

بررسی کانی‌سازی و منشأ مس رسوبی چینه‌کران با میزبان کنگلومرای پلیوسن در منطقه قره‌آغاج ماکو

محمدرضا حسین‌زاده^(۱)، سجاد مغفوری^(۲)، محسن مؤید^(۳)، مهدی عشرتی^(۴)

۱. دانشیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۳. استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۴. کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۱۰

چکیده

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران و در شمال کمربند افیولیتی خوی واقع شده است. مجموعه سنگ‌های موجود در منطقه قره‌آغاج شامل رسوبات سازند قم، توالی قرمز بالایی (URF) و کنگلومرای پلیوسن می‌باشد. مجموعه واحدهای سنگی پلیوسن شامل سیلتستون، ماسه‌سنگ (آرکوز، لیت‌آرنایت) و میکروکنگلومرا و کنگلومرا می‌باشد. میزبان کانی‌سازی مس چینه‌کران در منطقه قره‌آغاج میکروکنگلومرا و کنگلومرای پلیوسن است ولی در واحد ماسه‌سنگی نیز کانی‌زایی به صورت جزئی دیده می‌شود. بخش اعظم کانسازسازی به صورت پرکننده فضای خالی می‌باشد. کانی‌شناسی کانساز مس قره‌آغاج بسیار ساده بوده و شامل مس طبیعی، کوپریت و تنوریت می‌باشد. نبود سولفیدهای مس، عدم وجود فسیل‌های گیاهی بعنوان عامل احیاکننده، عدم رخداد فرآیند جاننشینی مس به جای بافت‌های گیاهی، وجود کانی‌زایی بصورت پرکننده فضای خالی و سیمان بین دانه‌ای و تشکیل کانی‌زایی به صورت مس طبیعی نشان‌دهنده عدم تشابه کانی‌زایی مس قره‌آغاج با کانسازهای مس رسوبی تیپ Red-bed می‌باشد. بنابراین سیالات درون حوضه‌ای طی فرآیندهای دیاژنز از توالی قرمز بالایی نشأت گرفته و باعث شسته شدن مس از توالی مزبور و تشکیل کمپلکس کلریدی مس می‌شود. افزایش سطح ایستابی باعث ایجاد شرایط احیایی در کنگلومرای پلیوسن شده و سیالات مس‌دار در طی ورود به این شرایط احیایی، مس خود را در زیر سطح ایستابی به صورت مس طبیعی ته‌نشست داده‌اند. با کاهش سطح ایستابی و افزایش فوگاسیته اکسیژن (Eh بالا)، مس طبیعی تشکیل شده در مرحله قبل توسط کانی‌های اکسیدی مانند کوپریت و تنوریت جانشین شده است.

واژه‌های کلیدی: مس طبیعی، کنگلومرا، چینه‌کران، پرکننده فضای خالی، ماکو.

مقدمه

قاعده (O^q)، بخش سنگ آهک و مارنی سازند قم ($OMql$) و بخش مارنی و ماسه‌سنگ بالایی سازند قم (OMq^m) می‌باشند. واحد کنگلومرای (O^q) بخش پایینی سازند قم را در منطقه تشکیل می‌دهد و از کنگلومرای قرمز مایل به خاکستری با قطعات گوناگون تشکیل شده است که اندازه قطعات از ۱۰-۲۰ سانتی متر متغیر می‌باشد. ترکیب این کنگلومرا متفاوت و از نوع پلی‌میکتیک می‌باشد. این واحد بگونه دگرشیب و پیش‌رونده بر روی واحدهای کهن‌تر قرار گرفته و به‌گونه هم‌شیب به‌وسیله واحد کربناته ($OMql$) پوشیده می‌شود.

واحد کربناته سازند قم ($OMql$) شامل سنگ آهک فسیل‌دار به رنگ کرم تا خاکستری روشن است که به‌صورت نازک لایه می‌باشد. این واحد در بخش زیرین نازک تا متوسط لایه می‌باشد که بتدریج در بخش‌های بالایی ضخیم لایه و توده‌ای می‌شود و منظره ریفی از خود نشان می‌دهد (امینی‌آذر و همکاران، ۱۳۸۲) (شکل ۲- الف).

واحد کربناتی سازند قم به‌صورت تدریجی به واحد مارنی (OMq^m) تبدیل می‌شود. این واحد رسوبی از مارن‌های گچ‌دار و فسیل‌دار با درون لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و کنگلومرا تشکیل شده است. این مارن‌ها دارای فسیل‌های فراوانی از شکم‌پایان و مرجان‌های شاخی می‌باشد.

سازند قرمز بالایی (URF) به‌صورت ناپیوسته و پیش‌رونده بر روی عضوهای گوناگون سازند قم و واحدهای کهن‌تر قرار می‌گیرد این واحد رسوبی از پایین به بالا شامل میکروکنگلومرا و ماسه‌سنگ با میان لایه‌هایی از گل‌سنگ می‌باشد که به‌صورت تدریجی توسط مارن‌های قرمز رنگ پوشیده می‌شود. واحد شیل رسی- سیلتی قرمز رنگ با عدسی‌هایی از ماسه‌سنگ آخرین توالی قرمز بالایی را تشکیل می‌دهد (شکل ۲- ب).

