سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

معاونت اکتشاف

مدیریت امور اکتشاف

گروه اکتشافات فلزی

گزارش پی‌جویی مس رسوبی در محور کدکن – ششتمد (شمال تربت حیدریه)

مجری طرح: ناصر عابدیان

مجری فنی طرح: بهروز برنا

ناظر علمی: محمدباقر دری

توسط : رسول سپـهری راد

پائیز ۱۳۸۸

تشکّر و قدردانی

سپاس و ستایش پروردگار عزوجل را که توفیق انجام این پروژه را عنایت فرمود تا قدمی هر چند کوچک در راه استقلال کشور عزیزمان برداشته شود.

همکاران و عزیزان زیادی مرا در اجرا و انجام هرچه بهتر و مناسب‌تر این طرح یاری نموده‌اند که لازم می‌دانم از زحمات و حسن همکاری و مساعدت ایشان تشکّر و قدردانی نمایم.

- از آقای مهندس ناصر عابدیان معاونت محترم اکتشافات معدنی سازمان زمین‌شناسی و از آقای مهندس بهروز برنا مدیریت محترم امور اکتشاف که نهایت همکاری و حسن نظر را در اجرای هر چه بهتر این طرح داشته و شرایط لازم اجرای آنرا فراهم آورده‌اند، تشکّر و قدردانی می‌نمایم.

- از آقای مهندس دُری ناظر محترم این پروژه که در طول اجرای آن چه در عملیات صحرایی و چه در مسائل علمی راهنمایی‌های ارزنده‌ای داشته‌اند نیز سپاسگزاری می‌نمایم.

- طی انجام این طرح درتمام مأموریت‌ها و مطالعات صحرایی از امکانات سازمان زمین‌شناسی مرکز مشهد (اعم از اتومبیل صحرایی، راننده و وسایل کمپ) استفاده گردید که بدینوسیله از ریاست محترم مرکز مشهد جناب مهندس روشن‌روان و سایر همکاران اداری ایشان کمال تشکّر را دارم. هم‌چنین لازم می‌دانم تا از همکاران بخش نقلیه آن مرکز بخصوص آقایان حیدری و پاکروان که در مأموریت‌های صحرایی نهایت همکاری را با اینجانب داشته‌اند، تشکّر نمایم.

- طی عملیات صحرایی در ورقه‌های مختلف ادارات و عزیزان زیادی در فراهم آوردن کمپ مناسب و سایر امکانات با اینجانب حسن همکاری و مساعدت داشته که لازم می‌دانم از ایشان نهایت تشکّر و سپاسگزاری را بنمایم که عبارتند از:

- فرمانداری‌های محترم شهرستان تربت حیدریه و شهرستان سبزوار.

- بخشداری‌های محترم کدکن (آقای خسروی)، رباط سنگ (آقای وفایی‌نژاد)، روداب (آقای کلاته).

- ریاست محترم اداره جهاد کشاورزی بخش رباط سنگ.

- روسای محترم ادارات آموزش و پرورش بخشهای کدکن و روداب.

- از همکاران خود در بخشهای مختلف سازمان بویژه همکاران معاونت امور آزمایشگاه‌ها که بخشی از زحمات انجام این طرح بر عهده ایشان بوده است نیز تشکّر می‌نمایم.

- زحمت تایپ این گزارش بر عهده خانم اکرم سجادیان می‌باشد که از ایشان نیز صمیمانه قدردانی می‌نمایم.

رسول سپهری‌راد

پائیز ۱۳۸۸

چکیده

گزارش حاضر در ارتباط با پی جویی افق های رسوبی در ورقه های ۱:۱۰۰۰۰۰ (به ترتیب از غرب به شرق) دارین، ششتمد، شامکان، کدکن، رباط سفید و بخشهایی از شمال ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت حیدریه برای کانی سازی مس با میزبان رسوبی است. افق های مذکور واحدهای ماسه سنگی- مارنی قرمز رنگ با میان‌لایه های ضخیم و صخره ساز کنگلومرا متعلق به ائوسن- الیگوسن که به صورت نواری از جنوب ورقه ششتمد تا منتهی الیه جنوب شرقی ورقه رباط سفید گسترش دارند، میزبان کانی سازی مس رسوبی در منطقه می باشند.

در گستره ورقه دارین و بخش هایی از شمال غربی ورقه ششتمد ماهیت و نوع کانی سازی های مس با دیگر ورقه‌ها متفاوت می باشد. در این دو ورقه کانی سازی مس همراه با سنگهای ولکانیکی- رسوبی و توفهای کرتاسه بالایی صورت گرفته است که بصورت نوار ولکانیکی از جنوب غرب ورقه دارین شروع و تا شمال غرب ورقه ششتمد ادامه می یابد.

کانی سازی مس با میزبان رسوبی عمدتاً بصورت پراکنده و گاهی کلوفرم و محدود به افق های میزبان رسوبی بوده و شامل کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، بورنیت، آزوریت و پیریت (عمدتاً اکسید شده در سطح) می‌باشد

فرم کانی سازی بصورت عدسی و از نوع استراتیفرم می‌باشد و تیپ کانی سازی در منطقه مورد مطالعه از نوع کانسارهای مس با میزبان طبقات قرمز (Sediment-hosted stratiform copper deposits) می‌باشد.

با توجه به مطالعات صحرایی در ورقه های (به ترتیب از غرب به شرق) ششتمد، شامکان، کدکن، رباط‌سفید و تربت حیدریه) میزان کانی سازی در مناطق میانی یعنی در ورقه کدکن و به مقدار کمتر در بخشهای شمالی ورقه تربت‌حیدریه بیشتر از ورقه های اطراف بخصوص به سمت ورقه های شامکان و ششتمد می‌باشد.

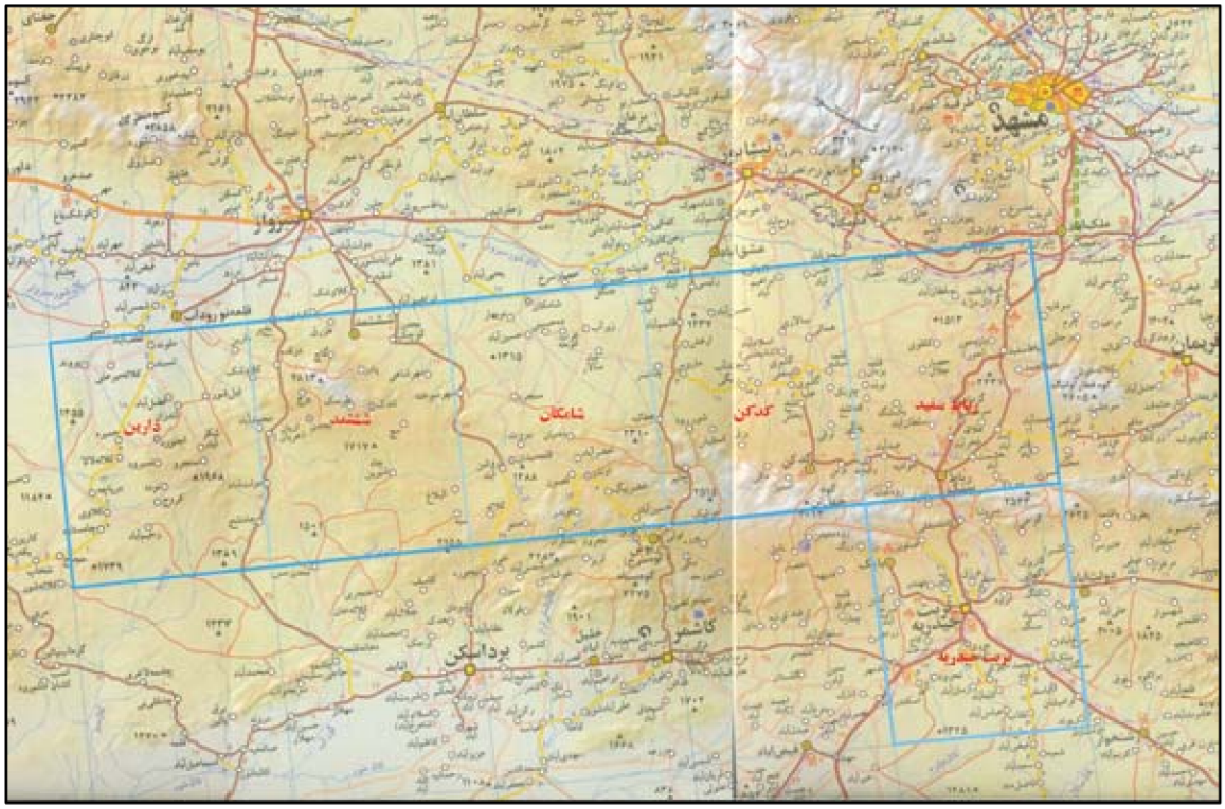
رخنمون طبقات سرخ رنگ (Red bedds) که حاوی بخش‌های کانه‌دار می‌باشد(EOs)، در اطراف روستای نسر به پایان می‌رسد ضخامت متوسط آنها در حدود ۳۰ سانتیمتر و گسترش طولی آنها از آخرین نقطه‌ای که کانی‌سازی مس رسوبی در غرب ورقه کدکن مشاهده شده تا این بخش (انتهای جنوب شرقی ورقه رباط سفید) به ۶۵ کیلومتر می‌رسد. کانی‌سازی در این فاصله کم و بیش به طور پراکنده و منقطع مشاهده می‌شود و حداکثر رخنمون پیوسته افق‌های مس دار کمتر از ۵۰ متر است.

فصل اول

کلیـات

۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه

منطقه مورد مطالعه در ۱۱۰ کیلومتری جنوب مشهد و ۳۰ کیلومتری شمال تربت حیدریه واقع است. دسترسی به منطقه از طریق جاده آسفالته مشهد- تربت حیدریه امکان‌پذیر است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ورقه های بررسی شده و راههای دسترسی به آنها را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت ورقه های مطالعه شده و راههای دسترسی به آنها

۱-۲-مطالعات انجام شده پیشین

در ارتباط با موضوع این گزارش که پی‌جویی کانی‌سازی مس با میزبان رسوبی در محدوده شمال شرق تربت حیدریه تا بخشهای جنوبی شهرستان سبزوار می‌باشد، بجز گزارش اکتشاف چکشی ورقه کدکن (آقایان درّی و صادقی ۱۳۷۷) که در آن به این نوع کانی‌سازی (در جنوب غرب اسفیز) اشاره شده است، مطلب دیگری وجود ندارد.

آخرین مطالعات اکتشافی در منطقه در قالب اکتشافات چکشی در ورقه‌های ۱۰۰۰۰۰ کدکن، شامکان، ششتمد و دارین صورت گرفته است. تاریخچه مطالعات پیشین در هر یک از ورقه‌های مذکور در گزارش هر یک از آنها ارائه شده است و لزومی به تکرار آنها در گزارش حاضر نمی‌باشد.

۱-۳-روش کار

توجه به شرایط زمین‌شناسی تشکیل کانسارهای مس با میزبان رسوبی گویای آن است که لایه‌های سرخ (ماسه‌سنگ‌های سرخ) ضخیم با میان‌لایه‌ها و عدسی‌های ماسه‌سنگی احیایی (خاکستری رنگ) همراه با شرایط ساختی و بافتی مناسب، می‌توانند میزبان این نوع کانی‌سازی‌ها باشد و احتمال یافتن آنها در منطقه در لایه‌های سرخ (Redbed) الیگوسن واقع در بخش‌های شمالی تربت‌حیدریه وجود دارد. با توجه به اینکه اکتشافات چکشی صورت گرفته در سالهای قبل نیز وجود چند مورد از این نوع کانی‌سازی را تأیید کرده است.

طی بازرسی‌های اولیه صحرایی مشخص گردید افق‌های کانی‌سازی عمدتاً نازک لایه (کمتر از ۰/۵ متر ضخامت)، استراتیفرم و عدسی شکل‌اند. تقریباً در تمامی موارد درون آبراهه‌های منتهی به کانی‌سازی قطعات سنگ میزبان کانی‌سازی با آغشتگی به مالاکیت و کمی آزوریت مشاهده می‌شوند و با توجه به عدسی‌بودن فرم کانی‌سازی، تنها بررسی صحرایی تک‌تک آبراهه‌هایی که تماماً به صورت عمودی لایه‌های سرخ را قطع می‌کنند، مفید و کارساز می‌باشد. البته وجود شواهد ذیل که به نوعی خود معیار پی‌جوئی چنین کانی‌سازیهایی نیز هستند، احتمال رخداد کانی‌سازی را در منطقه تقویت می‌کند:

۱- ضخامت قابل توجه (بیش از ۵۰۰ متر) از لایه‌های سرخ و حضور سنگهای ولکانیکی مافیک تا حد واسط قدیمی در بالادست طبقات سرخ.

۲- حضور ضخامت مناسب از واحدهای تبخیری در بالای سکانس رسوبی لایه‌های سرخ.

۳- شواهد ساختاری همانند زونهای گسلی، تاقدیس‌ها و فضاهای مناسب چینه‌شناسی.

۴- آثار کانی‌سازی مس در آبراهه‌های قطع کننده لایه‌های سرخ.

با توجه به موارد فوق رخنمون طبقات سرخ از شمال غرب تربت حیدریه (ورقه ۱۰۰۰۰۰ :۱ ششتمد) تا شمال شرق آن (ورقه ۱۰۰/۰۰۰ :۱ رباط سفید) با پی‌جویی تک تک آبراهه‌های قطع کننده این طبقات مورد بررسی قرار گرفت. طول کلی لایه‌های سرخ الیگوسن که به صورت ممتد رخنمون دارند به ۱۵۰ کیلومتر می‌رسد که رخنمون مذکور به طور کامل و در تمامی آبراهه‌های عرضی طی ۵ مرحله عملیات صحرایی (از تابستان ۱۳۸۶ تا تابستان سال ۱۳۸۷) جهت مس رسوبی پی‌جویی گردید.

کاربرد GPS به عنوان یک دستگاه مکان‌یاب با دقت بالا در تعیین و پیدا کردن دقیق محلهای اکتشافی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. همگام با شناسایی مکان‌های پتانسیل‌دار اقدام به نمونه‌گیری برای بررسی‌های آزمایشگاهی شده است. موقعیت نمونه‌ها به دقت توسط GPS برداشت و در روی نقشه زمین‌شناسی پیوست ارائه شده است.

اطلاعات جامعی از موقعیت مکانی نمونه‌ها، واحدهای زمین‌شناختی و تکتونیکی، شیب و امتداد لایه‌بندی، گسلها، شکل و ابعاد ماده معدنی، ساخت و بافت کانسنگ، کانیهای موجود در منطقه و ارتباط ماده معدنی با سنگهای میزبان در این گزارش ارائه شده است.

طی بررسی‌های اکتشافی در منطقه مذکور تعداد ۱۲۳ نمونه شامل ۶۷ نمونه برای بررسی ژئوشیمی و آنالیز برای عناصر مرتبط با تیپ کانی‌سازی مس با میزبان رسوبی، ۲۲ نمونه برای مطالعه مقاطع نازک و تعداد ۳۴ نمونه نیز برای مطالعه مقاطع صیقلی برداشت و مطالعه شده است که نتایج آنها در پیوست گزارش ارائه شده است.

فصل دوم

پی‌جویی
در ورقه کـد کن

۲-۱-مقدمه

افق‌های رسوبی حاوی کانی سازی مس با روند تقریبی شرقی- غربی به طول حدود ۱۳۰ کیلومتر از انتهای شرقی ورقه رباط سفید تا بخشهای میانی ورقه ششتمد امتداد دارند. هم‌چنین کانی‌سازی مس در واحدهای ولکانیکی کرتاسه تماماً در ورقه دارین و بخش شمال غربی ورقه ششتمد قرار می‌گیرند.

کانی‌سازی مس رسوبی و ولکانیکی به ترتیب از شرق به غرب در دو برگه ۲۵۰/۰۰۰ :۱ تربت حیدریه و کاشمر و ورقه‌های ۱۰۰۰۰۰ :۱ رباط سفید - کدکن - شامکان - ششتمد - دارین و بخشهای شمالی ورقه تربت حیدریه قرار می‌گیرند.

مطابق نقشه‌های ۲۵۰۰۰۰ :۱ تربت حیدریه و کاشمر، افق‌های کانه‌دار در طبقات قرمز (Redbed) که بخشی از واحدهای ائوسن- الیگوسن (EO^c, EO^s) و الیگوسن (O^{sc}) می‌باشند، واقع می‌شوند. واحد EO^S که بیشترین مورد کانی‌سازی مشاهده شده داخل این واحد واقع می‌شوند، در کل متشکل از ماسه‌سنگ‌های قرمز و مارن، واحدEO^C متشکل از کنگلومراهای قرمز و ماسه‌سنگ و واحد O^{Sc} نیز از ماسه‌سنگ‌های خاکستری، کنگلومرا و سیلتستون می‌باشند.

با توجه به اهمیت طبقات سرخ بعنوان میزبان کانی سازی مس های رسوبی در منطقه قبل از پرداختن به گزارش مشاهدات و بررسیهای صحرایی در ارتباط با طبقات قرمز و انواع آنها مطالبی ارائه می‌شود.

۲-۲- طبقات قرمز

واژه طبقات قرمز به توالیهای رسوبی اطلاق می‌شوند که رنگ قرمز دارند و معمولاً با نسبتهای متفاوتی از میان‌لایه‌های خاکستری، خاکستری- سبز، قهوه‌ای یا سیاه همراه هستند و محدوده وسیعی از رخساره‌ها محیطهای رسوبی غیردریایی را شامل می‌شوند. از لحاظ سنی نیز از پروتروزوئیک آغازی تا سنوزوئیک گسترش دارند. اهمیت اقتصادی آنها نیز به جهت مخازن زیادی از نفت و گاز و مس و اورانیوم می‌باشد. 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.

این طبقات بدلیل وجود اکسیدهای فریک خیلی ریز و پراکنده که معمولاً به فرم هماتیت (α-Fe_2O_3) هستند، سرخ رنگ دیده می‌شوند. سرخی طبقات و تشکیل هماتیت توسط عوامل اکسیداسیون- احیا (Eh) و pH کنترل می‌شود. در حالت معمول تغییرات رنگ به تغییرات شیمی آب روزنه‌ای که در اثر نوسانات محیط رسوبگذاری و یا دیاژنتیک اولیه ایجاد می‌شود، ارتباط دارد. واحدهای دریایی قرمز 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 شرایط آب و هوایی استوایی مرطوب تشکیل شوند.

طبقات سرخ‌رنگ منشاء 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.

بدلیل فراوانی مواد آلی در محیطهای دریایی، طبقات سرخ دریایی نادرند و در گروه جداگانه‌ای دسته‌بندی شده‌اند. سه مکانیسم اصلی در رابطه با منشاء رنگ قرمز طبقات سرخ‌رنگ پیشنهاد شده است که هر کدام از آنها تاریخچه رسوبگذاری و دیاژنزی متفاوتی را نیز منعکس می‌کنند.

طبقات سرخ به چهارگروه تقسیم شده‌اند.

۱- طبقات سرخ اولیه: از فرسایش خاک‌های لاتریتی مناطق مرتفع مرطوب و هیدروکسیدهای فریک قدیمی تشکیل شده در محیطهای خاکزاد و از نهشته‌شدن و دیاژنز اولیه ایجاد می‌شوند.

۲- طبقات سرخ دیاژنزی: دیاژنز تدفینی و انحلال سیلیکات‌های فرومنیزین موجود در طبقات میان‌لایه‌ای

۳- طبقات سرخ ثانویه: هوازدگی و اکسیدشدن طبقات غیر سرخ بعد از بالاآمدگی آنها (Uplift)

۴-طبقات سرخ دریایی: در اثر عدم تولید مواد آلی لازم و نرخ‌های پایین رسوبگذاری در شرایط اکسیدان زیر سطح تماس آب- رسوب.

۲-۲-۱- طبقات سرخ اولیه

طبقات سرخ به صورت اولیه در اثر فرسایش و رسوبگذاری مجدد خاک‌های سرخ یا طبقات سرخ قدیمی بوجود می‌آیند. مهمترین مشکل این فرضیه کمیاب بودن نسبی آبرفت‌های سرخ رنگ حال حاضر است.

وان‌هاتن (۱۹۶۱) عقیده دارد که قرمزشدن درجا (In situ) (طی دیاژنز اولیه) رسوبات (اخیر) از طریق آبزدایی هیدروکسیدهای فریک قهوه‌ای می‌باشد. این هیدروکسیدهای فریک عموماً شامل گوتیت (α-FeOOH) و لیمونیت (هیدروکسیدهای فریک آمورف) می‌شود. در حقیقت بیشتر این مواد فری‌هیدریت با ترکیب نزدیک به ($2.5\ Fe_2O_3, 4.5\ H2O$) هستند.

Berner (۱۹۶۹) نشان داد که هیدروکسید فریک (گوتیت) در حالت عادی نسبت به هماتیت ناپایدارتر است و در غیاب آب یا در حرارت بالا طبق واکنش زیر آب خود را از دست می‌دهد:

$$2\alpha\text{-FeOOH (گوتیت)} \rightarrow \alpha\text{–}Fe_2O_3\text{ (هماتیت)} + H_2O$$

انرژی آزاد گیبس (ΔGr) برای این واکنش در حرارت 25^oc ، ۲/۷۶ KJ/mol- است. که با کوچک شدن اندازه ذرات (ΔGr)آن به سرعت منفی می‌شود. بنابراین با گذشت زمان هیدروکسیدهای فریک تخریبی که شامل گوتیت و فری‌هیدریت می‌باشند به رنگدانه‌های هماتیتی سرخ‌رنگ تبدیل می‌شوند. این فرآیند هم در مورد سرخ شدن آلوویوم‌ها و هم در مورد ماسه‌های قدیمی بیابان که نسبت به معادل‌های جوان خود قرمزتر هستند، نیز صادق است.

۲-۲-۲- طبقات سرخ دیاژنزی

تشکیل طبقات سرخ حین دیاژنز تدفینی بخوبی توسط والکر (۱۹۷۸) تشریح شده است. نکته مهم در این مکانیسم دگرسانی میان‌لایه‌های سیلیکات‌های فرومنیزین در اثر آب‌های جوی اکسیژن‌دار حین تدفین می‌باشد. مطالعات والکر نشان می‌دهد که هیدرولیز هورنبلندها و دیگر مواد تخریبی آهن‌دار از سری پایداری گولدیش طبعیت می‌کند و با انرژی آزاد گیبس (ΔGr) کنترل می‌شود.

پیشرفت فرایند قرمزشدگی به عنوان دگرسانی دیاژنتیک یک مکانیسم وابسته به زمان است.

۲-۲-۳- طبقات سرخ ثانویه

این نوع طبقات سرخ با منطقه‌بندی رنگی نامنظم مشخص می‌شود. مرز رنگ‌ها ممکن است کنتاکت سنگ‌شناسی را قطع کند و در مجاورت ناپیوستگی‌ها شدت قرمزشدگی افزایش می‌یابد. فازهای ثانویه قرمزشدگی می‌تواند برروی طبقات سرخ اولیه دوباره اعمال می‌شود. شرایط عمومی که منجر به دگرسانی بعد از دیاژنز می‌شود توسط Mucke(1994) تشریح شده است. واکنشهای مهم شامل ۱- اکسید شدن پیریت و ۲- اکسید شدن سیدریت می‌باشد.

$$3O_2 + 4FeS_2 \rightarrow Fe_2O_3\text{ (Hematite)} + 8S \quad \Delta Gr=-789\text{ kJ/mol}$$
$$O_2 + 4FeCO_3 \rightarrow 2Fe_2O_3\text{ (Hematite)} + 4\,CO_2 \quad \Delta Gr=-346\text{ kJ/mol}$$

طبقات سرخ ثانویه به بالاآمدگی، فرسایش و هوازدگی سطحی رسوبات قبلی مرتبط است و شرایط تشکیل آن همانند شرایط تشکیل طبقات سرخ اولیه و دیاژنتیک می‌باشد.

۲-۲-۵- طبقات سرخ دریایی

اینگونه طبقات نادر هستند و دلیل آن فراوانی مواد آلی و شرایط احیایی حاکم در زیرسطح تماس آب- رسوب و پایداری فاز آهن‌دار به صورت پیریت می‌باشد. شرایط احیایی در نتیجه فعالیت باکتریها در احیاء سولفات‌ها و تخریب اکسیدهای آهن تخریبی ایجاد می‌شوند. این فرآیند را می‌توان به طور ساده در فرمول زیر ارائه کرد (فرمول مواد آلی به صورت CH_2O نمایش داده شده است). احیای سولفات باعث تشکیل بیکربنات و سولفید هیدروژن می‌شود:

$$2CH_2O + SO_4^{2-} \rightarrow 2HCO_3^- + HS^- + H^+$$

این واکنش همراه با احیای آهن ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$) و ترکیب یون فرو به صورت فاز حدواسط نظیر ماکیناویت ($Fe\ S_{0.9}$) یا greigite (Fe_3S_2) و فاز بعدی به صورت پیریت (طبق واکنش زیر) می‌باشد:

$$FeOOH + 2HS^- \rightarrow FeS_2 + H_2O + H^+$$

هرگاه قدرت تولید مواد آلی خیلی پایین باشد یا نرخ رسوبگذاری خیلی آهسته باشد، مواد آلی کاملاً تخریب شده و شرایط اکسیدان در ستون رسوبی به پایین مهاجرت می‌کند. تحت چنین شرایطی اکسیدهای آهن تخریبی، پایدار می‌مانند و هماتیت اضافی تولید می‌شود. این حالت مکانیسم تشکیل رس‌های قرمز دریایی عمیق و دیگر طبقات سرخ پلاژیک می‌باشد.

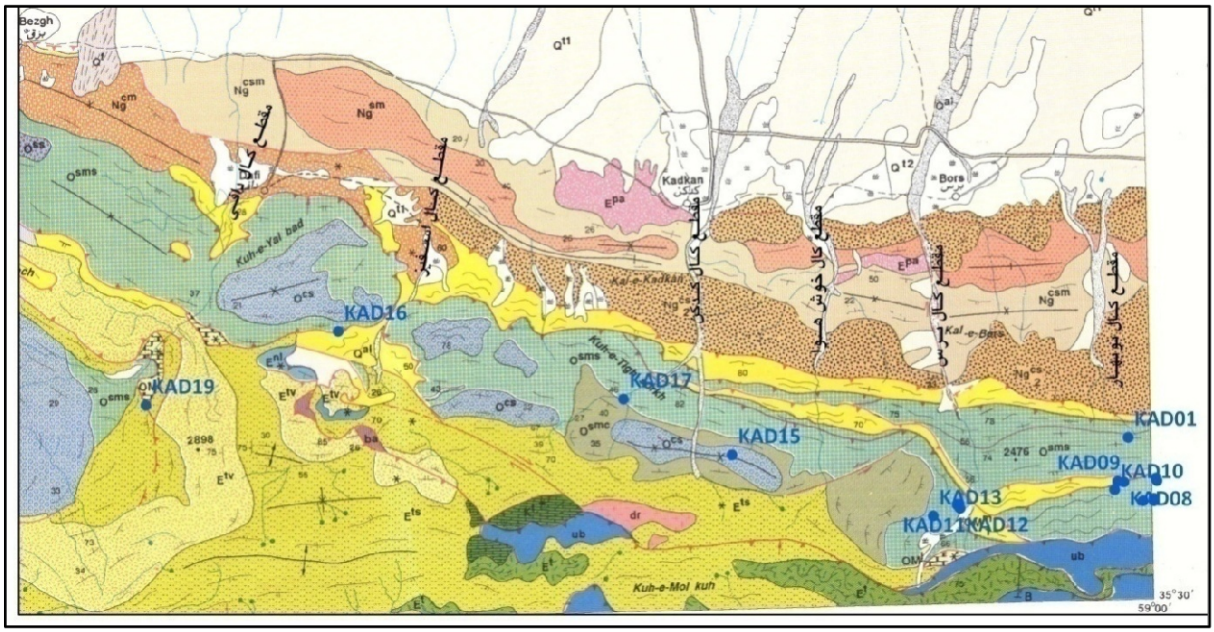
(در شمال‌خاوری ایران مرکزی به ویژه در حوضه های تربت حیدریه، تربت جام، کاشمر و ... نهشته های سرخ رنگی با سیمای مشابه سازند سرخ بالایی وجود دارد. در این گونه نواحی سنگ آهک های الیگوسن- میوسن (سازند قم) وجود ندارد و لذا شناخت تەنشست های قاره‌ای میوسن (سازند سرخ بالایی) از الیگوسن- میوسن ناممکن است. در چنین حالتی از واژه لایه های سرخ (Red-bed) استفاده می شود 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 (آقانباتی ۱۳۸۳)).

۲-۳- کانی‌سازی مس رسوبی در ورقه کدکن

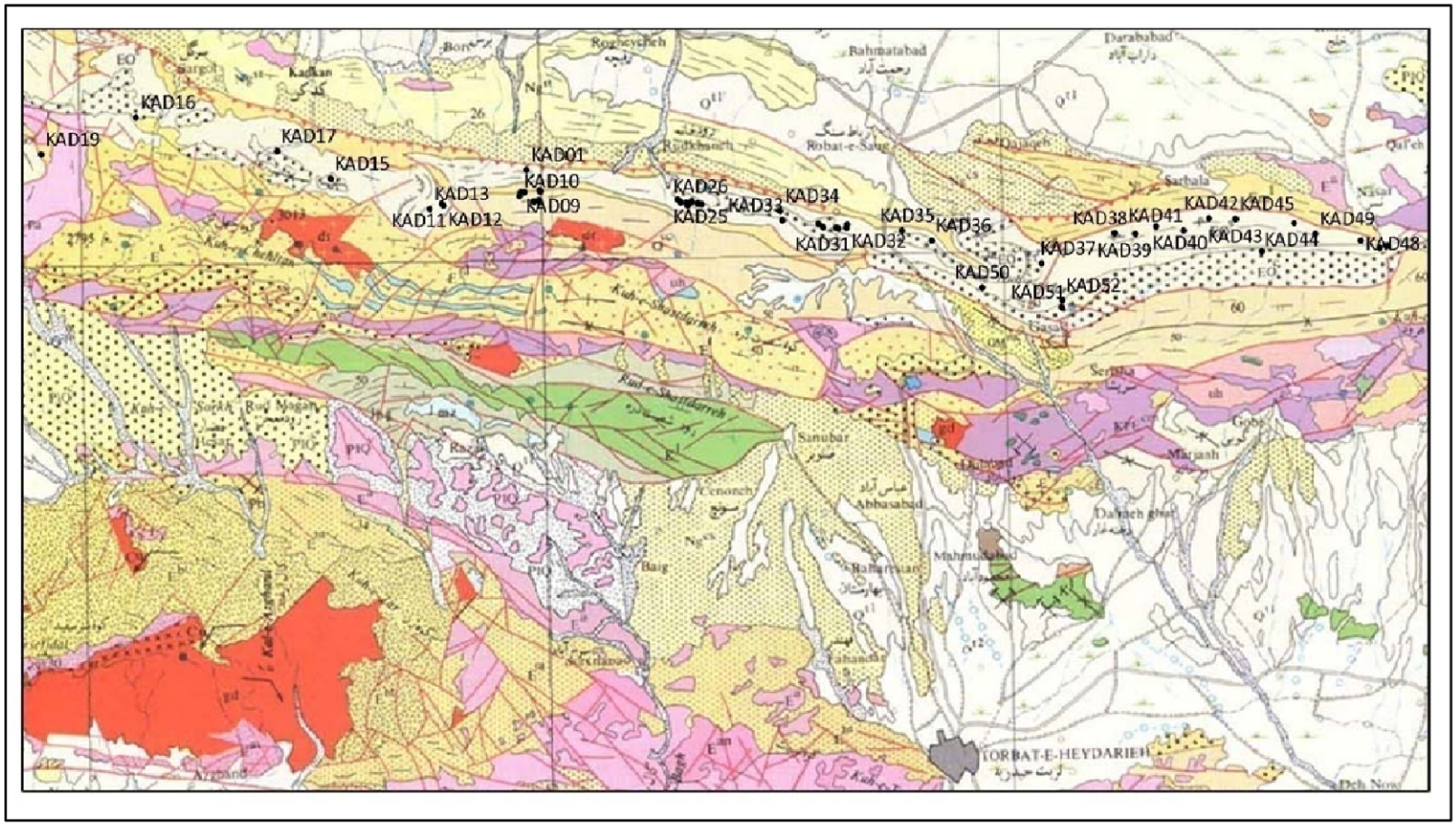
در ورقه کدکن افق‌های کانی‌سازی مس رسوبی تماماً در واحد سنگی الیگوسن (O^{sms}) قرار می‌گیرند. این واحد بصورت رخساره آواری از تناوب ماسه‌سنگ، سیلتستون و مارن تشکیل شده است. ماسه‌سنگ‌ها از نوع آرکوز، لیتیک آرکوز و فلدسپاتیک لیتارنایت ساب مچور ریزدانه آهن‌دار، حاوی ریپل‌مارک‌های نامتقارن لایه ضخیم تا لایه متوسط به رنگ قرمز روشن تا خاکستری تیره (Red-bed) می‌باشد. سنگ سیلت‌ها لایه نازک و مارن‌ها قرمزرنگ می‌باشند.

این واحد (O^{sms}) برروی واحد توف ماسه‌سنگی E^{ts} بگونه دگرشیب قرار گرفته و سن آن الیگوسن زیرین تعیین شده است. روند شرقی- غربی این رخساره و ضخامت زیاد آن بر اثر عملکرد گسلهای راندگی در جنوب محدوده نقشه می‌باشد. بطورکلی اغلب سنگهای مارنی و سنگ سیلتها فرسایش یافته و ماسه سنگها بصورت ستیغ‌هایی صخره‌ای برونزد دارد، لذا مورفولوژی صخره‌ساز و مرتفعی را در همه این رخساره می‌توان مشاهده کرد. شیب لایه‌ها به سمت جنوب بوده و در نزدیکی گسلها، شیب‌ها زیاد و حتی در پاره‌ای موارد بصورت عمودی می‌باشد. عملکرد گسلهای راندگی، تناوبی با مارنهای الیگومیوسن (OM_1^m) در این واحد، ایجاد نموده است. در بخشهای سالم حداکثر ضخامت آن به ۱۰۰۰ متر می‌رسد (نادری میقان و ترشیزیان (۱۳۷۷)).

در بخشهای جنوبی ورقه کدکن علاوه بر O^{sms} ، دیگر واحدهای الیگوسن یعنی واحد O^{smc} ، O^{ss} ، O^{sl} ، O^{cs} حاوی واحدهای ماسه‌سنگی، کنگلومرا و مارنی قرمز رنگ هستند که تنها رخساره‌های قرمز واحد O^{sms} حاوی کانی‌سازی مس رسوبی هستند.در این ورقه تمامی رخنمون های واحدهای O^{sms} که در بخش جنوبی آن قرار دارند از طریق آبراهه‌های قطع کننده آنها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. شکل ۲ موقعیت نقاط نمونه برداری و پیمایش های انجام شده در ورقه کدکن و شکل ۳ نیز پراکندگی نقاط نمونه‌برداری را در برگه تربت حیدریه نشان می‌دهند. هم‌چنین در جدول ۱ نتایج آنالیز نمونه برداشت شده در ورقه های کدکن، رباط‌سفید، تربت‌حیدریه و شامکان ارائه شده است. نمونه‌های برداشت شده در این پروژه برای عناصر Cu، Mo ، W ، Pb ، Zn ، Ag ، Co ، V و Ni آنالیز شده‌اند.



شکل ۲- پیمایش های زمین شناسی انجام شده در ورقه کدکن



شکل ۳- موقعیت نقاط نمونه برداری در مناطق مورد بررسی حاوی کانی سازی در برگه تربت‌حیدریه

جدول ۱ – نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت شده (ppm) در ورقه های کدکن، رباط‌سفید، تربت‌حیدریه و شامکان

sample	Cu %	Pb	zn	Mo	W	Ag	cd	co	v	Ni
KAD01	1.71	920	37	539	843	13	1.4	8		
KAD02	5.12	37	33	193	823	9	1.6	10		
KAD03	2.78	31	33	87	940	7	1.8	12		
KAD04	2.98	34	39	99	815	30	1.6	9		
KAD05	3.03	48	33	472	635	23	1.4	9		
KAD06	2.8	63	34	84	514	29	1.4	8		
KAD07	4	0.25%	33	n.d	400	60	2	10		
KAD08	0.067	28	31	47	856	1.6	2	22		
KAD09	2.57	35	41	118	783	3	1.8	16		
KAD11	4.35	42	30	110	825	14	1.8	8		
KAD12	4.73	43	27	n.d	389	6	1.4	8		
KAD13	4.3	91	30	105	858	25	1.8	19		
KAD14	3.32	253	175	133	774	23	1.2	9		
KAD15	0.066	30	47	92	948	1.8	0.8	18		
KAD16	3.3	31	40	119	752	18	0.8	20		
KAD17	9.33	115	30	292	845	81	0.6	14		
KAD18	4.68	46	23	156	733	26	0.6	12		
KAD20	0.81	12	85	0.5	<0.5	4.1	<1.00	8.34	76	26
KAD21	4.51	20	250	0.88	0.91	37	<1.00	12.3	225	120
KAD22	4.57	22	260	1.2	0.5	75	<1.00	16.5	360	135
KAD23	3.46	14	200	0.88	<0.5	5.3	<1.00	19.6	835	185
KAD24	3.97	22	215	1.31	<0.5	66	<1.00	14.8	895	130
KAD25	3.94	15	225	0.68	<0.5	220	1.1	14.8	885	160
KAD26	0.0367	8	50	0.62	0.53	0.73	<1.00	19.5	110	130
KAD27	4.26	30	235	4.35	<0.5	6	<1.00	17.8	165	155
KAD28	4.23	15	235	1.43	<0.5	8.4	<1.00	20.7	190	200
KAD29	6.13	34	360	3.21	1.31	6	<1.00	12.1	310	80
KAD30	4.36	28	240	2.86	0.72	18	<1.00	24	215	210
KAD32	3.99	47	220	1.32	<0.5	25	<1.00	13.5	485	40
KAD33	0.0556	30	57	0.53	2.03	2	<1.00	15.3	80	48
KAD34	2.67	60	160	3.47	0.56	50	4	41.8	105	135
KAD35	2.94	77	175	2.29	1.79	30	7.5	37.4	125	42
KAD36	6.42	20	335	1.71	0.99	15	<1.00	17.2	165	135
KAD37	4.26	14	28			13	<0.6	11		74
KAD38	3.3	10	26			5	<0.6	10		78
KAD39	5.73	21	40			11	<0.6	17		154
KAD40	6.48	<9	29			53	<0.6	12		100
KAD41	5.58	20	31			39	<0.6	39		131
KAD42	5.95	17	52			54	<0.6	18		159
KAD43	3.66									
KAD44	3.71	27	72			9	<0.6	22		128
KAD46	4.68	51	36			96	1.2	14		93
KAD47	3.8	196	36			48	10	18		106
KAD48	3.81	9	37			11	<0.6	16		105
KAD49	4.5	12	44			41	<0.6	15		118
KAD50	3.73	12	27			101	<0.6	16		128
KAD52	7.1	35	40			97	1	14		97

۲-۳-۱- مقطع کال نوبهار

این مقطع در منتهی‌الیه شرقی ورقه کدکن واقع است. فاصله ابتدای کال (رودخانه) نوبهار از بخش رباط سنگ در حدود ۲۱ کیلومتر و از بخش کدکن نیز در حدود ۱۱/۵ کیلومتر است. پس از طی مسافتی در حدود ۷ کیلومتر داخل کال نوبهار به سمت جنوب به ابتدای مقطع می‌رسیم. در طول این مقطع ابتدا واحدهای کنگلومرا و ماسه‌سنگی نئوژن به ضخامت تقریبی ۱/۵ کیلومتر رخنمون دارند.

