پترولوژی، ژئوشیمی و اکتشافات طلا در منطقه کوه زر تربت‌حیدریه"، دانشگاه فردوسی مشهد.
- صالحی نسب، س.، فردوست، ف.، رحیمی، م.، (۱۳۹۳)، "کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسار مس بند قیچی در منطقه ترو (جنوب شاهرود)"، هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
- صمدیه، م.، (۱۳۸۹)، پایان‌نامه ارشد "مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های الترامافیک کمپلکس افیولیتی شمال تربت‌حیدریه"، دانشگاه فردوسی مشهد.
- عنایتی کولایی، س.، یزدی، م.، مختاری، ع. ا.، (۱۳۹۰)، "کانی‌سازی مس در سنگ‌های رسوبی میوسن در منطقه تازه‌کند (شمال تبریز)"، سی‌امین گردهمایی علوم زمین.
- فیض، م.، (۱۳۹۲)، "تهیه گزارش مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی و پتانسیل‌های معدنی شهرستان تربت‌حیدریه"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مدیریت منطقه شمال شرق.
- قربانی، م.، (۱۳۸۱) "دیباجه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی، ۶۹۵ ص.
- قنبری، م.، (۱۳۹۰)، "تهیه گزارش ژئوفیزیک هوایی شهرستان تربت‌حیدریه"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مدیریت منطقه شمال شرق.
- کریم‌پور، م. ح.، حیدریان شهری، م. ر.، ملک‌زاده شفارودی، آ.، (۱۳۸۳)، "آشکارسازی زون‌های کانی‌سازی مسیوسولفید تکنار با کاربرد حساسیت مغناطیسی و مگنتومتري"، دوازدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- کریم‌پور، م. ح.، سعادت، س.، (۱۳۸۴) "زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۵۳۴ ص.

- کریمی، م.، حسینی، م.، (۱۳۸۸)، "معرفی اندیس مس رسوبی چهل دختر (زرند)"، نخستین همایش زمین‌شناسی اقتصادی.
- محمدزاده، ز.، (۱۳۹۱)، پایان‌نامه ارشد "مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانسار کرومیت کوهی واقع در افیولیت ملانژهای رباط سفید (شمال شرق تربت‌حیدریه)"، دانشگاه فردوسی مشهد.
- مغفوری، س.، راستاد، ا.، موسیوند، ف.، (۱۳۹۰)، "رخداد کانی‌زائی مس سولفید توده‌ای نوده در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه بالایی در جنوب غرب سبزوار"، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه لرستان.
- ملک‌زاده شفارودی، آ.، کریم‌پور، م. ح.، مظاهری، ا.، (۱۳۸۸) "زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی گستره MA-II منطقه پیجویی مس - طلای پورفیری ماهرآباد، خراسان جنوبی"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۱۷، ۶۳۹-۶۵۴.
- منظمی میرعلیپور، ع.، (۱۳۷۷)، پایان‌نامه ارشد "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژنز سولفید توده‌ای مس شیخ عالی"، دانشگاه تربیت مدرس.
- موحد اول، م.، (۱۳۵۲)، "برنامه‌ریزی اکتشافی مس نسر در جلگه رخ تربت‌حیدریه"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- موسیوند، ف.، راستاد، ا.، امامی، ا.، (۱۳۸۱)، "کانه‌زایی سولفید توده‌ای مس- روی (نقره) در مجموعه آتشفشانی- رسوبی سوریان در منطقه بوانات در پهنه سنندج- سیرجان"، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین.
- موسیوند، ف.، (۱۳۸۲)، پایان‌نامه ارشد "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کان‌زایی مس در مجموعه آتشفشانی- رسوبی سوریان در منطقه بوانات، استان فارس"، دانشگاه تربیت مدرس.
- موسیوند، ف.، (۱۳۸۹)، رساله دکتری "زمین‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار روی-سرب- مس چاه‌گز در جنوب شهر بابک و مقایسه آن با کانسار سولفید توده‌ای مس- روی- نقره بوانات در پهنه سنندج سیرجان جنوبی"، دانشگاه تربیت مدرس.
- مهدوی، ا.، راستاد، ا.، حسینی برزی، م.، (۱۳۸۶)، "کانی‌شناسی و ساخت و بافت افق‌های کان‌دار کانسار مس رسوبی مارک‌شه (Redbed Type) در شمال‌غرب راور"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.