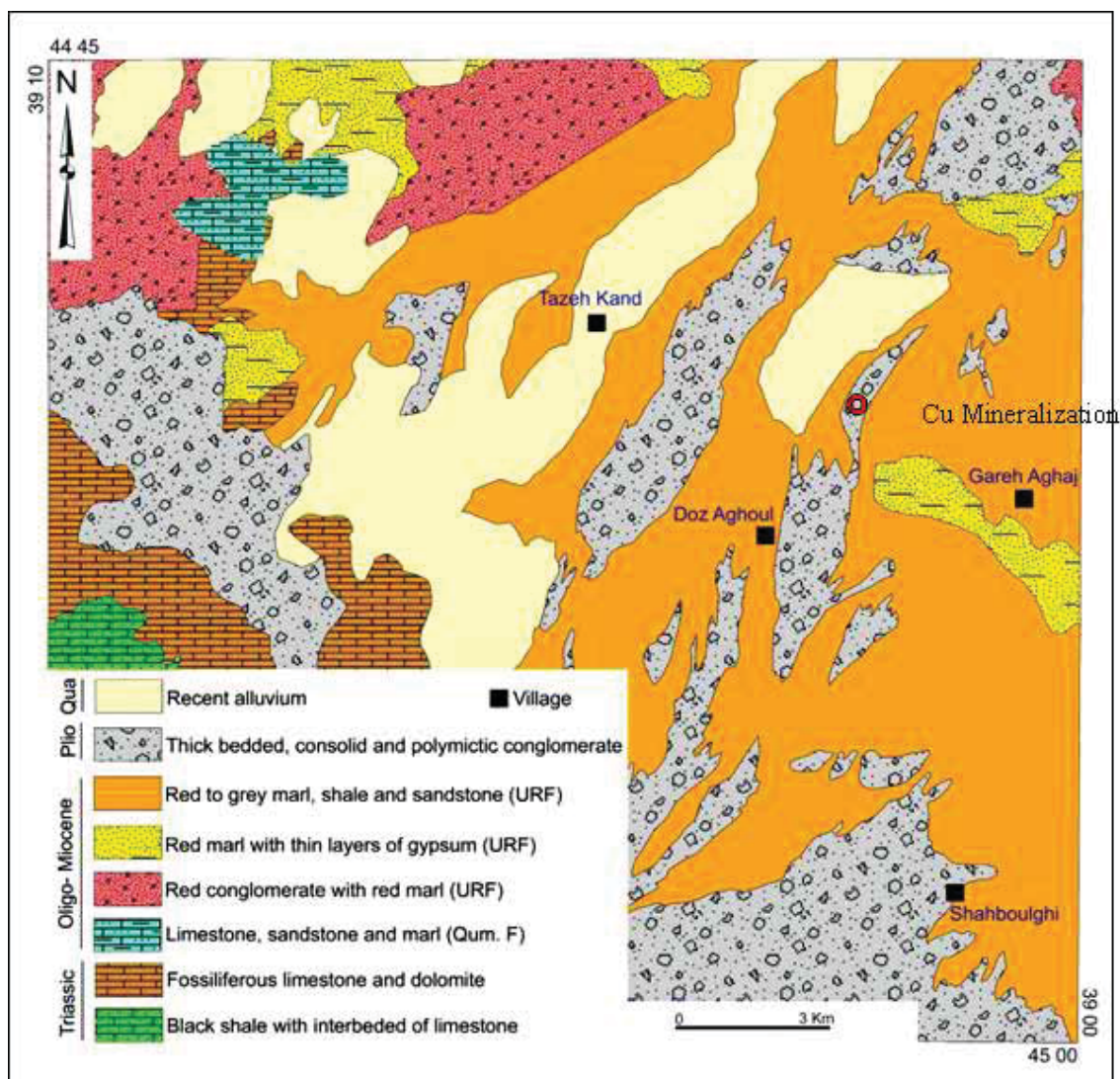
منطقه مورد مطالعه در ۶۰ کیلومتری جنوب شهرستان ماکو در استان آذربایجان غربی قرار دارد. این منطقه در گوشه جنوب‌شرقی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ماکو (امینی‌آذر و همکاران، ۱۳۸۲) و بین طول‌های جغرافیایی شرقی $44^{\circ}30'28''$ تا $45^{\circ}00'38''$ و عرض‌های جغرافیایی شمالی $39^{\circ}00'$ تا $39^{\circ}30'$ قرار دارد. حضور کانی‌سازی مس در داخل طبقات کنگلومرای پلیوسن از ویژگی‌های زمین‌شناسی جالب توجه منطقه قره‌آغاج ماکو می‌باشد. مطالعه و شناسایی کانی‌زایی مس با میزبان کنگلومرای پلیوسن برای اولین بار در ایران معرفی می‌شود. با توجه به گسترش واحدهای کنگلومرای در زمان‌های زمین‌شناسی مختلف در ایران و به‌خصوص در پهنه‌های زمین‌شناسی گوناگون به سن پلیوسن (کنگلومرای هزاردره در پهنه البرز، کنگلومرای پلیوسن کپه داغ و کنگلومرای بختیاری در زاگرس) مطالعه کانی‌زایی مس قره‌آغاج از لحاظ کانی‌شناسی، زمین‌شناسی، منشأ مس و عوامل کنترل‌کننده کانی‌زایی می‌تواند برای شناسایی این تیپ کانسارها در دیگر پهنه‌های زمین‌شناسی به‌عنوان الگو مورد استفاده قرار گیرد.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

نهشته‌های موجود در منطقه قره‌آغاج بیشتر شامل رسوبات سنوزوئیک بویژه نهشته‌های الیگومیوسن است که شامل سازندهای قم و توالی قرمزبالایی و کنگلومرای پلیوسن (میزبان کانی‌زایی) هستند (امینی‌آذر و همکاران، ۱۳۸۲) (شکل ۱).

واحدهای الیگومیوسن

از هفت بخش زمین‌شناسی سازند قم تنها سه بخش در منطقه قره‌آغاج مشاهده می‌شوند و شامل کنگلومرای

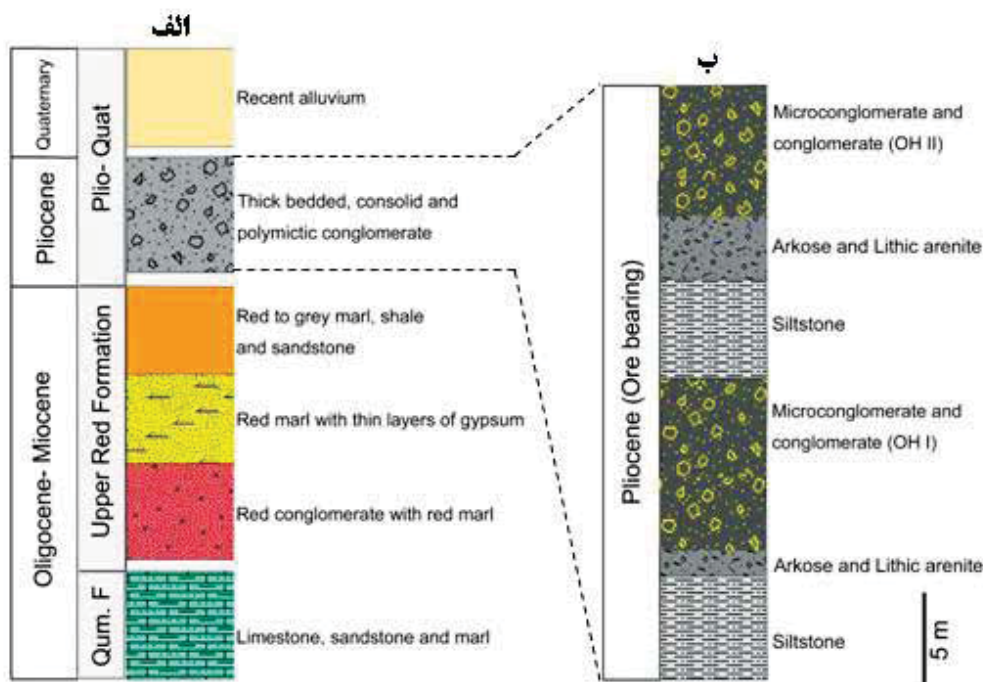


شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی قره‌آغاچ، گسترش کنگلومرای پلیوسن و رخداد کانی‌زایی مس در آن (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی، امینی آذر و عباسی، ۱۳۸۲)

کنگلومرای پلیوسن

زیرین بیشتر می‌باشد (شکل ۲-ب). با توجه به مطالعات صورت گرفته واحدهای سنگی پلیوسن، از پایین به بالا شامل سیلتستون، ماسه‌سنگ (آرکوز، لیتیک‌آرنایت)، میکروکنگلومرا و کنگلومرا می‌باشد این واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه دو بار تکرار شده است (شکل ۲-ب). ویژگی‌های سنگ‌شناختی این واحد عبارتند از:

همانطور که ذکر گردید کنگلومرای پلیوسن میزان کانی‌زایی مس در کانسار قره‌آغاچ می‌باشد. واحد پلیوسن شامل تناوبی از توالی‌های درشت شونده به سمت بالا می‌باشد. به طور کلی میزان کنگلومرا و میکروکنگلومرا در بخش‌های بالایی سازند پلیوسن بیشتر می‌باشد در حالی که نسبت سیلتستون و ماسه‌سنگ به کنگلومرا در بخش‌های



شکل ۲. الف) ستون چینه‌شناسی عمومی از واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه، ب) ستون چینه‌شناسی از رخساره‌های سنگی پلیوسن. (کانی‌زایی مس در واحد میکروکنگلوмера و کنگلومرا تشکیل شده است)

واحد سیلتستون

موجود در منطقه قره‌آغاج غالباً از کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت، هورنبلند و خرده‌های سنگی الترامافیک تشکیل شده است. ماسه سنگ‌های موجود در توالی پلیوسن را می‌توان از نظر ترکیب به دو دسته آرکوز و لیت‌آرنایت تقسیم نمود.