سپس واحدهای مارنی الیگوسن به ضخامت حدود ۲۵۰ متر متشکل از مارن روشن‌رنگ، ژیپس همراه با میان‌لایه‌های شیلهای مارنی و سیلتستون سبز تا خاکستری رخنمون دارند. بعد از این واحدها، واحد O^{sms} متشکل از لایه‌های ضخیم ماسه‌سنگهای قرمز تیره و مارن‌های قرمزرنگ با میان‌لایه‌های نازک سیلتستون که میزبان کانی‌سازی نیز هستند، قرار دارد. درون این توالی گاهی میان‌لایه‌های کنگلومرایی نیز به صورت منقطع تشکیل شده است که بعضاً کانی‌سازی مس در آنها نیز انجام شده است. نمونه Kad2 از یک واحد کنگلومرایی به ضخامت یک الی ۲ متر و طول تقریبی ۴۰ متر برداشت شده است. کمر بالا و کمر پایین این واحد، ماسه‌سنگهای مارنی قرمز تیره قرار دارند.

در محل این نمونه مس بصورت مالاکیت که عمدتاً به صورت آغشتگی اطراف قطعات تشکیل دهنده کنگلومرا ته‌نشین شده است، مشاهده می‌شود. در نمونه دستی کانی نئوتاسیت (سیلیکات آبدار مس، آهن و منگنز آمورف) که به صورت لکه‌های پراکنده و گاهی رگچه‌های خاکستری مایل به سیاه هستند، قابل تشخیص هستند.

امتداد افق کانه‌دار کنگلومرایی N50E و شیب آن ۳۰ درجه به سمت جنوب شرق است و ادامه جنوب غربی آن به زیر واحدهای ماسه‌سنگی رفته و طول واقعی آن مشخص نیست.

با توجه به بالا بودن عیار W و Mo در نمونه های Kad 2 الی Kad 18 ، جهت کنترل مجدد عیار، تعداد ۸ نمونه (به شماره 88-torbat-1 الی 88-torbat-8) از میان آنها انتخاب و آنالیز گردید که نتیجه آن در جدول ۲ با نتایج اولیه مقایسه شده است. نتایج بدست آمده با عیار سایر نقاط در منطقه تفاوت معناداری ندارد و نشاندهنده خطای آزمایشگاهی است.

جدول ۲ – نتایج حاصل از آنالیز تکراری ۸ نمونه جهت کنترل عیار W و مقایسه آنها با نتایج اولیه

sample	Ni	Co	v	W	Mo
	(ppm)				
KAD02		10		823	193
88-torbat-1	24	10	54	20	26
KAD04		9		815	99
88-torbat-2	48	11	148	11	11
KAD06		8		514	84
88-torbat-3	23	9	55	11	9
KAD08		22		856	47
88-torbat-4	239	22	112	11	5
KAD12		8		389	n.d
88-torbat-5	33	8	1666	184	24
KAD15		18		948	92
88-torbat-6	107	20	204	184	24
KAD16		20		752	119
88-torbat-7	60	16	115	11	6
KAD17		14		845	292
88-torbat-8	134	15	414	55	37

نمونه Kad2 که از بخشهای پرعیار افق کانه‌دار برداشت شده دارای ۵/۱۲ درصد مس بوده است. سایر عناصر عیار بالایی ندارند.

در نمونه‌ای که برای مطالعه مقطع صیقلی از این واحد برداشت گردید، کانه‌های مگنتیت، کوولیت، مالاکیت و اکسیدهای آبدار ثانویه آهن تعیین گردیده است. مگنتیت به صورت دانه‌های انگشت‌شمار از بلورهای خودشکل همراه با شکستگی تشکیل شده است. کوولیت (که در نمونه دستی به عنوان نئوتاسیت تشخیص داده شده بود) به صورت تجمعی و لکه‌های درشت در متن سنگ پراکنده است که توسط اکسیدهای آبدار و ثانویه آهن احاطه شده و در حدود ۲ درصد از نمونه را تشکیل می‌دهد.

مالاکیت به عنوان فراوانترین کانی و درشت‌دانه در حدود ۱۰ درصد کل نمونه را تشکیل داده است.

نمونه Kad3 از ماسه‌سنگ‌های خاکستری احتمالاً آرکوزی که به مالاکیت آغشته‌اند و در حدود ۸۰ متری جنوب نمونه Kad2 واقع است برداشت گردید. واحد ماسه‌سنگی تورق خوبی داشته و شیب و امتداد آن همانند واحد کنگلومرایی کانه‌دار می‌باشد.

از ویژگیهای بارز کانی‌سازی مس رسوبی در منطقه همراهی آنها با ماسه‌سنگهای خاکستری (احیایی) دارای آثار و بقایای فسیل‌های گیاهی است که در نمونه Kad3 نیز قابل مشاهده است. ضخامت افق کانه‌دار در حدود ۵۰ سانتیمتر و طول آن به ۴۰ متر می‌رسد. نمونه فوق دارای عیار مس ۲/۷ درصد است.

کانه‌های مشاهده شده در نمونه صیقلی برداشت شده از این واحد شامل مگنتیت، تیتانومگنتیت، کوولیت، کالکوپیریت و اکسیدهای آبدار ثانویه آهن می‌باشد. مگنتیت و تیتانومگنتیت به صورت بلورهای خودشکل و پراکنده در متن نمونه مشاهده می‌شوند. کوولیت به صورت بلورهای نسبتاً کوچک تجمعی و پرکننده فضاهای خالی تشکیل شده است که توسط اکسیدهای آبدار ثانویه آهن احاطه شده‌اند. کالکوپیریت تنها به صورت تک کانه در اندازه ۱۰ میکرون مشاهده شده است.

هم‌چنین از این واحد یک نمونه برای تعیین نوع ماسه‌سنگ مورد مطالعه قرار گرفته است که نتیجه مطالعه نوع ماسه‌سنگ را آرکوز لیتیک تا لیتارنایت فلدسپات‌دار آهکی ساب‌مچور تعیین کرده است. قطعات لیتیک از سنگهای آذرین درونی با ترکیب اسیدی ولی بیشتر از ولکانیک‌های شیشه‌ای تجدید تبلور یافته تشکیل شده است.

افق دیگری در فاصله ۴۴۰ متری جنوب افق بالا از ماسه‌سنگ‌های آهکی به ضخامت حدود ۵۰ سانتیمتر و طول تقریبی ۳۰ متر دیده می‌شود. این افق دارای امتداد شرقی- غربی و شیب ۴۵ درجه به سمت جنوب است. سطح سنگ و سطح شکستگی‌های آن به مالاکیت آغشته شده‌اند. گاهی ضخامت افق کانه‌دار به ۳ متر هم می‌رسد. عیار مس اندازه‌گیری شده از بخشهای پرعیار این افق حدود ۳ درصد می‌باشد (نمونه Kad4). نام دقیق افق ماسه‌سنگی کانه‌دار که طی مطالعه یک نمونه مقطع نازک از آن مشخص شده است، آرکوز لیتیک تا لیتارنایت فلدسپات‌دار آهکی ساب‌مچور تکتونیزه است. فلدسپاتها ترکیب سدیک دارند و کمی سریسیتی شده‌اند. قطعات سنگی متشکل از قطعات ولکانیک شیشه‌ای تجدید تبلور یافته، قطعات ولکانیک شیشه‌ای کلریتی شده، گاه قطعات رسوبی میکرایتی و قطعات ولکانیکی میکرولیتی اکسیده است. سیمان سنگ نیز کربنات می‌باشد.

در ادامه مقطع کال نوبهار و در ۵۰ متری جنوب افق مربوط به نمونه Kad4، افق ماسه‌سنگی دیگری با همان ویژگیهای افق‌های کانه‌دار با کانی‌سازی مس همراه با فسیل‌های گیاهی مشاهده می‌شود. ضخامت این افق ۲ تا ۳ متر و طول آن در دامنه موردنظر حدوداً ۵۰ متر است. شیب و امتداد واحد ماسه‌سنگی هماهنگ با کل توالی رسوبی است. این واحد در قاعده در حال تبدیل به کنگلومرای ریزدانه با قطعات گرد شده است. کانی‌سازی در کنگلومراها نیز انجام شده است.

نمونه Kad5 که از بخشهای پرعیار برداشت شده دارای عیار مس ۳/۰۳ درصد می‌باشد. هم‌چنین نتیجه نمونه‌ای که برای مطالعه مقطع صیقلی از این بخش برداشت گردیده به شرح ذیل می‌باشد:

- کالکوسیت- کوولیت: تجمع این دو کانی به صورت لکه‌ای بوده و بافت آن پرکننده فضاهای خالی است.

- مالاکیت: به صورت بلورهای نسبتاً پهن و درشت در فضاهای خالی وشکستگی سنگ میزبان تشکیل شده است.

- هماتیت : تجمع آنها به صورت لکه‌هایی همرشد با بلورهای کوولیت مشاهده می‌شود.

- مگنتیت : به صورت بلورهای خودشکل و نیمه‌خودشکل با فراوانی حدود یک درصد در حال دگرسانی به هماتیت می‌باشد.

- روتیل : ذرات کوچکی از بلورهای روتیل به تعداد خیلی کم در متن نمونه پراکنده‌اند.

به سمت جنوب ستون چینه‌شناسی یک واحد ماسه‌سنگی سرخ رنگ به ضخامت ۱۵ متر مشاهده می‌شود که درون آن بخشهای ماسه‌سنگی روشن و احیایی تشکیل شده است. این افق‌های احیایی در قاعده خود کانی‌سازی مس دارند و عیار آن در نمونه برداشت شده از آن (Kad6) ۲/۸ درصد و عیار تنگستن ۵/۴ پی‌پی‌ام تعیین شده است.

جنس ماسه‌سنگ همانند دیگر افق‌های ماسه‌سنگی رخنمون دار در این مقطع تعیین شده است.

درون آبراهه‌ای که مقطع اکتشافی در آن واقع شده و به سمت غرب نقاط قبلی در محل نمونه Kad7 (که در ۲۷۰ متری غرب Kad4 قرار دارد) افق کانه‌دار قابل ردیابی است. ماسه‌سنگ‌های خاکستری (احیایی) در اینجا در قاعده خود کمی کنگلومرایی می‌شود که قطعات آن به مالاکیت آغشته هستند. واحد ماسه‌سنگی کانه‌دار آثار فسیل‌های گیاهی را نشان می‌دهد. در بخشهایی که فراوانی این فسیل‌ها زیاد می‌شود، عیار ظاهری مس هم بیشتر شده و مس بصورت آزوریت مشاهده می‌شود. ضخامت افق ماسه‌سنگی در حدود ۵-۷ متر است که بخشهای بالایی آن مالاکیت دارد.

در برخی قسمت‌ها در سطوح شکسته سنگ، فراوانی مالاکیت بالا می‌رود. عیار مس در نمونه‌ای که از قسمت‌های پرعیار برداشت شده (Kad7) ۴ درصد تعیین شده است.

از بخشهای میانی مقطع کال نوبهار به سمت غرب، آبراهه‌ای منشعب می‌شود که طول نسبتاً زیادی نیز دارد. در امتداد این آبراهه در دو نقطه رخنمون واحدهای ماسه‌سنگی و کنگلومرایی کانه‌دار قابل مشاهده است. نمونه Kad8 که در ۷۸۰ متری غرب نمونه Kad2 از کنگلومرای کمی آغشته به مالاکیت برداشت شد عیار خاصی از مس نشان نمی‌دهد (۰/۰۶۶ درصد) اما نمونه Kad9 که از کنگلومرای کانه‌دار برداشت گردیده دارای عیار ۲/۵۷ درصد مس است. این واحد کانه‌دار در حدود ۷۰ متر طول و ۲-۱ متر ضخامت دارد. نمونه Kad10 که از اولین واحد ماسه‌سنگی کانه‌دار روی کنگلومرا برداشت شده و دارای آثار فسیل‌های گیاهی است در مطالعه مقطع صیقلی حاوی مگنتیت فراوان در حال تبدیل به هماتیت، چند بلور پیریت درون شکستگیها، لکه‌های کالکوسیت و روتیل بوده است.

۲-۳-۲- مقطع کال بُرس

این مقطع در بخش شرقی ورقه کدکن و ۴ کیلومتری غرب مقطع کال نوبهار و به موازات تقریبی آن قرار دارد (شکل ۲). واحدهای سنگی مشاهده شده در این مقطع همانند مقطع کال نوبهار است اما ضخامت واحد کانه‌دار (O^{sms}) در آن بیشتر است.

رخنمون افق‌های کانه‌دار از ۲۷۰۰ متری ابتدای (جنوب) واحد O^{sms} شروع می‌شود. در یک سکانس رسوبی متشکل از کنگلومرای پلی‌میکتیک تیره و ماسه‌سنگ‌های خاکستری است(حالت غالب با کنگلومرا است). درون واحد ماسه‌سنگی یک باند رسوبی آغشته به مالاکیت (شکل ۴) همراه با آثار فسیلهای گیاهی مشاهده می‌شود. در این واحد مالاکیت همراه دانه‌های پلاژیوکلاز و گاهی پوشاننده آنهاست و بعضاً بصورت سیمان ماسه‌سنگ دیده می‌شود. گاهی مالاکیت‌های بلوری به شکل سوزنی و شعاعی نیز دیده می‌شوند. این کانی معمولاً با لایه‌بندی ماسه‌سنگ‌ها هم‌خوانی ندارد ولی گاهی هم موازی لایه‌بندی آنهاست.

درون کنگلومراها نیز در حد وسیع قطعات لیتیک به مالاکیت آغشته هستند اما تمرکز خاصی را نشان نمی‌دهند. از قسمت‌های پرعیار واحد ماسه‌سنگی کانه‌دار نمونه Kad11 برداشت شد که عیار مناسبی از مس (۴/۳۵ درصد) نشان می‌دهد. طول افق کانه‌دار ۳۰ الی ۴۰ متر و ضخامت آن حداکثر به ۵۰ سانتیمتر می‌رسد. امتداد این افق N25W و شیب آن ۶۵ درجه به سمت جنوب غرب اندازه‌گیری شده است. عملکرد گسلهای عرضی با جابجایی واحدهای رسوبی همراه است و فرآیند پلکانی شدن را در واحد کانه‌دار می‌توان مشاهده نمود. مطالعه یک نمونه مقطع صیقلی از این واحد کانیهای مگنتیت، هماتیت و مالاکیت را در آن مشخص کرده است.

هم‌چنین یک نمونه مقطع نازک از واحد ماسه‌سنگی نشان می‌دهد که نام دقیق واحد کانه‌دار لیتارنایت فلدسپات آهکی ساب‌مچور تکتونیزه با سیمان مالاکیت می‌باشد. فلدسپاتهای سنگ از نوع سدیک بوده و سریسیتی شده‌اند. قطعات لیتیک نیز ولکانیک‌های شیشه‌ای تجدید تبلور یافته می‌باشند. کانیهای فرعی در این نمونه شامل کانیهای اُپاک، زیرکن و تورمالین می‌باشند. این نمونه جورشدگی ضعیف داشته و دانه‌های آن نیمه‌زاویه‌دار است.

شکل ۴- بخشی از افق ماسه سنگی آغشته به مالاکیت در مقطع کال برس

در ۱۰۰ متری جنوب شرقی نمونه فوق درون واحدهای ضخیم لایه کنگلومرایی افق نازکی از آن دیده می‌شود به ضخامت متوسط ۳۰ سانتیمتر و طول تقریبی ۱۵ متر که حاوی مقادیر بالایی از مالاکیت و کالکوسیت است. مالاکیت هم بصورت غشایی اطراف قطعات کنگلومرا و هم‌بصورت سیمان فضای بین قطعات را پر کرده است. سیمان اصلی سنگ سیلیس می‌باشد. نمونه Kad12 از بخشهای پرعیار این افق برداشت گردیده است. عیار مس در این نمونه بالاست و ۴/۷۳ درصد تعیین شده است.

نمونه‌ای که برای مطالعه مقطع صیقلی برداشت شده (Kad 12p) حاوی کانیهای مگنتیت، هماتیت، کالکوسیت و کوولیت، مالاکیت و روتیل بوده است. بلورهای خودشکل تا نیمه خودشکل مگنتیت در حال تبدیل سوپرژن به هماتیت هستند.

کالکوسیت و کوولیت در فضاهای خالی سنگ به صورت لکه‌های بسیار کوچک قابل مشاهده هستند. تجمع بلورهای کوولیت گاهی بصورت لکه‌های بزرگتر دیده می‌شود و مقدار کوولیت به مراتب بیش از کالکوسیت است. مالاکیت نیز به صورت بلورهای پهن و نسبتاً درشت با فراوانی حدود ۲ درصد در حفرات و شکاف‌های سنگ میزبان تشکیل شده است.

هم‌چنین نمونه‌ای برای مطالعه مقطع نازک از واحد کانه‌دار برداشت و مطالعه شده است (Kad 12T) و نام سنگ کنگلومرای آهکی حاوی مالاکیت تعیین شده است. قطعات تشکیل دهنده این سنگ شامل قطعات ولکانیکی شیشه‌ای و اسیدی تجدید تبلور یافته، قطعات ولکانیک – ساب‌ولکانیک اسیدی، خرده‌های بلوری کوارتز با خاموشی موجی و

شکستگی، قطعات توف شیشه‌ای تجدید تبلور یافته، قطعات آذرین نفوذی با ترکیب دیوریت – کوارتز دیوریت و قطعات بلوری کانی پیروکسن می‌باشند.

در حدود ۷۰۰ متری جنوب غربی نمونه Kad 12، سه افق نازک میکروکنگلومرایی و ماسه‌سنگی در ضخامتی در حدود ۳۰ متر حاوی کانی‌سازی مس تشکیل شده است. افق بالایی یک میکروکنگلومرا کانه‌دار با فسیل‌های گیاهی به ضخامت ۰/۵ تا یک متر و طول ۸۰ الی ۱۲۰ متر است. عیار مس در این افق و در بخشهای پرعیار آن بالاست و ۴/۳ درصد (در نمونه Kad 13) تعیین شده است. افق دوم نیز همانند افق اول است. افق سوم یک ماسه‌سنگ کانه‌دار است که بوسیله یک باند مارنی سبزرنگ از افق بالایی (افق دوم) جدا می‌شود. نمونه Kad 14 که از این افق برداشت شده ۳/۳۲ درصد مس دارد.

جهت مطالعه مقطع صیقلی نمونه Kad 13p از افق دوم برداشت شد که نتیجه مطالعه آن به شرح ذیل می‌باشد:

بلورهای کوولیت – کالکوسیت فراوانترین کانیهای سولفیدی نمونه هستند که به صورت لکه‌های درشت و پرکننده فضاهای خالی تشکیل شده‌اند.

پیریت و کالکوپیریت به صورت بلورهای کوچک و انگشت‌شمار و ریزدانه در متن سنگ پراکنده‌اند.

مگنتیت به صورت خودشکل و نیمه خودشکل تشکیل شده است. برخی از بلورهای این کانی حفرات و شکافهایی دارند که بوسیله کالکوسیت پر شده‌اند. کالکوسیت حاشیه برخی از بلورهای مگنتیت را نیز احاطه کرده است.

مالاکیت نیز همچون سایر نمونه‌ها در این نمونه مشاهده می‌شود.

هم‌چنین نمونه‌ای که از افق سوم برای مطالعه مقطع نازک برداشت شده (Kad 14T) نوع ماسه‌سنگ را لیتارنایت فلدسپات‌دار تا آهکی دارای کانیهای اُپاک رگه‌مانند یا نواری تعیین کرده است. مواد متشکله سنگ کوارتز، فلدسپات نیمه خودشکل با ترکیب سدیک، قطعات ولکانیکی میکرولیتی و توفی سیلیسی شده و گلوکونیت می‌باشد. کلریت و گاه تیغک‌های مسکوویت و ژل فسفاتی نیز قابل مشاهده هستند.

۲-۳-۳- مقطع کال خوش‌هوا

این مقطع به موازات دو مقطع قبلی (نوبهار و بّرس) است و در غرب آنها واقع است (شکل ۲). فاصله بخش ابتدایی این آبراهه از ابتدای مقطع کال‌برس در حدود ۲/۷ کیلومتری (غرب آن) و از شهر کدکن ۵ کیلومتر است. اگرچه واحدهای سنگ‌شناسی مشاهده شده در این مقطع همانند دو مقطع قبلی است اما بررسی بخش‌های کانه‌دار احتمالی نشان می‌دهد که افق‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرایی در این بخش فاقد کانی‌سازی هستند.

۲-۳-٤- مقطع کال کدکن

این مقطع دقیقاً جنوب شهر کدکن قرار دارد. واحدهای O^{sms} از ۴ کیلومتری کدکن به سمت جنوب رخنمون دارند. درون یکی از آبراهه‌های شرقی منشعب از رودخانه کدکن بنام کال علی‌یار قطعات گردشده‌ای از آندزیت‌های پورفیری و گاهی آلگومرا مشاهده می‌شود که با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه از بالادست رودخانه و از واحد E^{tv} (شامل توف‌های آندزیتی، توف‌های پیروکلاستیک و پورفیری) به آنجا منتقل شده است. نمونه Kad15 که از این قطعات برداشت شده عیار قابل ملاحظه‌ای از مس را نشان نمی‌دهد (۶۶۰ ppm مس). نمونه‌ای که برای مطالعه مقطع نازک از آنها برداشت شده نوع سنگ را ولکانیکی با ترکیب (اولیوین) بازالت تعیین کرده است که سرشار از کلریت می‌باشد.

در یکی از آبراهه‌های فرعی (غربی) منشعب از رودخانه کدکن و در فاصله ۲ کیلومتری آن توالی ضخیمی از مارن – ماسه‌سنگ‌های تیره رنگ و میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی خاکستری روشن با لایه‌بندی ظریف در ۴ افق مشاهده می‌شود. امتداد توالی مذکور N120 و شیب آنها ۴۰ درجه به سمت جنوب غرب می‌باشد و در بخش شمالی برروی واحدهای کنگلومرایی تیره رنگ رانده شده‌اند. در سه افق کانی‌سازی ضعیفی از مالاکیت± آزوریت مشاهده می‌شود. ضخامت بخش کانه‌دار در هر افق حداکثر به ۲۰ سانتیمتر و طول هر یک تقریباً به ۱۵۰ متر می‌رسد (شکل ۵).

نمونه Kad 17 از افق میانی و از قسمت‌های پرعیار و سرشار از فسیلهای گیاهی انتخاب و مورد آزمایش قرار گرفته است. عیار مس در این نمونه ۹/۳۳ درصد بوده است. نمونه دیگری (kad 18) از افق میانی کانه‌دار که مالاکیت کل سنگ را آغشته کرده اما ظاهراً عیار بالایی نشان نمی‌دهد، برداشت شده که عیار مس در آن ۴/۶۸ درصد تعیین شده است. آثار فسیل‌های گیاهی در این نمونه نیز بالا بوده است.

شکل ۵- دو افق ماسه سنگی (روشن رنگ) مالاکیت دار در مقطع کال کدکن

نتایج مطالعه یک نمونه مقطع صیقلی از این افق به شرح ذیل می‌باشد:

فراوانترین کانیهای سولفیدی کوولیت و کالکوسیت است که به صورت لکه‌های درشت در فضاهای خالی و حفرات سنگ میزبان تشکیل شده‌اند و ۴ درصد نمونه را فرا می گیرد.

پیریت به صورت دانه‌های انگشت‌شمار و بسیار کوچک مشاهده می‌شود.

بورنیت و کالکوپیریت که به صورت اکسلوشن در کنار یکدیگر و در حد ۵ میکرون تشکیل شده‌اند.

مالاکیت با کانیهای پهن و نسبتاً درشت در شکستگی و فضاهای خالی سنگ میزبان و به مقدار کم مشاهده می‌شود.

مگنتیت و هماتیت به همراه روتیل بصورت بلورهای ریز و معدود در متن سنگ پراکنده هستند.

۲-۳-۵- مقطع کال اسفیز

روستای اسفیز در ۶ کیلومتری غرب کدکن واقع است (شکل ۲). در حدود ۳ کیلومتری جنوب غرب این روستا درون واحدهای کنگلومرا – ماسه‌سنگی الیگوسن معدن متروکه‌ای بنام معدن مس اسفیز قرار دارد. سنگ میزبان واحدهای کنگلومرایی درشت دانه با امتداد تقریبی شرقی – غربی می‌باشد. شیب این طبقات ۷۰ درجه به سمت شمال شرق است. قطعات کنگلومرا از واحدهای لیتیک گردشده و گاهی زاویه‌دار با ترکیب عمدتاً تراکیتی – آندزیتی تشکیل شده است. یک باند آگلومرایی آغشته به مالاکیت درون طبقات کنگلومرا مشاهده می‌شود. در محل معدن قطعات سنگ میزبان اغلب به مالاکیت و آزوریت آغشته شده‌اند. گاهی رگچه‌های مالاکیتی سنگ میزبان را قطع می‌کنند که امتداد چندانی ندارند (شکل ۶).

شکل ۶- بخشی از افق کنگلومرایی مالاکیت دار در معدن متروکه اسفیز

برای استخراج ماده معدنی، سینه‌کاری در ابعاد ۴×۵ متر احداث شده است که از آن دو تونل در امتداد رگه حفر شده است. رگه معدنی با زاویه‌ای 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 افراز آن نیز تقریباً ۲۰ متر می‌باشد. واحدهای سنگی پایین دست معدن شامل طبقات شیلی و کمی مارنی روشن رنگ و مارن‌های سفید مایل به زرد همراه با میان‌لایه‌های ژیپس است.

علاوه بر کانی‌سازی مس رگه‌ای، کانی‌سازی مس رسوبی نیز در محدوده این معدن انجام شده است. در انتهای آبراهه‌ای (که معدن متروکه اسفیز در ابتدای آن واقع می‌شود) دو افق کانه‌دار مس تقریباً افقی با میزبان میکروکنگلومرا تشکیل شده است که بوسیله یک واحد کنگلومرایی لیمونیتی به ضخامت تقریبی ۳ متر از یکدیگر جدا می‌شوند. طول افق پایینی در حدود ۷۵۰ متر و ضخامت آن ۰/۵ تا ۲ متر است. افق بالایی نیز همان ضخامت را دارد و در اثر فرسایش به صورت کلاهک مشاهده می‌شود. مناطق کانی سازی شده در ثبت بخش خصوصی است.

نمونه Kad 16 از افق پایینی و از بخش‌های پرعیار آن برداشت شده است. عیار مس در این نمونه ۳/۳ درصد می‌باشد.

۲-۳-٦- مقطع کال‌دافی

بررسی واحدهای O^{sms} در این مقطع که از جنوب روستای دافی (که در ۱۴ کیلومتری غرب کدکن واقع است) آغاز شده نشان می‌دهد که بجز یک باند نازک کنگلومرائی آغشته به مالاکیت± آزوریت، بقیه بخشهای این واحد رسوبی فاقد کانی‌سازی مس رسوبی است. باند نازک مذکور در ۲/۵ کیلومتری جنوب روستای دافی رخنمون دارد (شکل ۲).

در انتهای جنوبی این مقطع اندیس مس کال دافی قرار دارد که توسط بخش خصوصی ثبت شده است. واحدهای رخنمون‌دار در این اندیس شامل ماسه‌سنگ، کنگلومرا و آگلومرا آغشته به مس می‌باشند. کانی‌سازی مس عمدتاً به صورت آزوریت و گاهی مالاکیت می‌باشد. طول افق کانی‌سازی در حدود ۲ کیلومتر، ضخامت آن حداکثر۲ متر و افراز آن به ۵۰ متر می‌رسد. علاوه بر موارد فوق عمده شاخه‌های منشعب از رودخانه روستای دافی درون واحدهایی که احتمال کانی‌سازی مس در آن می‌رفت، مورد بررسی قرار گرفتند که موردی از کانی‌سازی مشاهده نگردید.

۲-۳-۷- سایر پیمایش‌های انجام شده در ورقه کدکن

علاوه بر پیمایش‌های زمین‌شناسی فوق چند مقطع دیگر به صورت عمود بر رخنمون واحدهای با احتمال کانی‌سازی در ورقه کدکن و به سمت غرب شهر کدکن و غرب مقطع کال‌دافی زده شد که در هیچ کدام از آنها اثری از کانی‌سازی مس رسوبی مشاهده نگردید.

از جمله این مقاطع، مقطع غرب روستای بِزْق می‌باشد. روستای بزق در ۱۷ کیلومتری غرب کدکن واقع است. مقطع دیگر مقطع کلاته اژدانه (۲۱ کیلومتری غرب کدکن) می‌باشد که واحدهای سنگی مشاهده شده در آن تماماً شامل آندزیت‌های مگاپورفیر می‌باشد. در یک مورد قطعه‌ای از واحد سنگی مذکور درون آبراهه مشاهده گردید که حفرات سنگ میزبان بوسیله مالاکیت و سیلیس پر شده‌اند. در سطح شکسته این نمونه فازهای سولفیدی مثل پیریت – کالکوسیت و کالکوپیریت؟ با فراوانی کمی قابل مشاهده بودند. در بررسی واحدهای سنگی بالادست نمونه مذکور، اثری از کانی‌سازی مس مشاهده نشد. بررسی آخرین مقطع (غربی) در ورقه کدکن نیز کانی‌سازی مس رسوبی را نشان نمی‌دهد. این پیمایش در جنوب روستای رودشور (۲۴ کیلومتری غرب کدکن) انجام شد.

واحدهای O^{sms} به صورت باریک شده در منتهی‌الیه جنوب غربی ورقه کدکن نیز رخنمون دارند. از لحاظ موقعیت جغرافیایی از ۶ کیلومتری شمال شرق روستای اکبرآباد به سمت شرق ادامه دارند. دسترسی به این مکان از طریق شمال شهر ریوش (کوه سرخ) (در شمال شهر کاشمر) و یا روستای عطائیه (۳۷ کیلومتری غرب کدکن) امکان‌پذیر است. در این منطقه دو مقطع مورد بررسی قرار گرفت که در هیچ کدام افقهای ماسه‌سنگی احیایی و کانه‌دار مشاهده نگردید. واحدهای O^{sms} در شمال روستای چلپو (شمال ریوش) در هسته یک ناودیس با ضخامت خیلی زیاد رخنمون دارند. طی

بررسی این واحدها در چند مقطع موردی از کانی‌سازی مشاهده نگردید. تنها یک مورد ماسه‌سنگ نازک لایه به صورت قطعات آواری و نابرجا در دامنه یکی از رخنمون‌ها مشاهده شد اما محل رخنمون افق کانه‌دار یافت نشد.

همانگونه که مشاهده می‌شود پتانسیل کانی‌سازی مس رسوبی در لایه‌های قرمزرنگ (Red bed) متعلق به اائیگوسن در ورقه کدکن از شرق به غرب کاهش می‌یابد.

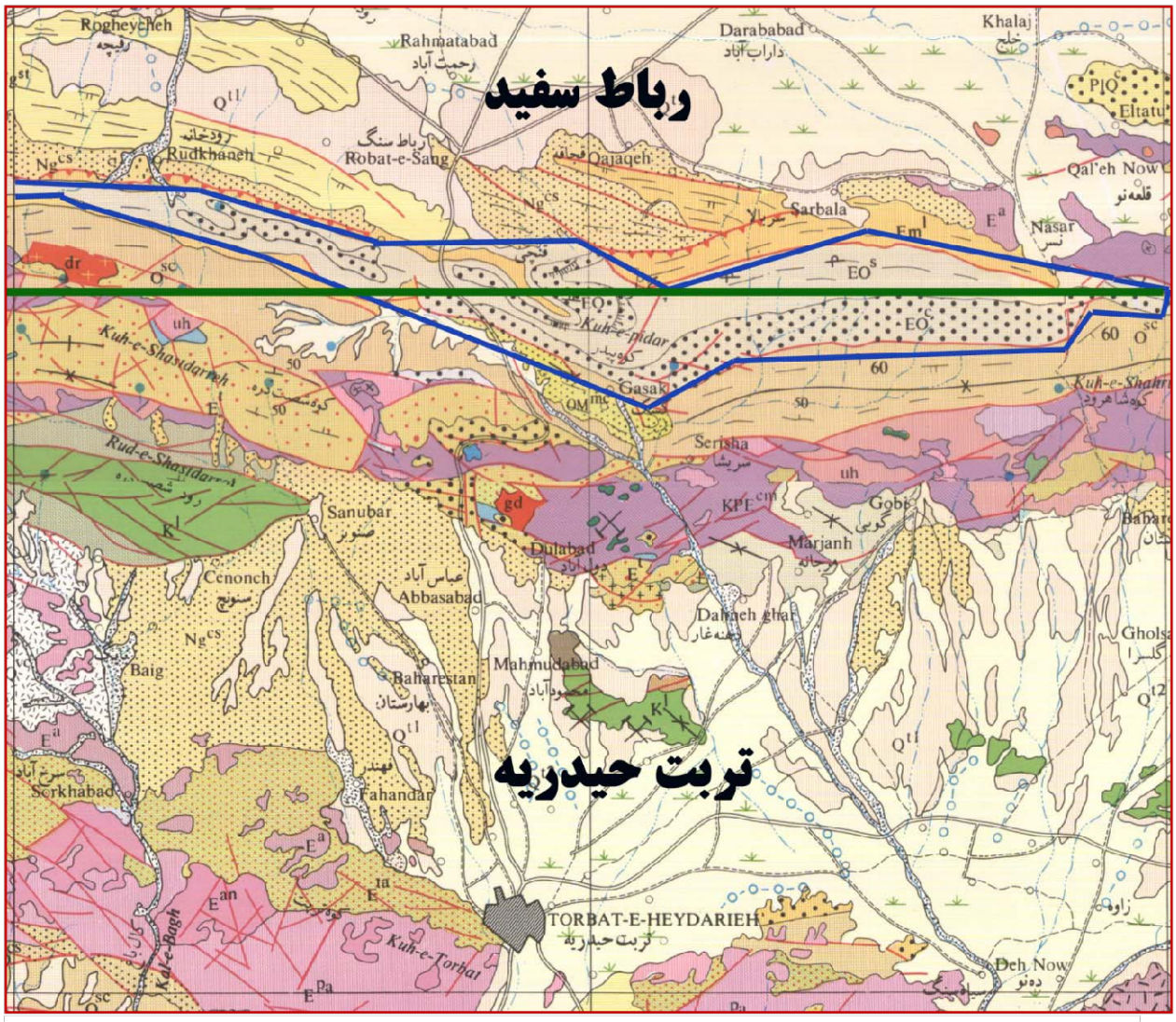
فصل سوم

پی‌جویی در ورقه‌های رباط‌سفید و تربت‌حیدریه

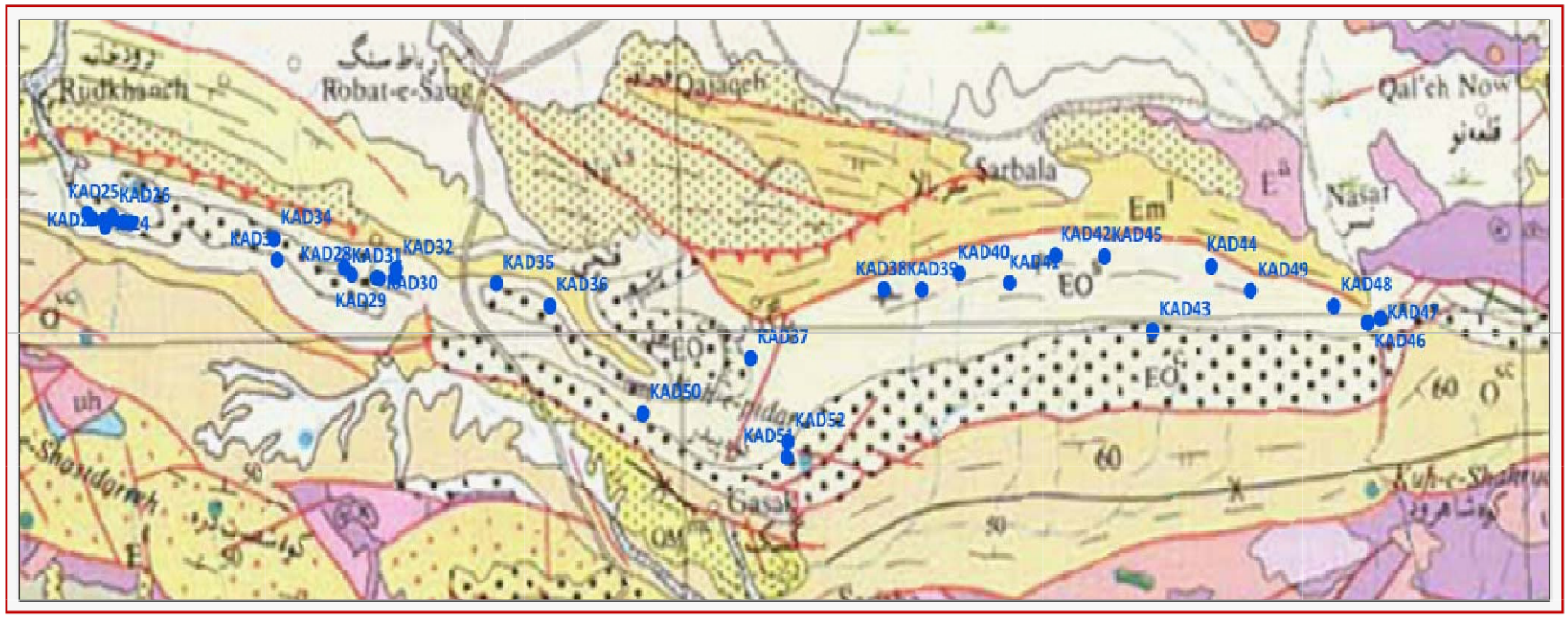
۳- کانی‌سازی مس رسوبی در ورقه‌های رباط سفید و تربت حیدریه

ادامه شرقی واحدهای رسوبی O^{sms} از بخش جنوبی ورقه کدکن وارد ورقه‌های رباط سفید و تربت حیدریه می‌شود. طبقات قرمزرنگ O^{sms} در مرز مشترک این دو ورقه (رباط سفید در شمال و تربت‌حیدریه در جنوب) گسترش دارند. واحدهای رسوبی کانه‌دار طبق برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه در این منطقه شامل واحد EO^{s} (ماسه‌سنگ قرمز و مارن) و واحد EO^{c} (کنگلومرای قرمز و ماسه‌سنگ) می‌شوند (اشکال ۷-۱ و ۷-۲).

