

## بررسی کانی‌سازی و منشأ مس چین‌سان در منطقه چشمه‌کنان تسوج، استان آذربایجان شرقی

شاهرخ رجب‌پور<sup>۱\*</sup>، علی عابدینی<sup>۱</sup>، صمد علیپور<sup>۱</sup>، لیلا ذاکری<sup>۲</sup>

(۱) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

(۲) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۴/۳، پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۱۸

### چکیده

منطقه چشمه‌کنان، در ۱۵ کیلومتری شمال غرب تسوج، استان آذربایجان شرقی واقع می‌باشد. مهمترین واحدهای سنگی این منطقه، ماسه‌سنگهای قرمز، ماسه‌سنگهای سبز- خاکستری، شیل و مارن (میوسن) هستند. براساس شواهد صحرایی و بررسیهای سنگ‌نگاری، رسوبات میزبان در یک محیط مجاور جزر و مدی که با محیط سبخایی همراه بوده، ته‌نشست شده‌اند. کانی‌سازی مس در این منطقه به‌صورت چین‌سان در ماسه‌سنگهای درشت‌دانه سبز- خاکستری احیایی رخ داده و شامل کانیهایی نظیر کالکوسیت، کوولیت، بورنیت، کالکوپیریت، مالاکیت و آزوریت می‌شود. با توجه به یافته‌های به‌دست آمده، کنترل کانی‌سازی در این منطقه در ارتباط با رخساره رسوبی ماسه‌سنگی و تمرکز مواد ارگانیکی است. تلفیق نتایج حاصل از بررسیهای صحرایی، سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری نشان‌دهنده آن است که عواملی چون دسترسی به لیگاندهای کلریدی، حضور مقادیر بالای تمرکز مواد ارگانیکی، فرآیندهای دیاژنتیک، عملکرد مارن‌ها و شیل‌ها به‌عنوان سد زمین‌شیمیایی و وجود سیستم‌های گسلی، نقش اصلی را در رخداد کانی‌سازی مس در منطقه چشمه‌کنان ایفا نموده‌اند. نتایج به‌دست آمده، گویای آن است که کانی‌سازی مس در این منطقه شباهت زیادی به کنسارهای مس رسوبی تیپ طبقات قرمز دارد.

واژه‌های کلیدی: کانی‌سازی مس، چشمه‌کنان، دیاژنز، مواد ارگانیکی، چین‌سان.

### مقدمه

زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور [۳] است. در این تحقیق به تفصیل با استفاده از شواهد صحرایی، مطالعات سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری به بررسی مسائل یاد شده پرداخته شده است.

### روش مطالعه

این پژوهش در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام گردیده است. در بخش صحرایی پس از بازدیدهای مقدماتی و انجام پیمایشهای زمین‌شناسی، مبادرت به نمونه‌گیری (به تعداد ۸۰ نمونه) در ۳ نیم‌رخ عمود بر کانی‌سازیهای مس و سنگهای درون‌گیر آنها گردید. در بخش آزمایشگاهی تعداد ۳۰ مقطع نازک و ۲۰ مقطع صیقلی از کانی‌سازیهای یاد شده و سنگهای درون‌گیر آنها تهیه شد و مورد مطالعه قرار گرفت. در این بخش برای شناسایی فازهای کانیاپی نامشخص مبادرت به

منطقه چشمه‌کنان، به مختصات جغرافیایی  $10^{\circ} 10' 45''$  تا  $10^{\circ} 13' 45''$  طول شرقی و  $38^{\circ} 20' 00''$  تا  $38^{\circ} 20' 24''$  عرض شمالی، در فاصله ۱۵ کیلومتری شمال غرب شهر تسوج از توابع شهرستان شبستر و در ۱۳۵ کیلومتری غرب تبریز، استان آذربایجان شرقی واقع گردیده است. حضور کانی‌سازیهای گسترده‌ای از مس به شکل چین‌سان در داخل طبقات ماسه‌سنگی سبز- خاکستری میوسن از جالبترین و چشم‌گیرترین سیماهای زمین‌شناسی اقتصادی این منطقه محسوب می‌گردد. علی‌رغم وجود این کانی‌سازی گسترده، تاکنون مطالعات جامعی در خصوص روند این کانی‌سازی، ژنز، سازوکارها و عوامل مؤثر در تشکیل آنها صورت نگرفته و تنها اطلاعات موجود از این منطقه مربوط به مطالعات زمین‌شناسی ناحیه‌ای [۱ و ۲] و اکتشافات چکشی توسط سازمان

(۱) واحد  $M^{CL}$ : این واحد از کنگلومرای ضخیم لایه تشکیل شده که پایه رسوبات میوسن را نیز در منطقه تشکیل می‌دهد، رنگ هوازده آن قرمز رنگ بوده و ضخامتی بالغ بر ۱۰۰ متر دارد.