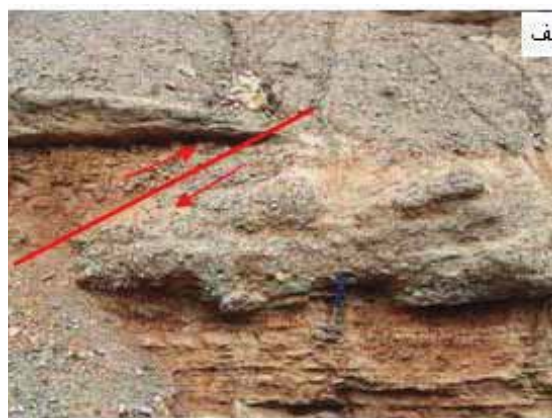
آرکوز: این دسته از ماسه سنگ‌ها دارای میزان فلدسپار بیشتری نسبت به لیت‌آرنایت هستند (شکل ۴-ب). آرکوز اغلب از گرانیت، گنایس و از ماسه‌سنگ حاصل از هوازدگی منشأ می‌گیرند (Tucker, 2001).

لیت‌آرنایت: این ماسه‌سنگ با داشتن خرده‌سنگ، که از قطعات فلدسپار موجود در سنگ بیشتر است مشخص می‌گردد. اجزای تخریبی اصلی در این ماسه‌سنگ شامل کوارتز تخریبی، فلدسپار، قطعات سنگی (کربنات، قطعات مافیک و الترامافیک و شیشه) می‌باشد (شکل ۴-ب).

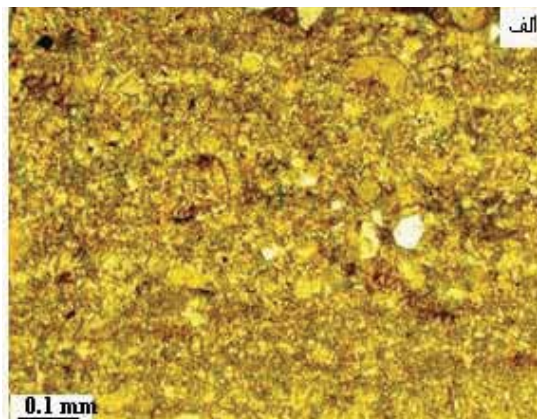
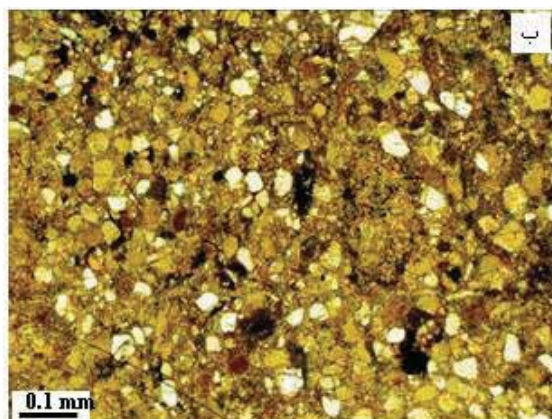
این واحد با داشتن مورفولوژی نرم در ابتدای هر سیکل قابل مشاهده است (شکل ۳-الف). به‌طور کلی فراوانی سیلتستون در بخش‌های پایینی توالی پلیوسن بیشتر است. ذرات تشکیل‌دهنده آن اغلب شامل کوارتز تخریبی در حد سیلت تا ماسه ریز به همراه فلدسپار تخریبی می‌باشد.

واحد ماسه‌سنگی

ماسه‌سنگ موجود در منطقه قره‌آغاج شامل آرکوز و لیت‌آرنایت می‌باشد (شکل ۳-ب) ماسه سنگ‌ها دارای میان لایه‌هایی از سیلتستون می‌باشد (شکل ۴-الف). هرچند اغلب، ترکیب ماسه‌سنگی تابعی از منشأ می‌باشد، اما بطور کلی محیط رسوبی پیشنهادی برای لیت‌آرنایت، محیط دلتایی و برای آرکوز، رودخانه‌ای است (Tucker, 2001). اجزای تخریبی موجود در ماسه‌سنگ



شکل ۳. الف) تصویر رخنمونی از واحد سیلتستون که در زیر واحد ماسه‌سنگی قرار گرفته است، ب) رخنمونی از واحد کنگلومرای میزبان کانی‌زایی مس

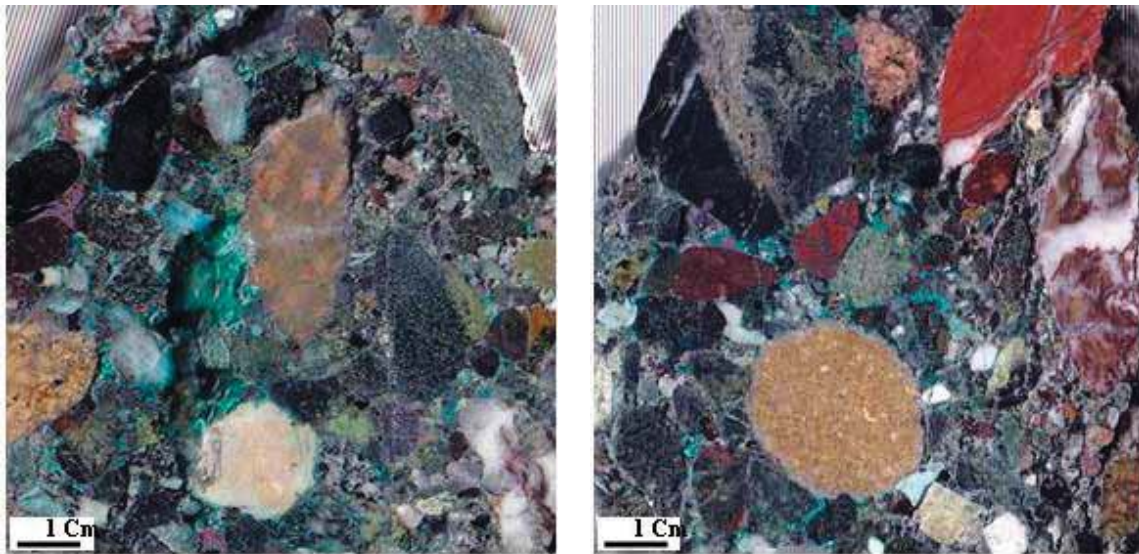


شکل ۴. الف) تصویر میکروسکوپی از واحد سیلتستون، ب) تصویر میکروسکوپی از رخساره لیت‌آرنایت که بطور عمده از خرده‌سنگ تشکیل شده