لازم بذکر است تا زمان نگارش این گزارش نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ رباط سفید چاپ نشده است و در این گزارش از اطلاعات ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ تربت حیدریه و کدکن استفاده گردید.



شکل ۷- ۱- موقعیت مناطق مستعد کانی سازی مس در حدفاصل ورقه های ۱۰۰۰۰۰ رباط سفید و تربت‌حیدریه



شکل ۷-۲- موقعیت نقاط نمونهبرداری (کانی سازی) در ورقه های رباط سفید و تربت‌حیدریه

۳-۱- مقطع کال رودخانه

روستای رودخانه در جنوب غربی ورقه رباط سفید و در ۲۰ کیلومتری شهر رباط سنگ واقع است. در جنوب غربی این روستا، روستای دیگری بنام حاجی بیگ قرار دارد که در بخش‌های جنوبی آن ادامه واحدهای O^{sms} از ورقه کدکن رخنمون دارند. طی پی‌جویی افقهای قرمزرنگ در این بخش آثاری از کانی‌سازی مس مشاهده نگردید.

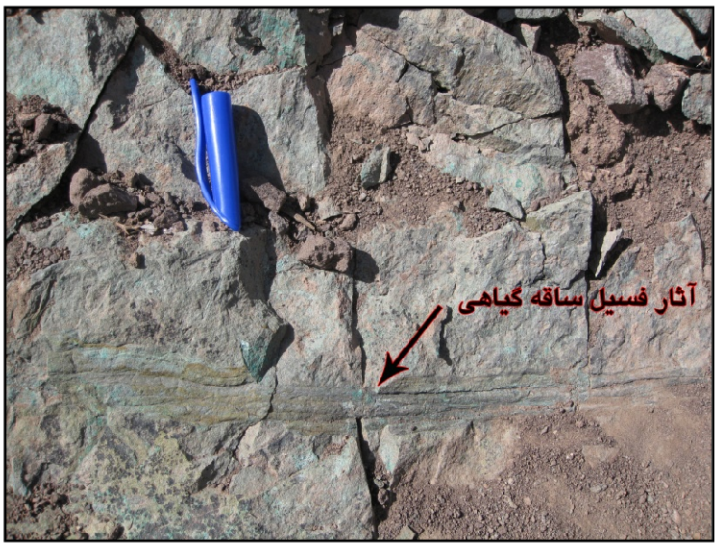
در حدود ۳ کیلومتری شاخه شرقی آبراهه منتهی به روستای رودخانه ساختارهای تکتونیکی فراوان از جمله تاقدیس و ناودیس های متعدد همراه با گسل‌ها و شکستگی های متقاطع مشاهده می‌شود. کانی سازی مس حداقل در ۳ افق در بخشهای نزدیک به هسته یک تاقدیس انجام شده است (شکل ۸). این افق‌ها تماماً استراتیفرم، عدسی‌شکل و به صورت منقطع رخنمون دارند. در این منطقه فاصله ابتدا و انتهای کانی‌سازی مشاهده شده به ۱۲۵۰ متر می‌رسد. ضخامت متوسط افق‌های ماسه‌سنگی کانه‌دار حدوداً ۳۰-۴۰ سانتیمتر و حداکثر به ۸۰ سانتیمتر می‌رسد. در محل نمونه Kad 20 درون واحدهای میکروکنگلومرا تیره یک افق ماسه‌سنگی روشن رنگ مایل به سبز همراه با آثار فسیلهای گیاهی (شکل ۹) به ضخامت ۷۰ سانتیمتر و طول تقریبی ۱۲ متر رخنمون دارد. شیب عمومی این واحدها به سمت شمال است. در این افق مالاکیت هم در متن سنگ و هم به صورت لکه‌های پراکنده دیده می‌شود. عیار مس در نمونه مذکور ۰/۸ درصد اندازه‌گیری شده است. طبق بررسی های صحرایی کمر بالا و پائین این افق و تقریباً تمامی افق های کانی سازی در گستره این پروژه (بجزء در مواردی که میزبان کانی سازی کنگلومراست) از آهک ماسه‌ای خاکستری تیره تا قهوه‌ای تیره تشکیل شده است. نکته جالب در این سنگها حضور نودولهای رسی تیره در متن آنهاست که در اغلب موارد شسته شده و بصورت حفراتی مشاهده می‌شوند (شکل ۱۰).

در نمونه‌ای که برای مطالعه مقطع صیقلی از این افق برداشت شده (Kad 20p) تعدادی انگشت‌شمار از بلورهای نیمه خودشکل تا خودشکل پیریت و ذرات پراکنده و لکه‌های ریز هماتیت و اکسیدهای آبدار آهن گزارش شده است. بافت کانی‌سازی نیز از نوع پرکننده فضاهای خالی تعیین شده است.

هم‌چنین نوع ماسه‌سنگ در نمونه‌ای که از واحد کانه‌دار برداشت و مطالعه شده است، ساب‌آرکوز آهکی می‌باشد. علاوه بر کوارتز، فلدسپارهای قلیایی و پلاژیوکلازهای سدیک تا حدواسط، کانیهای سریسیت- مسکوویت و بیوتیت‌های تیغه‌ای و معدود قطعات لیتیک ولکانیکی با ماتریکس رسی و سیمان کربنات، اجزای تشکیل دهنده ماسه‌سنگ هستند.

ادامه غربی افق کانه‌دار فوق تا ۲۱۰ متری آن به صورت منقطع رخنمون دارد. در این قسمت عیار کانی‌سازی بالاتر رفته و ماسه‌سنگ‌ها نیز کمی مارنی و متورق هستند. طول واحد رخنمون‌دار ۲۰-۱۵ متر و ضخامت آن حدود ۴۰ سانتیمتر است. عیار مس در نمونه‌ای که از این قسمت برداشت شده (Kad 21) ۴/۵ درصد و عیار V به ۲۲۵ پی‌پی‌ام می‌رسد. نمونه فوق از بخشهای پرعیار برداشت شده است.

شکل ۸- رخنمون تاقدیس نامتقارن و مایل با شیب سطح مخوری به سمت جنوب و افق های کانه‌دار در اطراف هسته آن (دید به سمت غرب)



شکل ۹-آثار مربوط به ساقه های گیاهی در افق های کانی سازی

شکل ۱۰- حفرات ناشی از انحلال قطعات رسی در کمر پائین یک افق کانه‌دار در کال رودخانه

در بخش غربی کال رودخانه و در ۷۵۰ متری غرب نمونه Kad 20 افق ماسه‌سنگی کانه‌دار به صورت دو عدسی منقطع که توسط گسلهای عرضی قطع و جابجا شده است، رخنمون دارد. شکل ۱۰ بخشی از رخنمون این عدسی را نشان می‌دهد. در نمونه دستی کانه های مشاهده شامل مالاکیت، نئوتاسیت (سیلیکات آبدار مس، آهن و منگنز) و کالکانتیت می‌باشد (شکل ۱۱). نمونه Kad 22 که از این افق برداشت شده دارای ۴/۵۷ درصد مس و ۳۶۰ppm وانادیوم بوده است. ضخامت افق کانه‌دار ۲۰-۶۰ سانتیمتر و امتداد و شیب آن N280,50NE می‌باشد.

شکل ۱۱- کانه های قابل مشاهده در رخنمون عدسی ماسه سنگی (کال رودخانه)

در یک افق چینه‌شناسی پایین‌تر، در قاعده یک واحد ماسه‌سنگی تیره رنگ و بالای شیل‌های ماسه‌ای متورق، واحد ماسه‌سنگی کانه‌دار دیگری رخنمون دارد. طول باند کانه‌دار در حدود ۶۰ متر بوده و به صورت عدسی می‌باشد. در محل نمونه‌برداری بخش‌های کانه‌دار حاوی مالاکیت، آزوریت یا کالکانتیت همراه با آثار گیاهی فراوان می‌باشد. شیب و امتداد طبقات در این قسمت 52NE و N115 است. نمونه Kad 23 که از این قسمت برداشت شده دارای عیار ۳/۴۶ درصد مس و ۸۳۵ پی‌پی‌ام وانادیم می‌باشد.

افق دیگر (که طبق شکل ۸ تکرار افق اول در هسته تاقدیس می‌باشد) کانی‌سازی با عیار بهتر در پایین افق دوم (از لحاظ چینه شناسی) رخنمون دارد. ضخامت واحد کانه‌دار در بخش رخنمون‌دار، ۱/۲ متر و طول آن به ۳۰ متر می‌رسد (شکل ۱۲).

شکل ۱۲- بخشی از رخنمون افق اول در یال جنوبی تاقدیس(کال رودخانه)

افق های کانه‌دار مورد بحث به سمت غرب کم و بیش به صورت منقطع و عدسی شکل ادامه دارند. در محل نمونه Kad24 ضخامت عدسی کانه‌دار به ۱/۵ متر و طول آن نیز به ۸۰ متر می‌رسد. در این بخش عیار بدست آمده مس در نمونه مذکور ۳/۹۷ درصد و عیار وانادیوم به ۸۹۵ پی‌پی‌ام می‌رسد.

انتهای غربی این افق که از آن نمونه‌برداری شد، مربوط به نمونه Kad 25 است که آثار فسیلهای گیاهی در این قسمت فراوان‌تر است. عیار مس در نمونه فوق ۳/۹۴ درصد و وانادیوم ۸۸۵ پی‌پی‌ام اندازه‌گیری شده است.

نوع ماسه‌سنگ میزبان کانی‌سازی ماسه‌سنگ توفی کربناته، لیتیک آرکوزآهکی با بافت دانه‌ای درشت و ساب‌مچور می‌باشد که علاوه بر کوارتز و فلدسپات قلیایی و پلاژیوکلاز سدیک دارای قطعات سنگی آذرین و گاه شیشه‌ای (متوسط و نیمه اسیدی) فراوان و مقدار کمی میکا، گلوکونیت، تورمالین، اکسیدهای آهن و کانیهای اپاک می‌باشد.

۳-۲- مقطع جنوب غرب رباط سنگ

افق‌های کانه‌دار مس رسوبی در جنوب غرب بخش رباط سنگ در گستره‌ای به طول ۷ کیلومتر از جنوب غرب روستای بیدستان تا جنوب غرب روستای عمادیه به صورت ناپیوسته رخنمون دارند. این افقها در واقع همان بخش‌های کانی‌سازی شده در جنوب شرقی کال رودخانه هستند که در اثر عملکرد تکتونیک در دامنه‌های جنوبی کوههای واقع در جنوب رباط سنگ ظاهر می‌شوند.

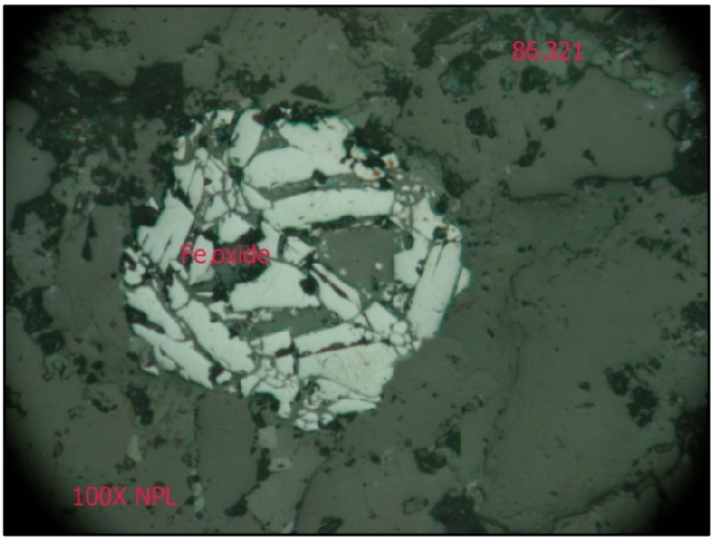
در مقطع مورد بررسی یکی از افق‌های کانه‌دار به طور پیوسته در حدود ۳/۵ کیلومتر رخنمون دارد و در برخی قسمت‌ها بدلیل واریزه‌های شیل و ماسه‌سنگ بالادست پوشیده شده‌اند. طبق نقشه برگه ۲۵۰۰۰۰ :۱ تربت حیدریه بخش‌های کانی‌سازی جنوب غرب رباط‌سنگ تماماً درون واحدهای EO^c واقع می‌شوند اما طبق شواهد و کنترل‌های صحرائی این نقاط در واحد EO^s (ماسه‌سنگ قرمز و مارن) تشکیل شده‌اند. اگرچه افق‌های کانی‌سازی شدهٔ با اهمیت ناچیز در واحدهای کنگلومرایی قرمزرنگ صخره‌ساز (EO^c) نیز مشاهده می‌شود.

در گستره جنوب غرب رباط‌سنگ در نقاط متعدد رخنمون افق مس‌دار مشاهده شده است یعنی در اکثر آبراهه‌های اصلی و فرعی شمالی – جنوبی که طبقات قرمزرنگ حاوی افق ماسه‌سنگی مس‌دار (شرقی – غربی) را قطع می‌کنند می‌توان یک تا دو افق کانه‌دار را مشاهده نمود. در این منطقه بخش کانه‌دار به فاصلهٔ تقریباً ثابتی از کنتاکت طبقات ضخیم کنگلومرایی موجود در هسته ناودیس (حدود ۱۰۰ متری شمال این کنتاکت) قابل مشاهده و پیگیری است.

در میان طبقات سرخ‌رنگ شیلی و ماسه‌سنگی نرم فرسا افق‌های کانه‌دار ویژگی ثابت و مشخصی دارند. ماسه‌سنگ میزبان مس‌رسوبی، خاکستری روشن (احیایی)، هم‌روند با طبقات بالا و پایین خود و عمدتاً در قاعده ماسه‌سنگ میزبان، با آثار فسیل‌های گیاهی همراه با مالاکیت و آزوریت می‌باشد. واحد کانه‌دار به لحاظ ضخامت متغیر و عدسی شکل است. در محل نمونه Kad27 ضخامت لایه مس‌دار ۱/۲ متر و طول آن به ۱۷۰ متر می‌رسد. عیار مس در نمونه مذکور که از بخشهای پرعیار برداشت شده ۴/۲۶ درصد بدست آمده است.

نمونه‌ای از ماسه‌سنگ‌های میزبان کانی‌سازی واقع در جنوب شرق روستای بیدستان (جنوب غرب رباط‌سنگ) (Kad31) برای تعیین نوع ماسه‌سنگ برداشت و مطالعه شده است که جنس آن ماسه‌سنگ (لیتیک آرکوز) درشت آهکی مس‌دار تعیین شده است. علیرغم تشخیص کانیهای مس‌دار در این نمونه، در آنالیز نمونه این بخش عیار قابل ملاحظه ای از مس تعیین نشده است.

هم‌چنین نمونه دیگری (Kad32) برای مطالعه مقطع صیقلی برداشت و مطالعه شده است که کانیهای تشخیص داده شده در آن پیریت (بصورت ذرات ریز و پراکنده نیمه خودشکل تا بی‌شکل)، اکسیدهای آهن آبدار و ثانویه و مالاکیت (به شکل رگچه‌های ظریف و آغشتگی) می‌باشند (عیار مس در این نمونه ۴ درصد می‌باشد)(شکل ۱۳).



شکل ۱۳- اکسیدهای آهن در نمونه Kad 32 که احتمالاً جانشین پیریت های فرمبوئیدل شده است

از غرب روستای بیدستان (۲/۷ کیلومتری آن) و از رخنمون افق ماسه‌سنگی کانه دار نمونه دیگری (Kad34) (شکل ۱۴) برای مطالعه مقطع صیقلی برداشت و مطالعه شده است که نتیجه آن به شرح ذیل می‌باشد (شکل ۱۵):

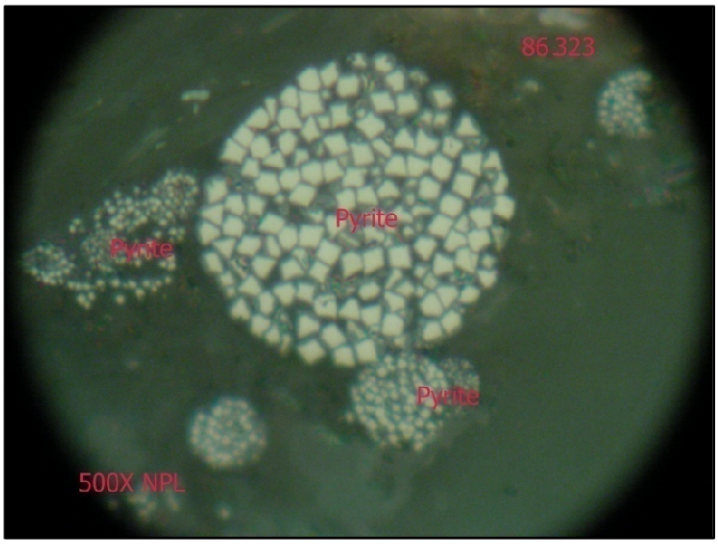
هماتیت: بلورهای آن به شکل‌های تیغه‌ای، سوزنی، جعبه‌ای تشکیل شده‌اند.

گالن: به صورت چند لکه‌ریز که به سروزیت دگرسان شده‌اند.

کوولیت: به صورت لکه‌های ریز اطراف گالن و فضاهای مناسب گانگ تشکیل شده است.

مالاکیت: رگچه‌های پراکنده آن در فضاهای بین قطعات سنگ میزبان مشاهده می‌شود.

شکل ۱۴- رخنمون افق ماسه‌سنگی کانه دار در محل نمونه Kad 34



شکل ۱۵- بافت فرمبوئیدال پیریت در نمونه Kad 34

۳-۳- مقطع جنوب غرب قنچی

روستای قنچی در جنوب شرق رباط سنگ و ۴/۵ کیلومتری آن واقع است و مابین آنها کارخانه گچی وجود دارد که گچهای موجود در رسوبات تبخیری نئوژن را استخراج می‌کند. در جنوب غربی این کارخانه و درون طبقات قرمز متشکل از شیل و ماسه‌سنگ، میان‌لایه‌های ضخیم میکروکنگلومرا رخنمون دارند. در محل نمونه Kad35 قاعده یک افق ماسه‌سنگی که یک لایه میکروکنگلومرایی است به آزوریت و کمی مالاکیت آغشتگی نشان می‌دهد. ضخامت بخش کانی‌سازی شده در حدود یک متر و طول رخنمون‌دار به ۲۰ متر می‌رسد. شیب و امتداد این طبقات نیز 55SE و N25 است. عیار مس در نمونه برداشت شده از این افق‌ها ۳ درصد می‌باشد.

یک نمونه نیز برای مطالعه مقطع صیقلی از آنجا برداشت و مطالعه شده است(Kad 35p):

پیریت: به صورت ذرات ریز و نیمه خودشکل.

پیریت نئوفرمه: به صورت ذرات ریز، مربعی شکل و اجتماع یافته.

هماتیت و اکسیدهای ثانویه آهن: به صورت لکه‌های پراکنده داخل حفرات و شکستگی‌ها.

بافت این نمونه از نوع پرکننده حفرات (Open Space Filling) می‌باشد.

در ۱/۵ کیلومتری شرق نمونه Kad 35 در قاعده یکی از افق‌های کنگلومرایی و ماسه‌سنگ بلافصل بالایی این افق، بخش کانی‌سازی به شکل عدسی و طول ۱۵-۱۰ متر و ضخامت حداکثر یک متر (و متوسط ۳۰ سانتیمتر) با آغشتگی کم به مالاکیت تشکیل شده است. ۳ باند کانی‌سازی در بالادست افق‌های فوق نیز مشاهده می‌شود که باند وسطی در حدود ۶۰-۴۰ متر طول و حداکثر ۱/۵ متر ضخامت دارد. مالاکیت هم اطراف قطعات گردشده کنگلومرا و هم سیمان آنرا آغشته کرده است. ادامه این افق‌ها در فاصله ۴۰۰ متری شرق نمونه Kad 36 نیز در کف آبراهه‌ها به صورت منقطع رخنمون دارد. عیار مس در نمونه‌ای (Kad 36) که از قسمت‌های پرعیار این قسمت‌ها برداشت شده، ۶/۴۲ درصد اندازه‌گیری شده است (شکل ۱۶). در نمونه‌ای که برای مقطع صیقلی مطالعه شده است تنها هماتیت به صورت پراکنده و لکه‌ای در فضاهای بین قطعات سنگ میزبان تشکیل شده است و کانی‌های مس گزارش نشده است.

شکل ۱۶- رخنمون بخشی از قاعده میکروکنگلومرایی کانه‌دار در جنوب غرب قنچی

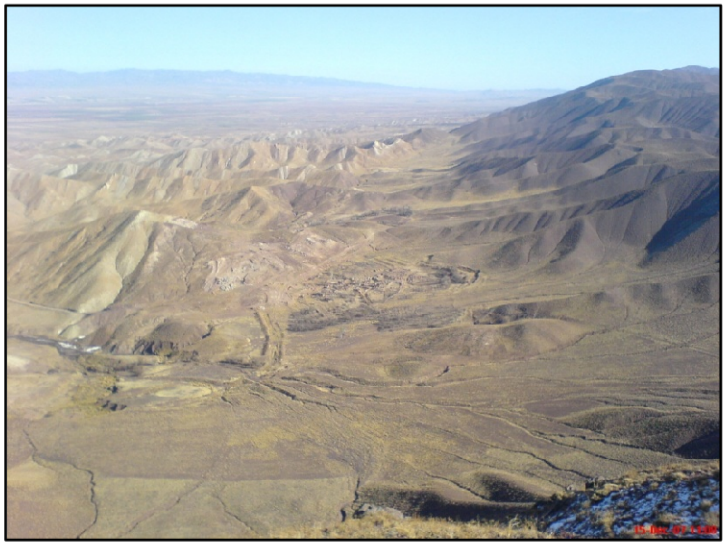
۳-٤- مقطع پاگُدار

روستای پاگُدار در ۹ کیلومتری شرق-جنوب شرق رباط سنگ واقع است و مقطع مورد نظر نیز از جنوب این روستا انجام شده است. بدلیل چین‌خوردگی ضخامت ظاهری طبقات قرمزرنگ (با احتمال کانی‌سازی) در جنوب روستای پاگدار افزایش چشم‌گیری دارد. شکل ۱۷ نمایی از واحدهای Redbed حاوی افق های ماسه سنگی کانه دار و واحدهای مارنی گچ دار در جنوب روستای پاگدار را نشان می‌دهد. در محل نمونه Kad37 افق ماسه‌سنگی خاکستری روشن به طول حدود ۱۲۰ متر رخنمون دارد و ضخامت آن به ۷۰ سانتیمتر می‌رسد (شکل ۱۸). عیار مس در نمونه مذکور ۴/۲۶ درصد می‌باشد. در نمونه دستی ماسه‌سنگ حاوی مالاکیت، آزوریت، کالکوسیت و آثار فسیل‌های گیاهی است و بالادست و پایین‌دست این افق، شیل‌های سرخ تیره رخنمون دارند.

در این بخش روند طبقات ضخیم کنگلومرایی که از روستای قنچی به صورت شرقی – غربی است، قطع می‌شود و به صورت چین‌خورده روند شمالی – جنوبی پیدا می‌کند. فاصله افق کانه‌دار از قاعده طبقات کنگلومرایی بطور متوسط ۷۰ متر است که از روند عمومی این طبقات نیز پیروی می‌کند.

جنس سنگ میزبان آرکوز لیتیک تا لیتارنایت فلدسپاتی ساب‌مچور با سیمان کربناته تعیین شده است. فلدسپات‌ها از نوع میکروکلین و گاه پلاژیوکلاز سدیک هستند. قطعات سنگی تنوع بیشتری دارند و شامل قطعات چرت، فیلیت و گاهی سریسیت شیست، قطعات سنگهای آذرین اسیدی و مادستون می‌باشد.

در نمونه مطالعه شده برای مقطع صیقلی کانیهای پیریت (خیلی کم)، مالاکیت (به صورت ذرات ریز و پراکنده)، کوولیت و کالکوسیت (پرکننده حفرات سنگ میزبان) مشاهده شده‌اند (Kad37p).



شکل ۱۷- نمایی از واحدهای Redbed حاوی افق های ماسه سنگی کانه دار و واحدهای مارنی گچ دار در جنوب روستای پاگدار (نگاه به شرق)

شکل ۱۸- نمایی از رخنمون افق ماسه سنگی کانه دار (جنوب روستای پاگدار (نگاه به شرق))

۳-۵- مقطع روستای سربالا

این روستا در ۱۸ کیلومتری شرق رباط سنگ قرار دارد. مقطع مورد نظر بین این روستا و روستای نوری (غرب سربالا) می‌باشد. آبراهه بزرگی با روند شمالی – جنوبی واحدهای رسوبی سنوزوئیک را در ۴/۵ کیلومتری جنوب غرب سربالا قطع می‌کند. در ابتدای مقطع و درون آبراهه قطعات ماسه‌سنگی کانی‌سازی شده آغشته به آزوریت فراوان قابل مشاهده است که پیگیری آنها منتهی به رخنمون یک افق ماسه‌سنگی کانه‌دار در موقعیت Kad38 شد که بدلیل واریزه‌های بالادست آن، به سختی می‌توان رخنمون مناسبی از افق ماسه‌سنگی را مشاهده نمود. به همین دلیل روند کانی‌سازی، طول و ضخامت آن مشخص نیست اما بررسی یک آبراهه فرعی مجاور نشان می‌دهد که احتمالاً کانی‌سازی گسترش چندانی ندارد.

kad38 در نمونه دستی دارای کالکوسیت، آزوریت، مالاکیت و فسیل گیاهی می‌باشد. عیار مس نیز در این نمونه ۳/۳ درصد تعیین شده است. روند احتمالی افق کانه‌دار شمالی- جنوبی است.

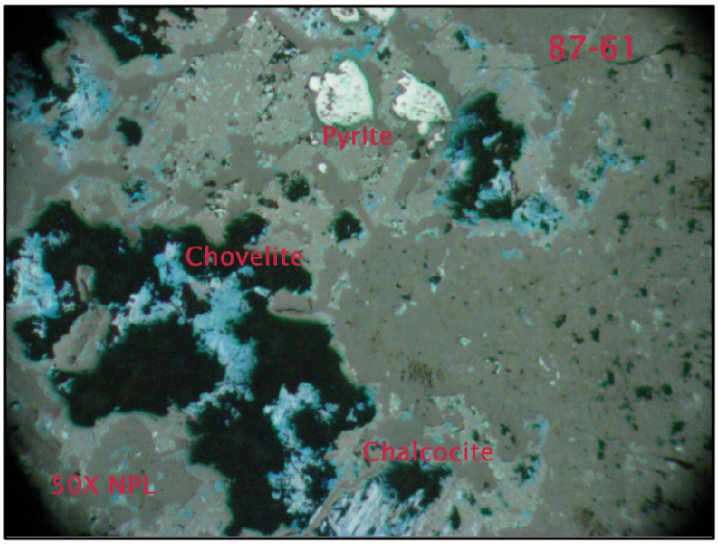
یک کیلومتری شرق نمونه فوق یک افق ماسه‌سنگی تیره خاکستری با آغشتگی کم به مالاکیت در دامنه واحدهای رسوبی سرخ رنگ در کف یک آبراهه کوچک در محل نمونه Kad39 رخنمون دارد. عیار مس در این نمونه ۵/۷۳ درصد بدست آمده است.

ادامه افق بالا در شرق نمونه بالا یک افق ماسه‌سنگی خاکستری به ضخامت حداکثر ۴۰ سانتیمتر و طول ۶۰ متر رخنمون دارد که به مالاکیت و آزوریت آغشته شده است. عیار در نمونه اخذ شده از این قسمت (Kad40) ۶/۴۸ درصد اندازه‌گیری شده است. محل این رخنمون در منطقه‌ای بنام دل‌آرام بین دو روستای سربالا و نوری واقع است.

در آبراهه شرقی منطقه مذکور آبراهه‌ای بنام کلاته خونی واقع است. در این آبراهه و در محل رخنمون واحدهای ماسه‌سنگی و کنگلومرایی سرخ تیره (نمونه Kad41) حداقل ۱۰ افق نازک لایه و متوالی از ماسه‌سنگ و میان‌لایه‌های کنگلومرا با قطعات سنگهای آتشفشانی رخنمون دارند که اگرچه گسترش مناسبی دارند اما ضخامت آنها کم و از ۲۰ سانتیمتر تجاوز نمی‌کند. امتداد این طبقات شرقی – غربی بوده و شیب آنها ۴۳ به سمت جنوب می‌باشد.

نمونه مذکور از قسمت‌های پرعیار افق‌های فوق برداشت گردید که عیار مس اندازه‌گیری شده در آن ۵/۵۸ درصد می‌باشد.

کانیهای پیریت (ریزدانه و دگرسان به اکسیدهای آبدار آهن)، کوولیت و کالکوسیت (نیمه خودشکل) و مالاکیت (به صورت ریز و پراکنده و رگچه‌های ظریف) در نمونه مطالعه شده از این بخش مشخص شده‌اند (شکل ۱۹).



شکل ۱۹- کانی سازی کالکوسیت، کوولیت و پیریت در نمونه Kad41p در کلاته خونی

یکی دیگر از آبراهه‌های جنوبی روستای سربالا بنام کال کوهاب نام دارد که بررسی‌های انجام شده در آنها آثاری از کانی‌سازی مس رسوبی را نشان نمی‌دهد. اما در آبراهه شرقی آن که بنام کال (بازه) سربالا نام دارد، درون توالی ضخیم ماسه‌سنگ و مارن سرخ‌رنگ افق دیگری از کانی‌سازی مس با میزبان ماسه‌سنگ تا میکروکنگلومرا سفید تا خاکستری قابل مشاهده است (شکل ۲۰).

طول افق رخنمون‌دار در محل نمونه Kad42 حدود ۱۰۰ متر، ضخامت آن حداکثر ۵۰ سانتیمتر بوده و تقریباً افقی زیرطبقات بالایی قرار می‌گیرد. نمونه‌های دستی کانی‌سازی شده در زیر ذره‌بین (لوپ) دانه‌های سیلیسی آغشته به مالاکیت و آزوریت را نشان می‌دهد. کالکوسیت و کوولیت نیز به فراوانی در آنها دیده می‌شود. عیار مس درنمونه فوق ۵/۹۵ درصد تعیین شده است.

مشخصات نمونه فوق در مقطع صیقلی به شرح ذیل می‌باشد:

پیریت : بصورت ذرات ریز و پراکنده دارای ابعاد تقریبی ۳۰-۱۰ میکرون بمیزان محدود کانی سازی دارد. درصد فراوانی پیریت در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۲٪ است.

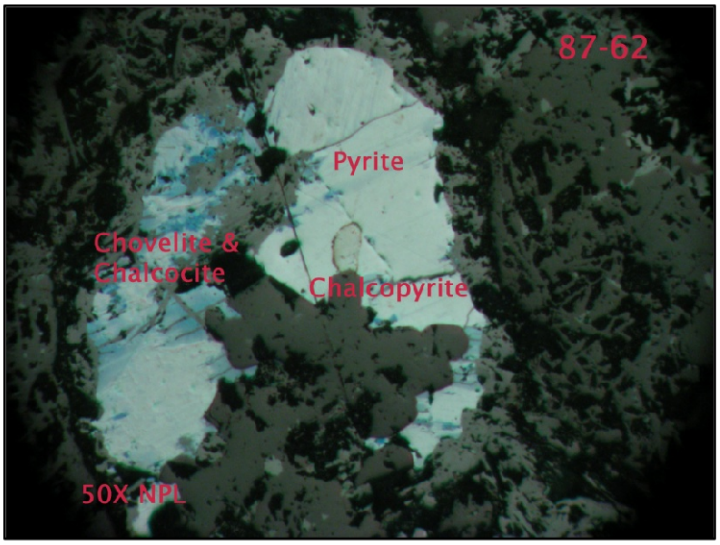
مالاکیت و آزوریت : بصورت ذرات پراکنده ، رگچه های ظریف و آغشتگی در گانگ کانی سازی دارد. مجموع درصد فراوانی این کانیها در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۱۵٪ است.

کوولیت و کالکوسیت : بصورت ذرات ریز و پراکنده با ابعاد ۶۰-۵ میکرون کانی سازی دارد. درصد فراوانی کوولیت و کالکوسیت در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۵٪ است.

اکسید و هیدروکسیدهای ثانویه آهن : به شکل آغشتگی در گانگ و پرکردگی در حفرات سنگ میزبان کانی سازی دارد. درصد فراوانی این کانیها در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۵٪ است.بافت کانی سازی فلزی Open Space Filling است (شکل ۲۱).

نوع سنگ میزبان در مطالعه یک نمونه از این افق ولکانوکلاستیک (توفیت) مالاکیت – آزوریت‌دار تعیین شده است. بافت سنگ کلاستیک بوده و از قطعات بلوری پلاژیوکلاز شکسته شده، قطعات سنگی ولکانیکی با ترکیب آندزیت، قطعات سنگی با بافت میکروگرافیتی از کوارتز- فلدسپات، پورفیریت‌های داسیتی، بازالت اسپیلیتی، متاسنداستون و کوارتزلاتیت با سیمان کربناته تشکیل شده است.

شکل ۲۰- بخشی از رخنمون افق کانه دار در کال کوهاب (بازه سر بالا)



شکل ۲۱- کانی سازی کالکوسیت، کوولیت، پیریت و کالکوپیریت در نمونه Kad42p در کال کوهاب

۳-٦- مقـطع یـال مـعدن

این مقطع جهت دسترسی به معدن متروکه‌ای بنام یال معدن انجام شده است که فاصله (مستقیم) هوایی آن با رباط‌سنگ ۱۸ کیلومتر است. دسترسی به ابتدای این مقطع از جاده رباط سنگ- نَسَر امکان‌پذیر است. بدین صورت که پس از طی ۲ کیلومتر از روستای سربالا به سمت روستای مختاری جاده‌ای به سمت جنوب (دامنه کوه) (به سمت مزار سیدرضا) جدا می‌شود. پس از طی مسافتی در حدود ۳ کیلومتر به مزار سیدرضا می‌رسیم. ابتدای مقطع در ۲/۵ کیلومتری جنوب مزار واقع است. جنوب مزار مذکور به کلاته بِـزیـک مشهور است.

شروع مقطع با طبقات ضخیم ماسه‌سنگی سرخ‌رنگ شروع می‌شود و به سمت بالادست طبقات ماسه‌سنگی خاکستری رخنمون دارند. فاصله هوایی معدن متروکه و مزار سیدرضا ۱۸۰۰ متر و اختلاف ارتفاع آنها ۴۶۰ متر می‌باشد.