- مهدوی، ا.، راستاد، ا.، حسینی برزی، م.، (۱۳۹۰) "کانی‌شناسی، ساخت و بافت و نحوه تشکیل رخداد مس رسوبی- دیاژنتیک مارکشه، تیپ Redbed، در سازند سرخ گره‌دو به سن ژوراسیک، جنوب ایران مرکزی"، **مجله علوم زمین**، شماره ۸۱.
- مهرابی، ب.، فاضلی، آ.، (۱۳۸۰)، "بررسی تیپ کانه‌زایی مس در کانسار و شنوه جنوب استان قم"، **بیستمین گردهمایی علوم زمین**.
- میلوش، ز.، موسیوند، ف.، سپهری راد، ر.، (۱۳۹۲)، "کانه‌سازی مس رسوبی نوع redbed در سنگ‌های تخریبی الیگوسن در شمال- شمال غرب تربت‌حیدریه و افق‌های کانه‌دار آن"، **سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین**، تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- میلوش، ز.، موسیوند، ف.، (۱۳۹۳)، "ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب در کانسنگ و سنگ‌های میزبان کانه‌زایی مس رسوبی در شمال- شمال غرب تربت‌حیدریه"، **هجدمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران**، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
- نادری میقان، ن.، ترشیزیان، ح.، (۱۳۷۷)، "نقشه و گزارش زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کدکن"، **سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور**.
- نقی‌زاده، ر.، شیوا، ع.، دری، م.، ریاضی، ن.، (۱۳۸۶)، "بررسی صحرایی کانی‌سازی مس رسوبی در منطقه تسوج استان آذربایجان شرقی"، **بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین**، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- واعظی پور، م. ج.، (۱۳۷۰)، "نقشه و گزارش زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ورقه تربت‌حیدریه"، **سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور**.

منابع لاتین:

- Alavi M., (1991) "Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran" **Geol. Soc Of Amer.Bull.** V. 103, PP.983-992.
- Alavi M., (1994) "Tectonic of Zagros orogenic belt or Iran: New data and interpretations" **Tetonophysics**, V. 229, Issues 3-4. P. 211-238.
- Alavi M., (1996) "Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran". *Geodynamic* 21, 1-33.
- Annels A. E., (1989) "Ore genesis in the Zambian Copperbelt", with particular reference to the northern sector of the Chambishi basin. In: Boyle R.W., Brown A.C., Jefferson C.W., Jowett E.C. Kirkham R.V. (Eds.), *Sediment-hosted Stratiform Copper Deposits*. Geological Association of Canada, Special Paper 36, pp. 427–452.
- Annels A. E. and Simmonds I. R., (1984) "Cobalt in the Zambian copper belt" **Precambrian Research.**, v.25, p 75-98.
- Bauluz B., Peacor, D. R., González López, J.M. (2000) **Clays and Clay Minerals**. 48, 374-384.
- Bajwah Z. U., Secombe P.K. and Offler R., (1987) "Trace element distribution, Co:Ni ratios and genesis of the Big Cadia iron-copper deposit, New South Wales, Australia". *Mineralium Deposita* 22, 292–300.
- Barnes H. L., (1979) "Geochemistry of hydrothermal ore deposits", 2nd ed: NewYork, Wiley, 797 p.
- Bauluz B., Peacor, D. R., González López, J.M. (2000) **Clays and Clay Minerals**. 48, 374-384.
- Beitler B., Parry W.T. and Chan, M.A., (2003) "Bleaching of Jurassic Navajo Sandstone on Colorado Plateau Laramide Highs: Evidence of exhumed hydrocarbon super giants" **Geology**, v. 31, 1041– 1044.
- Berberian M., and King, G. C., (1981) "Towards a paleogeography and tectonic evaluation af Iran" **Canadian Journal of Eaeth Sciences.**, Vol.18, No.2. pp. 210-265.
- Berner R. A. and Raiswell, R., (1983) "Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory". *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47-5, 855–862.
- Bhatia M. R., (1983) "Plate tectonics and geochemical composition of sandston" **J. Geol.**,91, 611-627.
- Blundell D. J., Karnkowski P. H., Alderton D. H. M., Oszczepalski S. and Kucha H., (2003) "Copper mineralization of the Polish Kupferschiefer: a proposed basement fault-fracture system of fluid flow" **Econ Geol** 98:1487–1495.
- Bogdanov Y. U., Berlyand-kozhevnikov P. V., (1990) "Cupriferous and chromiferous Precambrian deposits in Olekma-Vitim Province, USSR. 8th IAGOD Symposium, Ottawa, Program with Abstracts, A223" Geological Association of Canada Special Paper 36.