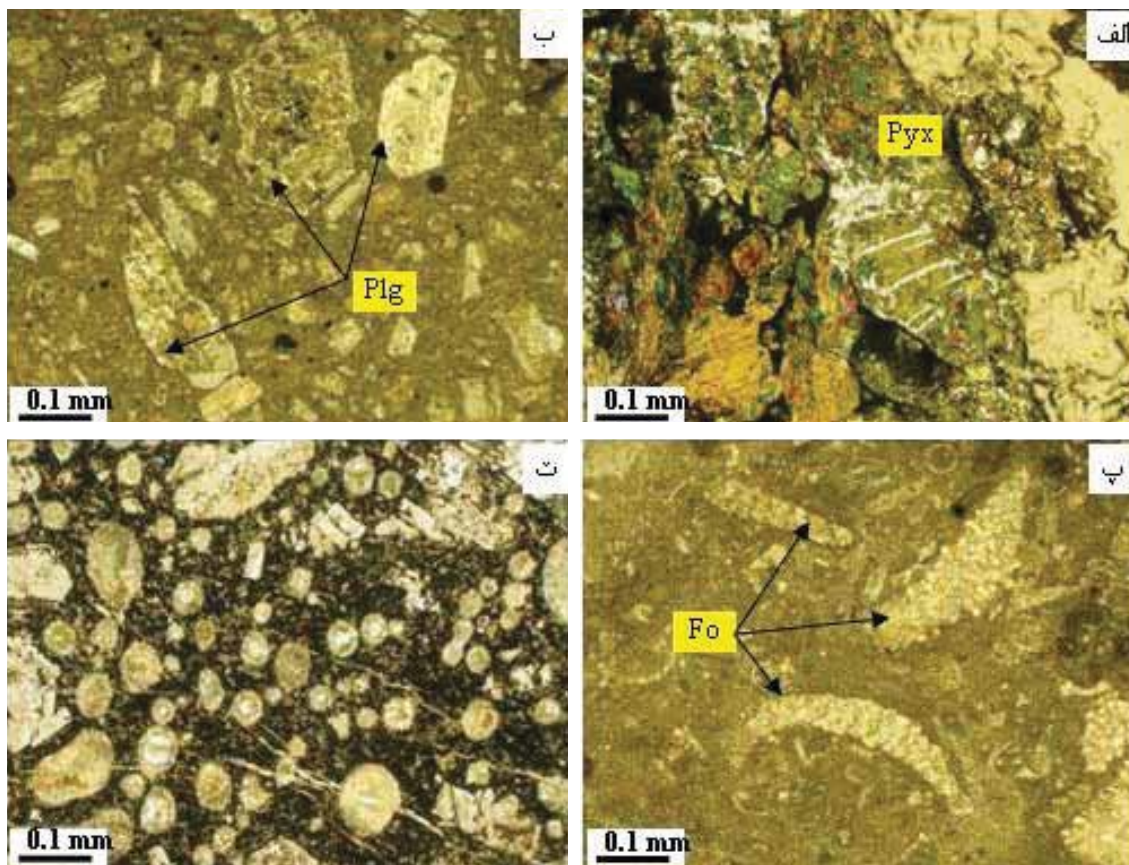
میکروکنگلومرا و کنگلومرا

و فسیل‌دار و قطعات دگرگونی تشکیل شده است (شکل ۵).
قطعات الترامافیک و مافیکی بطور میانگین در حدود
۴۰ تا ۴۵ درصد واحد کنگلومرای را تشکیل می‌دهند که
از کانی‌های سرپانتینیت، پلازیوکلاژ، پیروکسن و الیوین
تشکیل شده‌اند (شکل ۶- الف) (عشرتی، ۱۳۹۲).

میکروکنگلومرا و کنگلومرا، انتهای توالی رسوبی پلیوسن
را در منطقه قره‌آجاج تشکیل می‌دهند (شکل ۲- ب). میزان
فراوانی کنگلومرا بسیار بیشتر از میکروکنگلومرا است (شکل
۳- ب). از قطعات الترامافیکی سرپانتینیت، قطعات مافیکی
بازالتی و آندزیتی، قطعات سیلیسی، قطعات آهکی ماسه‌ای



شکل ۵. تصاویر نمونه دستی از واحد کنگلومرای میزبان کانی‌زایی که از قطعات با ترکیبات مختلف تشکیل شده است



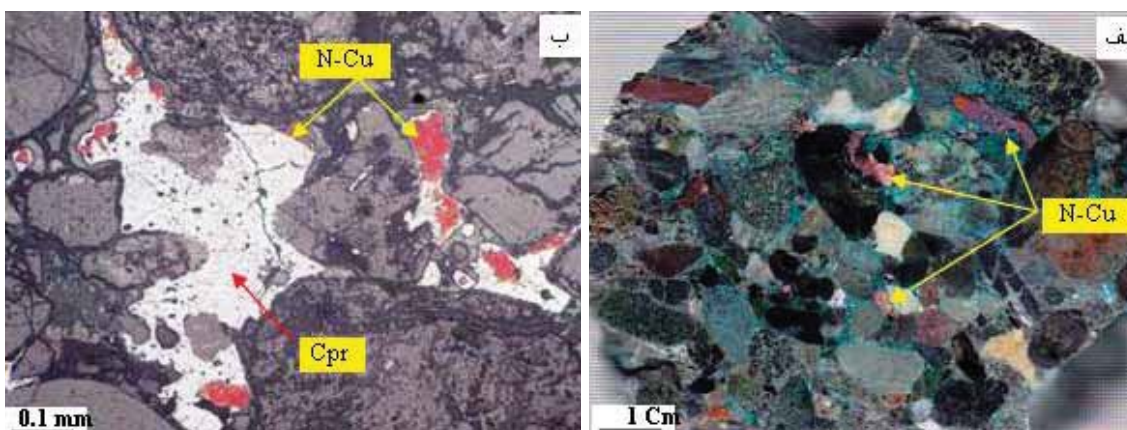
شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی از قطعات آواری موجود در کنگلومرای پلیوسن. الف) تصویر میکروسکوپی از قطعات الترمافیک سرپانتینیتی و حضور مقادیر فراوان کانی پیروکسن (Pyx). ب) تصویر میکروسکوپی از قطعات آندزیت پورفیر با پلاژیوکلاز فراوان (Plg)، حضور میکروفسیل میوزیپسینا (Fo) نشان‌دهنده حمل این قطعات از آهک‌های سازند قم می‌باشد، ت) تصویر میکروسکوپی از قطعات بازالتی آمیگدالونیدال

کانی‌زایی

کانی‌زایی مس در محدوده معدنی قره‌آغاج درون توالی رسوبی-تخریبی پلیوسن رخ داده است. همانطور که ذکر شد این توالی از رسوبات سیلتستون، ماسه‌سنگ (آرکوز و لیت‌آرنایت) و میکروکنگلوмера و کنگلومرا تشکیل شده است. نبود فسیل‌های گیاهی در واحد رسوبی پلیوسن نشان می‌دهد که این واحد جزء محیط رسوبی خشکی نیست و لذا محیط ته‌نشست این کنگلومرا را نمی‌توان به محیط‌های رودخانه‌ای و دلتایی نسبت داد. شواهد زمین‌شناسی، تکرار سیکل رسوبی درشت‌شونده به سمت بالای توالی، نبود فسیل گیاهی و ایمچور بودن کنگلومرای مذکور نشان‌دهنده ته‌نشست این واحد آواری در یک حوضه رسوبی ساحلی کم‌عمق می‌باشد (Van, 1990).

در تصاویر میکروسکوپی قطعات بازالتی آمیگدالوئیدال مشاهده می‌شود که حفرات آن با سیلیس و کربنات پر شده‌اند (شکل ۶-ب).