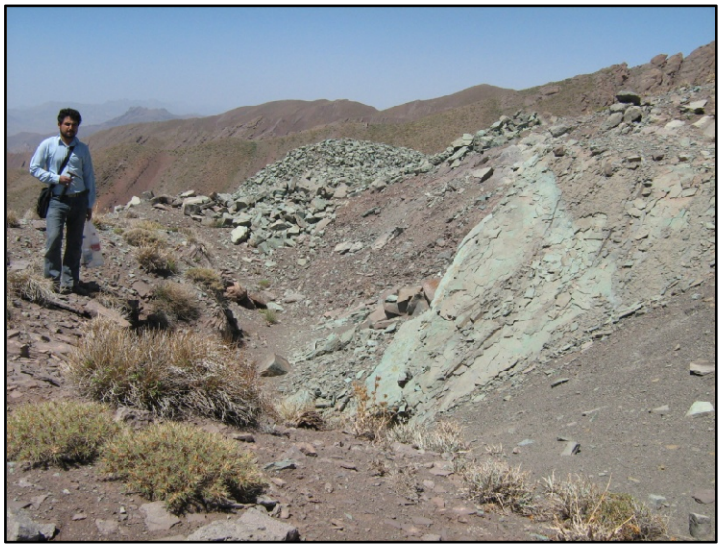
محل معدن درون واحدهای ماسه‌سنگی سرخ‌رنگ تا خاکستری واقع است که شامل یک افق ماسه‌سنگی احیایی لایه‌ای تا عدسی‌شکل سبزرنگ (بدلیل مالاکیت‌دار بودن) می‌شود. با توجه به گسترش رخنمون، لایه مس‌دار در سه بخش شرقی، مرکزی و غربی دیده می‌شود. ضخامت آن حداکثر ۱/۲ متر، طول نامتد آن حدود ۷۰۰ متر و شیب و امتداد آن N 90, 45 S می‌باشد.

جنس سنگ میزبان (با توجه به مطالعه یک نمونه مقطع نازک) آرکوز لیتیک تا لیتارنایت فلدسپات‌دار با سیمان آهکی و ساب‌مچور با کانه‌های مالاکیت – آزوریت تعیین شده است که در آن علاوه بر کوارتز، قطعات فلدسپات (پلاژیوکلاز)، ولکانیکی میکرولیتی، شیشه‌ای تجدید تبلور یافته، میکرواسپارایت، مادستون، فیلیت و چرت از تشکیل‌دهندگان اصلی سنگ می‌باشند. در معدن متروکه یک سینه‌کار (در بخش مرکزی) در ابعاد ۳×۵ متر حفر شده است و ماده معدنی استخراج شده نیز در کنار این سینه‌کار دپو شده است (شکل ۲۲). هم‌چنین از کمر بالای ماده معدنی و به فاصله تقریبی ۲ متر یک دویل حدود ۷ متر جهت دسترسی به ماده معدنی در عمق حفر شده است. آثار کنده‌کاری در امتداد رخنمون ماده معدنی به صورت پراکنده مشاهده می‌شود.

در بخش‌های شرقی و غربی افق کانه‌دار کنده‌کاری انجام شده است. ماده معدنی در نمونه دستی عمدتاً شامل مالاکیت، مقدار کمی آزوریت به همراه آثار فسیلهای گیاهی است. مالاکیت هم متن سنگ میزبان و هم در سطوح تورق دیده می‌شود.

عیار مس در نمونه Kad43 که از محل دپو ماده معدنی برداشت گردیده، ۳/۶۶ درصد بوده است.

مهمترین مشکل منطقه کانی‌سازی شده عدم دسترسی آسان به آن می‌باشد.

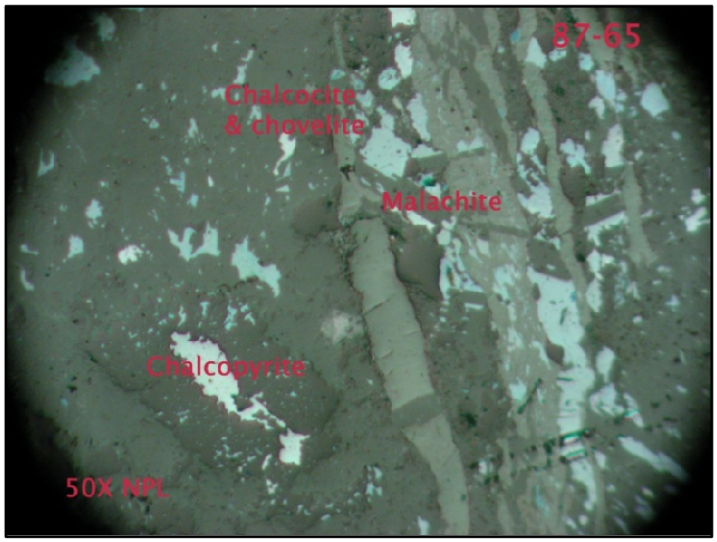


شکل ۲۲- رخنمون افق کانه دار در بخش مرکزی معدن متروکه یال معدن (بازه سر بالا)

در مطالعه یک نمونه مقطع صیقلی از ماده معدنی تنها پیریت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن تشخیص داده شده است.

طی کنترل آبراهه‌های فرعی جنوب مزارسیدرضا در یک مورد (موقعیت نمونه Kad45) در کف آبراهه پچ کوچکی در ابعاد ۰/۸ در ۲ متر از افق کانه‌دار نسبتاً پرعیار رخنمون دارد اما در اطراف خود ادامه ندارد. در سطح شکسته نمونه حاوی مالاکیت، آزوریت، پیریت فراوان، کانیهای سولفیدی و گالن؟ می‌باشد و میزبان نیز سیلیسی شده است.

در نمونه مطالعه شده از این بخش کانیهای مالاکیت (کله‌ای و پرکننده حفرات) و اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن (بصورت ثانویه داخل حفرات و فضاهای بین گانگ) تشخیص داده شده است (شکل ۲۳).



شکل ۲۳- کانی سازی کالکوسیت، کوولیت، پیریت و مالاکیت در نمونه Kad45p (غرب مزار)

۳-۷- مقطع کلاته لاله

این مقطع در ۴ کیلومتری جنوب غربی روستای نَسَر در کلاته‌ای بنام کلاته لاله واقع است. ابتدای این مقطع رخنمون ضخیمی از ماسه‌سنگ‌های تیره و صخره‌ساز مشاهده می‌شود که درون این طبقات افقی به شکل عدسی از آهک مارنی سبز و تیره تشکیل شده است و کانی‌سازی مس شامل آزوریت، مالاکیت و اکسیدهای مس به همراه گوتیت و لیمونیت در آن دیده می‌شود. ظاهراً عیار مناسبی دارد اما ابعاد آن (۲۰×۰/۵) ناچیز است. در محل کانی‌سازی سینه کار اکتشافی کوچکی نیز حفر شده است. شیب طبقات به سمت جنوب و حدوداً ۴۵ درجه است. امتداد آنها نیز شرقی – غربی است. آبراهه‌های اطراف کنترل گردید و آثار کانی‌سازی در آن مشاهده نشد.

جنس سنگ میزبان مادستون (سنگ بسیار دانه‌ریز رسوبی) تعیین شده است. سنگ متشکل از کانیهای فیلوسیلیکاته (رس – میکا)، رشته‌های نیمه ممتد اکسیدآهن و سیلیس کریپتوکریستالین می‌باشد. این نوع سنگ میزبان تنها در این قسمت از منطقه مشاهده می شود.

عیار مس در نمونه Kad44 که از بخشهای پرعیار ماده معدنی برداشت گردید ۳/۷۱ درصد تعیین شده است. نتایج حاصل از مطالعه نمونه‌ای از ماده معدنی جهت مقطع صیقلی به شرح ذیل می‌باشد

پیریت : بمیزان محدود درون حفرات و فضاهای عدسی شکل موجود در گانگ، کانی سازی دارد. این کانی در اطراف و حواشی به اکسیدهای ثانویه آهن آلتره شده است. همراه با پیریت کانی سازی محدود کالکوپیریت نیز دیده می شود. درصد فراوانی پیریت در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۵٪ است.

کالکوپیریت : همراه با پیریت و بمیزان محدود کانی سازی دارد. این کانی از اطراف آلتره شده و به صورت کوولیت و کالکوپیریت ۲٪ و کالکوسیت و کوولیت ۷٪ دیده می‌شود.

بافت کانی سازی فلزی Open Space Filling است.

۳-۸- مقطع کال اولتولوج

این مقطع در ۵ کیلومتری جنوب غربی روستای نَسَر در مسیر آبراهه‌ای بنام کال اولتولوج واقع است. در این مقطع یک افق ماسه سنگی خاکستری و احیایی درون طبقات اکسیدان و صخره ساز به طول ۱۵ متر و ضخامت حاکثر ۵۰-۶۰ سانتی متر به صورت عدسی شکل رخنمون دارد. شیب و امتداد طبقات N85E,30SE است. نمونه Kad49 که از بخشهای پرعیار حاوی مالاکیت و آزوریت و احتمالاً سولفیدهای مس برداشت شده دارای ۴.۵ درصد مس می‌باشد. همانگونه که ذکر گردید شکل عدسی این افق نشان دهنده عدم گسترش ماده معدنی در اطراف بخش کانی سازی است که طی کنترل صحرایی این امر مشخص گردید. شکل ۲۴ نمایی از رخنمون لایه ماسه سنگی کانه دار را نشان می‌دهد.

شکل ۲۴ – نمایی از رخنمون لایه ماسه سنگی کانه دار در کال اولتولوج

۳-۹- معدن متروکه مس قنداب (قندو)

این معدن متروکه در ۳ کیلومتری جنوب روستای نَسَر قرار دارد و شامل یک تونل استخراجی در امتداد لایه در کنار رودخانه، یک سینه‌کار در کناره شرقی رودخانه (۳۵۰ متری تونل اصلی)(شکل ۲۵) و سینه‌کار دیگری در ۱۵۰ متری غرب تونل می‌باشد. تونل حدود ۲۵ متر طول دارد و ابعاد دهانه آن ۱/۵×۲ مترمربع می‌باشد که بدلیل آبگرفتگی قابل بازدید نبود. سینه کار غربی در ابعاد ۳×۵×۱۰ حفر شده که بیشتر برای شناسایی چگونگی گسترش و ابعاد کانی‌سازی بوده است.

ماده معدنی در واقع یک افق ماسه‌سنگی آغشته به مالاکیت و کمی آزوریت است که حداکثر ۴۰ سانتیمتر ضخامت دارد و همراه با آن فسیل‌های گیاهی مشاهده می‌شود. واحدهای دربرگیرنده ماده معدنی ماسه‌سنگ‌های تیره تا میکروکنگلومرا هستند. شیب و امتداد افق کانه‌دار 53SE و N70E می‌باشد.

عیار مس در نمونه Kad 46 که از سینه‌کار غربی برداشت شده، ۴/۶۸ درصد و در نمونه Kad 47 (از سینه‌کار شرقی) ۳/۸ درصد بدست آمده است.

شکل ۲۵- رخنمون افق کانه دار در انتهای شرقی معدن متروکه قنداب

رخنمون طبقات سرخ رنگ (Red bedds) که حاوی بخش‌های کانه‌دار می‌باشد. (EO^s) در اطراف روستای نسر به پایان می‌رسد و گسترش طولی آنها از آخرین نقطه‌ای که کانی‌سازی مس رسوبی در غرب ورقه کدکن مشاهده شده تا این بخش (انتهای جنوب شرقی ورقه رباط سفید) 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.

مشخصات کانی‌سازی در تمامی موارد مشابه یکدیگر بوده و عبارتند از: آثار فسیل‌های گیاهی، حالت غالب مالاکیتی شدن، ماسه‌سنگ‌های خاکستری روشن(احیایی)، استراتیفرم بودن.

در یک کیلومتری غرب معدن متروکه قنداب اندیس مس مغارجنگل قرار دارد. مشخصات کانی‌سازی در این اندیس مشابه قنداب است. در اینجا سینه‌کاری به ابعاد ۲× ۳ × ۱۲ ایجاد شده است و بدلیل ریزش خاکهای اطراف افق کانی‌سازی قابل رؤیت نیست. دپویی از ماده معدنی در پایین سینه‌کار انجام شده است. سنگ میزبان ماسه سنگی تا میکروکنگلومرایی است. در نمونه Kad48 عیار مس ۳/۸۱ درصد بدست آمده است.

۳-۱۰- مقطع شمال کامه

روستای کامه سفلی در ۲۲ کیلومتری شمال تربت حیدریه و ۱۲ کیلومتری جنوب رباط سنگ واقع است (شکل ۱). مقطع مورد نظر افق‌های سرخ‌رنگ (EO^s) رخنمون‌دار شمال و شمال شرق این روستاست که در ورقه ۱۰۰۰۰۰ :۱ تربت حیدریه واقع می‌شود. در منطقه موردنظر از غرب به شرق روستاهای کامه‌علیا، کَسکَک، سِرشیا و پَدِه قرار دارند.

طی بررسیهای انجام شده در این مقطع دو افق ماسه‌سنگی کانه‌دار و احیایی به فاصله تقریبی ۷۰ متر از یکدیگر درون طبقات ضخیم ماسه‌سنگی و مارنی سرخ‌رنگ تشکیل شده‌اند. مجموعه رسوبی مذکور بین واحدهای کنگلومرایی ضخیم و صخره‌ساز (در شمال و جنوب) رخنمون دارند. در برخی قسمت‌ها تنها یکی از افقها قابل مشاهده هستند، مثلاً در شمال غربی روستای کامه‌علیا یک افق ماسه‌سنگی متورق آغشته به مالاکیت به ضخامت ۳۰ سانتیمتر و طول تقریبی ۵۰ تا ۶۰ متر بدون آثار فسیل‌های گیاهی رخنمون دارد (شکل ۲۶). روند کلی واحدهای رسوبی منطقه شرقی- غربی می‌باشد.

شکل ۲۶- افق ماسه سنگ شیلی همراه با کانی سازی مس (شمال کامه سفلی)

گسترش طولی افقهای فوق در کل منطقه حدوداً ۷ کیلومتر است که در محل گسلهای عرضی و آبراهه‌های شمالی-جنوبی قطع‌کننده لایه‌های ماسه‌سنگی به صورت منقطع و عدسی شکل دیده می‌شوند. در شمال غرب روستای کامه سفلی تا شمال روستای کسکک در فاصله حدود ۱۰۰ متری شمال طبقات ضخیم کنگلومرایی دو افق کانه‌دار رخنمون دارند که ضخامت افق پایینی حداکثر به ۷۰ سانتیمتر و افق بالایی به ۴۰ سانتیمتر می‌رسد. شیب و امتداد این طبقات 50NE و N115 است. نمونه Kad 50 که از افق پایینی برداشت شده دارای عیار ۳/۷۳ درصد مس است.

۳-۱۱- مقطع شمال روستای پده

دو افق کانی‌سازی تا بخشهای شمالی روستای پده قابل پیگیری هستند. مزار بی‌بی‌کبری در شمال روستای پده قرار دارد. در حدود ۱/۵ کیلومتری شمال این مزار دوباره افق‌های کانه‌دار ظاهرمی‌شوند. شکل ۲۷ موقعیت چینه شناسی واحدهای ماسه سنگی مس دار را نشان می‌دهد. از محل نمونه Kad 51 یک نمونه برای مطالعه مقطع صیقلی برداشت و مطالعه شده است که نتیجه آن به شرح ذیل می‌باشد:

کالکوسیت و کوولیت: به صورت بلورهای ریز و پراکنده با فراوانی ۱۰ درصد در متن مقطع مشاهده می‌شوند.

مالاکیت: به میزان محدود در سنگ میزبان کانی‌سازی دارد.

بافت کانی‌سازی فلزی Open Space Filling است.

رخنمون افق پایینی در محل نمونه Kad52 حدود ۷۰ سانتیمتر ضخامت و حداقل ۱۰۰ متر طول دارد و عیار مس در آن ۷/۱ درصد می‌باشد. کانی‌سازی تا یک متری شرق نمونه فوق قابل ردیابی است که کم‌کم نازک شده و محو می‌شوند.

شکل ۲۷- موقعیت چینه شناسی واحدهای ماسه سنگی مس دار و(سمت راست) نمایی نزدیکتر از بخشهای کانه‌دار

فصل چهارم

پی‌جویی
در ورقه شامکان

٤- پی‌جویی کانی‌سازی مس رسوبی در ورقه شامکان

ورقه شامکان در غرب ورقه کدکن و شمال ورقه کاشمر واقع است. واحدهای رسوبی سرخ رنگ O^{sms} از غرب ورقه کدکن با روند شمال‌غربی- جنوب شرقی وارد ورقه شامکان می‌شود.

٤-١- زمین‌شناسی ورقه شامکان

خلاصه‌ای از وضعیت زمین شناسی این ورقه به شرح ذیل می‌باشد:

پالئوزوئیک: کهن‌ترین رخنمون‌ها، وابسته به واحدهای پالئوزوئیک زیرین است. برونزدهای سنگی متنوع و شامل سنگهای رسوبی، آواری، آتشفشانی، افیولیتی و نفوذی است. رخساره‌های پالئوزوئیک در منطقه پیرامون گسل ریوش بوده و گسترش محدودی دارند. مرزهای بین آنها گسله است و در پیشانی گسل ریوش جایگزین شده‌اند.

در این پیشانی ماسه‌سنگ لالون به صورت تکتونیکی در میان رخساره‌های پالئوزوئیک جای‌گرفته‌اند. پالئوزوئیک پایینی از دو بخش پایینی (لیتارنایت فلدسپاتی و گاه دولومیت خاکستری) و بالایی (شیل‌های سیلتی خاکستری تیره با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ آهکی به سن کامبرین میانی تا بالایی- اردوویسین) پدید آمده است. پالئوزوئیک میانی از تناوب دولومیت و آهک دولومیتی قهوه‌ای تا خاکستری (به سن سیلورین- دونین بالایی) تشکیل شده است و پالئوزوئیک فوقانی شامل سنگ آهک تا آهک دولومیتی خاکستری رنگ است که در بخشهایی بسیار خرد شده و تکتونیزه می‌باشد.

مزوزوئیک: تریاس و ژوراسیک در منطقه رخنمون ندارند و تنها نهشته‌های وابسته به کرتاسه برونزد دارند. آغاز کرتاسه با رخساره‌های نمایانگر پیشروی دریا در منطقه دربرگیرنده واحدهای آهکی است. کرتاسه پسین با قاعده فرسایشی جای گرفته است که مرز میان آهک‌های زیرین و بالایی یکسری نهشته‌های تخریبی است که بی‌شک پیشروی و پسروی و نبود نهشته‌گذاری در این رخساره‌ها در محل تشکیل آنها متأثر از عملکرد رخدادهای کیمیرین پسین و اتریشین بوده است. واحدهای سنگی کرتاسه در منطقه شامل سنگ‌آهک‌های بایومیکرواسپرایتی تا آهک دولومیتی خاکستری ضخیم لایه کرتاسه زیرین، تناوب ماسه‌سنگ و سیلتستون نازک لایه قرمزرنگ که برروی آهک‌های کرتاسه زیرین جای گرفته‌اند، کنگلومرا و آهک بیومیکریتی خاکستری تیره، متوسط تا ضخیم لایه به سن ماستریشتین می‌باشند.

پالئوسن: نهشته‌های حدفاصل کرتاسه – پالئوسن متأثر از رخداد لارامید است و سبب تشکیل واحدهای کنگلومرایی- ماسه‌سنگی و سنگ‌آهک‌های نواحی کم‌عمق دریا شده است. پالئوسن در منطقه شامل دو رخساره کنگلومرا – آگلومرایی و سنگ آهکی است.

ائوسن: واحدهای پدیدآورنده ائوسن در منطقه بطور عمده آندزیتی و توف‌های وابسته به آن است (سنگهای اسیدی تا بازیک) که بدنبال حرکات شدید کرتاسه پایانی در آبهای کم‌عمق تشکیل گردیده‌اند. برخی از این سنگهای آتشفشانی

از لحاظ سنی هم‌ارز یکدیگرند و با یک وقفه زمانی در رسوبگذاری نسبت به رخساره‌های سنگی پالئوسن جای گرفته‌اند. دیگر واحدهای سنگی متعلق به این دوره شامل سنگ‌آهک بیومیکریتی، کنگلومرای سبز خاکستری، لیتیک آرکوز قرمز تیره تا خاکستری با میان‌لایه‌های توف شیشه‌ای، سیلتستون قرمز ریزدانه می‌باشد که در برخی نقاط این میان‌لایه‌های توفی اسیدی به مالاکیت و کمی آزوریت آغشته هستند(نظیر شمال آوندر).

الیگوسن: براثر عملکرد رخداد پیرنه‌ای ارتباط حوضه‌های رسوبی با دریای آزاد محدودتر شده و رسوبگذاری در محیط‌های قاره‌ای انجام شده است. این حرکات باعث چین‌خوردگی نهشته‌های الیگوسن، پیشروی دریا و ناپیوستگی دگرشیب برروی رخساره‌های ائوسن شده است و واحدهای سنگی آن شامل مارن‌های قرمز تا روشن با میان‌لایه‌های گچ، ماسه‌سنگ و سیلتستون (O^{m})، سیلتستون قرمز تیره نازک لایه (O^{ss})، ماسه‌سنگ‌های آرکوزی تا لیتارنایت فلدسپاتی (O^{sms}) که در برخی نقاط لایه‌هایی از آنها همراه با آثار فسیل‌های گیاهی و آغشتگی به مالاکیت و آزوریت می‌باشند، واحدهای گچ سفید نازک تا متوسط لایه (g)، کنگلومرا با سیمان سخت، قرمز تیره (O^{cs}) و تناوبی از ماسه‌سنگ‌های قرمز ریزدانه با لایه‌بندی متوسط تا ضخیم (O^{sms}) می‌باشند.

الیگومیوسن: حرکات اپی‌روژنیک فاز کوهزایی اواخر آلپ میانی (پیرنه‌ای) در زمان الیگوسن- میوسن سبب پسروی دریا و نهشته‌شدن رسوبات آواری- تبخیری شده است. واحدهای سنگی در این زمان از تناوب ماسه‌سنگ متوسط تا ضخیم لایه قرمز روشن و سیلتستون لایه نازک، تناوب مارن قرمز و سیلتستون لایه نازک تا متوسط با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ قرمز رنگ، تناوب مارن‌های روشن و گچ با میان‌لایه‌های شیلی مارنی، تناوب مارن خاکستری قرمز و شیل‌های مارنی خاکستری و آهک‌های ستبرلایه تا متوسط لایه تشکیل شده است.

میوسن: رخساره‌های سنگی میوسن نشان از کم‌ژرفا شدن حوضه رسوبگذاری و درشت‌تر شدن اندازه قطعات آواری بر اثر حرکات آلپ پایانی است. این مجموعه نهشته‌ها در ساختمان ناودیس در خاور منطقه بگونه‌ای محدود گسترش دارد.

پلیوسن: شامل کنگلومراهای خاکستری رنگ با سیمان نسبتاً ضعیف می‌شود.

سنگهای آذرین نفوذی: بدنبال فعالیت ولکانیکی دورهٔ ائوسن رخداد پیرنئن در اوائل الیگوسن در محدوده مورد مطالعه بوقوع پیوسته است و به گمان سبب پیدایش توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی پس از ولکانیسم ائوسن شده است. نقش برجسته این نفوذیها را در کانی‌سازی و دگرسانی واحد K_2^{v} در حاشیه توده نفوذی گرانیتوئیدی شمال ورقه می‌توان شاهد بود. توده نفوذی فلسیک در برگیرنده سنگهای اسیدی تا قلیایی در محدوده شمال خاوری و جنوب ورقه گسترش دارد و سنگهای مجاور خود را تحت تأثیر دگرگونی حرارتی قرار داده است. واحد K_2^{v} شامل تناوب سنگهای ولکانیک تراکی آندزیت، تراکیت، آندزیت، آذرآواری و شیل‌های سیلیسی و آهن‌دار می باشد. سن این واحد کرتاسه بالایی است.

سنگهای افیولیتی

افیولیت‌های منطقه جزو افیولیت‌های سبزوارند و برپایه سنگواره‌های موجود در آهک‌ها سن آنها کرتاسه بالایی تعیین شده و عقیده برآن است که رخداد لارامید حاکم بر منطقه سبب جایگزینی افیولیت‌ها شده است. رخساره‌های افیولیتی از دو بخش مانتویی و پوسته‌ای تشکیل یافته که بدلیل تکتونیک تراستی حاکم به هنگام جایگزینی در پوسته قاره‌ای نظم توالی‌شان بهم خورده است.

٤-٢- پی‌جویی کانی‌سازی مس رسوبی

طی بررسی‌های انجام شده در چندین مقطع زمین‌شناسی در واحدهای سرخ رنگ، کانی‌سازی قابل توجهی یافت نشد. تنها در سه مورد و به صورت محدود آثاری از کانی‌سازی را می‌توان مشاهده کرد.

٤-٢-١- مقطع آوندر

این روستا در ۲۸ کیلومتری شمال غرب ریوش قرار دارد و کانی‌سازی انجام شده در ۲ کیلومتری شمال آوندر درون واحدهای E^s رخنمون دارد. مطابق با گزارش نقشه ۱۰۰،۰۰۰ :۱ شامکان این واحدها از لیتیک آرکوز ریزدانه قرمزرنگ تا خاکستری با میان‌لایه‌های توف شیشه‌ای، سیلتستون ریزدانه قرمز رنگ و مقدار کمی مارن پدید آمده است. تأثیر سیالات گرمابی در نقاط ضعف، بویژه گسلهای رورانده موجب دگرسانی شدید آرژیلیتی و سریسیتی و کانی‌سازی آنتیموان و زرنیخ همروند با راستای گسلها شده است.

در محل نمونه Kad53 یکی از میان‌لایه‌های توفی به مالاکیت و نئوتاسیت آغشتگی دارد. این میان‌لایه‌ها ترکیب اسیدی داشته و دچار دگرسانی آرژیلی شده‌اند و ضخامت آن در محل کانی‌سازی ۴۰-۷۰ سانتیمتر می‌باشد (شکل ۲۸). گسترش این میان‌لایه‌ها در تمامی بخشهای شمالی آوندر قابل ردیابی است امّا طی بررسیهای صورت گرفته در چند مقطع اطراف محل ادامه کانی‌سازی مشاهده نگردید.

در مطالعه یک نمونه مقطع نازک از سنگ میزبان مطالعه و نوع آن کریستال توف شیشه‌ای و کریستالیزه (سیلیسی شده و تا حدی سریسیتی شده) تعیین شده است.

نتیجه مطالعه مقطع صیقلیKad 53P به شرح ذیل می‌باشد:

گالن : بصورت ذرات ریز و کاملاً آلتره شده به همراه سروزیت و کوولیت مشاهده می گردد. لکه های این کانی ابعادی حداکثر ۵۰ میکرون دارند. درصد فراوانی گالن، سروزیت و کوولیت مجموعاً در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۳٪ است.

اکسیدهای ثانویه آهن و هیدروکسیدهای آهن: بمیزان کم ، لکه های پراکنده حداکثر ۱/۵٪ در سطح مقطع مورد مطالعه کانی سازی دارد.

مالاکیت : بصورت رگچه های ظریف، آغشتگی در گانگ و پرکردگی حفرات و شکاف کانی سازی دارد. درصد فراوانی مالاکیت در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۵٪ است.

بافت کانی سازی فلزی Open Space Filling است.

شکل ۲۸- نمایی از رخنمون افق توفی حاوی کانی سازی مس درون طبقات سرخ شمال آوندر

٤-٢-٢- مقطع ده‌میان

روستای ده‌میان در ۳۸/۵ کیلومتری شمال غرب ریوش واقع است و دسترسی به آن از ریوش به روستاهای آوندر و خضرآباد و ده‌میان امکان پذیر است. در شمال و شمال شرق این روستا در گستره‌ای به طول ۲۰ کیلومتر طبقات ضخیمی از واحدهای سنگی O^{sms} به صورت ناودیس رخنمون دارد. احتمال کانی سازی از انتهای شرقی این واحد تا شمال روستای ده‌میان در چندین مقطع زمین‌شناسی مورد بررسی قرار گرفت که در بخشهای شرقی آن آثاری از کانی‌سازی مس رسوبی مشاهده نشد. در ۱۳۰۰ متری شمال شرقی روستای ده‌میان درون واحدهای ضخیمی از ماسه‌سنگهای خاکی رنگ، افق ماسه‌سنگی به ضخامت حدود ۶۰ سانتیمتر رخنمون دارد که قاعده آن در حد چند میلیمتر به مالاکیت آغشته شده است. گسترش این افق زیاد اما ضخامت آن ناچیز است بطوریکه تا ۲ کیلومتر به سمت شرق قابل ردیابی است (شکل ۲۹). این شکل از سینه کار یک کنده کاری نه چندان قدیمی برداشت شده است. در فاصله مذکور سنگ میزبان به میکروکنگلومرا تغییر می‌کند.

شکل ۲۹- نمایی از رخنمون ناچیز افق ماسه سنگی آغشته به مالاکیت در شمال شرق ده‌میان

٤-٢-٣- مقطع قلعه میدان

روستای قلعه میدان در ۵۰ کیلومتری شمال غرب ریوش واقع است. در شمال غربی این روستا واحدهای سنگی O^{sms} در گستره‌ای به طول ۷ کیلومتر رخنمون دارند که در چندین مقطع از بخشهای ابتدا، میانه و انتهایی آن مورد بررسی قرار گرفت.

در بخشهای میانی یک افق ماسه‌سنگی تا میکروکنگلومرایی به رنگ خاکستری روشن رخنمون دارد که به صورت ناپیوسته به مالاکیت آغشته شده است. ضخامت بخش کانی‌سازی ناچیز بوده و گسترش چندانی هم ندارد. روند طبقات شرقی- غربی و شیب آنها ۶۰ درجه به سمت جنوب می‌باشد.

کانی‌سازی مس به صورت مالاکیت گهگاه به صورت ناچیز و ناپیوسته در واحد O^{sms} مشاهده می‌شود که اهمیت چندانی ندارد و نمونه‌ای نیز برداشت نشد.

٤-٢-٤- مقطع بیروت

روستای بیروت در ۴۲ کیلومتری شمال غرب ریوش قرار دارد که واحدهای O^{sms} در ۵ کیلومتری شمال غرب این روستا به سمت غرب رخنمون دارند. این واحدها نیز در چند مقطع بررسی شده و کانی‌سازی در آنها مشاهده نشد.

فصل پنجم

پی‌جویی
در ورقه دارین

۵-۱- زمین‌شناسی عمومی ورقه دارین

از لحاظ موقعیت زمین‌شناسی- ساختاری این ورقه در شمال شرق زون ایران مرکزی، در زون فلیش سبزوار واقع است و جزئی از برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر می‌باشد.

در گوشه شمال غربی ورقه دارین رخنمون‌های کوچکی از سنگهای مربوط به پلاتفرم پالئوزوئیک تا تریاس ایران دیده می‌شود که به بخش‌های بالایی و دولومیتی سازند جمال شباهت دارد. برروی سازند جمال رخساره‌های مربوط به سازند سرخ شیل قرار گرفته است. دولومیت‌های قرمز – قهوه‌ای ضخیم لایه تا توده‌ای شکل سازند شتری برروی سازند سرخ شیل قرار می‌گیرند.

واحدهای سنگی کرتاسه پیشین از قدیم به جدید شامل سنگ‌آهک‌های کالپیونل‌دار به رنگ قرمز تیره تا بنفش و گاهی خاکستری رنگ در سه کیلومتری جنوب غرب روستای کروج، سنگ‌های آتشفشانی و توف شامل آندزیت، اسپیلیت، کراتوفیر توف برش، ماسه‌سنگ توفی و کنگلومرا در مرز غربی نقشه، سنگ‌آهک‌ها و مارن‌های سیلت‌دار و شیل‌ها می‌باشد. بخشهای عظیمی از واحدهای سنگی کرتاسه بالایی شامل واحد K_2^{tv} (تناوب توف‌ها، سنگهای آتشفشانی، سیلتستون، شیل سیلیسی، ماسه‌سنگ‌های توفی، رادیولاریت و بطور محلی میان‌لایه‌های سنگ آهک پلاژیک گلوبوترونکادار قرمز تیره) است که در بخشهای میانی نقشه رخنمون وسیعی دارند و تمامی کانی‌سازیهای مس مطالعه شده در این ورقه درون این واحد واقع هستند. نکته حائز اهمیت وجود مقادیر قابل توجهی سنگ‌های آتشفشانی اسیدی و به خصوص توف‌های اسیدی در لابه‌لای بقیه رخساره‌هاست. این واحدها شامل ریولیت‌ها و آندزیت‌داسیتی و داسیت‌ها می‌شود. هم‌چنین در اطراف روستای چاه شن افقی از سنگ‌های آتشفشانی تیره رنگ با ترکیب آندزیت و آندزیت بازالتی درون واحد K_2^{tv} دیده می‌شوند. برروی این واحدهای آتشفشانی واحدهای رسوبی شامل سنگ‌آهک‌های نازک لایه خاکستری روشن تا صورتی، تناوب‌های مارن، سنگ‌آهک و نهشته‌های شبه فلیشی، توف، ماسه‌سنگ‌توفی، ماسه‌سنگ قرمز و کنگلومرا همراه با میان‌لایه‌های سنگ آهک و مارن (در بخشهای بالایی کرتاسه پسین) قرار می‌گیرند.

درون واحدهای رسوبی مذکور میان‌لایه‌هایی از آندزیت، توف سبز، توف برش و ماسه‌سنگ توفی مشاهده می‌شوند. واحدهای سنگی کرتاسه بالایی بیش از ۸۰ درصد رخنمون‌های سنگی ورقه دارین (بجز واحدهای کواترنری) را شامل می‌شود. در نهشته‌های پالئوسن منطقه تنوع فراوان و تغییرات جانبی نسبتاً شدید رخساره‌ها مشاهده می‌شود که بخوبی شدت فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه در آن زمان را که مقارن با بسته شدن کافت‌ها و حوضه رسوبی فلیش می‌باشد، منعکس می‌سازد.

واحدهای سنگی پالئوسن

کنگلومرا و ماسه‌سنگ پالئوسن: کنگلومرای قرمزرنگ با قلوه‌هایی از منشأهای متعدد و اندازه‌های متفاوت. ماسه‌سنگ‌ها درشت دانه تا میکروکنگلومرا خاکستری رنگ می‌باشد.

سنگ‌آهک تحتانی پالئوسن در جنوب کلاته‌بلی سنگ آهک متبلور روشن رنگ که به صورت هم‌شیب روی واحدهای فوق قرار می گیرند.

فلیش، کنگلومرا و سنگ‌آهک پالئوسن: این واحد سنگی یکی از متنوع‌ترین واحدهای پالئوسن منطقه می‌باشد و تغییرات جانبی عمده‌ای در آنها مشاهده می‌شود.

شبه فلیش پالئوسن: این واحد از رسوبات شبه فلیشی نرم فرسا شامل تناوب‌های قرمز، خاکستری و سبز مارن سیلت‌دار ماسه‌سنگ آهکی قرمزرنگ، سیلتستون همراه با میان‌لایه‌های سنگ آهک ماسه‌ای یا مارنی می‌باشد.

ماسه‌سنگ و کنگلومرای پالئوسن: در اطراف رودخانه کال‌مرغ تناوبی از ماسه‌سنگ دانه درشت میکروکنگلومرایی درون هسته ناودیس فیل‌شور را پر کرده‌اند. این حالت در هسته ناودیس واقع در غرب کلاته‌بلی نیز مشاهده می‌شود.

سنگ‌آهک فوقانی پالئوسن : در شرق روستای نوده و شمال مهرکرد قرار دارند و شامل سنگ‌آهک و سنگ‌آهک مارنی خاکستری رنگ می‌باشند.

ماسه‌سنگ، مارن و کنگلومرای پالئوسن – ائوسن: به ضخامت ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر در شرق روستای رودآ رخنمون دارند.

ماسه‌سنگ، کنگلومرا و مارن ائوسن پیشین: شبیه واحد بالایی است اما میان‌لایه‌های کنگلومرایی بخصوص در بخشهای پایینی فراوان می‌باشد.

مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرای ائوسن پیشین

شبه فلیش ائوسن پیشین

رسوبات شبه فلیشی این واحد با ضخامت حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر از شرق تا غرب بخش میانی نقشه در رخنمون‌های متعددی مشاهده شده‌اند و از تناوب‌های قرمز، سبز و خاکستری مارن سیلت‌دار، ماسه‌سنگ و سیلت سنگ‌های آهکی درون لایه‌های سنگ آهک و گاهی گچ تشکیل شده‌اند.

واحدهای ائوسن میانی از قدیم به جدید شامل کنگلومرا و ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک نومولیت‌دار و شبه‌فلیش‌ها می‌شود. واحدهای ائوسن پسین- الیگوسن شامل کنگلومرا، مارن و ماسه‌سنگ می‌باشد. واحدهای سنگی میوسن تا کواترنری نیز شامل مارن، ماسه‌سنگ، کنگلومرا می‌باشند.

سنگهای آذرین

گرانیت: در شمال و شمال شرق این ورقه توده‌های گرانیتی دیده می‌شود که سنگهای واحد K_2^{tv} را قطع نموده و بالا آمده است. در مقطع نازک شامل گرانیت، گرانودیوریت اپیدوتیزه، پورفیریتیک گرانودیوریت تشخیص داده شده است. این توده‌ها واحدهای آتشفشانی واحد K_2^{tv} را تحت تأثیر قرار داده است. داسیت‌ها و ریوداسیت‌های مجاور این توده‌های گرانیتی شدیداً دچار دگرسانی آرژیلیتی شده‌اند.

سنگهای داسیتی نیمه آتشفشانی: در حدود ۲ کیلومتری شمال روستای گراب (غرب نقشه) توده‌ای از سنگهای داسیتی درون لایه‌های توفی زرد – قهوه‌ای روشن با خردشدگی‌ها و فرسایش شدید دیده می‌شود و سن کرتاسه پسین و یا جوانتر برای این سنگها در نظر گرفته شده است.

مونزودیوریت، کوارتز مونزونیت: در نقاط متعددی از منطقه توده‌های نفوذی و نیمه‌آتشفشانی مونزودیوریتی دیده می‌شود. وجه مشترک همه آنها اینست که فقط در سنگهای واحد K_2^{tv} دیده می‌شود. بطور کلی مونزودیوریت‌ها و داسیت‌ها بایستی مرتبط با همان فعالیت‌های آتشفشانی در زمان کرتاسه پسین باشند.