- Bowen R. and Gunatilak A., (1977) "Copper: Its geology and economics" Applied Science, London, 336 p.
- Brill B.A., (1989) "Trace element contents and partitioning of elements in ore minerals from the CSA Cu–Pb–Zn deposit, Australia" *Canadian Mineralogist* 27, 263-274.
- Brown A. C., (1971) "Zoning in the White Pine copper deposit, Ontonogan County, Michigan" **Econ Geol** 66:543–573.
- Brown A.C., (1992) "Sediment-hosted stratiform copper deposits" **Geoscience Canadian** 19,125-141.
- Brown A.C., (1997) "World-class sediment-hosted stratiform copper deposits: characteristics, genetic concepts and metallotects" **Aust J Earth Sci** 44:317–328.
- Brown A. C., (2005) "Refinements for footwall red-bed diagenesis in the sedimenthosted stratiform copper deposits model" **Econ Geol** 100:765–771.
- Brown A.C., (2009) "A process based approach to estimating the copper derived from red beds in the sediment hosted stratiform copper deposit model" **Economic Geology** 104, 857-868.
- Cailteux J. L. H., Kampunzu A. B., Lerouge C., Kaputo A.K. and Milesi J.P., (2005) "Genesis of sediment-hosted stratiform copper–cobalt deposits, Central African Copperbelt" **Journal of African Earth Sciences** 42, 134–158.
- Chartrand F. M. and Brown A. C., (1985) "The diagenetic origin of stratiform copper mineralization, Coates Lake, Redstone Belt" *Canada* 80, 325-343.
- Chartrand F. M., Brown A.C. and Kirkham R.V., (1989) "Diagenesis, sulphides, and metal zoning in the Redstone copper deposit, Northwest Territories, in Boyle" R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett, E.C. and Kirkham, R.V., eds., *Sediment-hosted Stratiform Copper Deposits: Geological Association of Canada, Special Paper 36*, p. 189-206.
- Cox D. P., Lindsey D. A., Singer D. A. and Diggles M.F., (2007) "Sedimenthosted copper deposits of the world: deposit models and database" US Geological Survey, Open-file report 03-107, 50 p.
- Darnley A. G., (1960) "Petrology of some Rhodesian Copperbelt orebodies and associated rocks" **Institute of Mining and Metallurgy Transactions**, 69, 137-173.
- Durieux C. G. and Brown A. C., (2007) "Geological context, mineralization, and timing of the Juramento sediment-hosted stratiform copper–silver deposit, Salta district, northwestern Argentina" *Miner Deposita*, 42:879–899.
- El Desouky H. A., Muchez Ph., Dewaele S., Boutwood A. and Tyler R., (2007) "The stratiform copper mineralization of the lufukwe anticline, lufilian foreland, democratic republic congo" **geologica belgica**, 10/3-4: 148-151.
- Evans E. M., (1997) "**Introduction to Economic Geology and its environment impacts**" Black well Science. 364p.
- Fairbridge R. W., (1972) "The encyclopedia of geochemistry and environment sciences" **Encyclopedia of Earth sciences series**, 4, 1321p.