قطعات آهکی سازند قم به‌وفور در واحد کنگلومرای پلیوسن مشاهده می‌شوند این قطعات دارای میکروفسیل و قطعات جلبکی می‌باشند (شکل ۶-پ، ت). قطعات دگرگونی در داخل کنگلومرا بطور میانگین ۱۰ تا ۱۲ درصد کل این واحد آواری را تشکیل می‌دهند و شامل قطعات مرمر و قطعات اپیدوتی شده با جهت‌یافتگی خاص می‌باشند. مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهند که قطعات مافیکی و الترامافیکی و قطعات دگرگونی موجود در کنگلومرای پلیوسن منطقه قره‌آغاج ماکو از افیولیت‌ملازهای موجود در منطقه نشأت گرفته‌اند.



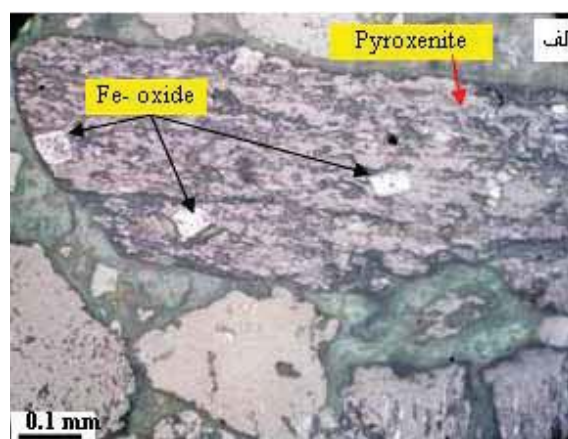
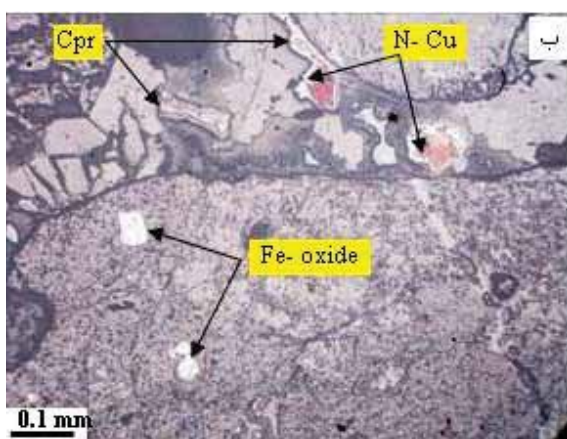
شکل ۷. الف) نمونه دستی از واحد کنگلومرای میزبان کانی‌زایی که فضای بین قطعات آواری را مس طبیعی (N-Cu) پر کرده است، ب) تصویر میکروسکوپی از کانی‌های مس طبیعی و کوپریت بصورت سیمان بین‌دانه‌ای

باشد ولی تفاوت‌های اساسی بین کانسار قره‌آغاج و کانسارهای مس رسوبی قرمز رنگ (Red-bed) وجود دارد، تفاوت اصلی نبود فسیل‌های گیاهی در توالی میزبان کانی‌زایی بعنوان عامل احیاکننده می‌باشد فسیل‌های گیاهی یکی از فاکتورهای کنترل‌کننده کانی‌زایی در کانسارهای مس رسوبی احیایی می‌باشد (El Desouky et al., 2007)، تفاوت دیگر نبود سولفید در کانسار مس قره‌آغاج است در کانسارهای مس رسوبی قرمز رنگ (Red-bed) سولفیدهای مس و پیریت به‌وفور دیده می‌شود که جانشین فسیل‌های گیاهی

کانی‌زایی مس در کانسار قره‌آغاج فقط در داخل واحد کنگلومرای تشکیل شده است (شکل ۷-الف) و کانی‌زایی در داخل واحد سیلتستون وجود ندارد و میزان بسیار کمی از کانی‌زایی مس در داخل واحد ماسه‌سنگی مشاهده می‌شود (شکل ۳-ب). سولفیدهای مس در این کانسار مشاهده نمی‌شوند و کانی‌زایی مس به‌صورت مس طبیعی می‌باشد که فضای بین ذرات تشکیل‌دهنده کنگلومرا را پر کرده است (شکل ۷-ب). شاید در نگاه اول این کانسار قابل مقایسه با کانسارهای مس رسوبی قرمز رنگ (Red-bed)

شده‌اند (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰). در کانسارهای مس رسوبی قرمز رنگ (Red-bed) عمل جانشینی سولفیدهای مس به جای فسیل‌های گیاهی مکانیسم اصلی رخداد کانی‌زایی است (Hitzman, 2000) ولی در کانسار قره‌آغاج نه‌تنها چنین جانشینی اتفاق نیافتاده است بلکه کانی‌زایی، فضای بین قطعات آواری کنگلومرا را پر کرده است (شکل ۷-ب). کانه اصلی در کانسارهای قرمز رنگ (Red-bed)؛ بورنیت، کالکوسیت، مالاکیت و به‌مقدار کم مس طبیعی می‌باشد (Hitzman et al., 2005) ولی در کانسار مس قره‌آغاج کانه اصلی مس طبیعی است که کانی‌های کوپریت و تنوریت آن را همراهی می‌کنند (شکل‌های ۸، ۹ و جدول ۱) و کانه‌های سولفیدی وجود ندارد. حضور لایه‌های قرمز به‌عنوان میزبان ماده معدنی و بستر لازم برای کانی‌زایی مس رسوبی در کانسارهای نوع قرمز رنگ (Red-bed) یکی از فاکتورهای اساسی است (Walker, 1989) که این توالی قرمز

در کانسار قره‌آغاج مشاهده نمی‌شود. تنها شباهتی کانسار مس قره‌آغاج و کانسارهای مس رسوبی نوع قرمز رنگ (Red-bed) در نوع ماده معدنی و سنگ میزبان ماده معدنی است. کانی‌زایی به‌صورت کانی‌های مس طبیعی، کوپریت، تنوریت، مگنتیت و هماتیت به‌صورت دو نسل دیده می‌شوند، نسل اول شامل کانی‌های مگنتیت و هماتیت بصورت دانه پراکنده و در داخل قطعات آواری تشکیل دهنده کنگلومرا می‌باشد این نسل از کانی‌ها محدود به قطعات آواری مافیک و الترامافیک می‌باشند (شکل ۸-الف، ب)، قطعات کوارتزی و کربناتی فاقد مگنتیت و هماتیت‌های دانه پراکنده می‌باشند. نسل دوم کانه‌های مس بصورت مس طبیعی، کوپریت و تنوریت می‌باشند که بصورت سیمان بین‌دانه‌ای یا پرکننده فضای خالی هستند (شکل ۸-ب) که بر خلاف کانی‌های نسل اول در نمونه‌های دستی با چشم مشاهده می‌شوند.



شکل ۸. الف) تصویر میکروسکوپی از حضور اکسیدهای آهن در داخل پیروکسنیت، ب) تصویر میکروسکوپی از حضور دو نسل از کانی‌ها، اکسیدهای آهن دانه‌پراکنده یا نسل اول در داخل قطعات، کوپریت و مس طبیعی و نسل دوم کانی‌زایی در فضای بین قطعات. (N-Cu: مس طبیعی، Cpr: کوپریت)

بافت دانه پراکنده

بافت دانه‌پراکنده در واقع همان مگنتیت‌های نسل اول می‌باشند که در داخل قطعات آواری الترامافیک و مافیک تشکیل دهنده کنگلومرا قرار دارند (شکل ۸-الف، ب). محدود شدن اکسیدهای آهن در قطعات الترامافیک و مافیک نشان‌دهنده حمل این نسل از کانی از سنگ منشأ اولیه و مادر است. با توجه به شباهت پتروگرافی این قطعات

کانی‌شناسی و ساخت و بافت

همانطور که ذکر شد کانی‌شناسی کانسار قره‌آغاج ساده بوده و عبارتست از: مس طبیعی، کوپریت، تنوریت، مگنتیت و هماتیت که به‌صورت بافت‌های دانه‌پراکنده، سیمان بین‌دانه‌ای (پرکننده فضای خالی) و جانشینی دیده می‌شوند.