دایک‌ها: دایک‌های منطقه معمولاً کم‌عرض و کوتاه هستند و در آهک‌ها و مارن‌های کرتاسه بالا و بخصوص در واحد K_2^{tv} به فراوانی دیده می‌شود.

تکتونیک

منطقه مورد مطالعه دارای مجموعه‌ای از سیستم‌های راندگی و گسل‌های معکوس می‌باشد وبطور کلی حضور گسل‌های رانده با جهت شیب به سمت شمال و شمال غرب قابل توجه است که بیانگر دو جهت اصلی فشارش از طرف شمال و شمال غرب است و تعدادی از گسلها نیز از انواع قدیمی‌تر ناحیه هستند. گسل‌ها اعم از رانده یا معکوس معمولاً دارای شیب زیادی می‌باشند.

اکثر گسلهای مهم منطقه روند شرق شمال شرق – غرب جنوب غرب دارند که کم و بیش به موازات گسل درونه واقع در حدود ۴۰ کیلومتری جنوبی‌تر این منطقه می‌باشد. اغلب گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه دارای دوره فعالیت به نسبت جدید می‌باشند.

چین‌خوردگی‌های متعددی به شکل تاقدیس‌ها و ناودیس‌های کوچک و بزرگ در منطقه دیده می‌شود که راستاهای متعددی را کم و بیش به موازات جهات اصلی محورهای تغییر شکل و گسل‌های اصلی منطقه نشان می‌دهند.

۵-۲- کانی‌سازی مس در ورقه دارین

ورقه دارین بخشی از نقشه زمین‌شناسی برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر بوده و در شمال غربی آن واقع می‌شود. این ورقه آخرین ورقه در بررسیهای اکتشاف مس رسوبی منطقه می‌باشد (و در غرب ورقه ششتمد قرار دارد).

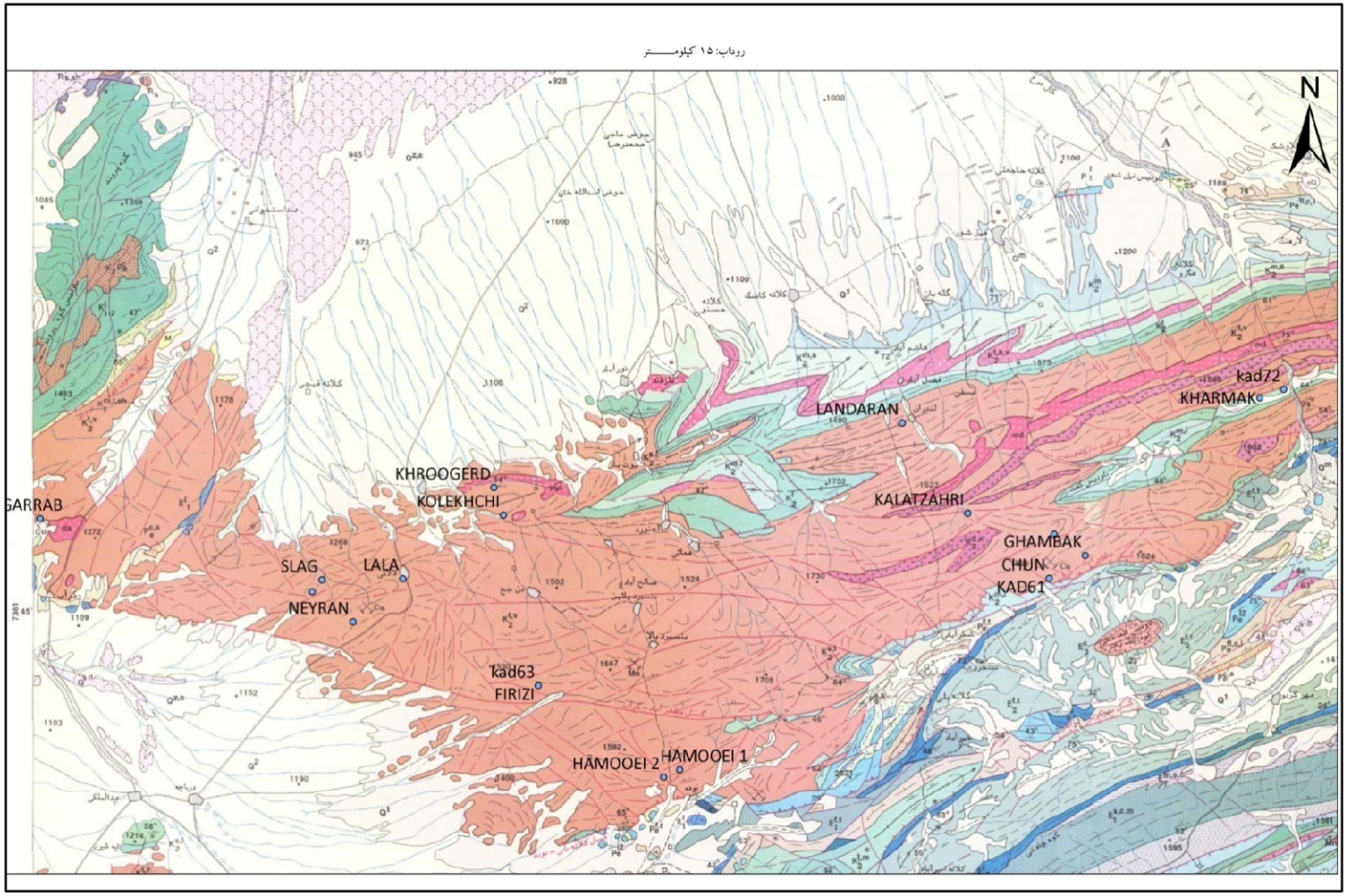
طبق بررسیهای انجام شده ماهیت کانی‌سازی مس در این ورقه با کانی‌سازی انجام شده در سایر ورقه‌های این پروژه متفاوت است و ماهیت رسوبی ندارد بلکه به سنگهای آتشفشانی- رسوبی کرتاسه بالایی وابسته است.

پتانسیل‌یابی و اکتشاف چکشی در این ورقه توسط بدخشان و بنی‌آدم (۱۳۷۷) در قالب پروژه زون سبزوار انجام شده است که نتیجه بررسیهای انجام شده ایشان معرفی چندین کانسار و اندیس معدنی مس که تماماً در ارتباط با واحدهای آتشفشانی- رسوبی کرتاسه بالایی است، بوده است. در این پروژه کانی سازی مس در ورقه های دارین و ششتمد مورد بررسی بیشتری قرار گرفته‌اند. شکل ۳۰-۱- پراکندگی اندیس ها و کانسارهای مس در ورقه دارین را نشان می‌دهد.

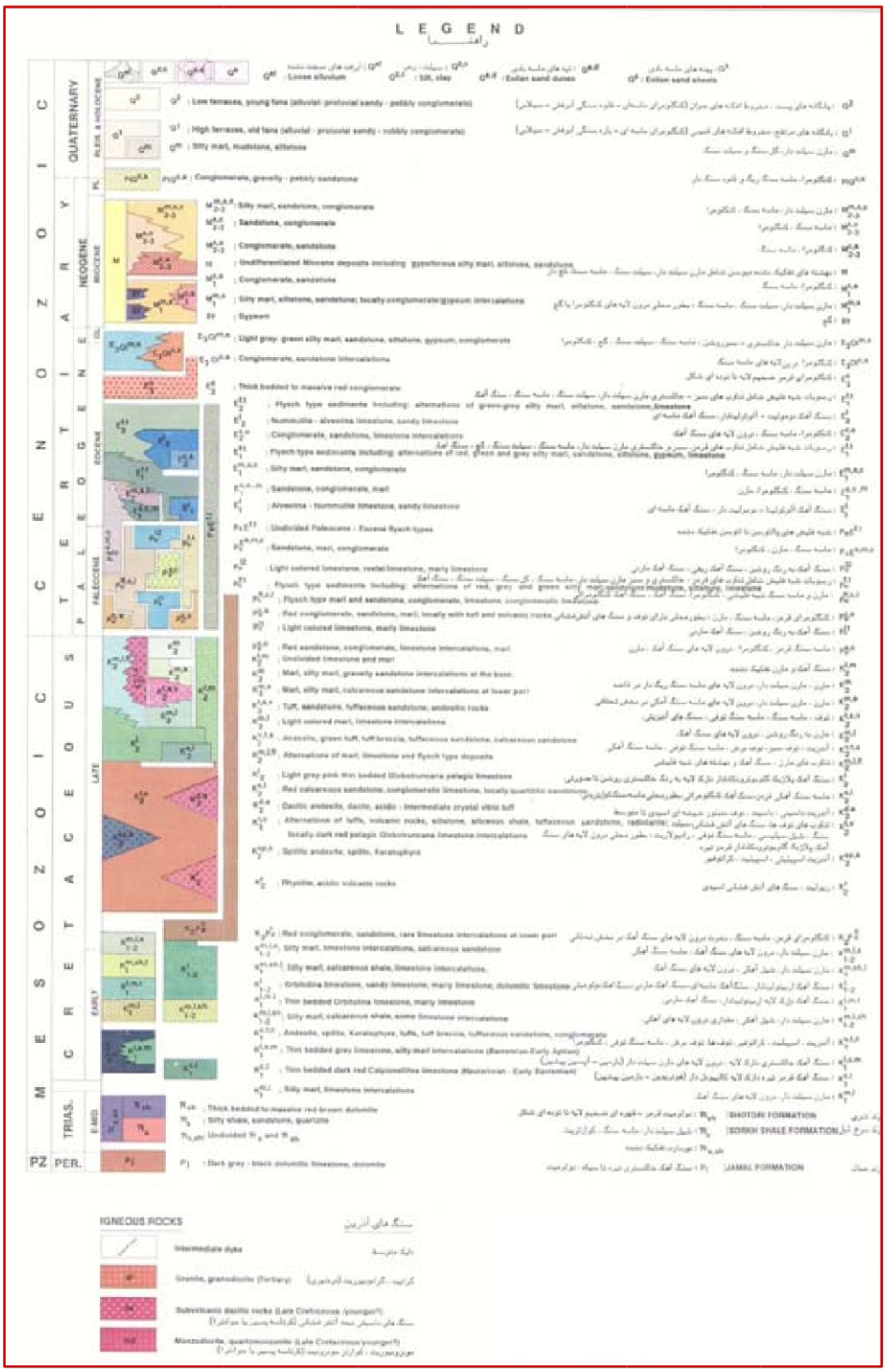
واحدهای سنگی مذکور با علامت K_2^{tv} در نقشه زمین‌شناسی از دیگر واحدها تفکیک شده‌اند.

طبق گزارش ورقه دارین (وحدتی دانشمند و ندیم ۱۳۷۷) در این ورقه از مجموعه سنگهای پوسته اقیانوسی سری افیولیتی زون سبزوار هیچ رخنمونی دیده نشده است و فقط قلوه‌های فرسایش یافته‌ای از آنها در کنگلومراهای پالئوسن و جوانتر از آنها مشاهده شده است ولیکن نهشته‌های مربوط به پوسته رسوبی سری افیولیتی از قبیل فلیش‌ها، فلیش ولکانیک‌ها، رسوبات کربناته پلاژیک، رادیولاریت، اسپیلیت و توف در این ورقه رخنمون و گسترش قابل توجهی دارد.

بخش آذرآواری سری سنگهای مزبور (واحد K_2^{tv}) با رخساره‌های دریایی عمیق خاص محیطهای رسوبی کافت و متشکل از تناوب توف‌ها، سنگ‌های آتشفشانی، سیلتستون، شیل سیلیسی، رادیولاریت به رنگ قرمز، مقداری ماسه‌سنگ توفی و بطور محلی درون لایه‌های نازک سنگ آهک پلاژیک گلوبوترونکانادار به رنگ قرمز است ولیکن نکته حائز اهمیت وجود مقادیر قابل توجهی سنگ آتشفشانی اسیدی و به خصوص توف‌های اسیدی در لابلای بقیه رخساره‌ها می‌باشد که نقطه مقابل رخساره مرسوم به این قبیل حوضه‌ها و با ترکیب متوسط تا بازی است.



شکل ۳۰ – پراکندگی اندیس ها و کانسارهای مس در ورقه دارین



شکل ۳۰-۲- راهنمای نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دارین

در جنوب روستای فیل‌شور در این واحد تناوب‌های توف، آندزیت و وابستگان آنها دیده می‌شود. افق‌های رادیولاریت قرمزرنگ با ضخامت گاهی تا چند سانتیمتر مشاهده شده است و تناوب‌های آندزیتی فراوان است.

چهار کیلومتری جنوب شرق روستای حمیره و ظاهراً در موقعیت هسته یک تاقدیس رخساره‌های قرمز تیره تا سیاه رنگ سنگهای آتشفشانی گاهی حفره‌دار دیده می‌شود که در بررسی‌های میکروسکوپی داسیتیک آندزیت، آندزیت اسپیلیتی شده و اسپیلیت – کراتوفیر تشخیص داده شده‌اند.

۵-۲-۱-کانسار مس هم‌ویی

معدن متروکه مس هم‌ویی در ۶۷ کیلومتری جنوب غرب سبزوار، ۳۷ کیلومتری جنوب- جنوب غرب بخش روداب و ۱/۵ کیلومتری شمال شمال باختر روستای نوده قرار دارد.

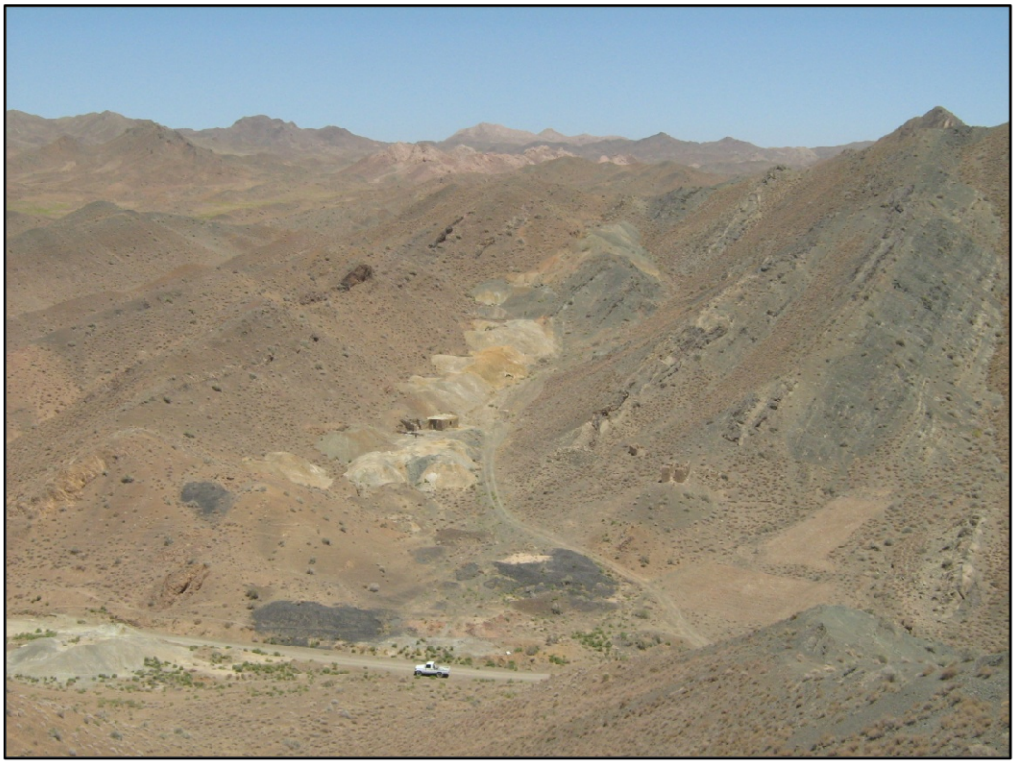
کانی‌سازی در امتداد یک افق توفی- آندزیتی متعلق به واحد K_2^{tv} به طول تقریبی ۱۲۰۰ متر با شیب و امتداد N63E,43NW انجام شده است. با توجه به گسترش طولی، این افق کانه‌دار را به سه بخش غربی، مرکزی و شرقی می‌توان تقسیم کرد. عمده فعالیت‌های اکتشافی و استخراجی در بخش مرکزی (حاشیه شرقی جاده نوده به نبسبرد بالا) انجام شده است (شکل ۳۱).

محل اصلی معدن که واجد چاههای استخراجی بیشتری نسبت به دیگر نقاط این معدن است (نزدیک به ۲۵ حلقه چاه) در بخش مذکور جای دارد. چاههای بهره‌برداری شده ۳۰ تا ۷۰ متر عمق و ۲ تا ۳ متر عرض دارند که برخی از آنها در اثر ریزش سنگهای بالایی پوشیده و پر شده‌اند (بدخشان و بنی‌آدم ۱۳۷۷). نزدیک به ۳۰۰ متری شرق چاههای اصلی معدن و در همان روند در آبراهه شرقی – غربی کنار سه سینه‌کار درون توف‌های سبز دیده می‌شود. هم‌چنین در بخش غربی جاده و در دامنه بلندی مجاور تا بالاترین نقطه بلندی همچنان آثار کندوکاوها و دگرسانی لیمونیتی و کانی‌سازی مس قابل ردیابی است. برروی هم ۴ تا ۷ چاه بهره‌برداری در این محدوده دیده می‌شود که برخی از آنها پر شده است(بدخشان و بنی‌آدم۱۳۷۷).

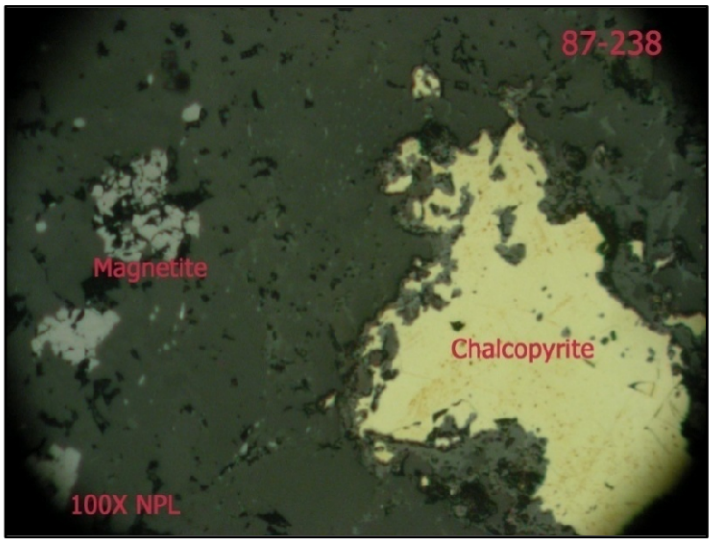
کانیهای فلزی که در نمونه دستی قابل شناسایی هستند شامل مگنتیت، هماتیت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و مالاکیت می‌باشند. دگرسانیها عمدتاً از نوع کلریتی، اپیدوتی، سیلیسی شدن و هماتیتی شدن هستند. لامیناسیون ظریف در توف‌های سنگ میزبان فراوان مشاهده می‌شوند. یک نمونه از این گونه توف در مقطع نازک مطالعه شده است که در آن نوع سنگ توف کلریتی و سیلیسی شده دارای قطعات شکسته شده فلدسپات ریزدانه، ریزبلورهای کوارتز با زمینه شیشه‌ای (که به کانیهای کوارتز، کلریت، سریسیت و اکسیدآهن دگرسان شده‌اند) تعیین شده است.

طی مطالعه قبلی سه نمونه به صورت Chip از بخشهای کانی‌سازی شده برداشت شده است که عیار مس آنها ۱/۱۱، ۰/۷۱ و ۰/۲ بوده است (بدخشان و بنی‌آدم۱۳۷۷).

در مطالعه حاضر دو نمونه برداشت و عیار مس و سایر عناصر احتمالی همراه با این نوع کانسارها اندازه‌گیری شده است. این عناصر عبارتند از Cd, Co, Ni, Pb, Zn و Ag.



شکل ۳۱- نمایی از کانسار همویی و موقعیت افق استخراجی (دید به سمت شرق)



شکل ۳۲ – کانی سازی کالکوپیریت و مگنتیت در نمونه kad 54p (انتهای شرقی معدن)

از بخش شرقی معدن نمونه Kad54p برای مطالعه مقطع صیقلی برداشت گردید که نتیجه آن به شرح ذیل می‌باشد (شکل ۳۲).

منیتیت : بصورت کریستالهای اتومورف با ابعاد ۱۶۰-۳۰ میکرون به شکل اجتماع یافته لکه هایی به‌درشتی ۴۰۰-۳۰۰ میکرون را پدید آورده است. کریستالهای منیتیت بمیزان بسیار جزئی از حواشی به اکسیدهای ثانویه آهن آلتره شده است.

کالکوپیریت : بصورت لکه های پراکنده دارای کریستالهای نیمه اتومورف وگزنومورف با ابعاد تقریبی ۱۰۰-۳۰ میکرون کانی سازی دارد. این کانی از حواشی و اطراف به اکسیدهای ثانویه آهن ، کوولیت و کالکوسیت آلتره شده است.

هماتیت و اکسیدهای ثانویه آهن : بصورت رگچه های ظریف ، پرکردگی در حفرات و فضاها بمیزان محدود کانی سازی دارد. درصد فراوانی کانیهای مذکور در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۰/۵ است.

مالاکیت : بمیزان بسیار کم در برخی قسمت ها آغشتگی دارد.

بافت کانی سازی فلزی Open Space Filling است.

نمونه Kad 55 از قسمت‌های تازه و فاقد دگرسانی بخش غربی معدن برداشت شده است که عیار مس آن ۱/۴۴ درصد می‌باشد. هم‌چنین از سرباره‌های مس واقع در بخش مرکزی کانسار نمونه‌ای آنالیز شده است (Kad57) که حاوی ۳/۱ درصد مس می‌باشد.

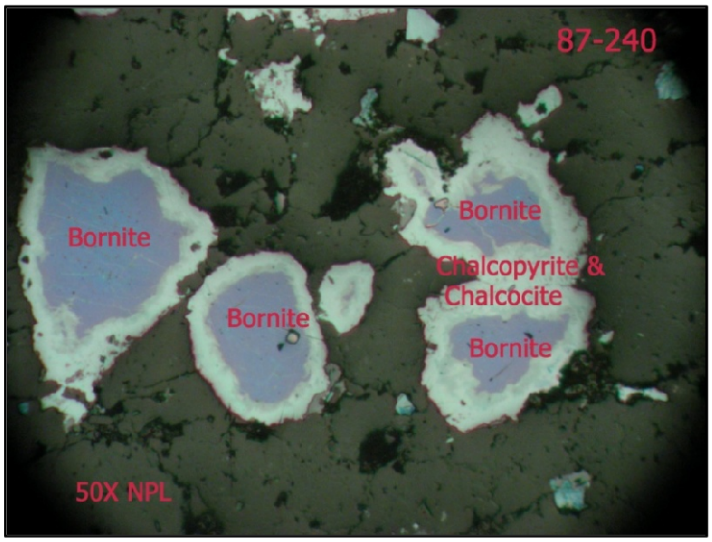
از بخش غربی معدن و از سنگ میزبان (توفهای لامینه) سیلیسی و برشی شده که در نمونه دستی دارای سولفیدهای پراکنده و کانیهای اکسیدی درشت تر در محل شکستگیها می باشد، نمونه Kad 58p برداشت و مطالعه گردید که نتیجه مطالعه آن به شرح ذیل می باشد.

بورنیت : بصورت لکه های پراکنده با رگچه های ظریف ، کریستالهای نیمه اتومورف با ابعاد تقریبی ۴۰۰-۳۰ میکرون اجتماع یافته و لکه‌هایی به‌درشتی ۴۰۰ میکرون تا ۲ میلیمتر را پدید آورده است. درصد فراوانی بورنیت در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۳۰٪ است. این کانی از حواشی و اطراف به اکسیدها و سولفیدهای مس مبدل شده و توسط کالکوسیت و کوولیت و اکسیدهای مس محاط شده است.

مالاکیت : بصورت رگچه های ظریف ، آغشتگی در گانگ و لکه های پراکنده کانی سازی دارد. درصد فراوانی این کانی در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۱۶٪ است.

اکسید و هیدروکسیدهای ثانویه آهن : بصورت رگچه های ظریف آغشتگی در گانگ و پرکردگی حفرات و فضاهای خالی کانی سازی دارد. درصد فراوانی اکسیدهای مذکور در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۷٪ است.

بافت کانی سازی فلزی Open Space Filling است (شکل ۳۳).



شکل ۳۳- پراکندگی فازهای سولفیدی در نمونهkad 58p

از دامنه انتهای غربی معدن با میزبان توف‌های ریزدانه و سبزرنگ نمونه‌ای حاوی کانیهای سولفیدی پراکنده و لکه‌ای پیریت، کالکوپیریت و بورنیت؟ برداشت و آنالیز گردیده است(Kad59) که عیار مس در آن ۱/۲۱ درصد بوده است. نمونه Kad59p برای مطالعه صیقلی برداشت گردید که نتیجه آن به شرح ذیل می باشد:

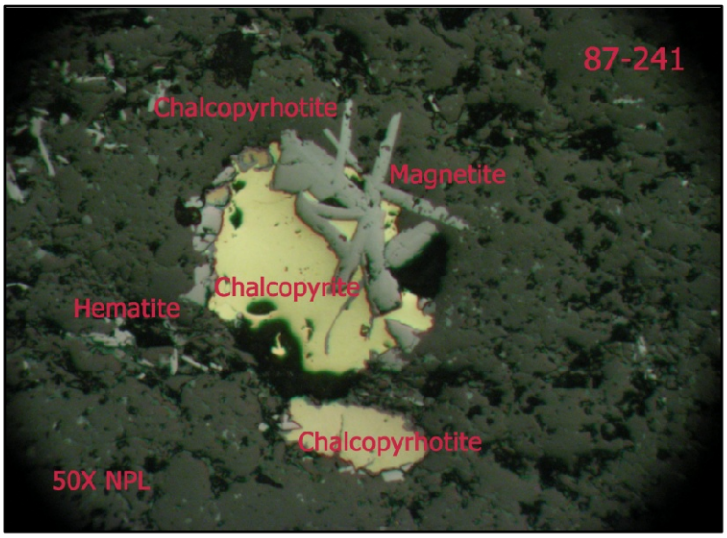
منیتیت : بصورت کریستالهای اتومورف با ابعـــاد ۶۰-۱۰ میکرون عمدتاً اجتماع یافته و لکه هایی بدرشتی ۴۰۰-۶۰۰ میکرون را پدید آورده است. این کانی بمیزان جزئی از حواشی آلتره و به هماتیت مبدل شده است. (مارتیتی‌شدن martitization)..درصد فراوانی هماتیت در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۵٪ است. کریستالهای هماتیت و منیتیت اینک تحت تاثیر آلتراسیون بسیار جزئی به اکسید و هیدروکسیدهای ثانویه آهن مبدل شده است.

کالکوپیروتیت، پیروتیت : بصورت لکه های ریز با ابعاد ۶۰-۱۰ میکرون حاوی کریستالهای نیمه اتومورف تا گزنومورف کانی سازی منیتیت را همراهی می کند. در اکثر قسمت ها این دو کانی با هم همراه هستند. درصد فراوانی کالکوپیروتیت و پیروتیت در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۲٪ است.

کالکوپیریت : این کانی در برخی قسمت ها همراه با هماتیت و در برخی قسمت ها همراه با کالکوپیروتیت و پیروتیت مشاهده می شود. اغلب کریستالین و نیمه اتومورف دارای ابعاد تقریبی ۴۵-۲۰ میکرون است. درصد فراوانی کالکوپیریت در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۳٪ است. این کانی از حواشی و اطراف بمیزان محدود به اکسیدهای ثانویه آهن و کالکوسیت و کوولیت آلتره شده است.

بافت کانی سازی فلزی Open Space Filling است.

بر اساس مطالعه این مقطع کانی سازی منیتیت ابتدا آغاز و همزمان در پایان کانی سازی منیتیت کانی سازی پیروتیت و کالکوپیروتیت و سپس در انتها کالکوپیریت و هماتیت تشکیل شده‌اند. در مرحله دوم کانی سازی منیتیت ثانویه از هماتیت تشکیل شده و در فاز آخر آلتراسیون کانیها اتفاق افتاده است. شکل ۳۴ ارتباط فازهای اکسیدی و سولفیدی و همرشدی آنها را نشان می‌دهد.



شکل ۳۴- ارتباط فازهای اکسیدی و سولفیدی و همرشدی آنهادر نمونه kad 59p

جهت کسب اطلاعات کامل‌تر درباره این کانسار و سایر کانسارهای مس در ورقه دارین به گزارش اکتشافات چکشی ورقه دارین (بدخشان و بنی‌آدم ۱۳۷۷) مراجعه شود.

۵-۲-۲- معدن متروکه چون

این معدن در ۳۰ کیلومتری جنوب- جنوب شرق بخش روداب و در ۵ کیلومتری جنوب غرب روستای گفت قرار دارد. کانی‌سازی درون افق‌های توفی سبزتیره واحدهای کرتاسه بالایی انجام شده است که کمی سیلیسی شده‌اند. حفریات این معدن شامل چند تونل و چاه اکتشافی است.

ابتدای ورودی معدن که در ارتفاع نیز واقع است یک تونل عمود بر لایه به طول تقریبی ۴۰ متر، عرض ۲ متر و ارتفاع ۱/۵ می‌باشد (شکل ۳۵) که آثار کانی‌سازی مس به صورت آغشتگی به مالاکیت مشاهده می‌شود. از این تونل یک تونل دنبال لایه استخراجی منشعب شده است که در سطح زمین با چندین چاه به آن دسترسی داشته‌اند.

کانه‌های مشاهده شده در نمونه دستی شامل پیریت، کالکوپیریت و بورنیت به صورت پراکنده در متن سنگ می‌باشند. مالاکیت و آزوریت نیز در سطح نمونه‌های دستی به فراوانی مشاهده می‌شود.

طول لایه کانه‌دار ۵۰۰ متر و ضخامت آن ۵۰ متر است که گمان می‌رود ضخامت لایه توفی کانه‌دار از این مقدار کمتر باشد. نزدیک به ۴۰ چاه بهره‌برداری در محدوده معدنی مشاهده می‌شوند که اکثر آنها پر شده‌اند. پیرامون هر چاه بصورت چهارگوش و در ابعاد ۱×۱ مترمربع سنگ‌چینی شده است(بدخشان و بنی‌آدم۱۳۷۷).

در ۴ نمونه‌ای که طی مطالعه قبلی از بخشهای کانه‌دار و گاهی پرعیار این کانسار برداشت شده عیارهای ۱/۵۱، ۱۵/۹۰، ۲/۵۴ و ۰/۶۲ درصد مس بدست آمده است. هم‌چنین در یک نمونه (دارای عیار مس ۱/۵۱ درصد) عیار سرب و روی به ترتیب ۱۲/۴۱ و ۱۵/۹۱ درصد بدست آمده است.

طی پروژه حاضر یک نمونه از بخشهای کانی‌سازی شده پرعیار برداشت و آنالیز شده است که عیار مس، روی و سرب در این نمونه (Kad60) به ترتیب ۷/۶۹، ۰/۲۸ درصد و ۲۶۰ پی‌پی‌ام تعیین شده است.

هم‌چنین از بخشهای حاوی اکسیدهای آهن آبدار و مالاکیت فراوان نمونه دیگری (Kad 61) برداشت شده که عیار مس در این نمونه ۰/۵۷ درصد بدست آمده است.

شکل ۳۵- نمایی از تونل عمود بر لایه در معدن متروکه چون (دید به سمت شرق)

۵-۲-۳- اندیس عباس قمبک

این اندیس در ۲۹/۵ کیلومتری جنوب-جنوب شرق بخش روداب و ۳/۵ کیلومتری جنوب غرب روستای گفت و ۱/۵ کیلومتری شمال شرق معدن متروکه چون قرار دارد.

در محل معدن دو سینه‌کار به ابعاد ۲×۳ متر به عمق یک متر دیده می‌شود که پر شده‌اند و عمدتاً باطله‌های حاوی کانیهای رسی کائولینیت و کلسیت همراه اکسیدهای آبدار آهن دیده می‌شود و بندرت آثاری از کانی‌سازی مس را می‌توان مشاهده نمود. برخی از نمونه‌های سبزرنگ در دپو خاک‌های رسی حاوی کانیهای سولفیدی ریز و پراکنده در متن خود هستند که بنظر می‌رسد همان کانی‌سازی اولیه باشد. نمونه Kad65 از این قسمت برداشت گردید که همانطوریکه انتظار می‌رفت عیار مس در آن خیلی پایین است (343 ppm) عیار روی در این نمونه ۹۰۰ پی‌پی‌ام بوده است.

نزدیک به ۲۰۰ متری شرق این کندوکاوها درون لیتیک توف و توف، کانه‌های سطحی مس (مالاکیت و آزوریت) در گستره‌ای ۵۰ متری به ضخامت ۳۰ سانتیمتر تا یک متر دیده می‌شود. نمونه گرفته شده از این بخش ۲/۸۱ درصد مس داشته است. بررسی‌ها برروی نمونه‌های این بخش نشان می‌دهد که علاوه بر مس، کانی‌زایی سرب و روی نیز در این کانسار انجام شده است. (بدخشان و بنی‌آدم۱۳۷۷).

۵-۲-٤- اندیس مس قُرّجیب

این معدن متروک در ۳/۵ کیلومتری جنوب غرب روستای گفت و جنوب شرق کلاته زهری (جنوب روستای لندران) در محلی بنام کمرتشله (کوه قرجیب) واقع شده است.

در ستیغ این کوه کنده‌کاری قدیمی پرشده و کوچک مشاهده می‌شود که برروی واحدهای توفی و ولکانیکی سبزتیره و سیلیسی شده که در آنها کانی‌سازی مس انجام شده، حفر شده‌اند. طول واحد کانه‌دار حدود ۵۰ متر، ضخامت بخش‌های کانی‌سازی شده به طور متوسط ۲ متر می‌باشد. امتداد و شیب واحد کانه‌دار N105,30NE می‌باشد.

کانی‌سازی به صورت مالاکیت، کمی آزوریت و سولفیدهای مس هوازده نمایان است. سولفیدها در متن سنگ پراکنده‌اند اما مالاکیت و آزوریت بیشتر در سطح شکستگی‌ها دیده می‌شود (شکل ۳۶).

درست بالای واحدهای کانه‌دار واحد دیگری از ولکانیک‌های اسیدی شبیه داسیت مشاهده می‌شوند که در متن آنها به صورت پراکنده پیریت‌های اکسیده تشکیل شده‌اند.

از بخشهای کانی‌سازی شده حاوی مالاکیت، آزوریت، سولفیدهای اکسیده مس و پیریت‌های اکسیده نمونه‌ای برداشت و آنالیز شده است (Kad64) که دارای ۲/۷ درصد مس بوده است.

جنس سنگ میزبان که طی مطالعه یک نمونه مقطع نازک تعیین شده، متاتوف با دگرسانی شدید به ترمولیت- اکتینولیت می‌باشد.

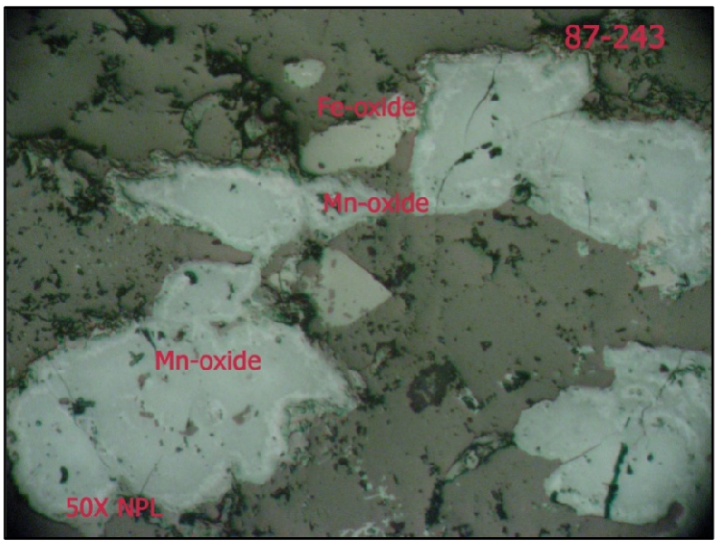
شکل ۳۶- آغشتگی واحدهای ولکانیکی به مالاکیت در اندیس مس قرّ حبیب

از توفهای ولکانیکی سبز رنگ حاوی سولفیدهای اکسیده، پیریت های پراکنده و مالاکیت نمونه kad64P برداشت و مطالعه گردیده که نتیجه آن به شرح ذیل می باشد.

اکسیدهای منگنز : به میزان محدود و بصورت رگچه های ظریف ، پرکردگی در حفرات و فضاهای مناسب گانگ کانی سازی دارد . درصد فراوانی اکسیدهای منگنز در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۳٪ است .

اکسیدهای آهن : بصورت ذرات پراکنده ، همراه با اکسید منگنز کانی سازی دارد .درصد فراوانی اکسیدهای آهن در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۴٪ است .

بافت کانی سازی فلزی Open Space Filling است (شکل ۳۷) .



شکل ۳۷– چگونگی پراکندگی اکسیدهای آهن و منگنز در نمونه kad 64p (انتهای غربی معدن)

۵-۲-۵- کانسار مس نیران

این کانسار در ۳۶ کیلومتری جنوب غرب روداب و ۲/۵ کیلومتری جنوب غرب لالا واقع است. کانی‌سازی به صورت آغشتگی مالاکیت در سطح واحدهای سنگی ولکانیکی سبز تیره و برشی شده صورت گرفته است. گاهی رگچه‌هایی از فازهای سولفیدی مس تیره رنگ با آغشتگی مالاکیت در اطراف دیده می‌شود.