- Fleischer V. D., Garlick, W. G. and Haldane, R., (1976) "Geology of the Zambian Copper Belt. In: Wolff, K.H. (Ed.), Handbook of Stratabound and Stratiform Ore Deposits" II Regional Studies and Specific Deposits, vol. 6. Elsevier, pp. 223–352.
- Flint S., (1986) "Sedimentary and diagenetic controls on red-bed ore genesis" **Econ.Geol.**, 81, 761-778.
- Flint S. S., (1989) "Sediment-hosted stratabound copper deposits of the Central Andes" in Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett, E.C., and Kirkham, R.V., Sediment-hosted stratiform copper deposits, Geological Association of Canada Special Paper 36, p. 371-400.
- Floyd P. A., Winchester J. A. and Park R. G., (1989) "Geochemistry and tectonic setting of Lewisian clastic met sediments from the early Proterozoic Loch Maree Group of Gairloch, N.W" Scotland. *Precambrian Research* 45, 203–214.
- Folk R. L., (1980) "**Petrology of sedimentary rocks**" Hemphill's Book Store. Austin, Texas 185p.
- Gansser A. (1955) "New aspects of the geology in central Iran" *Proceedings, 4th world petroleum Congress Survey of Iran*, no. 132, 48.
- Garlick W. G. and Fleischer V. D., (1972) "Sedimentary environment of Zambian copper deposition" **Geologie en Minbouw**, 51, 277-298.
- Ghasemi H. and Rezaei-Kahkhaei M., (2014) "Petrochemistry and tectonic setting of the Davarzan-Abbasabad Eocene Volcanic (DAEV) rocks, NE Iran" **Springer Mineralogy and Petrology**, Vol. 108, No. 6, 2014.
- Glennie K. W., (1989) "Some effects of the Late Permian Zechstein transgression in northwestern Europe" in Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett, E.C. and Kirkham, R.V., eds., Sediment-hosted Stratiform Copper Deposits: Geological Association of Canada, Special Paper 36, p. 557-566.
- Gustafson L. B. and Williams N., (1981) "Sediment- hosted stratiform deposits of copper, lead and zinc in Skinner", 75th Anniversary Volume: Economic Geology Publishing, p. 139-178.
- Hahn G. A. and Thorson J.P., (2005) "Geology of the Lisbon Valley sandstone-hosted disseminated copper deposits, San Juan County, Utah" *Utah Geological Association Publication* 32, in press.
- Hasiotis S., (2004) "Reconnaissance of Upper Jurassic Morrison Formation ichnofossils, Rocky Mountain Region, USA: paleoenvironmental, stratigraphic, and paleoclimatic significance of terrestrial and fresh water ichnocoenoses" **Sedimentary Geology**, 167: 177-268.
- Hayes T. S., (1984) "Zonation and paragenesis of the Spar Lake stratabound copper– silver deposit in the Belt Supergroup, Montana", **Geological Society of America Abstracts with Programs** 16, 534.
- Hayes T.S., (1990) "A preliminary study of thermometry and metal sources of the Spar Lake strata-bound copper-silver deposit, Belt Supergroup, Montana", U.S.G.S. Open- file Report 90-0484, 30 p.

- Hayes T.S. and Einaudi, M.T., (1986) "Genesis of the SparLake stratabound copper-silver deposit, Montana: part1. Controls inherited from sedimentation and pre-ore diagenesis", *Economic Geology*, v.81, p. 1899-1932.
- Haynes D. W., (1986a) "Stratiform copper deposits hosted by low-energy sediments.I. Timing of sulfide precipitation - an hypothesis", *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 81, 250-265.
- Haynes D. W., (1986b) "Stratiform copper deposits hosted by low-energy sediments II. nature of source rocks and composition of metal-transporting water", **ECONOMIC GEOLOGY**, v. 81, p. 266–280.
- Hitzman M. W., (2000) "Source Basins for Sediment-Hosted Stratiform Copper Deposits - Implications for the Structure of the Zambian Copperbelt", **Journal of African Earth Sciences**, v. 30, p. 855-863.
- Hitzman M. W., Kirkham R., Broughton D., Thorson J. and Selly D (2005) "The sedimenthosted stratiform copper ore system" In: Thompson JFH, Goldfarb RJ, Richards JP (eds) 100th Anniversary volume. Society of Economic Geologists, pp 609–642.
- Hitzman M. W., Selley D. and Bull S., (2010) "Formation of sedimentary rock hosted stratiform copper deposits through Earth History. **Economic Geology** 105, 627-639.
- Ho E.S. and Mauk J.L., (1996) "Relationship between organic matter and copper mineralization in the Proterozoic Nonesuch Formation, northern Michigan", **Ore Geology Reviews**, v. 11, p. 71-88.
- Imbus S.W., Macko S.A., Elmore R.D. and Engel M.H., (1992) "Stable isotope (C, S, N) and molecular studies on the Precambrian Nonesuch Shale (Wisconsin-Michigan, USA): Evidence for differential preservation rates, depositional environment, and hydrothermal influence", in Macko, S.A. and Engel, M.H., eds., *Isotope fractionation in organic matter: Biosynthetic and diagenetic process: Chemical Geology*, v. 101, p. 255-281.
- Jackson M.P.A., Warin O.N., Woad G.M. and Hudec M.R., (2003) "Neoproterozoic allochthonous salt tectonics during the Lufilian orogeny in the Katanga Copperbelt, central Africa", **Geological Society of America Bulletin** 3, 314–330.
- Jowett E.C., (1989) "Effects of continental rifting on location and genesis of stratiform copper–silver deposits" In: Boyle RW, Brown AC, Jefferson CW, Jowett EC, Kirkham RV (eds) *Sediment-hosted stratiform copper deposits. Geological Association of Canada Special Paper* 36:53–66.
- Jowett E.C., (1991) "The evolution of ideas about the genesis of stratiform copper–silver deposits" *Monogr Econ Geol Pub* 8:117–132.
- Kasmin V. G. and Tikhonova N. F., (2008) "Cretaceous–Paleogene Back-Arc Basins in the Iran–Afghanistan–Pamirs Segment of the Eurasian Active Margin", *Doklady Earth Sciences*, Vol. 422, No. 7, pp 1018–1020.