واحد کنگلومرا در طی دیاژنز واحد رسوبی می باشد. این نوع بافت در اکثر کانسارهای مس با میزبان رسوبات تخریبی دیده می شود (Macintyre, 2005).

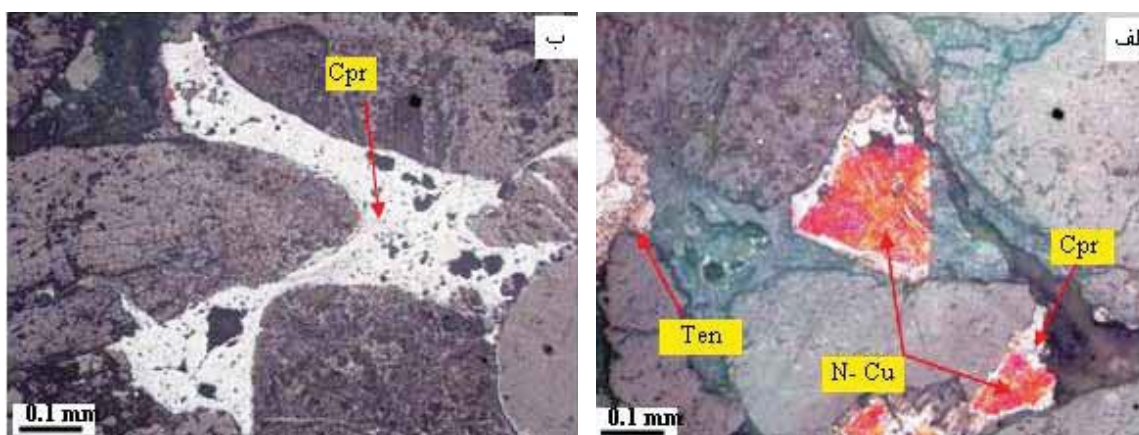
بافت جانشینی

این بافت در کانی های نسل دوم دیده می شود که فضای بین قطعات را پر کرده اند. جانشینی کوپریت به جای مس طبیعی و جانشینی تنوریت به جای کوپریت در کانسار قره آغاج دیده می شود (شکل ۹- الف). این جانشینی ها نشان دهنده افزایش فوگاسیته اکسیژن می باشد. مس طبیعی معمولا در شرایط احیایی و در زیر سطح ایستابی تشکیل می شود که با افزایش فوگاسیته اکسیژن در نزدیک سطح ایستابی کوپریت جانشین مس طبیعی می شود و در بالای سطح ایستابی و در شرایط فوگاسیته اکسیژن زیاد تنوریت غالب است و جانشین کوپریت می شود (Chaves, 2000).

آواری با واحدهای الترامافیک و مافیک تشکیل دهنده کمپلکس افیولیتی موجود در غرب منطقه مورد مطالعه، می توان چنین استنباط کرد که این نسل از کانی ها به صورت اولیه از تخریب واحدهای افیولیتی و حمل آن ها همراه با دیگر قطعات آواری به حوضه رسوبی اتفاق افتاده است. لازم به ذکر است که تمامی قطعات تشکیل دهنده کنگلومرای پلیوسن حاوی کانی های اکسید آهن به صورت دانه پراکنده نمی باشد فقط قطعات مافیک و الترامافیک دارای مگنتیت و هماتیت های دانه پراکنده است (شکل ۸- الف).

بافت سیمان بین دانه ای (پرکننده فضای خالی)

کانی های تشکیل دهنده بافت سیمان بین دانه ای شامل کانی های نسل دوم می باشند که فضای بین قطعات آواری کنگلومرای میزبان کانی زایی را پر کرده است (شکل ۹- الف، ب). این بافت شاخص ترین بافت در کانسار قره آغاج است که نشان دهنده ته نشین شدن کانی های مس بعد از سنگ شدگی



شکل ۹. الف) تصویر میکروسکوپی از جانشینی مس های طبیعی به وسیله کوپریت و جانشینی کوپریت بوسیله تنوریت، ب) تصویر میکروسکوپی از بافت سیمان بین دانه ای. (N-CU: مس طبیعی، Cpr: کوپریت، Ten: تنوریت)

جدول ۱. مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانه‌ها در کانسار مس قره‌آغاچ

Minerals/ Textures		Mineralization Processes		
		Stage 1	Stage 2	Stage 3
		Depositione	Diagenesis and increase water table	Decrease Water Table
Ore Minerals	Fe Oxide	●		
	Clay minerals		●	
	Native Cu		●	
	Cuprite			●
	Tenorite			●
	Malachite			●
	Azurite			●
Textures	Disseminated	●		
	Replacement			●
	Grain cement		●	
	Solution seams			●

نتیجه‌گیری

می‌تواند یکی از منابع تامین کننده فلز برای کانسار قره آغاچ باشد.

منبع تامین کننده فلز احتمالی دیگر می‌تواند کانی‌های سیلیکاته موجود در توالی رسوبی قرمز رنگ (Red-bed) باشد که به‌فرد در منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود و قطعات این واحد تخریبی بیشتر دارای منشأ کمپلکس افیولیتی دارد. عامل ته‌نشست فلزات با توجه به کانی‌شناسی منحصر به فرد، عدم حضور کانی‌های سولفیدی و نبود فسیل‌های گیاهی می‌تواند نوسانات سطح ایستابی حوضه میزبان کانی‌زایی باشد.

با توجه به ویژگی‌های گفته شده نحوه تشکیل کانسار مس قره آغاچ را می‌توان بصورت زیر ارائه نمود:

در اثر پسروری آب دریای میوسن، حوضه رسوبی قاره‌ای تشکیل شده است که توالی قرمز بالایی در آن نهشته شده‌اند. در طی زمان پلیوسن رخدادهای زمین‌ساختی قابل قیاس با فاز آتیکان سبب شده تا از فرسایش شدید بلندی‌ها، واحد کنگلومرای تشکیل و بطور هم شیب و گاه دگرشیب، سازندهای قدیمی‌تر را بپوشاند. در این نهشته قاره‌ای- کم‌عمق ساحلی، فسیل وجود ندارد (شکل ۱۰ الف). طی دیاژنز اولیه، فرآیندهای هیدرولیزی، موجب ناپایداری کانی‌های سیلیکاته موجود در واحدهای قرمز رنگ (Red-bed)

چگونگی تشکیل کانسار مس قره آغاچ با توجه به نبود سولفیدهای مس و کانی‌شناسی منحصر بفرد نیازمند مطالعه دقیق پتروگرافی سنگ میزبان، مطالعه حوضه رسوبی میزبان کانی‌زایی و شرایط pH-Eh حاکم بر منطقه مورد مطالعه و حوضه رسوبی میزبان کانی‌زایی می‌باشد. همانطور که ذکر شد مطالعه پتروگرافی قطعات تشکیل دهنده کنگلومرا نشان می‌دهد که این واحد تخریبی از قطعات گوناگون با منشأهای متفاوت تشکیل شده است مهم‌ترین منشأ قطعات، کمپلکس افیولیتی مجاور منطقه، توالی کربناتی سازند قم و سازند قرمز بالایی می‌باشد (شکل ۶).