آثار کنده‌کاری قدیمی در ۸ دهانه به صورت ترانشه‌های استخراجی دنبال لایه مشاهده می‌شود. دو دویل به عمق تقریبی ۲۰ متر در بخش جنوبی محدوده حفر شده است (شکل ۳۸). چند رشته ترانشه جدید و کوتاه و عمق کم برای پیگیری ادامه کانی‌سازی در اطراف کنده‌کاری‌های قدیمی مشاهده می‌شود که از آنها و سینه‌کارهای قدیمی همراه با شماره‌گذاری، نمونه‌برداری انجام شده است.

شیب واحدهای کانه‌دار در حدود ۷۰ درجه به سمت جنوب شرق و امتداد آنها شمال شرق- جنوب غرب می‌باشد. طول کل کانی‌سازی در این بخش حدوداً ۱۰۰ متر و عرض کانی‌سازی ۱ تا ۲ متر می‌باشد.

نمونه‌ای به صورت Chip از قطعات حاوی مقادیر کمی فازهای سولفیدی پیریت، کالکوپیریت و بورنیت برداشت و آنالیز شده است (Kad66) که عیار مس در آن ۰/۳۹ درصد می‌باشد.

جنس سنگ میزبان در یک نمونه مطالعه شده، ویترک توف دانه‌ریز دگرسان شده (کلریتی و سریسیتی شده) و سیلیسی شده تعیین شده است.

کانی‌سازی نزدیک به ۲ کیلومتر درازا دارد و به سوی باختر تا نزدیکی چشمه شور کلاته لالا که یک چاه دیگر بهره‌برداری در آن کنده شده دیده می‌شود. دنباله روند کانی‌سازی بخش شرقی و به ترتیب در فواصل ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ متری باختر چاههای نخست سه حلقه چاه دیده می‌شود که درون کانی‌سازی کنده شده است. عیار مس در چهار نمونه که از بخشهای مختلف این کانسار برداشت شده به ترتیب ۱/۷۱، ۱/۵۰، ۱/۹۴ و ۱/۷۶ درصد بوده است (بدخشان و بنی‌آدم ۱۳۷۷).

از واحدهای ولکانیکی خردشده که حاوی سولفیدهای اولیه می باشد نمونه kad66P برداشت و مطالعه شده است. که به شرح زیر است :

کالکوپیریت : بصورت ذرات ریز عمدتاًکریستال های نیمه اتومورف تا گزنومورف کانی سازی دارد . این کانی فاقد آثار آلتراسیون است. اغلب کالکوپیریت کاملاً پراکنده است . بافت کانی سازی فلزی disseminated است. درصد فراوانی کالکوپیریت در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۸٪ است .

شکل ۳۸- نمایی از معدن متروک نیران

۵-۲-٦- اندیس مس آغل سنگی

این معدن متروکه در ۳۵/۵ کیلومتری جنوب غرب بخش روداب و ۳/۱ کیلومتری غرب کلاته لالا واقع است. کانی‌سازی درون رگچه‌های سنگهای ولکانیکی تیره و دگرسان شده و برشی کرتاسه بالا به صورت مالاکیت، اکسیدهای مس و اکسیدهای آبدار آهن انجام شده است.

آثار کنده‌کاری قدیمی به صورت یک سینه‌کار شرقی- غربی به طول ۸ متر و عرض ۲ متر برجای مانده است. از درون این سینه‌کار یک دویل با شیب نزدیک به قائم حفر شده که در عمق ۵ متری پر شده است.

نمونه‌ای که طی مطالعه قبلی از بخشهای کانی‌سازی شده و سولفیدی برداشت شده عیار مس را ۳/۳۵ درصد نشان می‌دهد. در مسیر خاکی کلاته لالا تا آغل‌سنگی (۵۲۰ متری شرق آغل سنگی) سرباره‌های مربوط به ذوب مس در کف رودخانه مشاهده می‌شود.

۵-۲-۷- اندیس مس گرّاب

این اندیس در ۴۰ کیلومتری جنوب غرب بخش روداب و ۲/۵ کیلومتری شمال روستای گراب در حاشیه شرقی ورقه دارین قرار دارد. کانی‌سازی مس به صورت مالاکیت و آزوریت در واحدهای توفی و ولکانیکی کرتاسه بالا که برشی شده‌اند، انجام شده است. روند کانی‌سازی N35E می‌باشد.

کنده‌کاری‌های قدیمی به صورت چند دهانه استخراجی در محل رخنمون کانی‌سازی و در امتداد آن مشاهده می‌شود. در یکی از این دهانه‌ها (به ابعاد ۳×۵ متر و عمق ۱/۵ متر) ضخامت واحد آغشته به مالاکیت در حدود ۰/۷ متر می‌باشد. دگرسانیهای اصلی مشاهده شده از نوع اپیدوتی شدن و سریسیتی شدن می‌باشد.

نمونه Kad62 از بخشهای آغشته به مالاکیت همراه با کانیهای اکسیدآهن آبدار با دگرسانی اپیدوتی برداشت گردیده که عیار مس در آن ۰/۲۷ درصد بوده است.

دو نمونه طی مطالعه قبلی از بخشهای کانی‌سازی شده برداشت شده که عیار مس آنها ۰/۳۱ و ۱/۷۳ درصد بوده است.

همچنین نمونه kad62P برای مطالعه مقطع صیقلی برداشت و مطالعه شده است که نتیجه آن به شرح ذیل می‌باشد.

- اکسیدهای منگنز : بصورت رگچه های ظریف ، ذرات پراکنده ، پرکردگی درحفرات و فضاها کانی سازی دارد . درصد فراوانی اکسیدهای منگنز در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۵٪ است .

- اکسیدهای آهن ثانویه : به میزان محدود کانی سازی اکسیدهای منگنز را همراهی می کند . درصد فراوانی اکسیدهای منگنز در سطح مقطع مورد مطالعه درصد ۲٪ است .

- مالاکیت : بصورت کریستال های ریز درون حفرات و فضاهای گانگ بمیزان محدود کانی سازی دارد . درصد فراوانی این کانی در سطح مقطع مورد مطالعه ۳٪ است .

بافت کانی سازی فلزی Open Space Filling است .

۵-۲-۸- کانسار مس فریزی

کانسار در ۳۵ کیلومتری جنوب- جنوب غرب روداب و ۳ کیلومتری جنوب روستای بِن‌جغ در کنار بلافصل معدن منگنز فریزی واقع است. این معدن در حال حاضر فعال می‌باشد.

کانی‌سازی مس انتهای غربی افق منگنز و در پایین آخرین سینه‌کار غربی معدن رخنمون دارد. به لحاظ چینه‌شناسی به فاصله حداکثر ۱۵ متر زیر افق منگنز قرار می‌گیرد.

میزبان کانی‌سازی واحدهای ولکانیکی دیوریتی دگرسان شده و شبیه آندزیت می‌باشد. گاهی کانی‌سازی درون سنگهای بازالتی خیلی تیره دیده می‌شود. سنگ میزبان بسیار خردشده است. در محل کانسار دو سینه‌کار پرشده دیده می‌شود که از وسط آنها به تازگی دو چاهک ۲ متری حفر و نمونه‌برداری شده است. امتداد کلی کانسار شمال شرقی- جنوب غربی و شیب افق‌ها به سمت شمال شرق است.

بین افق منگنزدار (در بالا) و مس‌دار (در پایین) واحدهای سنگی با ساختی شبیه گدازه‌های بالشی رخنمون دارند (شکل ۳۹). عیار مس در نمونه‌ای که از بخشهای کانی‌سازی شده مالاکیت‌دار برداشت شده (Kad67)، ۰/۸۵ درصد بوده است. نمونه دیگری نیز از دپو اطراف سینه کار آنالیز شده است(Kad68) که ۰/۳۱ درصد مس دارد.

احتمالاً کانی سازی از نوع ماسیو سولفاید تیپ قبرسی می باشد.

شکل ۳۹- گدازه های بالشی بین افق های منگنز دار و مس دار

۵-۲-۹- اندیس مس خرمک

این اندیس در ۲۷ کیلومتری جنوب شرق روداب و ۴ کیلومتر شرق روستای گفت قرار دارد. فاصله آن تا اندیس کال‌مرغ ۸۰۰ متر است. سنگ میزبان واحدهای توفی تیره‌رنگ و برشی شده و کانی‌سازی مس به صورت ضعیف و آغشتگی به مالاکیت مشاهده می‌شود.

کنده‌کاری قدیمی به صورت سینه‌کاری به ابعاد ۱۰×۳ و افراز ۷ متر دیده می‌شود و خود مشرف به آبراهه است. از بخشهای کانی‌سازی شده به صورت تکه‌ای و حاوی مالاکیت، اکسیدهای آهن رگچه‌ای و پیریت اکسیده نمونه‌ای برای تعیین عیار مس برداشت گردید (Kad70) که ۱/۲۹ درصد بوده است.

هم‌چنین نمونه‌ای برای مطالعه مقطع صیقلی (Kad70p) برداشت گردیده که در نمونه دستی حاوی پیریت اکسیدشده، کالکوپیریت؟، هماتیت، مگنتیت، بورنیت و مالاکیت می‌باشد و نتیجه آن به شرح ذیل می‌باشد.

منیتیت : بصورت کریستال های با ابعاد ۲۰۰-۱۰ میکرون عمدتاً اتومورف و کمی نیمه اتومورف کانی سازی دارد .درصد فراوانی منیتیت درسطح مقطع مورد مطالعه درحدود ۲۵٪ است . این کانی بمیزان محدود از حواشی به اکسید و هیدروکسیدهای ثانویه آهن آلتره شده است .

بافت کانی سازی فلزی disseminated است .

۵-۲-۱۰- اندیس مس کال‌مرغ

این اندیس در ۲۷ کیلومتری جنوب شرق روداب، شمال غرب محمدآباد عریان و ۲۰۰ متری غرب کال‌دهانه روداب واقع است. اندیس مس خرمک در ۸۰۰ متری غرب آن قرار دارد.

در یک سکانس از واحدهای توفی سبزرنگ و لیتیک توف روشن رنگ، کانی‌سازی مس به صورت آغشتگی به مالاکیت انجام شده است. مالاکیت شکستگی‌های سنگ میزبان را به صورت ضعیف پر کرده است. ضخامت واحدهای آغشته به مالاکیت حداکثر به ۵ متر و طول آن هم به ۶۰ متر می‌رسد.

هم‌چنین از توف‌های آغشته به مالاکیت نمونه‌ای (Kad71) برای تعیین عیار مس برداشت شد که دارای ۰/۹۸ درصد مس بوده است.

۵-۲-۱۱- اندیس مس لندران

این اندیس در کنار روستای لندران و در ۲۴ کیلومتری جنوب بخش روداب واقع شده است.

در شمال غربی و بلافصل روستای لندران در بخشهایی از واحدهای ولکانیکی توفی سبزتیره و سیلیسی شده که در اطراف آندزیتی می‌شود، قسمت‌های دگرسان شده آرژیلیتی به رنگ زرد نخودی رخنمون دارد که آثار کانی‌سازی مس در آنها دیده نمی‌شود.

تنها در بخش‌هایی که شدت سیلیسی‌شدن بالاست، در سطح تازه نمونه‌های شکسته شده پیریت‌های ریز و پراکنده و اکسیدشده‌ای دیده می‌شود که باعث لیمونیتی شدن سنگ میزبان شده است.

در مرز غربی و چسبیده به روستا و در محل قبرستان کانی‌سازی مس به طول ۲۰ متر درون واحدهای توفی و لیتیک توف پدید آمده که در دو سینه‌کار مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. مالاکیت در سطح لایه‌های توفی و واریزه‌های آنها به همراه اندکی پیریت و لیمونیت دیده می‌شود. نمونه اخذ شده از این قسمت‌ها ۰/۸۳ درصد مس داشته است (بدخشان و بنی‌آدم ۱۳۷۷).

۵-۲-۱۲- اندیس خروگرد

این اندیس در ۲۹/۵ کیلومتری جنوب غرب روداب و یک کیلومتری جنوب کلاته خروگرد واقع است. در این جا یک کنده‌کاری قدیمی در ابعاد ۳×۷ مترمربع و عمق تقریباً یک متر درون واحدهای مونزودیوریت حفر شده است که در اثر ریزش خرده‌سنگهای اطراف پر شده است. واحدهای مونزودیوریتی بصورت سیل مانند همروند با واحدهای ولکانیکی در طول نسبتاً وسیع در حاشیه شمالی واحد $K_2^{t,v}$ در این بخش از ورقه رخنمون دارند. طبق بررسی در اطراف کانی‌سازی برجا اثری از مس مشاهده نشد و فاقد اهمیت می‌باشد.

۵-۲-۱۳- اندیس مس گُلخچی خروگرد

در یک کیلومتری جنوب اندیس خروگرد و در بخش‌های تپه‌ماهوری با میزبان واحدهای توفی و ولکانیکی که دچار دگرسانی کلریتی و اپیدوتی هستند، واقع است. در این منطقه ۳ سینه‌کار مشاهده می‌شود. سینه‌کار بزرگ ۷×۷ مترمربع گسترش و حدوداً ۱/۵ متر عمق دارد و واحدهای رخنمون‌دار در آن برشی هستند در حفرات سنگ میزبان زئولیت تشکیل شده است. قطعات برشی به مالاکیت و اکسیدهای آبدار آغشته شده‌اند (شکل ۴۰).

سینه‌کار دومی در ۱۰متری شمال سینه‌کار بزرگ واقع است و ۱×۲ ابعاد آن می‌باشد. در سینه‌کار سوم که نسبت به دو سینه‌کار در شمال آنها قرار می‌گیرد، آثار کانی‌سازی بیشتری به صورت رگچه‌ای دیده می‌شود.

روند عمومی کانی‌سازی در این منطقه شمالی- جنوبی است و شیب مشخصی نشان نمی‌دهد. ظاهراً در هسته یک ناودیس با محور چین شیب‌دار به سمت شمال قرار دارد.

نمونه Kad 69 از بخشهای برشی شده و کانه‌دار سینه‌کار سوم برداشت گردیده که عیار مس در آن ۰/۶۸ درصد بوده است. همچنین برای مقطع صیقلی نتیجه مطالعه نمونه kad69P به شرح ذیل می‌باشد.

منیتیت : بصورت ذرات پراکنده ، کریستال های اتومورف با ابعاد ۲۳۰-۴۰ میکرون کانی سازی دارد . این کانی از حواشی و اطراف بمیزان محددود به اکسیدهای ثانویه آهن و هیدروکسیدهای آهن مبدل شده است . درصد فراوانی اکسیدهای مذکور در حدود ۱۰٪ است .

بافت کانی سازی فلزی disseminated (افشان) است.

شکل ۴۰- آغشتگی توف های ولکانیکی به مالاکیت

با توجه به بررسی های صحرایی و مشخصات زمین شناسی از جمله سنگ میزبان، محیط تکتونیکی، شکل و نوع کانی سازی و کانه های مس موجود در منطقه، کانی سازی مس در ورقه دارین و بخشهای شمال غربی ورقه ششتمد شواهدی از کانی سازی های مس نوع آنذزیت (مانتو) و تیپ قبرسی را نشان می‌دهند. البته تعیین دقیق نوع کانی سازی نیاز به انجام مطالعات بیشتر صحرایی و آزمایشگاهی دارد.

در کانسارهای مس نوع آندزیت، مس طبیعی همراه با نقره طبیعی، کالکوسیت، بورنیت و ندرتاً کالکوپیریت بصورت رگچه ای، رگه ای، پر کننده حفرات و انتشاری در آندزیت های کالک آلکالین یافت می‌شود. گفته می شود این کانسارها معادل بیرونی کانسارهای مس پورفیری می باشند (سیلیتو ۱۹۷۷ و گیلبرت و پارک ۱۹۹۷ در شهاب پور ۱۳۸۲)

فصل ششم

پی‌جویی
در ورقه ششتمد

ولکانیک‌های کرتاسه بالایی رخنمون‌دار در ورقه دارین که روند تقریباً شرقی- غربی دارند، در ورقه ششتمد نیز رخنمون دارند. روند واحدهای مذکور در این ورقه شمال غربی- جنوب شرقی است. در این واحدها دو کانی‌سازی مس انجام شده است. نخست کانی‌سازی مس سرقوی و دیگری کانی‌سازی تک‌سفیدپادر.

٦-١- معدن متروکه مس سرقوی

کانسار مس سرقوی در شمال غربی ورقه ششتمد و در مسیر جاده هلاک‌آباد به درقدم واقع است و در یک کیلومتری جنوب غرب آن کلاته سرقوی قرار دارد.

در منطقه سری سنگهای ولکانیکی حدواسط تا اسیدی شامل لیتیک توف، آندزیت‌های تیره رنگ و داسیت‌های به رنگ روشن و دگرسان رخنمون دارند. فاصله نزدیکترین رخنمون توده گرانیتی کوه‌میش (جنوب شرق کانسار) به آن ۶ کیلومتر می‌باشد.

کانی‌سازی مس در کنتاکت داسیت‌ها (کمر پایین) و لیتیک توف-آندزیت‌ها (کمر بالا) انجام شده و هر دو گروه سنگی را آغشته کرده است (شکل ۴۱). بنظر می‌رسد کانی‌سازی در امتداد گسل صورت گرفته است.

در برخی قسمت‌ها داسیت‌ها دچار دگرسانی کائولینیتی – لیمونیتی شده‌اند که جهت اندازه‌گیری عیار مس در آنها نمونه‌ای (Kad 73) به صورت Chip برداشت گردید. عیار مس در این نمونه ۰/۳ درصد اندازه‌گیری شده است.

شکل ۴۱- کانی سازی در کنتاکت گسله واحدهای آندزیتی و داسیتی

در این منطقه، کنده‌کاریهای جدید به صورت روباره برداری و حفر ترانشه با بولدوزر و حفر چاهک مشاهده می‌شود. هم‌چنین از کلاته سرقوی تا محل معدن جاده‌سازی نیز شده است.

کانی‌سازی شامل کالکوپیریت، مالاکیت، پیریت و اکسیدهای آهن می‌باشد که در آن کانیهای سولفیدی هم به صورت پراکنده در متن سنگ (حتی داخل قطعات لیتیک توف) و هم به صورت رگچه‌ای انجام شده است که از اطراف به اکسیدهای آهن دگرسان شده است. دگرسانی کلریتی و اپیدوتی در منطقه به فراوانی مشاهده می‌شود. نمونه Kad 74 از قسمت‌های کانی‌سازی شده حاوی مالاکیت، کانیهای سولفیدی و اکسیدآهن (هماتیت) با میزبان لیتیک توف برداشت گردید. عیار مس در این نمونه ۱/۲۴ درصد بوده است.

نمونه kad74P که از انتهای غربی معدن برداشت و مطالعه شده دارای مشخصات ذیل می‌باشد (شکل ۴۲).

کالکوپیریت : بصورت کریستال های نیمه اتومورف با ابعاد ۱۰۰-۳۰ میکرون کانی سازی دارد . این کانی تحت تاثیر آلتراسیون سوپرژن از حواشی و نقاط ضعف به اکسیدهای ثانویه آهن و کوولیت و کالکوسیت مبدل شده است .

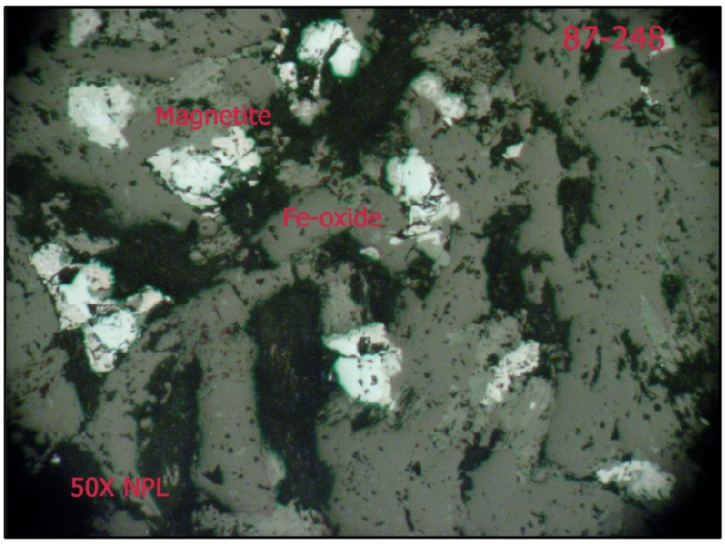
درصد فراوانی کالکوپیریت در سطح مقطع مورد مطالعه درحدود ۸٪ است .

هماتیت: بصورت کریستال های اتومورف با ابعاد ۶۰-۳۰ میکرون کانی سازی دارد . اجتماع ذرات هماتیت در نمونه لکه های درشتی را پدید آورده که حدود ۲۵۰ میکرون است .

درصد فراوانی هماتیت درسطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۵٪ است .

اکسید و هیدروکسیدهای ثانویه آهن : بصورت آغشتگی و پرکردگی مشاهده می‌گردد .درصد فراوانی اکسیدهای ثانویه آهن در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۲٪ است .

بافت کانی سازی فلزی Open Space Filling است .



شکل ۴۲– پراکندگی اکسیدهای آهن و مگنتیت در نمونه kad 74p

طی مطالعه انجام شده قبلی در این ورقه (درّی ۱۳۷۷) چندین نمونه از بخشهای مختلف کانسار برداشت گردیده که عیار مس در آنها به صورت زیر بوده است: ۲/۰۸ – ۴/۱۶– ۰/۲۵– ۰/۰۶– ۱/۲۸– ۰/۵ درصد.

٦-٢- معدن متروک مس تک‌سفیدپادر

این معدن در جنوب ششتمد و ۱۸۰۰ متری غرب روستای پادر واقع است. طبق اظهارات افراد محلی این معدن ثبت شده و در حدود یک کیلومتر تا سینه‌کار آن جاده‌سازی شده است. این سینه‌کار حدود ۱۵ متر طول، ۳ متر عرض و ۱۰ متر افراز دارد.

کانی‌سازی به صورت رگه‌ای حداکثر به ضخامت ۸۰ سانتیمتر و آغشتگی سنگ میزبان صورت گرفته است. میزبان کانی‌سازی ولکانیک‌های آندزیتی- توفی هستند که دچار دگرسانی کلریتی شده‌اند و اکسیدهای آبدار آهن نیز آنها را آغشته کرده است. فاصله رخنمون توده گرانیتی کوه‌میش با این کانی‌سازی در حدود یک کیلومتر می‌باشد.

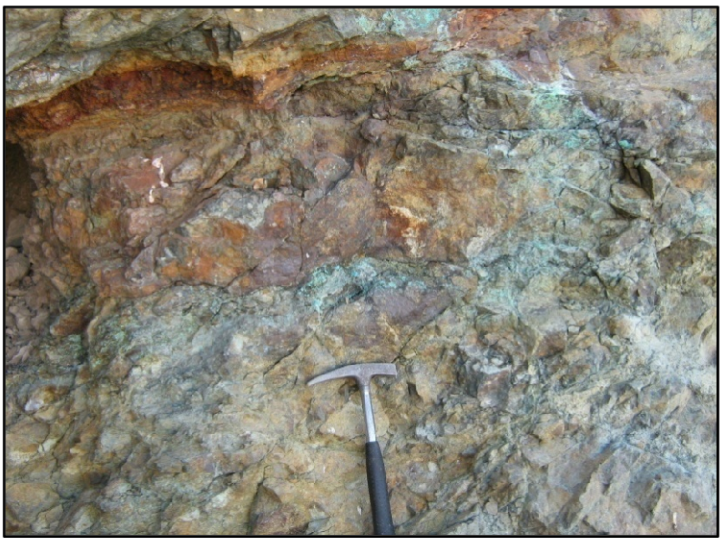
کانیهای سولفیدی به وفور مشاهده می‌شوند و شامل پیریت، کالکوپیریت و مالاکیت و اکسیدهای آبدار آهن می‌باشد. بنظر می‌رسد کانی‌سازی بین دو شکستگی (شکل ۴۳) صورت گرفته است. ضخامت زون شکسته حداکثر به ۸ متر می‌رسد.

از قسمت‌های حاوی سولفیدها و کربنات‌های مس نمونه Kad75 برداشت گردید. که عیار مس در آن ۰/۸۲ درصد بوده است و نتایج مطالعه یک نمونه مقطع صیقلی (kad 75p) به شرح ذیل می‌باشد (شکل ۴۴).

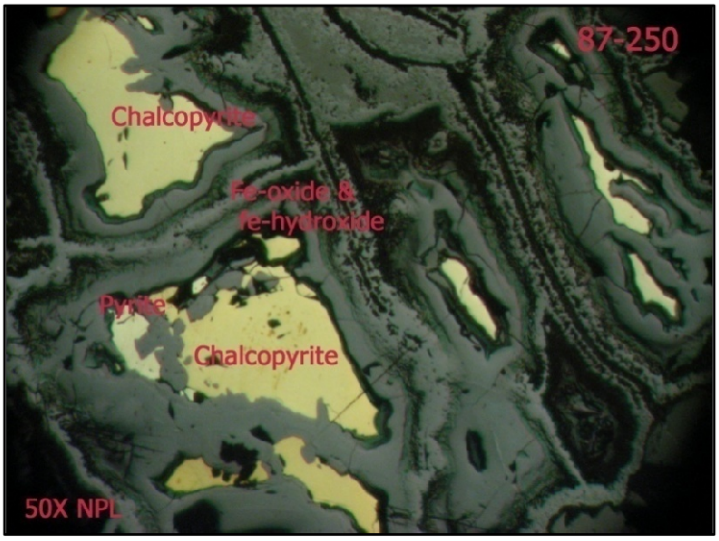
کالکوپیریت : بصورت لکه های درشت دارای ابعاد تقریبی ۶۰-۱۰۰ میکرون که با چشم غیرمسلح نیز قابل رویت است . این کانی تحت تاثیر عوامل آلتراسیون از حاشیه به اکسیدهای ثانویه آهن و کوولیت آلتره شده است . درصد فراوانی کالکوپیریت در سطح مقطع مورد مطالعه در حدود ۲۵٪ است .در داخل کریستال های کالکوپیریت انکلوزیون های پیریت با ابعاد ۱۵-۱۰ میکرون به تعداد محدود مشاهده می شود .

بافت کانی سازی فلزی Open Space Filling است .

بنابراظهارات افراد قدیمی محل کار استخراج در تونلی به طول ۵۰ متر درگذشته صورت گرفته است. شواهد سطحی دلالت بر وجود مس در گستره زیادی ندارد و اظهارنظر درباره عمق و مقدار ذخیره بدون اطلاعات زیرسطحی و ژئوفیزیکی امکان‌پذیر نیست (درّی ۱۳۷۷).



شکل ۴۳- کانی سازی مس در زون گسله و دگرسانی بعدی به مالاکیت و هیدروکسیدهای آهن



شکل ۴۴- دگرسانی کالکوپیریت به کانیهای ثانویه آهن در نمونه kad 75p

در ورقه ششتمد علاوه بر دو کانساری که مورد بازدید قرار گرفتند چند کانسار دیگر با ویژگیهای زمین‌شناسی متفاوت در گزارش اکتشافات چکشی این ورقه (درّی ۱۳۷۷) گزارش شده‌اند که به طور خلاصه به آنها اشاره می‌شود:

٦-٣- مس دهنه نه چشمه (قله‌جغ)

این کانی‌سازی در جنوب ششتمد و ۴ کیلومتری جنوب غرب روستای قاسمی در محلی بنام دهنه نه چشمه قرار دارد. واحدهای سنگی رخنمون دار در منطقه شامل انواع سنگهای اولترامافیک (سرپانتیتی شده) است که در کنتاکت گسله با انواع مارنهای قرمز و سفید قرار دارند. در کنار دایک‌های دیابازی منطقه رگه‌ای سیلیسی به ضخامت حداکثر ۵ متر به موازات دایک‌ها تشکیل شده‌است. این رگه به دو شاخه تقسیم می‌شود که طول یک شاخه آن ۵۰۰ متر و دیگری ۳۰۰ متر می‌باشد. در متن رگه سیلیسی کانه‌های سولفیدی مس و سطح آن به مالاکیت و آزوریت آغشته شده‌اند. عیار مس در نمونه‌هایی که از بخش‌های مختلف رگه‌های سیلیسی برداشت شده شامل ۳/۶۳، ۲/۴۸، ۱، ۰/۶۹ و ۷/۱۹ درصد بوده است.

٦-٤- مـس قاسـمی

این اندیس در ۴ کیلومتری جنوب شرق روستای قاسمی واقع است. لیتولوژی منطقه شامل سنگ‌های افیولیتی است که در کنتاکت گسله با مارن‌های ائوسن- الیگوسن قرار دارند. زون گسله با توجه به ویژگیهای دگرسانی و زمین‌شناسی یک زون لیستونیتی تشخیص داده شده است. این زون روند شرقی- غربی دارد و درون آن باندهای سیلیسی با ضخامت ۰/۵ متر و برشی شده تشکیل شده‌اند که کمربالای آن دایک دیابازی تشکیل شده است.

این باند سیلیسی دارای کانی‌سازی مس به صورت سولفیدی و کربناته است. کانی‌سازی مس در زون لیستونیتی نیز انجام شده است. عیار مس در نمونه‌هایی که از بخشهای مختلف برداشت شده عبارتند از: ۱/۹۳ ، ۲/۴۳، ۳/۹۸، ۳/۲ و ۲/۱۲ درصد.

٦-٥- فیروزه چاه‌نسر

در ۵ کیلومتری شمال غرب کماستان در محلی بنام چاه‌نسر (آغل گوسفند) واقع است. اثر معدنی در ۷۰۰متری غرب چاه‌نسر قرار دارد.

واحدهای سنگی در منطقه شامل مارن‌های قرمز و گچ‌دار است که توسط واحدهای ماسه‌سنگ کنگلومرایی، ماسه‌سنگ و مارن قرمز رنگ پوشیده می‌شود. در قاعده ماسه‌سنگ کنگلومرایی، واحد ماسه‌سنگی به ضخامت ۰/۵ متر به رنگ سبز و حاوی آثار فسیل‌های گیاهی رخنمون دارد که دارای فیروزه و کانیهای مس (مالاکیت و آزوریت) است.

طبق آنالیز انجام شده از بخشهای کانه‌دار، عیار مس ۱۰۰۰پی‌پی‌ام بوده است.

فصل هفتم

نوع کانسار و ژنز آن

۷-۱- مقدمه

کانسارهای مس استراتیفرم با میزبان رسوبی (Sediment-hosted stratiform copper deposits) شامل سولفیدهای Cu و Fe - Cu پراکنده تا رگچه‌ای در سنگهای رسوبی تخریبی سیلیس دار (Siliciclastic) یا دولومیتی می‌باشند. سولفیدها عمدتاً با لایه بندی سنگهای میزبان انطباق خوبی دارند. این کانسارها علاوه بر Cu منشا مهمی برای فلزات Co,Ag و در برخی کانسارها Pb، Zn و U نیز می‌باشند. در کانسار Lubin-Sieroszowice لهستان و کانسارهای کوچک منطقه Kolwezi کشور کنگو حاوی Au و عناصر گروه پلاتین هستند. این کانسارها اغلب در حوضه های دریایی یا دریاچه‌ای بزرگ مقیاس که واحدهای تبخیری بلافاصله لایه های سرخ قاره‌ای را می‌پوشانند، تشکیل می شوند. (مطالب علمی این فصل بجزء در مواردی که منبع آن ارائه شده ، تماماً از مقاله Hitzman et al. (2005) اقتباس شده است). شکل ۴۵ پراکندگی کانسارهای مهم مس با میزبان رسوبی در جهان و تقسیم‌بندی آنها بر اساس سن سنگ میزبان را نشان می‌دهد (Hitzman et. al. 2005).

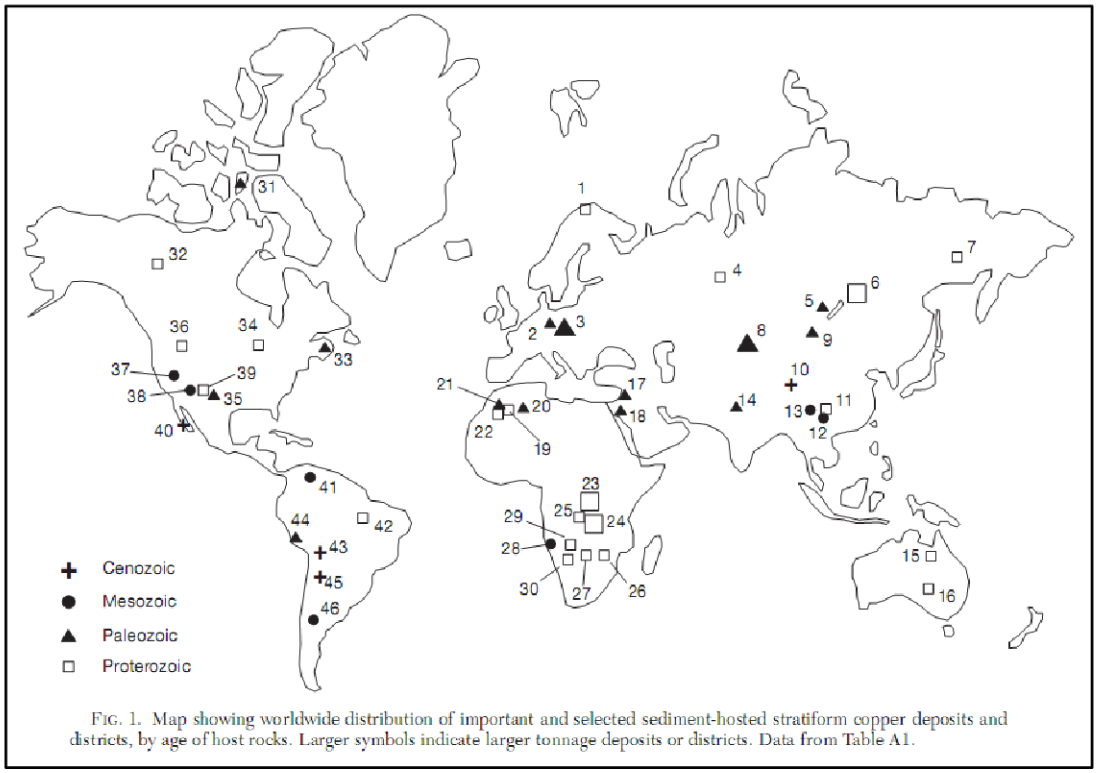


FIG. 1. Map showing worldwide distribution of important and selected sediment-hosted stratiform copper deposits and districts, by age of host rocks. Larger symbols indicate larger tonnage deposits or districts. Data from Table A1.

شکل ۴۵- پراکندگی کانسارهای مهم مس با میزبان رسوبی در جهان و تقسیم‌بندی آنها بر اساس سن سنگ میزبان

۷-۲- انواع کانسارهای مس رسوبی

کاکس و همکاران (۲۰۰۷) کانسارهای مس با میزبان رسوبی را به چهار مدل توصیفی تقسیم کرده‌اند. مدل اول یک مدل عمومی و برای مواردی بکار می‌رود که در اثر دگرگونی ویژگیهای کانسار به درستی قابل تشخیص نباشد، یا اینکه به خوبی توصیف نشده است و یا برای ارزیابی مناطقی است که محیطهای زمین‌شناسی آنها بخوبی درک نشده باشد. سه زیر گروه (Subtype) دیگر براساس شکل کانسار و محیط‌های رسوبگذاری، هم‌چنین براساس تفاوت در تناژ و عیار مس از یکدیگر تفکیک می‌شوند.

این سه زیرگروه شامل ۱- Reduced-facies Cu ۲- Redbed Cu و ۳- Revett Cu می‌باشد و در مقدار و میزان تاثیر عوامل احیایی در حین رسوبگذاری متفاوت هستند. سنگ میزبان در کانسارهای نوع Reduced facies شیل، سیلتستون، کربنات ریفی و شیل دولومیتی است. این نوع کانسارها در موقعیت تکتونیکی آلاکوژن و یا ریفت درون قاره‌ای و محیط جزر و مدی تشکیل می‌شوند (Hitzman et al., (2005); Cox et al (2007)). عامل احیاء در آنها گسترده بوده و شامل رسوبات دانه‌ریز دریایی یا دریاچه‌ای است که حاوی مقادیر فراوانی پیریت و ماده آلیAlgal mat هستند. دگرسانی غالب در این کانسارها، سفید شدن (Bleaching) رسوبات و دولومیتی‌شدن می‌باشد. مس در این دسته از کانسارها، از رسوبات Redbed کمرپایین تأمین می‌گردد. از مهمترین کانسارهای این تیپ می‌توان به کانسار Kupferschiefer، کانسارهای کمربند مس زامبیا و کانسار Kamoto در کنگو اشاره نمود.

در کانسارهای نوع Revett سنگ میزبان ماسه‌سنگ و به میزان کمتر سیلتستون، شیل و رس‌می‌باشد. عامل احیا گسترده و پراکنده بوده، علاوه بر واریزه‌های فسیل گیاهی، در برخی ازکانسارها به صورت مایع و یا گاز هیدروکربوری دیده می‌شود (Cox et al 2007) از مهمترین‌کانسارهای این تیپ، کانسار Dzhezkazgan در قزاقستان و کانسار Spar Lake در مونتانای آمریکا می‌باشد.

توالی رسوبی- تخریبی کانسارهای Redbed از ماسه‌سنگ، کنگلومرا و کمی‌شیل تشکیل می‌شوند. محیط‌های ریفتی و کششی و نواحی دارای گنبدهای نمک، برای تشکیل این کانسارها مناسب می‌باشند. محیط تشکیل این کانسارها، محیط‌های ساحلی و نواحی کم عمق است. در کانسارهای 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 کانسارها، دگرسانی Bleaching بوده که در همه کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed قابل مشاهده است. از مهمترین کانسارهای این تیپ می‌توان به کانسارهای Nacimiento در ایالت New Mexico آمریکا، کانسار Corocoro در بولیوی و کانسارهایLisbon Valley وCashin Mine در حوضه Paradox واقع در ایالت‌های یوتا و کلرادو آمریکا اشاره نمود (مهدوی ۱۳۸۷).