- Khadem N., (1964) "Type of copper ore deposits in Iran"; in Symposium on Mining Geology and the Base Metals, Central Treaty Organization, Ankara, 101-115 p.
- Khalifa M., Catuneanu Q., (2008) "Sedimentary of the bahariya Formation (Early Cenomanian), bahariya Oasis, Western Desert, Egypt": *Journal of African Earth Sciences*, v. 51, p. 89-103.
- Kirkham R.V., (1989) "Distribution, setting and genesis of sedimenthosted stratiform copper deposits". In: Boyle RW, Brown AC, Jefferson CW, Jowett EC, Kirkham RV (eds) *Sediment-hosted stratiform copper deposits*. Geol Assoc Can Special Paper 36:3–38.
- Kirkham R.V., (1996) "Sediment-hosted stratiform copper" In: Eckstrand OR, Sinclair WD, Thorpe RI (eds) *Geology of Canadian mineral deposit types*. Geol Surv Can Geol Canada 8:223–240 (also Geological Society of America, the Geology of North America, vol. P-1).
- Kirkham R.V., Carrière JJ, Laramée R.M. and Garson D.F., (1994) "Global distribution of sediment-hosted stratiform copper deposits and occurrences". Geol Surv Can, open file 2915b, 256 p (with map and accompanying notes).
- Large R., McGoldrick P., Bull S., Scott R. and Selly D., (2006) "Lithogeochemistry, C-O isotopes and Stratabound Alteration Halos to Stratiform Copper Mineralisation, Zambian Copperbelt". AESC2006, Melbourne, Australia.
- Lefebure D. V. and Alldrick D. J., (1996) "Sediment-Hosted Cu +/- Ag +/- Co"; in *Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 2 - Metallic Deposits*: D. V. Lefebure and T. Hoy (eds.), British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File Report, 1996-13, p. 13-16.
- Lindenberg H. G., Gorler K. and Ibbeken H., (1983) "Stratigraphy, structur and orogenetic evolution of the Sabzevar zone the area of Oryan Khorasan, NE, Iran" GSI, Rep. NO. 51, pp 120-142.
- Love L. G., and Brockley H., (1973) "Peripheral radial texture in framboids of polyframboidal pyrite, *Fortschr.Miner*, 50: 264-269.
- Lur'ye A.M., (1986) "Formation conditions of copper-sandstone and copper-shale deposits" In, Friedrich, G.H., Genkin, A.D., S.S., Naldrett, A.J., Ridge, J.D., Sillitoe, R.H., Vokes, F.M. eds., *Geology and metallogeny of copper deposits*, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, p.477-491.
- Ma J.L., Wei G.J., Xu Y.G., Long W.G. and Sun W.D., (2007) "Mobilization and re-distribution of major and trace elements during extreme weathering of basalt in Hainan Island, South China" Elsevier, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71 (2007) 3223–3237.
- MacIntyre T.J., (2005), M.S thesis, "Fault-controlled hydrocarbon-related bleaching and sediment-hosted copper mineralization of the Jurassic Wingate sandstone at the Cashin Mine" Montrose county, Colorado, Department of Geology and Geological Engineering.
- Mauk, J.L. and Hieshima, G.B., (1992) "Organic matter and copper mineralization at White Pine, Michigan, U.S.A." **Chemical Geology**, v.99, p. 189-211.