برای پی‌بردن به خاستگاه و نحوه تشکیل کانسار مذکور باید دو عامل مهم و کلیدی مورد بررسی قرار گیرد یکی از این عوامل منشأ تامین کننده فلز و دیگری عامل ته‌نشست می‌باشد.

با توجه به عدم حضور سولفیدهای مس و پیریت در منطقه مورد مطالعه شاید بطور مستقیم نمی‌توان کانی‌زایی در منطقه قره آغاچ را به انتقال مس از کمپلکس افیولیتی ارتباط داد ولی با توجه به اینکه ۴۵ درصد قطعات تشکیل دهنده واحد کنگلومرای و توالی قرمز بالایی، قطعات مافیک و الترامافیک می‌باشد لذا کمپلکس افیولیتی مجاور کانی‌زایی

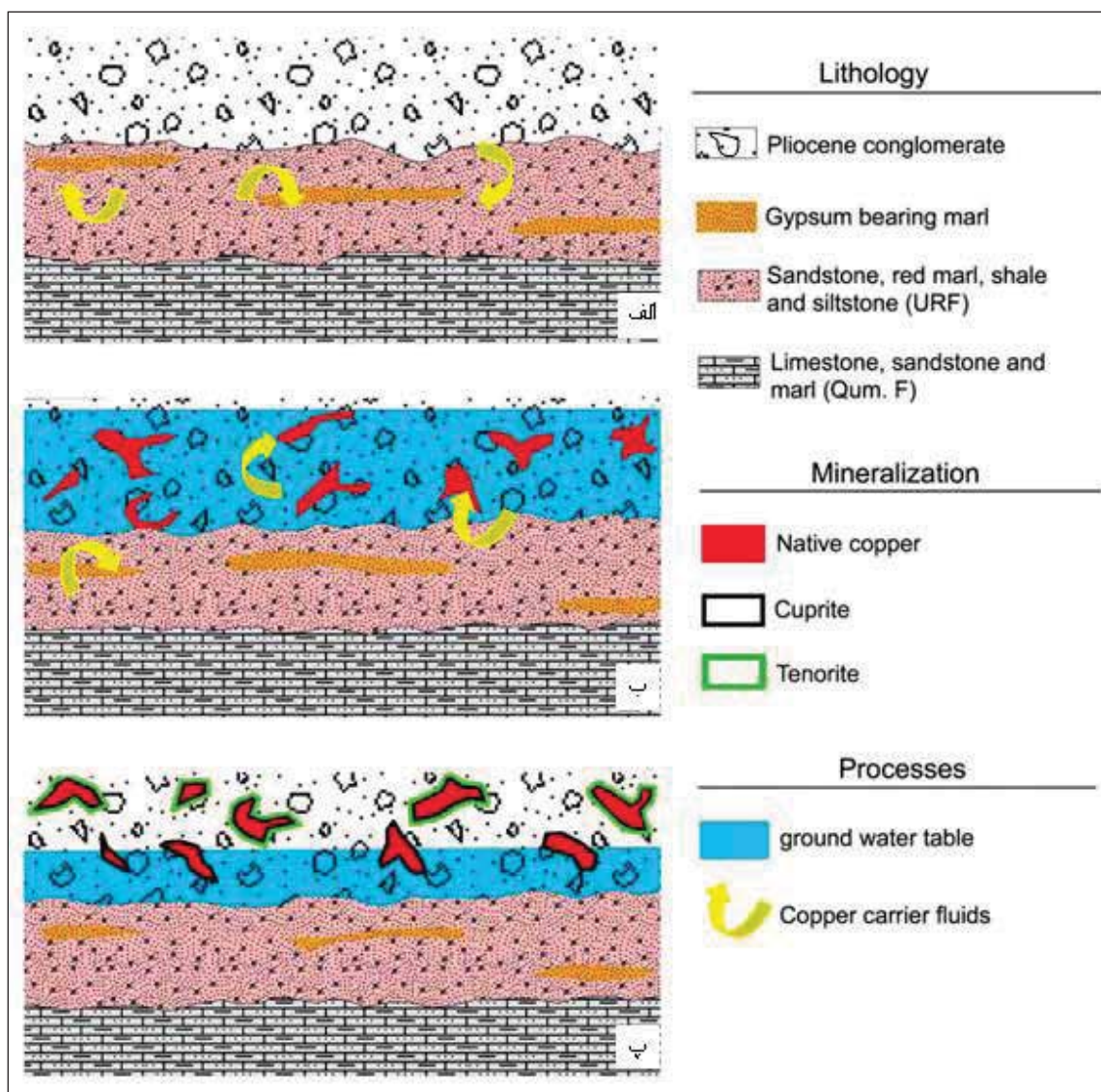
نشأت گرفته از مرحله قبل ضمن برخورد به این سفره آب زیرزمینی کانی مس طبیعی را در زیر سطح ایستابی و در بین قطعات کنگلومرا ته نشست می دهد (شرایط احیایی برای ته نشست کانی مس طبیعی توسط بالا آمدن سطح ایستابی آب زیرزمینی ایجاد شده است). این مرحله اقتصادی ترین و اصلی ترین مرحله کانی زایی در کنگلومرای پلیوسن می باشد (شکل ۱۰- ب).

بالاخره با کاهش سطح ایستابی و افزایش فوگاسیته اکسیژن (Eh بالا)، مس طبیعی تشکیل شده در مرحله قبل توسط کانی های اکسیدی مانند کوپریت و تنوریت جانشین شده است (شکل ۱۰- پ). جانشینی کوپریت به جای مس طبیعی (Eh=0/4-0/6) (شکل ۱۱) در نزدیکی سطح ایستابی و جانشینی تنوریت به جای کوپریت (Eh=0/6 - > 1) در بالای سطح ایستابی و در فوگاسیته زیاد اکسیژن اتفاق افتاده است. علاوه بر نوسانات سطح ایستابی، نفوذپذیری واحدهای سنگی دانه درشت و دیاژنز واحد رسوبی از عوامل عمده و اصلی تمرکز کانه زایی مس است.