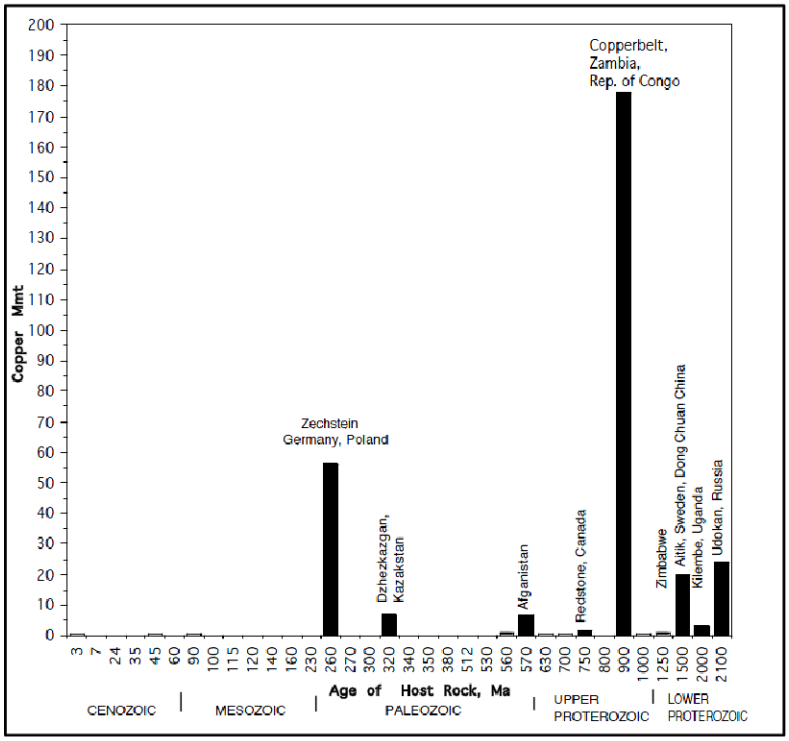
طبق جدول ۳ ، ۸۵ درصد کانسارهای مس تیپ Redbed دارای سنگ میزبان ماسه‌سنگ و کنگلومرا هستند. درحالیکه کانسارهای مس تیپ رخساره احیایی دارای سنگهای میزبان تخریبی ریز دانه و کم انرژی و کربناتها می باشند.

Deposit Type	Number of deposits and occurrences	Sandstone, quartzite, arkose, conglomerate	Siltstone, shale, clay mudstone,	Limestone, dolomite, marl	Schist, phyllite, amphibolite, marble
Redbed	155	85	12	2.5	<1
Reduced facies	100	29	41	28	2
Revett	31	77	22	0	<1
Unclassified	102	30	20	25	25

جدول ۳- درصد سنگهای میزبان انواع سه گانه کانی سازی مس رسوبی

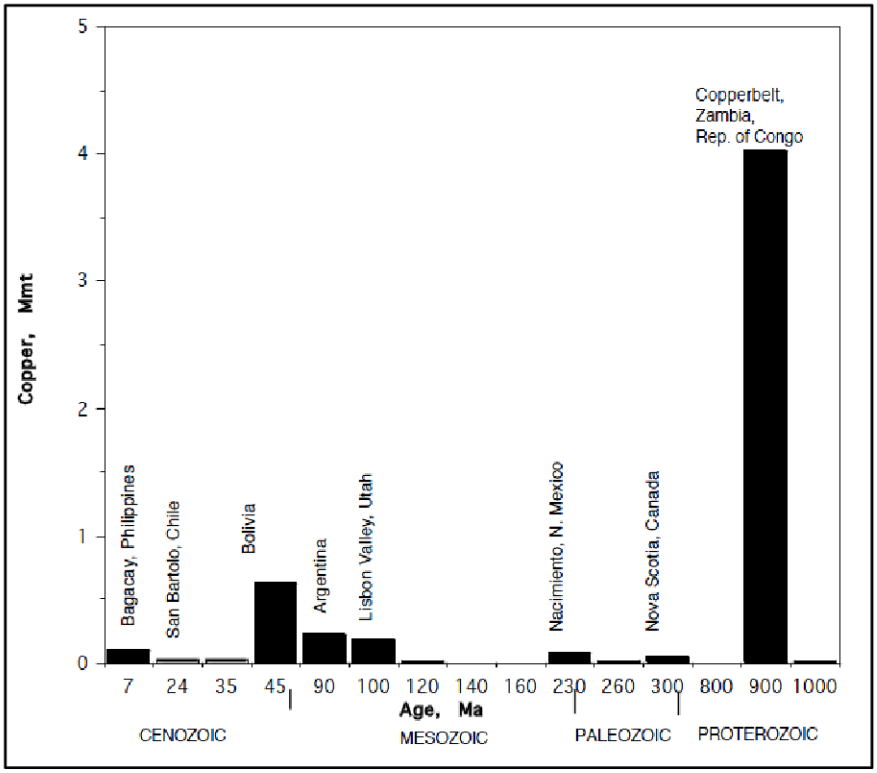
۷-۳- سن کانه سازی

کانسارهای مس رسوبی به سن آرکئن شناخته نشده‌اند. این کانسارها از پروتروزوئیک زیرین تا ترشیری بالایی گسترش دارند. اما فراوانی آنها در پروتروزوئیک بالایی و مخصوصاً نئوپروتروزوئیک و پالئوزوئیک فوقانی بیشتر است (شکل ۴۶).



شکل ۴۶ – توزیع زمانی کانی سازی مس رسوبی

از لحاظ توزیع زمانی کانسارهای مس تیپ Redbed در زمان آرکئن شناخته نشده اند. حدود ۴ میلیون تن مس در پروتروزوئیک متعلق به کمربند مس زامبیا می‌باشد. اما عمده این تیپ کانسارها در سنگهای متعلق به زمانهای پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک تشکیل شده‌اند (شکل ۴۷).



شکل ۴۷ – توزیع زمانی کانی سازی مس تیپ Redbed

تناژ متوسط در ۳۵ کانسار تیپ Redbed، ۲ میلیون تن، در ۵۸ کانسار تیپ رخساره احیایی، ۳۳ میلیون تن و در ۱۱ کانسار تیپ Revett، ۱۴ میلیون تن می‌باشد. هم‌چنین عیار متوسط مس در این کانسارها به ترتیب ۱/۶ درصد، ۲/۳ درصد و ۰/۷۹ درصد است.

هر یک از تیپ‌های سه‌گانه توسط Cox et al.(2007) به صورت مدل‌های جداگانه‌ای براساس ویژگیهای زمین‌شناسی، موقعیت تکتونیکی، سنگ میزبان، ساخت- بافت و کانی‌شناسی و موارد دیگر تشریح شده‌اند و در جدول ۴ توسط مهدوی (۱۳۸۷) جمع‌بندی شده است. در این جدول منطقه مارکشه راور کرمان با این تیپ‌ها مقایسه شده است. در این گزارش ستون دیگری در جدول برای منطقه شمال تربت حیدریه ایجاد و با تیپ‌های سه گانه و منطقه مارکشه مقایسه شده‌اند. طبق این جدول کانی سازی مس در منطقه شمال تربت حیدریه بیشترین شباهت را با کانسارهای مس Red-bed داراست.

جدول ۴- مقایسه کانسار های مس شمال تربت حیدریه با سایر کانسارهای مس رسوبی

ویژگی	Sediment-hosted stratiform copper deposits				**شمال تربت حیدریه**
	reduced-facies Cu	Revett Cu	redbed Cu	کانسار مارکشه کرمان	
موقعیت تکتونیکی	الاکوژن یا ریفت درون قاره‌ای	ریفت و بطور کلی محیط کششی	ریفت و بطور کلی محیط کششی-نواحی دارای گنبدهای نمکی	محیط کششی و نواحی دارای گنبدهای نمکی	
محیط ته نشست	جزر و مدی	Fan delta حوضه بسته پلایا و محیط‌های ساحلی دیگر	محیط‌های ساحلی و نواحی کم عمق	محیط‌های ساحلی و نواحی کم عمق (جزر و مدی)	
سنگ میزبان	شیل، سیلتستون، کربنات ریفی، شیل دولومیتی	سکانس ضخیم ماسه سنگی و به مقدار کمتر سیلتستون و شیل	سکانس تخریبی Redbed شامل ماسه‌سنگ و کنگلومرا	سکانس تخریبی Redbed شامل ماسه‌سنگ و تناوب ماسه‌سنگ و کنگلومرا	سکانس تخریبی Redbed شامل شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا
سن	Late neoproterozoic-middle neoproterozoic	Neoproterzoic- late mesozoic –early cenozoic		ژوراسیک- کرتاسه	ائوسن- الیگوسن
ژئومتری	لایه‌ای، عدسی	عدسی – همروند با لایه بندی	عدسی – همروند با لایه بندی	عدسی – همروند با لایه بندی	عدسی – همروند با لایه بندی
ساخت و بافت	دانه پراکنده، جانشینی، لامینه، کلوفرم	دانه پراکنده، جانشینی	دانه پراکنده، جانشینی	چانشینی، دانه پراکنده	دانه پراکنده، کلوفرم
کانی شناسی غالب	کالکوسیت، بورنیت، کولیت، کالکوپیریت، دیژنیت، مس طبیعی، پیریت، گالن، اسفالریت	کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، نقره طبیعی،گالن اسفالریت	کالکوسیت، کولیت، بورنیت، پیریت، مس و نقره طبیعی (گالن و اسفالریت)	کالکوسیت، بورنیت، کولیت، کالکوپیریت، مالاکیت، کریزوکولا، آزوریت، تنوریت (نقره)	کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، بورنیت، آزوریت
دگرسانی	Bleaching دولومیتی شدن	Bleaching	Bleaching	Bleaching	Bleaching
فراوانی عامل احیاء	عامل احیاء گسترده شامل پیریت و algal mat	عامل احیاء گسترده، واریزه های فسیل گیاهی، مواد هیدروکربنی	عامل احیاء گستردگی کمی دارد، واریزه های فسیل گیاهی، پیریت	واریزه های فسیل گیاهی و پیریت محدود به پج های عدسی شکل که در افق های خاص پراکنده اند	عامل احیاء گستردگی کمی دارد، واریزه های فسیل گیاهی، پیریت
منبع تامین کننده مس	رسوبات Redbed طبقات پائین	توالی Redbed	توالی Redbed	لایه های سرخ گردو	لایه های سرخ
عناصر همراه	Co-Ag-Pb-Zn^{+}-Ge^{+}-Au	Ag-Pb-Zn^{+}-(Mo-V-Re)	Ag-Pb-Zn-U^{+}-Co	Ag-U-(Pb)	W-Mo-Pb-Zn-(U?)
عامل کنترل کننده	محیط احیا شامل شیل سیاه پیریتی ، algal mat سولفید بیوژنیک، نفوذپذیری کمر پائین	نفوذپذیری لایه‌ها، وجود عامل احیاء و بعضاً گسل خوردگی	نفوذپذیری لایه های ماسه سنگی، وجود واریزه های گیاهی	وجود عامل احیاء ، فسیل گیاهی و نفوذپذیری سنگ میزبان	فسیل گیاهی و نفوذپذیری سنگ میزبان
مثال	Kupferschiefer, Zambia deposits Kamoto	Dzhezkazgan, Spar Lake	Nacimiento, Corocoro	کانسار مس مارکشه کرمان	اندیس های مس شمال تربت‌حیدریه
References	Cox et al., 2007 Hitzman et al., 2005Annels, 1989 Haynes, 1986a & 1986b Oszczepalski, 1999 Sweeney et al., 1989	Cox et al., 2007 Gblina, 1981 Adkins, 1993 Hayes & Einaudi, 1986	Woodward et al., 1974 Cox et al., 1991 Thorson, 2005 Avila-Salinas, 1990 Flint, 1989	مهدوی (۱۳۸۶)	

هر سیستم کانه‌سازی بایستی منشاء فلزات، هم‌چنین منشاء سیال منتقل‌کننده آنها، منشاء سولفور و سیال منتقل کننده آن و شرایط فیزیکی و شیمیائی مؤثر در بدام افتادن فلزات به صورت سولفید در یک موقعیت مکانی محدود را مشخص کند. چون در این گزارش از اصطلاح طبقات سرخ (Redbed) به کرّات استفاده شده است، لذا لازم است در ادامه به ماهیّت و انواع آنها اشاره‌ای گردد.

۷-۵- منشاء فلزات

در دو کانسار کوپرشیفر و وایت پاین داده‌های مهمی در رابطه با حجم طبقات سرخ جهت تشکیل یک سیال کانه وجود دارد. در کانسار وایت پاین سازندی که بلافاصله بالای طبقات سرخ کنگلومرایی مس‌دار قرار می‌گیرد ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ متر ضخامت دارد و عقیده بر آن است که می‌تواند منشاء فلزات باشد.

ابعاد حوضه حدوداً ۲۰۰۰ متر در ۱۰ کیلومتر در ۴۰ کیلومتر درنظر گرفته شده است که حجم آن (طبقات سرخ مس‌دار) به ۸×۱۰^{۱۱} مترمکعب می‌رسد که احتمالاً منشاء فلزات در این کانسار در نظر گرفته شده است. نسبت تناژ کل مس در کانسار به تناژ کل سنگ منشاء، حداقل مس شسته شده (Leached) از سنگ منشاء را نشان می‌دهد. در کانسار وایت‌پاین در حدود ۵/۴ گرم مس بایستی از هر تن سنگ منشاء شسته شده باشد. گرچه در مورد کمربند مس زامبیا رسوبات قرمز لازم برای اینگونه محاسبات وجود ندارد.

لایه‌های سرخ حاوی کانیهای تخریبی فراوانی همچون بیوتیت، آمفیبول، پیروکسن، اکسیدهای آهن(تیتان) همراه با قطعات سنگی (حاوی کانیهای ناپایدار) هستند. این کانیها مقادیر ناچیزی (trace) از مس (بیش از ۵۰ ppm) و دیگر فلزات غیرآهنی می‌باشند که ممکن است حین دیاژنز اولیه ضمن تولید هیدروکسیدهای آهن (قرمزکننده طبقات) وارد آبهای سازندی شوند. مس و دیگر فلزات غیرآهنی به اکسیدهای آهن گوتیتی (خوب متبلور شده یا آمورف) و ذرات رسی می‌چسبند و در معرض فرآیند لیچینگ طی دیاژنز تأخیری و دگرسانی گرمابی قرار می‌گیرند. علی‌رغم همراهی عمومی لایه‌های سرخ با کانسارهای مس استراتیفرم با میزبان رسوبی، نظریه منشاء پی‌سنگی فلزات در گذشته مورد حمایت قرار گرفته است و مطالعات مهاجرت شورابه‌ها نشان می‌دهند که سنگهای پی‌سنگ نفوذپذیر ممکن است منشاء فلزات باشند.

۷-٦- منشاء سولفور

منشاء سولفور درون حوضه‌ها مسئله‌ساز است. چهار منشاء احتمالی سولفور در حوضه‌ها عبارتند از: ۱- سولفاتی که مستقیماً از آب دریا، آب‌های دریاچه‌ای شور یا چشمه‌های ناشی از عبور از درون تبخیری‌های آنها ناشی می شوند ۲- سولفیدهای دیاژنزی ۳- سولفات درون شورابه‌های ناشی از انحلال تبخیریها و۴- سولفیدهای هیدروژن موجود در نفت.

در کانسارهای ناشی از مراحل اولیه دیاژنز، سولفیدهای مس درون رسوبات پوشیده شده‌ی کم‌عمق تشکیل شده‌اند. در چنین مواردی آب دریا، آب دریاچه‌ای شور یا شورابه‌های ناشی از آنها مستقیماً در فرایند کانی‌سازی حین فعالیت باکتریهای احیاءکننده سولفات‌ها شرکت می‌کنند. اگرچه احیاء سولفات توسط باکتریها (Bacterial Sulfate Reduction) قبل از پوشیده شدن رسوبات (اعماق کمتر از ۵۰ سانتیمتر) بوقوع می‌پیوندد. چنین سیالات اولیه‌ای مس کافی را برای تشکیل یک توده معدنی فراهم می‌کنند.

آهن تک‌سولفیدی تشکیل شده حین احیای باکتریایی سولفات‌ها عمدتاً توسط پیریت و در کانسارهای با میزبان شیل، با کالکوسیت جایگزین می‌شوند. در کانسارهایی که فاقد آثار فسیل‌های گیاهی هستند، احتمالاً سولفور لازم برای تشکیل آهن تک‌سولفیدی (Iron monosulfide) منشاء دیگری دارد. ضخامت قابل توجهی از رسوبات تبخیری سولفات‌دار به لحاظ چینه‌شناسی در بالای کانسارهای کوپرشیفر و کمربند مس آفریقای مرکزی وجود دارند. در دیگر حوضه‌ها نظیر کانسار مس قزاقستان و Lisbon Valley توالیهای ضخیمی از رسوبات تبخیری در زیر Red bedها نهشته شده‌اند. گاهی هم واحدهای تبخیری در بین طبقات Red bed تشکیل می‌شوند (نظیر کوپرشیفر منطقه آلمان). شورابه‌های تیپ سالت لیک (Salt lake – type) تبخیری ($Na - SO_4$- Cl) ممکن است در توالیهای Red bed ها درگیر بوده و سولفات لازم برای فرآیند کانی‌سازی را فراهم کنند.

نقش نفت به عنوان منبع سولفور در کانسارهای مس با میزبان رسوبی به جزء در معدن وایت‌پاین بخوبی مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

۷-۷- تله‌های فلزی

مطالعات ژئوشیمیایی و شواهد زمین‌شناسی در بیشتر کانسارها نشان می‌دهند که عامل احیاء اولین عامل نهشت سولفید در کانسارهای مس با میزبان رسوبی است. عوامل احیا در حوضه‌های رسوبی میزبان چنین کانسارهایی، مواد آلی، هیدروکربن‌های متحرک یا سولفیدهای از قبل موجود می‌باشند. پیریت دیاژنزی اولیه (Preore) در تعدادی از کانسارها یک عامل احیاء واضح می‌باشد. چنین پیریتی وجود خود را مدیون مواد آلی است.

عامل احیا می‌تواند توسط تخریب مواد آلی در سیلتستون و شیل کربن‌دار مانند کوپرشیفر و کانسارهای مس زامبیا، مواد حاصل از عملکرد سیانوباکتری‌ها در لامینه‌های کربناته مانند Redston و یا خرده‌های چوبی و گیاهی موجود در Red beds مانند Nacimiento تأمین گشته و در نتیجه شرایط احیایی مناسب جهت ته‌نشست فلزات را فراهم کند. مواد نفتی به عنوان یک عامل احیای متحرک باعث ایجاد شرایط احیایی و رسوب فلزات می‌گردد (مهدوی ۱۳۷۸).

۷-۸- 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 ۴۰۰ 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 S که در حرارت بالاتر از $75\ ^oc$ کالکوپیریت از آن exsolves می‌شود.

این کانیها نشان می‌دهندکه سنگهای میزبان در زمان کانی‌سازی بیش از 100^oc گرم نشده‌اند. بالغ شدن هیدروکربن‌ها و بلورهای ایلیت نشان از درجه حرارت پایین تشکیل شدن آنها در کانسار وایت‌پاین دارد. اگرچه در دیگر مناطق نظیر کمربند مس زامبیا همرشدی سولفیدها و کانیهای دگرگونی یا در نتیجه دگرگون شدن مجموعه‌های سولفیدی قبلی است و یا تشکیل آنها در حرارت‌های بالاتر (۲۵۰ تا ۴۰۰ درجه).

Rose (1976) از نتایج آزمایشگاهی برای این استفاده کرده است که در حرارت‌های پایین یک شورابه غنی از کلرید با شرایط اکسیداسیون- احیایی که Cu^{2+} در آن پایدار باشد، سیال بادوام است. در طبقات سرخی که اخیراً نهشته شده‌اند، آب‌های زیرزمینی اسیدی حاوی Fe^{2+} قادر به حمل ده‌ها پی‌پی‌ام Cu بوده و پتانسیل یک سیال کانه را داراست.

شورابه‌های با شوری متوسط (۵ درصد وزنی Nacl) قادر به حمل بیش از ۱۰۰پی‌پی‌ام مس در حرارت‌های سرد (زیر 120^oc) می‌باشند. در حرارت‌های بالاتر سیال غنی از کلرید با pH نزدیک به خنثی و (با حالت غالب سولفاتی) عامل منتقل کننده مس لازم برای کانی‌سازی است. تغییرات شیمی محلول، بخصوص pH و درجه حرارت تحرک فلزات (Cu,Ag,Co,Pb,Zn,Mo,Au) را کنترل می‌کند. Ag, Cu در حرارت‌های پایین می‌توانند وارد سیال شوند اما Co فقط در حرارت‌های بالا وارد سیال می‌شود.

۷-۹- ساختار اکسیداسیون- احیای حوضه‌ها

برای حوضه‌های مربوط به سیستم‌های مس استراتیفرم با میزبان رسوبی سه حالت ساختاری-شیمیایی درنظر گرفته می‌شود (شکل ۴۸). حالت اول مربوط به حوضه‌ای است که با رسوبات Red bed (اکسیده: منشاء فلز) همراه با میان‌لایه‌های رسوبات تبخیری سولفات‌دار دریاچه‌ای (منشاء سولفور) و رسوبات دریاچه‌ای میکروبی (احیاء شده: منشاء هیدروکربن‌ها) پر شده است.

(در سه حالت فوق مقاطع چینه‌شناسی حاوی توالی قابل توجهی از رسوبات قرمز قاره‌ای (منشاء فلز) هستند که با رسوبات دریایی با یک حالت اکسیداسیون مختلط پوشیده شده‌اند).

واحدهای تبخیری می‌توانند مانند بخش آلمانی کانسار کوپرشیفر عمدتاً از سولفات کلسیم (ژیپس و ایندریت) یا سولفات سدیم (وکلسیم) مانند تناردیت (Na_2SO_4) یا گلوبریت ($Na_2Ca(SO_4)_2$) تشکیل شده باشند.

حالت دوم شامل طبقات قرمز ضخیم و فاقد رسوبات تبخیری است اما حاوی رخساره‌های دریاچه‌ای میکروبی غنی از کربن است که عامل احیاء را داراست. توالی قرمز رنگ با توالی دریایی سیلتستون، ماسه‌سنگ و تبخیری‌های سولفات‌دار و کربناته پوشیده می‌شود (شکل ۴۸b). واحدهای تبخیری هم، منشاء تأمین کننده سولفور بوده و هم شورابه‌های منشاء گرفته از آنها قادر به لیچینگ فلزات می‌باشد.

بسته به نوع رسوبات دریایی بالای توالی قرمزرنگ، این رسوبات ممکن است خود به عنوان تله احیایی عمل کنند مانند شیل‌های کربناته در کانسار کوپرشیفر.

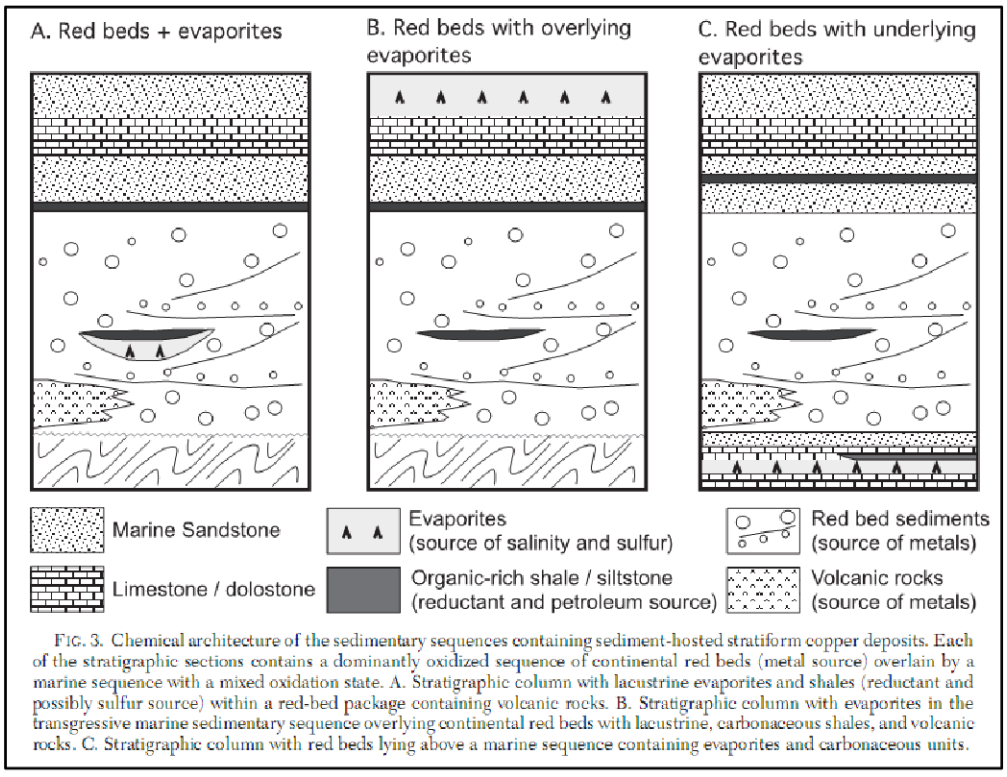


FIG. 3. Chemical architecture of the sedimentary sequences containing sediment-hosted stratiform copper deposits. Each of the stratigraphic sections contains a dominantly oxidized sequence of continental red beds (metal source) overlain by a marine sequence with a mixed oxidation state. A. Stratigraphic column with lacustrine evaporites and shales (reductant and possibly sulfur source) within a red-bed package containing volcanic rocks. B. Stratigraphic column with evaporites in the transgressive marine sedimentary sequence overlying continental red beds with lacustrine, carbonaceous shales, and volcanic rocks. C. Stratigraphic column with red beds lying above a marine sequence containing evaporites and carbonaceous units.

شکل ۴۸- سه حالت ساختاری- شیمیایی برای حوضه‌های مربوط به سیستم‌های مس استراتیفرم با میزبان رسوبی

در حالت سوم توالی طبقات قرمز رنگ خود توالی از رسوبات دریایی یا دریاچه‌ای حاوی تبخیری‌ها و سنگهای غنی از مواد آلی که منشاءنفت هستند، را می‌پوشاند. عامل احیاء نفت می‌باشد که درون سکانس طبقات قرمزرنگ یا درون سکانس دریایی بالایی مهاجرت کرده است.

ویژگیهای اصلی این سه مدل عبارتند از:

۱-وجود توالی ضخیمی از سنگهای اکسیدشده حاوی هیدروکسیدهای آهن که قادر به تشکیل پیوند ضعیفی با فلزات باشد (Red beds).

۲-منشاء شوری و سولفات (تبخیری‌های دریایی یا دریاچه‌ای یا شورابه‌های حوضه‌ای)

۳-سنگهای کربن‌داری که یا خود مستقیماً عامل احیا باشند یا عامل احیا متحرکی را تولید کنند (گاز یا نفت) که ممکن است حاوی سولفور به صورت سولفید هیدروژن باشند یا نباشند.

وقتیکه تبخیریها درون، بالا و یا پایین افق کانی‌سازی باشند، منشاء عامل احیا بایستی یا بلافاصله بالای بسته (Package) اکسید شده باشند (عامل احیاء درجا insitu) و یا درون یا زیر بسته اکسید شده (عامل احیاء متحرک).

لازم بذکر است در برخی موارد ممکن است عامل احیا به لحاظ چینه‌شناسی بالاتر از افق کانه‌دار تشکیل شده باشد و بعدها در اثر عوامل ساختاری به سطوح پایین‌تر جابجا شده باشد.

تعدادی از نهشته‌های مس استراتیفرم با میزبان رسوبی در تله‌های چینه‌شناسی و ساختاری ناقص (Failed) بوجود آمده‌اند که به عنوان مجاری عبور هیدروکربن‌ها عمل کرده‌اند. در برخی دیگر تله‌ها اغلب سالم (intact) مانده‌اند اینحالت نشان دهنده آن است که کانی‌سازی در اثر کنش متقابل هیدروکربن‌های برجای بدام افتاده در فضاها با سیالات منتقل کننده مس انجام شده است.

۷-۱۰- مدلهای تشکیل کانسارهای مس استراتیفرم با میزبان رسوبی

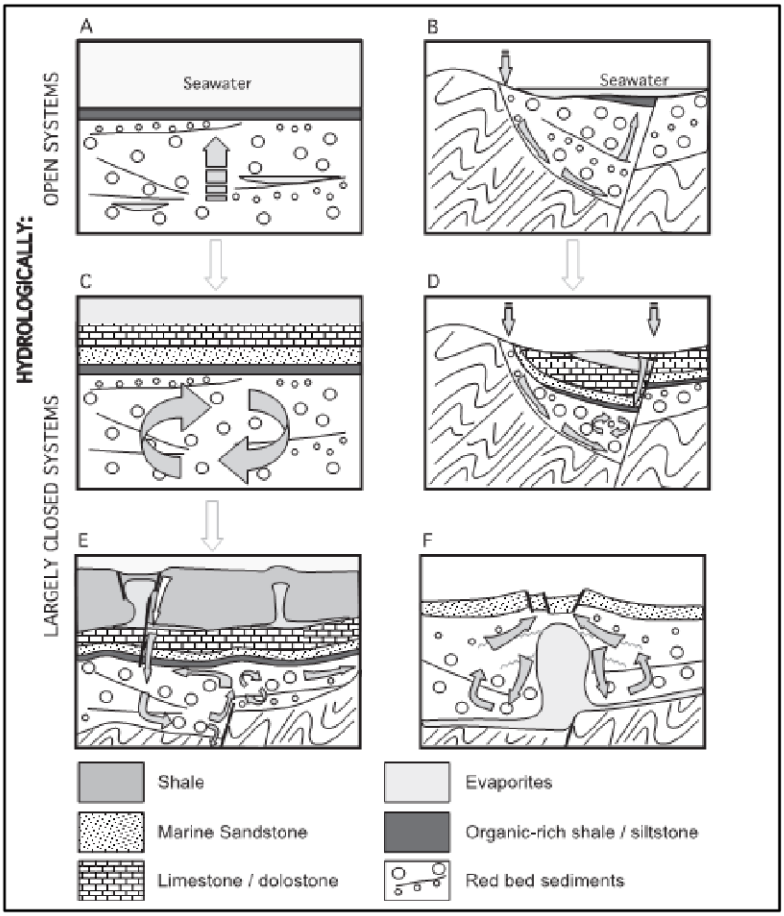
برای تشکیل چنین کانسارهایی بایستی فلزات از طبقات منشاء خود به مکان ته‌نشینی سولفید منتقل شوند. اگر سولفور مورد نیاز برای تشکیل سولفیدها به صورت برجا در محل وجود نداشته باشد، سولفور نیز باید به محل کانی‌سازی منتقل شود. میزان سولفیدهای مس یا محدوده به مقدار فلز و سولفیدهاست و یا بوسیله میزان در دسترس بودن عوامل احیایی کنترل می‌شود.

حضور تمرکزهای ناچیزی از سولفیدهای مس و مس- آهن در بیشتر توالیهای سرخ‌رنگ و شیل‌های پوشاننده آنها نشان می‌دهد که مقادیر کمی از سیالات مس‌دار و / یا سولفور احیاءشده از ویژگیهای چنین توالیهای محسوب می‌شود. اگرچه برای تشکیل یک کانسار بزرگ ترکیبی از حجم‌های زیادی از سیالات فلزدار، سولفور و عوامل احیایی ضروری است.

۷-۱۰-۱- جریان سیال و منشاء آن

جهت تشکیل یک کانسار عمده مس با میزبان رسوبی به مقادیر بالایی از سیال نیاز است. بخصوص اگر سیال کانه‌دار مقادیر مس کمتر از ۱۰۰پی‌پی‌ام را حمل نماید. سیالات موجود در فضاهای خالی رسوبات مربوطه می‌تواند شورابه‌های مربوط به آب دریا، شورابه‌های تلخابی باقیمانده، شورابه‌های ناشی از انحلال تبخیریها، سیالات آبگین ناشی از بلوغ هیدروکربن‌ها، بی‌آب شدن ژیپس، تبدیل اسمکتیت- ایلیت و واکنش‌های آبزدا مربوط به دگرگونی تدفینی درجه پایین و هم‌چنین هیدروکربن‌های مایع و گازها (متان و CO_2) باشد.

تفاوت مهم و شاید اساسی بین حوضه‌های بسته و باز هیدرولوژیکی مربوط به منشاء سیالات کانه‌دار و زمان نسبی و پیچیدگی فرایندهای کانه‌ساز است(شکل ۴۹).



شکل ۴۹- مدلهای برش عرضی از جریان سیالات در سیستمهای مس استراتیفرم با میزان رسوبی

ساده‌ترین حالت برای حوضه‌های باز (از نظر هیدرولوژیکی) تشکیل کانسارهای دیاژنتیک اولیه (Early diagenetic deposits) در اثر سیال ناشی از تراکم (Compaction) می‌باشد (شکل۴۹A). تراکم باعث

خروج سیالات موجود در فضاهای خالی بدام افتاده حین رسوبگذاری و یا سیالات ناشی از آبزدایی ژیپس (یک واکنش گرمازا که در حرارت ۵۰-۶۰ درجه اتفاق می‌افتد) می‌گردد. در صورت ضخیم بودن توالی ژیپس موجود در سکانس طبقات قرمز، حجم سیال ایجاد شده نیز بالا خواهد بود. هم‌چنین درصورتیکه سیالات موجود در فضاهای خالی از منشاء شورابه‌ها و یا از انحلال توالیهای تبخیری موجود در سکانس طبقات قرمز باشند، شوری سیال نیز بالا خواهد بود. چنین سیالی قادر به شستشوی (Leaching) مس از میان طبقات قرمز می‌باشد. تداخل چنین سیال اکسیدشده‌ای با عوامل احیایی در نزدیکی سطح تماس آب دریا و رسوبات منجر به نهشت سولفیدهای مس می‌گردد. سیال حمل کننده فلز به محض نهشت سولفید مس به کف دریا می‌گریزد و یا وارد طبقات رسوبی بالایی می‌شود.

یک کانسار دیاژنتیک اولیه هم‌چنین ممکن است در یک حوضه باز هیدرولوژیکی که در آن سیال از منبع خارجی نشأت گرفته باشد، نیز تشکیل شود (شکل B ۴۹). در این مدل سیالات جوی از یک بخش حوضه وارد سیستم می‌شود و چنانچه باعث انحلال مقادیر زیادی نمک در مسیر خود نشوند در این صورت شوری آنها پایین بوده و قادر به انتقال فلزات به مقدار لازم نخواهد بود.

حوضه‌های بسته هیدرولوژیکی که دارای سیالات بدام افتاده در طبقات قرمزرنگ هستند نیز قادر به چرخش در حوضه هستند (شکل C ۴۹) و امکان تشکیل کانسارهای بزرگ مس استراتیفرم با میزبان رسوبی در آنها وجود دارد. این مدل برای کانسار کوپرشیفر که با واحدهای تبخیری زشتاین پوشیده شده‌اند، ارائه شده است.

ورود جریاناتی که در اثر اختلاف سطح توپوگرافی ایجاد شده‌اند، بدرون حوضه‌هایی که به شدت محبوس و تحت فشار هستند(سیستم بسته)،می‌تواند شرایط لازم برای تشکیل کانسارهای مس با میزبان رسوبی را ایجاد نماید. همراه با سیالاتی که از کناره‌های حوضه آپلیفت شده (Uplifted) وارد سیستم می‌شوند (شکل D ۴۹). چنین سیالاتی نیازمند انحلال هالیت در مسیر جریان خود هستند. بیشتر کانسارهای تیپ دره می‌سی‌سی‌پی شمال آمریکا از طریق این مکانیسم تشکیل شده‌اند.

شورابه‌های چگالی تشکیل شده در خارج از سکانس طبقات قرمز رنگ نیز می‌توانند باعث کانی‌سازی شوند (شکل E-F۴۹). اینگونه سیالات که از سکانس‌های تبخیری یا آبهای دریایی و جوی هستند (سرایت کننده به سمت پایین) که مواد تبخیری را در خود حل کرده‌اند، تا زمانیکه که به سنگهای نفوذناپذیر برخورد نکرده باشند، در مقاطع رسوبی فرو می‌روند. اگر انرژی گرمایی لازم در بخشهای عمیق حوضه وجود داشته باشد و یا اگر جریان سیال فرورو ادامه داشته باشد، این سیال درون حوضه چرخش می‌کند و یا راهی را برای خروج از حوضه پیدا می‌کند. این مدل شورابه‌ای برای تشکیل کانی‌سازی‌های دیاژنزی تأخیری ارائه شده است و شورابه‌های بدام افتاده در حوضه‌های طبقات قرمزرنگ تا

زمانیکه سیستم حوضه بهم نخورده باشد، به عنوان سیال کانه‌دار عمل می‌کنند (دیاژنز تأخیری یا دگرگونی). لازم بذکر است این مدلهای متفاوت لزوماً مستقل از یکدیگر نیستند.

تخلخل و نفوذپذیری رسوبات مربوط به سکانس طبقات قرمزرنگ و سنگهای پوشاننده واحدهای کانه‌دار و میزبان رسوبی در هر کدام از مدلهای بالا اهمیت فراوانی دارند. اگر سیستم کانه‌دار بخواهد به صورت هیدرولوژیکی عمل نماید، بایستی طبقات سرخ‌رنگ نسبت به سنگهای اطراف خود نفوذپذیرتر باشند. این حالت برای کانی‌سازی در مراحل دیاژنزی تأخیری تا حتی Post diagenetic بایستی حفظ شده و یا در اثر انحلال و یا تکتونیک افزایش یافته باشد تا اجازه جریان هیدرولوژیکی لازم فراهم گردد.

با گذشت زمان نفوذپذیری سنگهای اطراف طبقات سرخ‌رنگ تغییر می‌کند. در یک سیستم ساده رسوبات پوشاننده بایستی به اندازه کافی جهت فرارسیال، نفوذپذیری داشته باشند. اگرچه در مدلهای دارای سیستم چرخش جریان سیال، نفوذپذیری این رسوبات بایستی از نفوذپذیری خود سکانس طبقات قرمزرنگ کمتر باشد.