- Maynard J.B., (1983) "Geochemistry of sedimentary ore deposits", **Springer-Verlag, New York Inc.** 305p.
- Meinhold G., (2010) "Rutile and its applications in earth sciences", **Elsevier, Earth-Science Reviews**, 102 (2010) 1–28.
- Mesmer, R.E. and Baes, C.F., (1974) "The hydrolysis of cations", Oak Ridge Natl. Lab. Rept. OPNL. NSF. EATC-3, Part III, p.1-8.
- Miall Ad., (2000) "Principles of sedimentary basin analysis", **Springer-Verlag, New York.** 668p.
- Ohmoto H., (1986) "Stable isotope geochemistry of ore deposits", *Reviews in Mineralogy* 16, 460-491.
- Oszczepalski S., (1999) "Origin of the Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland", **Mineralium Deposita** 34, 599–613.
- Pettijohn F.J., Potter P.E. and Siever R., (1972) "Sand and Sandstones", **New York, Springer-Verlag**, 270p.
- Ramdohr P., (1980) "The ore minerals and their intergrowth", 2nd Ed, Pergamon, Press.
- Rollinson H.R., (1993) "Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation", United Kingdom, Longman, 352 p.
- Rose A.W., (1976) "The effect of cuprous chloride complexes in the origin of red-bed copper and related deposits", **Econ.Geol.**, 71, 1036-1048.
- Rose A.W., (1989) "Mobility of copper and other heavy metals in sedimentary environments. In: Boyle RW, Brown AC, Jefferson CW, Jowett EC, Kirkham RV (eds) *Sediment-hosted stratiform copper deposits*", *Geol Assoc Can Special Paper* 36:97–110.
- Sawkins F.J., (1984) "Metal deposits in relation to plate tectonics" Berlin, Springer-Verlag, 325 p.
- Sawłowicz Z., (1990) "Primary copper sulphides from the Kupferschiefer, Poland", *Mineralium Deposita*, v. 25, p. 262–271.
- Schultz L.G., (1963) "Clay minerals in Triassic rocks of the Colorado Plateau", *United States Geological Survey, Bulletin* 1147-C, P. C1- C71.
- Shafiei B., Haschke M. and Shahabpour J., (2009) "Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran", *Miner Deposita* 44:256- 283.
- Subias I., Fanlo I. and Mateo J., (2003) "A model for the diagenetic formation of sandstone-hosted copper deposits in Tertiary sedimentary rocks, Arago'n (NE Spain): S/C ratios and sulphur isotope systematic", *Ore Geology Reviews* 23 ,55–70.
- Talbott L. W., (1974) "Nacimiento pit, a Triassic strata bound copper deposit", in *New Mexico Geological Society Guidebook, 25th Annual Field Conference*, pp. 301- 303.
- Taylor S.R. and McLennan S.M., (1985) "The Continental Crust: Its Composition and Evolution". Blackwell, Oxford, 312 p.