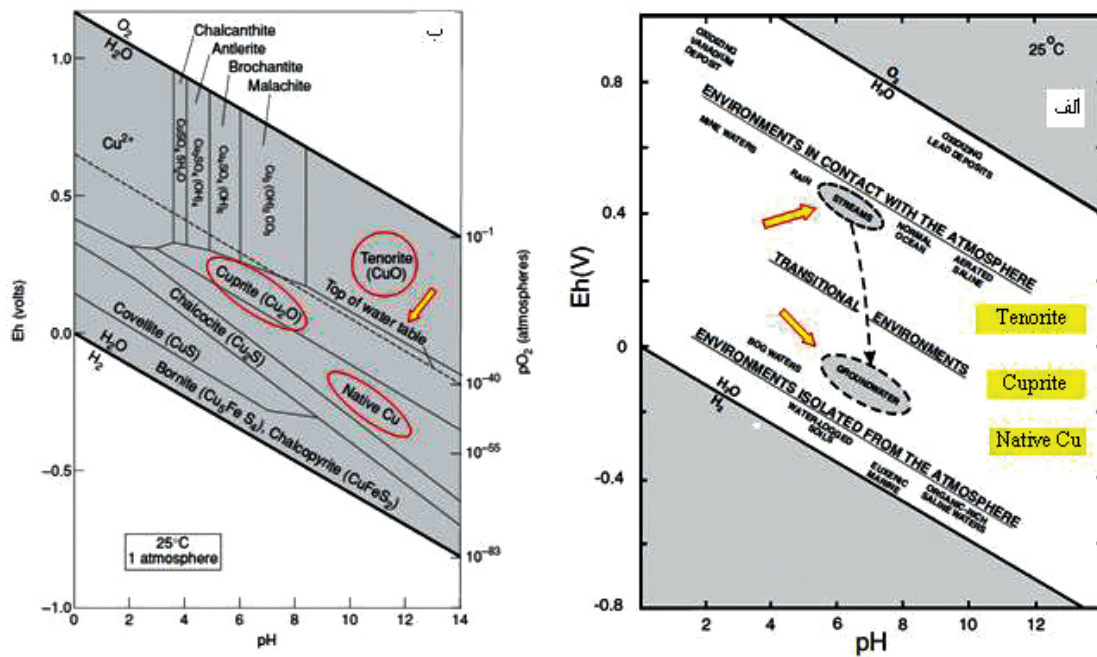
و قطعات حمل شده از کمپلکس افیولیتی، مانند پیروکسن، بیوتیت، الیوین و هورنبلند می گردد. هیدرولیز این کانی ها موجب آزاد شدن عناصر موجود در شبکه آن ها می شود که توسط کانی های رسی موجود در توالی طی فرآیند جذب سطحی جذب می گردند.

در مراحل بعدی دیاژنز (دیاژنز تاخیری)، طی تبلور کانی های رسی، محتوای فلزی جذب شده در سطح این کانی ها از جمله مس آزاد گشته و این عناصر می توانند توسط سیال اکسیدان کانه ساز حمل گردند. این سیال اکسیدان (سیال درون حوضه ای) در اثر فشار بار لیتواستاتیکی و در اثر آزدایی و انحلال کانی های تبخیری موجود در لایه های قرمز بالایی ایجاد می گردد. این سیال غنی از کلرید ضمن گردش در رسوبات قرمز بالایی، مس و دیگر فلزات آزاد شده از کانی های ناپایدار را بصورت کمپلکس کلریدی حمل می نماید (شکل ۱۰- الف).

در طی بالا بود سطح ایستابی آب های زیرزمینی و حاکم شدن شرایط احیایی در کنگلومرای پلیوسن، سیال اکسیدان



شکل ۱۰. مراحل نحوه تشکیل کانسار مس قره آغاج. الف) خروج سیالات درون حوضه‌ای طی فرآیندهای دیاژنز از توالی قرمز بالایی. (این سیال درون لایه‌های سازند قرمز بالایی به چرخش در می‌آید و باعث شسته شدن مس توسط سیال از درون این توالی می‌شود. همچنین سیال فوق در اثر برخورد با لایه‌های ژئوپس‌دار باعث افزایش شوری و تشکیل کمپلکس کلریدی مس‌دار می‌گردد)، ب) افزایش سطح ایستابی باعث ایجاد شرایط احیایی در کنگلومرای پلیوسن می‌شود. (سیالات مس‌دار در طی ورود به این شرایط احیایی مس خود را در زیر سطح ایستابی به صورت مس طبیعی ته‌نشست می‌دهند)، پ) بالاخره با کاهش سطح ایستابی و افزایش فوگاسیته اکسیژن (Eh بالا)، مس طبیعی تشکیل شده در مرحله قبل توسط کانی‌های اکسیدی مانند کوپریت و تنوریت جانشین شده است. (جانشینی کوپریت به جای مس طبیعی در نزدیکی خط سطح ایستابی و جانشینی تنوریت به جای کوپریت در بالای سطح ایستابی و در فوگاسیته زیاد اکسیژن اتفاق افتاده است)



شکل ۱۱. الف) نمودار تغییرات Eh-pH در محیط‌های آبی مختلف (Brown, 2005) و تشکیل نسل‌های مختلف کانه‌های مس در حداقل محیط رودخانه‌ای و آب‌های زیرزمینی موجود در محل ته‌نشست رسوبات، ب) نمودار تغییرات Eh-pH و تشکیل تنوریت در بالای سطح ایستابی (Eh بالا)، تشکیل کوپریت بر روی خط سطح ایستابی و تشکیل مس طبیعی در زیر سطح ایستابی (Eh پایین) (Robb, 2005)

منابع

of copper oxide minerals. Society of Economic Geologists Newsletter, 41.

- Durieux, C.G. and Brown, A.C., 2007. Geological context, mineralization, and timing of the Juramento sediment-hosted stratiform copper-silver deposit, Salta district, northwestern Argentina. *Mineral Deposita*, 42, 879-899.

- El-Desouky, H.A. Muchez, Ph., Dewaele, S., Boutwood, A. and Tyler, R., 2007. The stratiform copper mineralization of the Lufukwe anticline, Lufilian foreland, Democratic Republic Congo. *Geologica Belgica*, 10, 3-4, 148-151.

- Hitzman, M. W., 2000. Source basins for sediment-hosted stratiform copper deposits - implications for the structure of the Zambian copper belt: *Journal of African Earth Sciences*, 30, 855-863.

- امینی‌آذر-عباسی، س. و قدیرزاده، ا.، ۱۳۸۲. نقشه زمین‌شناسی ماکو، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۴۹۶۸.

- عشرتی، م.، ۱۳۹۲. مطالعه کانی‌سازی مس رسوبی قره‌آغاج (جنوب شرق ماکو- استان آذربایجان غربی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۲۰.

- مهدوی، ا.، راستاد، ا. و حسینی برزی، م.، ۱۳۹۰. کانی‌شناسی، ساخت و بافت و نحوه تشکیل رخداد مس رسوبی- دیاژنتیک مارکشه، تیپ Red-bed، در سازند سرخ گردو به سن ژوراسیک، جنوب ایزان مرکزی، فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۱، سال بیست و یکم.

- Brown, AC (2005). Refinements for foot-wall red-bed diagenesis in the sediment-hosted stratiform copper deposits model. *Economic Geology*, 100, 765-771.

- Chaves, W. X., 2000. Supergene oxidation of copper deposits: zoning and distribution

- Hitzman, M., Kirkham, R, Broughton, D., Thorson, J., and Selly, D., 2005. The sediment hosted stratiform copper ore system. In: Thompson JFH, Goldfarb RJ, Richards JP (eds). Society of Economic Geologists, 100th Anniversary volume, 609-642.
- Macintyre, T.J., 2005. Fault-controlled hydrocarbon-related bleaching and sediment-hosted copper mineralization of the Jurassic Wingate sandstone at the Cashin Mine, Montrose county, Colorado. M.Sc. thesis, Department of Geology and Geological Engineering.
- Robb, L., 2005. Introduction to Ore-Forming Processes. First published by Blackwell Publishing, 420.
- Tucker, M.E., 2001. Sedimentary Petrology, An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks. Second Edition, 272.
- Van-Wagoner., 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops. American Association of Petroleum Geologist, Methods in Exploration Series, 7, 55.
- Walker, TR., 1989. Application of diagenetic alterations in Red-beds to the origin of copper in stratiform copper deposits. In: Boyle RW, Brown AC, Jefferson CW, Jowett EC, Kirkham RV (eds): Sediment-Hosted Stratiform Copper Deposits. Geological Association of Canada, Special Paper, 36,85-96.