این مدلها به همراه اطلاعات مربوط به سیالات درگیر در اینگونه سیستم‌ها (که نشاندهنده درجه شوری متوسط تا بالای سیالات کانه‌ساز است) ثابت می‌کند که شورابه‌ها در زایش کانسارهای مس چینه‌سان با میزبان رسوبی اهمیت دارند.

۷-۱۰-۲- انرژی لازم در سیستم

موضوع اساسی در تمامی کانسارهای مس با میزبان رسوبی وجود یک منبع انرژی برای به حرکت درآوردن سیال درون سکانس 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 حرارتی نیازمندند.

عامل دفن باعث حرارت می‌شود. گرادیان خیلی کم حرارتی ممکن است باعث چرخش سیالات شود. چرخش سیالات بدون وجود آنومالی‌های حرارتی یا تقابل رسوبات نفوذپذیر و بانفوذپذیری کم، بسختی امکان‌پذیر است.

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 کمربند مس زامبیا. کانسار پارادوکس که بعد از مرحله دیاژنز تشکیل شده است با نفوذ توده‌های لاکولیتی و سدیک ائوسن همزمان بوده است.

منبع دیگر حرارت در چنین سیستمهایی می‌تواند نفوذیهای رادیوژنیک قوی باشد.

در حوضه‌هایی که با تکتونیک نمک همراه هستند آنومالی‌های حرارتی با دیاپیریسم نمکی همراه است که ممکن است برای شروع چرخش کافی باشد.

در حوضه‌های دارای نهشته‌های تبخیری مهم، اختلاف درجه شوری سیالات موجود در فضاهای خالی می‌تواند باعث چرخش شود. دوره‌های یخبندان و بین یخبندان (glaciation & deglaciation) ممکن است از طریق بارگذاری (وزن)یخ، کاهش سطح آب دریاها (و بدنبال آن تولید گاز)، بالاآمدگی سریع سطح آب دریاها در اثر ذوب یخچال‌ها، افزایش شوری آب دریاها و یا از راه تغییر انتقال حرارتی نزدیک سطح باعث تغییر و یا ایجاد چرخش سیالات درون حوضه‌ها شود بخصوص اگر عوامل ساختاری اجازه دهند تا سیال به واحدهای رسوبی زیرین دسترسی پیدا کنند.

۷-۱۰-۳- 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 صورتیکه برای تشکیل کانسارهای بزرگ (giant) 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 که روی هم‌رشدی کوارتز و فلدسپات و سیمان کربناته باعث انسداد آن شده‌اند.

نوع کانیهایی که طی دیاژنز تشکیل شده‌اند به ترکیب سیال وابسته‌اند و خود ترکیب سیال نیز به منشاء سیال بدام افتاده، آب دریا، شورابه‌های دریاچه‌ای (غنی از سدیم و کلسیم) یا آب ناشی از آبزدایی ژیپس 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، هماتیت، آپاتیت و غیره). شدت دگرسانی به بالا بودن نسبت آب/ سنگ، طولانی بودن زمان و مسیر مهاجرت سیال بستگی دارد.

بر اساس Cox et. al (2007) و Hitzman et. al (2005) دگرسانی اصلی کانسارهای مس رسوبی اصطلاحاً از نوع سبز، سفید یا خاکستری شدن (Bleaching) سنگ‌های در برگیرنده است. سیالات درون‌سازندی، 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. دگرسانی Bleaching در مقیاس وسیع در حوضه Paradox برای کانسارهای مس تشکیل‌شده در این حوضه، تشخیص داده شده است (مهدوی ۱۳۸۶).

فرایند دگرسانی طی دیاژنز اولیه و بعد از آن شامل مراحل زیر می‌باشد(مهدوی ۱۳۸۶).

۷-۱۰-۳-۱- انواع دگرسانی در دیاژنز اولیه

-انحلال کانی‌های سیلیکاته ناپایدار

همزمان با ته‌نشست رسوبات، همراه دانه‌های آواری، کانی‌های آواری سیلیکاته ناپایداری مانندهورنبلند، پلاژیوکلاز و بیوتیت نیز ته‌نشین شده اند که همگی دارای مقادیری مس و دیگر فلزات‌پایه و کمیاب در شبکه خود می‌باشند. مطالعات Walker (1989) بر روی کانی‌های ناپایدار موجود در ماسه‌سنگ میزبان کانسارهای مس رسوبی نشاندهنده وجود مقادیری مس در شبکه این‌کانی‌ها می‌باشد. 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. بر اساس Hitzman et al. Walker (1989) (2005) و Brown(2005) مس موجود در شبکه این کانی‌ها می‌تواند منشأ تأمین‌کننده مس سیال کانه‌ساز در کانسارهای مس رسوبی با میزبان ماسه‌سنگی باشد.

طی فرآیند انحلال، همه عناصر شیمیایی درون کانی، شامل عناصری مانند مس، سرب وروی آزاد می‌شوند. در صورتی که شرایط شیمیایی، برای حفظ یون‌های فلزی در محلول، فراهم باشد، فلز می‌تواند توسط سیالات حمل شود. با این حال، بخشی از این عناصر می‌توانند توسط هیدروکسیدهای فریک، و یا کانی‌های رسی جذب شوند و فلزات را در خود نگاه دارند.

-شسته‌شدن بیوتیت

بیوتیت، مانند هورنبلند و پلاژیوکلاز، یکی دیگر از کانی‌های ناپایدار موجود در رسوبات تخریبی است. این کانی، نسبت به هورنبلند و پلاژیوکلاز، کمتر آلتره می‌شود. تغییر مهمی که در این کانی رخ می‌دهد، احاطه شدن بیوتیت توسط هیدروکسید آهن قرمزی است که از درون کانی شسته وآزاد شده است ((Walker (1989). هیدروکسید آهن ایجاد شده در رسوبات تخریبی یک ذره کلوئیدی با بار منفی است (Mason & Moore (1979)). در نتیجه می‌تواند عناصر فلزی آزاد شده از بیوتیت را جذب کند. این عناصر در مراحل بعدی دیاژنز، در اثر بلوغ و تبلور هیدروکسید آهن و تبدیل آن به هماتیت، آزاد می‌شوند.

- جانشینی پلاژیوکلاز آواری به‌وسیله پتاسیم فلدسپار اوتوژنیک

یکی دیگر از پدیده‌های دگرسانی، که در مراحل اولیه دیاژنز باعث آزاد شدن عناصر فلزی از دانه‌های آواری می‌گردد، جانشینی پلاژیوکلاز آواری توسط پتاسیم فلدسپار اوتوژنیک است. در واحدهای Redbed جنوب New Mexico این پدیده به فراوانی مشاهده شده است ((Walker(1989). با توجه به محتوای بیشتر عناصر فلزی، مخصوصاً مس، در

کانی‌های پلاژیوکلاز نسبت به پتاسیم فلدسپار این جانشینی باعث آزاد شدن مس و دیگر عناصر فلزی از دانه‌های پلاژیوکلاز می‌گردد.

۷-۱۰-۳-۲- انواع دگرسانی پس از دیاژنز اولیه

فرآیندهایی که در بالا توصیف شد، مربوط به زمان کمی پس از ته‌نشست رسوبات (after depositionSoon) است. با ادامه فرآیند دیاژنز و تدفین بیشتر، تغییرات کانی‌شناسی مهمی درون رسوبات رخ می‌دهد که عبارتند از: پایدار شدن هیدروکسیدهای آمورف و غیربلورین آهن و تبدیل آنها به هماتیت، تبدیل اسمکتیت به ایلیت، جانشینی فلدسپات و کانی‌های رسی به وسیله سیمان کربناته و آلبیتی شدن کانی‌های رسی که همه اینها می‌تواند منجر به آزاد شدن مقدار زیادی فلزات کمیاب از شبکه این کانی‌ها گردد. در این بین، بلوغ هیدروکسیدهای آهن و تبدیل آن به هماتیت و تبدیل اسمکتیت به ایلیت دارای اهمیت بیشتری است ((Walker (1989).

- تبلور و بلوغ هیدروکسیدهای آهن و تبدیل آن به هماتیت

یکی از مهمترین دگرسانی‌های دیاژنتیکی رسوبات Redbed تبدیل هیدروکسیدهای آهن آمورف و غیربلورین به هماتیت متبلور است. این تبلور منجر به آزاد شدن فلزاتی می‌گردد که توسط هیدروکسیدهای فریک جذب شده‌اند. تبدیل هیدروکسید آمورف به هماتیت زمان زیادی نیاز دارد. با این حال، افزایش فشار و دما نقش مهمی در تسریع این تبدیل ایفا می‌کند ((Walker (1989).

- تبدیل اسمکتیت به ایلیت

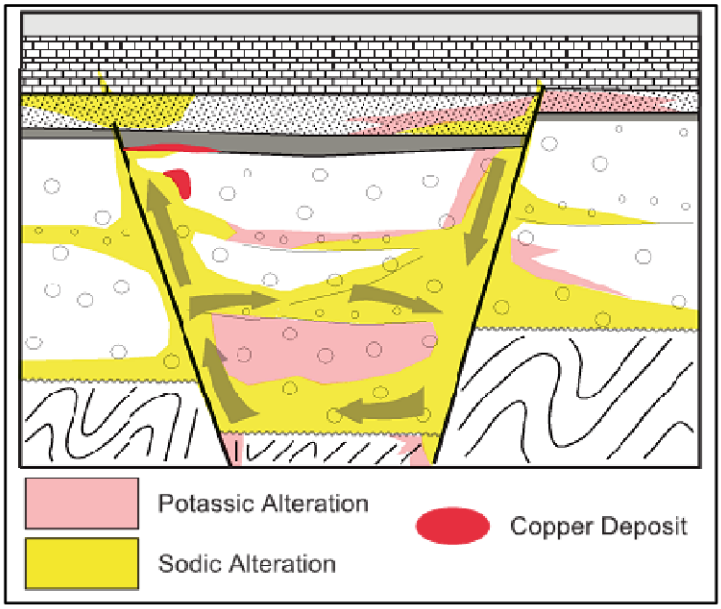
کانی اسمکتیت در یک محیط آلکالن که نسبت به کلسیم و منیزیم غنی بوده و از پتاسیم تهی است، ایجاد می‌گردد ((Walker (1989). به‌طور کلی، اسمکتیت یک کانی رسی است که در همه توالی‌های جوان که مراحل اولیه دیاژنز را طی می‌کنند، تشکیل می‌شود. این در حالی است که، در رسوبات قدیمی‌تر، اسمکتیت یا غایب است و یا به صورت لایه‌های مخطط اسمکتیت - ایلیت دیده می‌شود Schultz (1963). این امر بیانگر تبدیل بخش اعظم اسمکتیت به ایلیت درطی مراحل بعدی دیاژنز است ((Walker (1989).

قدرت جذب عناصر فلزی توسط اسمکتیت از ایلیت بیشتر است ((Riemer & Toth (1970) بدین ترتیب مس و دیگر عناصر فلزی جذب شده توسط اسمکتیت در طی تبدیل شدن به ایلیت‌آزاد می‌گردند.

- جانشینی فلدسپات و کانی‌های رسی توسط سیمان کربناته

در مقاطع میکروسکوپی از واحدهای سنگی کانسار مس مارکشه، کانی‌های سیلیکاته متعدد،مخصوصاً فلدسپات دیده می‌شود که به وسیله سیمان کربناته جانشین شدهاند. همچنین کانی‌های کربناته می‌توانند جانشین ماتریکس رسی گردند. چنانچه این کانی‌های رسی حاوی عناصری مانندمس باشند، این جانشینی باعث آزاد شدن آنها می‌گردد (Walker (1989)).

شکل ۵۰ مدل عمومی دگرسانی در مقیاس یک حوضه که چرخش سیال در آن در حال انجام است را نشان می‌دهد. اگرچه زون‌های دگرسانی گسترده بدون شک در بیشتر حوضه‌هایی که میزبان کانی‌سازی هستند، وجود دارد ولی به خوبی تشریح نشده‌اند. طبق شکل ۵۰ شورابه‌هایی که در اثر انحلال واحدهای تبخیری ایجاد می‌شوند درون آبخوان طبقات قرمز فرو می‌روند. چرخش سیال در اثر تولید مداوم شورابه‌ها و تغییرات حرارت آنها ایجاد می‌شود. زون‌های دگرسانی سدیک نسبت به مجموعه پتاسیک تأخیری هستند. با توجه به چگالی شورابه‌ها دگرسانی در بخشهای قاعده‌ای حوضه تمرکز کرده است. شورابه‌هایی که به سمت بالا حرکت می‌کنند بدلیل تله‌های فیزیکی و شیمیایی موجود در بخشهای بالایی سکانس و نزدیک قاعده سکانس دریایی بالایی، کانی‌سازی انجام می‌دهند. زون‌های گسله و حاشیه حوضه، کنترل کننده اصلی محل جریان سیال هستند و لایه‌های رسوبی متخلخل و تراوای موجود در سکانس در درجه دوم اهمیت قرار دارند.



شکل ۵۰- مدل برش عرضی یک حوضه Redbed پوشیده شده توسط رسوبات دریایی پیشرونده حاوی تبخیری‌هایی که دچار انحلال هستند.

۷-۱۱- سن کانی‌سازی نسبت به تکامل حوضه

در حالت تیپیک توالی‌های طبقات سرخ در حوضه‌های کششی مرتبط با ریفت‌ها تشکیل می‌شوند.

سیستمهای مس استراتیفرم با میزبان رسوبی پویایی زیادی در زمان و مکان دارند. هر حوضه‌ای که دارای طبقات سرخ سیکل اول باشند توانایی ایجاد سیالات لازم جهت تشکیل این تیپ کانسارها را داراست. جریان سیال می‌تواند در اثر فشردگی طبقات، نیروی جاذبه و یا در اثر توده‌های سیل نفوذ کننده در زیر حوضه ایجاد شود. این سیالات احتمالاً حرارت کمی دارند. در صورت وجود عوامل احیاء چنین سیالاتی قادر به ایجاد زون های سولفیدی پراکنده خواهند بود. این شرایط در مناطقی که حاوی خرده‌های گیاهی، شیل های کربن دار یا نفت باشند می تواند مهیا باشد (شکل A ۴۳). در صورتیکه یال حامل سولفات نباشد، منشایی نیز برای S نیاز است. فعالیتهای بیولوژیکی در تشکیل S احیایی اهمیت اساسی دارند. این چنین حوضه‌ای بایستی قادر به ایجاد مناطق کانی سازی مس استراتیفرم درامتداد لبه های بالایی توالی طبقات سرخ در رسوبات کربن دار پوشاننده باشد.

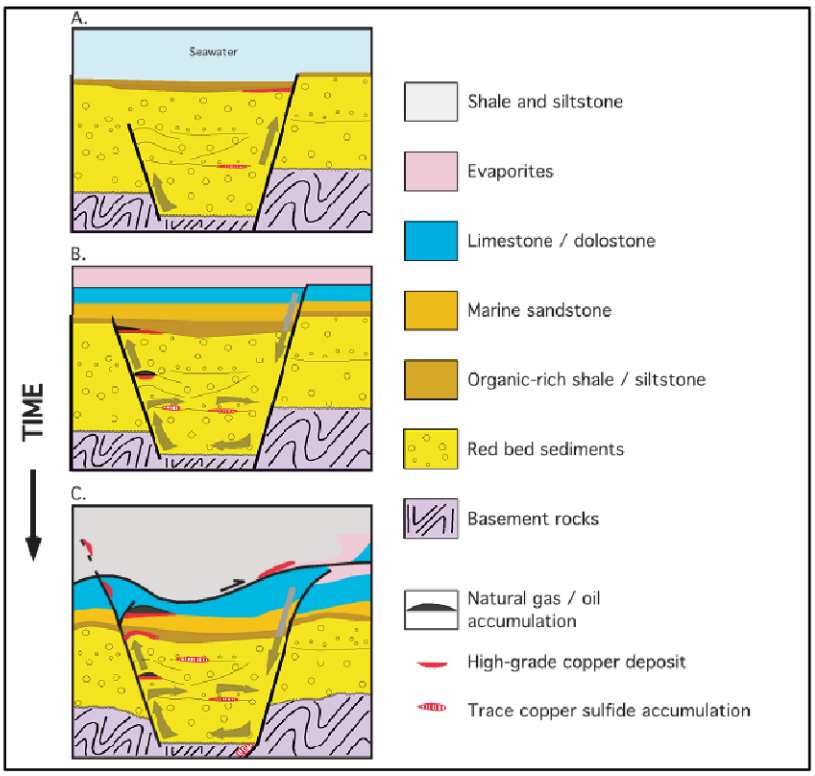
حوضه‌هایی که در مراحل اولیه توسعه خود در اثر سیمان دیاژنتیک تخلخل لازم برای نفوذپذیری و یا سیال خود را از دست می‌دهند، توانایی لازم برای تشکیل کانسارهای مناسبی از مس با میزبان رسوبی را نیز از دست می‌دهند و شاید علت عدم کانی‌سازی قابل توجه در بیشتر حوضه‌ها همین باشد. تاریخچه دیاژنز در چنین حوضه‌هایی کاملاً عادی است (روی هم‌رشدی کوارتز و سیمان کربناته).

حرارت سیالات درون حفرات در طبقات سرخ در اثر تدفین بالا می‌رود و ممکن در اثر بدام افتادن در بخشهای بالایی سکانس و یا خروج از حوضه سرد شود. چنین سیالاتی در اثر انحلال فازهای تخریبی آلومینوسیلیکاته یا سیمانهای تبخیری اولیه می توانند باعث حفظ یا افزایش نفوذپذیری سکانس طبقات سرخ گردد. شوری سیالات در اثر فرایندهای مذکور طی زمان افزایش می‌یابد.

برقرارشدن سیستم چرخش سیال اهمیت زیادی در افزایش لیچینگ فلزات از طبقات قرمز دارد. سیالات مربوط به مراحل آخر دیاژنز ممکن است بدلیل حرارت و شوری بالای خود، از توانایی انتقال فلز بیشتری نسبت به سیالات مراحل اولیه دیاژنز برخوردار باشند و در صورت مواجه با عوامل احیایی (نظیر مایعات نفتی حاوی سولفید هیدروژن، سنگهای رسوبی کربن‌دار یا سولفیدهای آهن از قبل نهشته شده) هم قادر به کانی‌سازی مهمی خواهند بود (شکل B ۵۱).

گریختن شورابه های با شوری و حرارت بالا که قادر به حمل مقادیر بالایی فلز هستند، ممکن است بر کانی سازی اولیه تاثیر گذاشته و باعث تحرک مجدد نهشته های قبلی درون با بالای سکانس طبفات سرخ گردد (شکل C ۵۱). در این شکل حوضه متحمل فشار تراکمی و معکوس شدگی محلی (local inversion) از طرف طبقات شیل و سیلتستون پوشاننده آن است. نهشته های تبخیری نیز در اثر انحلال و تکتونیسم نمکی (salt tectonism) ناپدید شده‌اند. در چنین

شرایطی شورابه های ناشی از گسل های اصلی و موجود در فضاهای خالی طبقات سرخ قدرت بیشتری در حمل قلز نسبت به دو مدل بالایی دارند. در هر افق که شورابه ها با مواد احیایی واکنش دهند کانی سازی مس استراتیفرم انجام خواهد شد.



شکل ۵۱- مدل شماتیک از چگونگی تکامل حوضه های تشکیل کانسارهای مس استراتیفرم با میزبان رسوبی

۷-۱۲- ارتباط با سایر تیپ‌های کانساری

امکان تشکیل سیالات غنی از مس اکسید شده در محیطهای زمین‌شناسی متنوعی وجود دارد و نهشته‌های مس ایجاد شده با چنین سیالاتی دارای برخی ویژگیهای مشابه با کانسارهای مس با میزبان رسوبی هستند. سکانس‌های ولکانیکی ضخیم، اکسید شده و نیمه خشکی (Subaerial) طی آبزدایی دگرگونی در درجات پایین دگرگونی نیز می‌توانند سیالات اکسیده غنی از مس (oxidized cu-rich fluids) تولید کنند. اینگونه سیالات طی درجات بالای دگرگونی نیز تولید می‌شوند. هم‌چنین چرخش سیالات گرمابی که در اثر موتور حرارتی مرتبط با توده‌های نفوذی و یا دگرگونی ایجاد می‌شوند نیز قادر به تولید سیالات اکسیده غنی از مس هستند.

۷-۱۲-۱- کانسارهای مس طبقات قرمز ولکانیکی

تعدادی از کانسارهای مس که میزبان آنها سکانس‌های آتشفشانی بوده و یا در سنگهای رسوبی مجاور تشکیل شده‌اند از لحاظ ژنتیکی با کانسارهای مس با میزبان رسوبی مرتبط هستند. این کانسارها با اسامی مس بازالتی و کانسارهای مس (نقره) مانتو معرفی شده‌اند و در توالیهای بازالتی یا آندزیتی نیمه‌خشکی اکسید شده تشکیل می‌شوند. منطقه‌بندی کانیها در این کانسارها مشابه کانسارهای مس رسوبی است. کنترل کننده اصلی کانی‌سازی احیای سیالات اکسیدشده حامل فلز می‌باشد. سکانس آتشفشانی میزبان چنین کانسارهایی عموماً چندین کیلومتر ضخامت دارند و همانند بازالت‌های جریانی هستند. قسمت‌های پایینی آنها دچار دگرگونی تدفینی شده در حالیکه بخش‌های بالایی مراحل مختلف دیاژنزی را تجربه می‌کنند. سولفیدهای مس‌دار در منطقه دگرگونی بین رخساره‌های اپیدوت و پرهنیت – پومیلی ایت نهشته می‌شوند. در تمامی موارد علت نهشته شدن مس واضح نیست. در برخی کانسارها همچون El Soldado عامل احیاء حضور بیتومن است. در برخی دیگر مانند Mantos Blancos تغییر حالت اکسیداسیون از هماتیت به مجموعه (assemblage) پایدار مگنتیت (نسبتاً احیایی) عامل نهشت مس تعیین شده است.

بین این نوع کانسارها و نهشته‌های مس ناتیو در بازالت‌هایی که دچار دگرگونی ضعیف شده‌اند، ارتباط نزدیکی وجود دارد. در کانسار Keweenavan میشیگان مس ناتیو هم در بازالت دچار دگرگونی ضعیف شده‌اند و هم در سنگهای رسوبی بین لایه‌ای تشکیل شده است که در آن ماده معدنی از طریق پرکردن و جانشینی کانیهای دگرگونی درون آمگیدالها، کنگلومراها و رگه‌ها نهشته شده است. مس از کانیهای مافیک در اثر واکنشهای آبزدایی شسته شده و در مناطق آبدار جائیکه مگنتیت به هماتیت تبدیل شده، نهشته شده است.

۷-۱۲-۲- نهشته‌های مس تیپ مونت‌ایسا

دگرگونی درجه بالای ولکانیک‌های مافیک نیمه خشکی نیز قادر به تولید سیالات اکسیده غنی از مس می‌باشد. بنظر می‌رسد اینگونه سیالات از راه واکنش با سیالات غنی از سولفور در تشکیل کانسار مس مونت‌ایسا نقش داشته‌اند. منشاء مس مشخص نشده است ولی ممکن است شبیه همان شورابه‌هایی باشند که کانسارهای مس با میزبان رسوبی را ایجاد کرده‌اند اما در اثر دگرگونی گرم شده‌اند.

۷-۱۲-۳- نهشته‌های مس- طلا- اکسیدآهن (IOCG)

کانسارهای IOCG شامل گروه بزرگی از نهشته‌ها ست که ویژگی آنها مجموعه‌های غنی از اکسیدآهن همراه با دگرسانی سدیک، سدیک- کلسیک و پتاسیک می‌باشد. بنظر می‌رسد این کانسارها از سیالات گرمابی اکسید شده و شور که از میان حجم عظیمی از مواد پوسته‌ای عبور کرده‌اند، تشکیل شده‌اند. علیرغم کانسارهای مس با میزبان رسوبی، این کانسارها مستقیماً با ماگماتیسم در ارتباط هستند. وجه تمایز دیگر این کانسارها با کانسارهای مس با میزبان رسوبی، شدت دگرسانی همراه با آنها و فراوانی اکسیدهای آهن است. اگرچه برخی از کانسارهای مس با میزبان رسوبی، (در کمر بند مس Yunnan) به طور موضعی زون‌های غنی از مگنتیت دارند.

۷-۱۲-٤- کانسارهای تیپ کیپوشی

کانسارهای تیپ کیپوشی از نوع کانسارهای جانشینی درون سنگهای کربناته غنی از مس، سرب و روی هستند و مقادیر ژرمانیوم در آنها در حد آنومالی است. برخی از این تیپ کانسار همساز با سنگهای میزبان (Corcordant) بوده و برخی نیز ناهمساز (Discordant) هستند. مهمترین تفاوت آنها با کانسارهای مس با میزبان رسوبی در محتوای فلزی آنهاست. گرچه گروهی از آنها از سیالات گرمابی اکسید شده نهشته شده‌اند اما گروهی دیگر نیز احتمالاً از سیالات احیایی تشکیل شده‌اند. دلیل بحث از این تیپ کانسار در این‌جا، بدلیل قرار گرفتن کانسار کیپوشی در کمربند مس آفریقای مرکزی است.

۷-۱۳- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- کانی سازی در منطقه مورد مطالعه از نوع کانسارهای مس با میزبان طبقات قرمز (Red-bed type) می باشد.

- فرم کانی سازی بصورت عدسی و از نوع استراتیفرم می‌باشد.

- سنگهای میزبان کانی سازی شامل توالی تخریبی طبقات Redbed شامل شیل، ماسه‌سنگ و میکروکنگلومرا است. ماسه‌سنگها عمدتاً شامل لیتارنایت با قطعات لیتیک ولکانیکی می‌باشد.

- کانی سازی عمدتاً بصورت پراکنده و گاهی کلوفرم و محدود به افق های میزبان رسوبی بوده و شامل کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، بورنیت، آزوریت و پیریت (عمدتاً اکسید شده در سطح) می‌باشد.

- گرچه عوامل احیایی گستردگی کمی دارند اما واریزه های فسیل گیاهی و نفوذپذیری سنگ میزبان و احتمالاً حضور پیریت های اولیه یا دیاژنتیک به عنوان عوامل احیاء کننده محیط و حضور لایه های رسوبی تبخیری به عنوان منبع احتمالی تامین کننده کمپلکس های کلریدیِ انتقال دهنده مس نقش اساسی در انجام کانی‌سازی مس داشته‌اند.

- با توجه به تیپ کانی سازی منبع تامین کننده مس و سایر عناصر همراه ((W-Mo-Pb-Zn-(U?) احتمالاً قطعات لیتیک تشکیل دهنده ماسه سنگها و میکروکنگلومراهای طبقات سرخ می‌باشد.

- با توجه به مطالعات صحرایی در ورقه های (به ترتیب از غرب به شرق) ششتمد، شامکان، کدکن، رباط‌سفید و تربت حیدریه) میزان کانی سازی در مناطق میانی یعنی در ورقه کدکن و به مقدار کمتر در بخشهای شمالی ورقه تربت‌حیدریه بیشتر از ورقه های اطراف بخصوص به سمت ورقه های شامکان و ششتمد می‌باشد.

- طی عملیات صحرایی هدف از نمونه برداری شناسایی نوع و عیار حداکثری عناصر همراه با کانی سازی بوده است به همین دلیل نمونه گیری از بخشهای پرعیار ماده معدنی صورت گرفته است. با توجه به تیپ احتمالی کانی سازی، نمونه ها برای عناصر Cu-W-Mo-Pb-Zn-Co-Ni-V-Cd-Ag آنالیز شده اند. در تمامی نمونه ها تنها عیار Cu قابل ملاحظه می باشد. حداکثر عیار Cu (در نمونه Kad 17) برابر ۹/۳۳ درصد و متوسط عیار آن در نمونه‌های مربوط به کل منطقه ۳/۸۷ درصد بوده است.

- رخنمون طبقات سرخ رنگ (Red bedds) که حاوی بخش‌های کانه‌دار می‌باشد(EO^S)، در اطراف روستای نسر به پایان می‌رسد. ضخامت متوسط آنها در حدود ۳۰ سانتیمتر و گسترش طولی آنها از آخرین نقطه‌ای که کانی‌سازی مس رسوبی در غرب ورقه کدکن مشاهده شده تا این بخش (انتهای جنوب شرقی ورقه رباط سفید) به ۶۵ کیلومتر می‌رسد. کانی‌سازی در این فاصله کم و بیش به طور پراکنده و منقطع مشاهده می‌شود و حداکثر رخنمون پیوسته افق‌های مس دار کمتر از ۵۰ متر است.

- در حالت کلی در اکثر آبراهه‌هایی که به صورت عرضی افق‌های سرخ رنگ را قطع کرده‌اند، آثار کانه‌سازی را می‌توان ردیابی نمود. مشخصات کانی‌سازی در تمامی موارد مشابه یکدیگر بوده و عبارتند از: آثار فسیل‌های گیاهی، حالت غالب مالاکیتی شدن، ماسه‌سنگ‌های خاکستری روشن(احیایی)، استراتیفرم بودن.

- ماهیت کانی سازی مس در ورقه دارین و بخشهای شمالی ورقه ششتمد با دیگر مناطق مورد بررسی متفاوت و از انواع همراه با فرایندهای ولکانیکی می‌باشد. در مناطق مذکور تمامی اندیس ها و کانسارهای قابل توجه در ثبت بخش خصوصی است. با توجه به بررسی های صحرایی و مشخصات زمین شناسی از جمله سنگ میزبان، محیط تکتونیکی، شکل و نوع کانی سازی و کانه های مس موجود در منطقه بنظر می رسد کانی سازی مس در ورقه دارین و بخشهای شمال غربی ورقه ششتمد از نوع کانسارهای مس نوع آنذزیت (مانتو) باشند. البته تعیین دقیق نوع کانی سازی نیاز به انجام مطالعات بیشتر صحرایی و آزمایشگاهی دارد.

- طی انجام این پروژه دو محدوده توسط نگارنده در بخش جنوب شرقی ورقه کدکن و جنوب روستای رودخانه جهت ثبت و انجام مطالعات بیشتر به ناظر علمی طرح پیشنهاد شد که پس از بررسی صحرایی منطقه توسط ایشان، محدوده های مذکور قابل ادامه اکتشاف تشخیص داده نشد.

۷-۱٤- منابع و مؤاخذ

- آقانباتی ع. (۱۳۸۳): زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات زمین شناسی کشور.
- افتخارنژاد و همکاران (۱۹۷۶): نقشه زمین‌شناسی برگه ۲۵۰۰۰۰ :۱ کاشمر.
- بدخشان‌ممتاز، قیس و بنی‌آدم، فریبرز (۱۳۷۷): گزارش مطالعات اکتشافی چکشی در ورقه دارین مقیاس ۱۰۰۰۰۰: ۱.
- جعفریان م.ب و جلالی ع. (۱۳۷۷): نقشه و گزارش زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰ :۱ ورقه ششتمد.
- خلقی‌خرقی م ج.(۱۳۷۵): نقشه و گزارش زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰ :۱ ورقه تربت حیدریه.
- درّی، محمدباقر(۱۳۷۷): گزارش مطالعات اکتشافات چکشی ورقه ۱۰۰۰۰۰ :۱ ششتمد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شهاب پور، ج. (۱۳۸۲): زمین شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه کرمان، ۵۴۴ صفحه.
- مهدوی (۱۳۸۷): کانی شناسی و ساخت و بافت افق های کانه دار مس رسوبی مارکشه در شمال غرب راور.
- وحدتی دانشمند ف و ندیم هـ.(۱۳۷۷): نقشه و گزارش زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰ :۱ ورقه دارین.
- نادری میقان ن.(۱۳۷۷): نقشه و گزارش زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰ :۱ ورقه شامکان .
- نادری میقان و ترشیزیان هـ(۱۳۷۷): نقشه و گزارش زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰ :۱ ورقه کدکن.
- واعظی پور و همکاران(۱۳۷۰): نقشه زمین‌شناسی برگه ۲۵۰۰۰۰ :۱ تربت‌حیدریه.

- Cox,D. et al.(2007): Sediment- Hosted copper Deposits of the world: Deposit Models and Data base, USGS, Open file Report 03-107
- Hitzman et al. (2005): The Sediment-Hosted Copper ore System, Economic geoology 100th anniversary volume,PP:609-642.
- Middleton,G.V. et al.(2003): Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks, Springer Pabl., 821 Page.

فهرست مطالب

تشکّر و قدردانی ۱

چکیده ۲

۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه ۴

۱-۲-مطالعات انجام شده پیشین ۵

۱-۳-روش کار ۵

۲-۱-مقدمه ۸

۲-۲- طبقات قرمز ۸

۲-۲-۱- طبقات سرخ اولیه ۹

۲-۲-۲- طبقات سرخ دیاژنزی ۱۰

۲-۲-۳- طبقات سرخ ثانویه ۱۰

۲-۲-۵- طبقات سرخ دریایی ۱۱

۲-۳- کانی‌سازی مس رسوبی در ورقه کدکن ۱۲

۲-۳-۱- مقطع کال نوبهار ۱۶

۲-۳-۲- مقطع کال بُرس ۲۰

۲-۳-۳- مقطع کال خوش‌هوا ۲۳

۲-۳-۴- مقطع کال کدکن ۲۳

۲-۳-۵- مقطع کال اسفیز ۲۵

۲-۳-۶- مقطع کال‌دافی ۲۷

۲-۳-۷- سایر پیمایش‌های انجام شده در ورقه کدکن ۲۷

۳- کانی‌سازی مس رسوبی در ورقه‌های رباط سفید و تربت حیدریه ۳۰

۳-۱- مقطع کال رودخانه ۳۲

۳-۲- مقطع جنوب غرب رباط سنگ ۳۷

۳-۳- مقطع جنوب غرب قنچی ۴۰

۳-۴- مقطع پاگدار ۴۲

۳-۵- مقطع روستای سربالا ۴۴

۳-۶- مقطع یال معدن ۴۸
۳-۷- مقطع کلاته لاله ۵۰
۳-۸- مقطع کال اولتولوج ۵۱
۳-۹- معدن متروکه مس قنداب (قندو) ۵۲
۳-۱۰- مقطع شمال کامه ۵۴
۳-۱۱- مقطع شمال روستای پده ۵۶
۴- پی‌جویی کانی‌سازی مس رسوبی در ورقه شامکان ۵۹
۴-۱- زمین‌شناسی ورقه شامکان ۵۹
۴-۲- پی‌جویی کانی‌سازی مس رسوبی ۶۲
۴-۲-۱- مقطع آوندر ۶۲
۴-۲-۲- مقطع ده‌میان ۶۴
۴-۲-۳- مقطع قلعه میدان ۶۵
۴-۲-۴- مقطع بیروت ۶۵
۵-۱- زمین‌شناسی عمومی ورقه دارین ۶۷
۵-۲- کانی‌سازی مس در ورقه دارین ۷۰
۵-۲-۱-کانسار مس هموئی ۷۴
۵-۲-۲- معدن متروکه چون ۷۹
۵-۲-۳- اندیس عباس قمبک ۸۱
۵-۲-۴- اندیس مس قُرّجیب ۸۲
۵-۲-۵- کانسار مس نیران ۸۴
۵-۲-۶- اندیس مس آغل سنگی ۸۶
۵-۲-۷- اندیس مس گرّاب ۸۷
۵-۲-۸- کانسار مس فریزی ۸۸
۵-۲-۹- اندیس مس خرمک ۸۹
۵-۲-۱۰- اندیس مس کال‌مرغ ۹۰
۵-۲-۱۱- اندیس مس لندران ۹۱
۵-۲-۱۲- اندیس خروگرد ۹۱

۵-۲-۱۳- اندیس مس گلخچی خروگرد ۹۲
۶-۱- معدن متروکه مس سرقوی ۹۵
۶-۲- معدن متروک مس تک‌سفیدپادر ۹۸
۶-۳- مس دهنه نه چشمه (قله‌جغ) ۱۰۰
۶-۴- مس قاسمی ۱۰۰
۶-۵- فیروزه چاه‌نسر ۱۰۱
۷-۱- مقدمه ۱۰۳
۷-۲- انواع کانسارهای مس رسوبی ۱۰۴
۷-۳- سن کانه سازی ۱۰۵
۷-۵- منشاء فلزات ۱۰۸
۷-۶- منشاء سولفور ۱۰۸
۷-۷- تله‌های فلزی ۱۰۹
۷-۸- درجه حرارت تشکیل ۱۱۰
۷-۹- ساختار اکسیداسیون- احیای حوضه‌ها ۱۱۰
۷-۱۰- مدلهای تشکیل کانسارهای مس استراتیفرم با میزبان رسوبی ۱۱۲
۷-۱۰-۱- جریان سیال و منشاء آن ۱۱۳
۷-۱۰-۲- انرژی لازم در سیستم ۱۱۵
۷-۱۰-۳- دگرسانی ۱۱۶
۷-۱۰-۳-۲- انواع دگرسانی پس از دیاژنز اولیه ۱۱۸
۷-۱۱- سن کانی‌سازی نسبت به تکامل حوضه ۱۲۰
۷-۱۲- ارتباط با سایر تیپ‌های کانساری ۱۲۲
۷-۱۲-۱- کانسارهای مس طبقات قرمز ولکانیکی ۱۲۲
۷-۱۲-۲- نهشته‌های مس تیپ مونت‌ایسا ۱۲۳
۷-۱۲-۳- نهشته‌های مس- طلا- اکسیدآهن (IOCG) ۱۲۳
۷-۱۲-۴- کانسارهای تیپ کیپوشی ۱۲۳
۷-۱۳- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۲۴
۷-۱۴- منابع و مؤاخذ ۱۲۶