- Thorson J.P., (2004) "Paradox Basin sandstone-hosted copper deposits generated by two episodes of basinal fluid expulsion [abst]", Geological Society of America, Abstracts with Programs, v. 36, p. 517.
- Thorson J.P., (2005) "Lisbon Valley sediment-hosted copper deposits and Paradox Basin fluids field trip", Economic geology, guidebook series, volume 37.
- Thorson J.P. and MacIntyre T.J., (2005) "Geology of the Cashin Mine sandstone-hosted disseminated copper deposit, Montrose County, Colorado", Society of Economic Geologists Guidebook 37, 43–49.
- Titley S.R. and Beane R.E., (1981) "Porphyry copper deposits", **Economic Geology** 75, 235-269.
- Tucker M.E., (2001) "Sedimentary petrology, an introduction to the origin of sedimentary rocks", Second edition.
- Wagner T., Okrusch M., Weyer S., Lorenz J., Lahaye Y., Taubald H. and Schmitt R.T., (2010) "The role of the Kupferschiefer in the formation of hydrothermal base metal mineralization in the Spessart ore district, Germany: insight from detailed sulfur isotope studies", Mineralium Deposita 45, 217-239.
- Walker T.R., (1989) "Application of diagenetic alterations in redbeds to the origin of copper in stratiform copper deposits", In: Boyle RW, Brown AC, Jefferson CW, Jowett EC, Kirkham RV (eds) Sediment-hosted stratiform copper deposits. Geol Assoc Can Special Paper 36:85–96.
- White D. E., (1968) "Environments of generation of some base metal ore deposits", Econ. Geol. 63:301-335., 1968.
- Woodward L.A., Kaufman W. H., Schumacher O.L. and Talbott L.W., (1974) "Strata-bound copper deposits in Triassic sandstone of Sierra Nacimiento, New Mexico", **Economic Geology**, v. 69, p. 108-120.
- Xu G., (1998) "Geochemistry of sulfide minerals at Dugald River, NW Queensland, with reference to ore genesis", **Mineralogy and Petrology** 63, 119-139.
- Ziegler P.A., (1982) "Geological atlas of western and central Europe", **Amsterdam, Elsevier**, 130 p.

Abstract

The studied area is located in the Central Iran structural zone and the Sabzevar subzone and at 40 Kilometers to north-northwest of Torbate Heydarieh and through of Kadkan to Robate Sang towns. Copper mineralization at this area occur as stratiform and stratabound within Eocene- Oligocene clastic rock units, with extension at least 65 km. Mineralization in this district is observed discontinuously as Esfiz, Ghandou and Ghonchi deposits and numerous copper indications. The Eocene- Oligocene Redbed sequence from bottom to top is involves four rock units: first unit (Em^1) include Eocene red and gray marl; second unit (Eo^s) includes thick sequence of red Sandstone of Eocene and Oligocene; third unit (Eo^c) consists of thick layer of red conglomerate and sandstone layers of Eocene- Oligocene and fourth unit (O^sc) consisting of gray sandstone and conglomerate and minor siltstone.

Mineralization in the Esfiz deposit occurred in fractures and faults as vein and stratabound within conglomerate unit (Eo^c). The cause of mineralization in this deposit is calcite cement and mafic minerals, so that copper sulfide minerals is replace the olivine and pyroxene in the pebbles.

In the Ghandou deposit mineralization occurred in the reduced sandstone and conglomerate horizons (unit Eo^s) as layered and stratiform ore boulders. The copper mineralization in this horizons as copper sulfides occurred as replacement of plant fossils.

Mineralization at Ghonchi deposit occurred within the conglomerate units. Mineralization in this deposit is observed as replacement copper sulfide minerals in clastic and mafic minerals.

These deposits contain primary calcocite, bornite, pyrite and magnetite and secondary covellite, digenite, cuprite, malachite and chrysocolla. The ore in these deposits is observed as disseminated, replacement, vein- veinlets and open space fillings. Prevailing alteration in the deposits is bleaching as hematitization and Kaolinitization. The geochemical studies indicate positive correlation between Cu and Ag and enrichment of CaO and depletion of MgO , Fe_2O_3 and MnO in the mineralized zones. The Mn, Mg, Fe and Ti elements in the red zone show enrichment gray zone. Also, the comparison of distribution pattern of trace elements in gray sandstone than the red sandstone indicate positive anomalies of Ag, Zn, Co, V, Cu and Ni.

According to specific characteristics of mineralization in the area such as the host and associated rock types, stratiform and stratabound geometry of mineralization and its regional expansion, and replacement, disseminated and vein-veinlet textures, association of plant fossils and their relationship to mineralization, this mineralization could be classified as a Redbed-type sedimentary copper deposits.

Keywords: sedimentary copper, Redbed, mineralogy, geochemistry, genesis, Torbate Heydarieh , Esfiz, Ghandou, Ghonchi.



University of Shahrood

Faculty of Earth Sciences

Department of Petrology and Economic Geology

**Mineralogy, geochemistry and genesis of sediment-
hosted mineralization at the north- northwest of
Torbet Heydarieh**

Zohreh Milvish

Supervisor:

Dr. Fardin Mousivand

May 2015