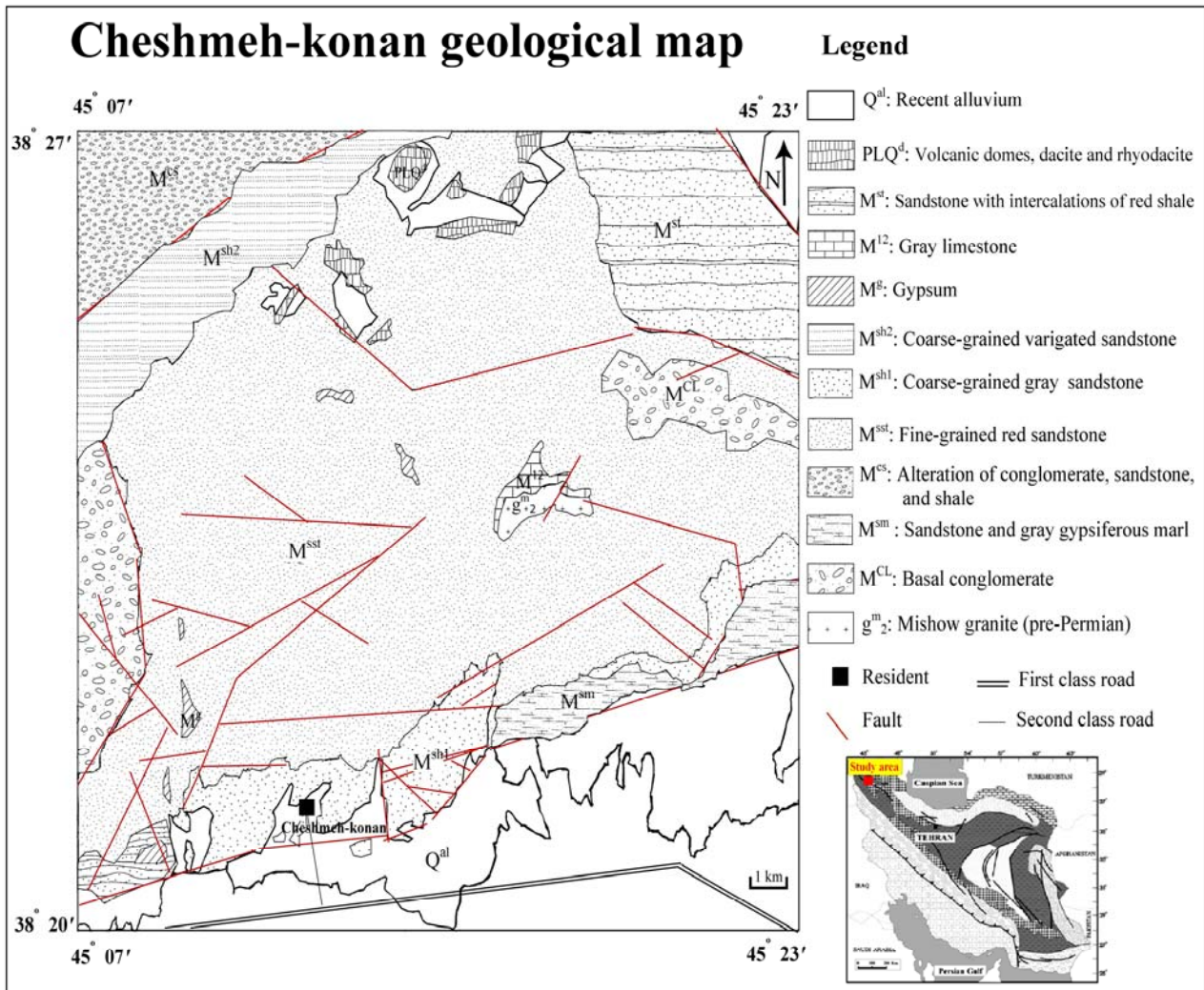
(۲) واحد  $M^{sst}$ : این واحد از ماسه‌سنگهای قرمز رنگ و طبقات تبخیری (ژیپس و هالیت) به صورت بین‌لایه‌ای تشکیل شده است. واحد یاد شده نسبت به سایر واحدهای میوسن از گستردگی قابل‌ملاحظه‌ای برخوردار و دارای لایه‌بندی منظمی است. رسوبات این واحد به صورت متناوب و بین‌لایه‌ای با واحدهای  $M^{sh1}$  و  $M^{sh2}$  قرار دارند (شکل ۱). به‌طور کلی این واحد بزرگ که به نام طبقات قرمز معروف است، فاقد کانی‌زایی مس می‌باشد.

انجام آنالیز پراش پرتو X (XRD) به تعداد ۱۲ نمونه در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور گردید.

بحث و بررسی

مطالعات صحرایی

منطقه چشمه‌کنان در روند شمال غربی زون تکتونیکی سنندج-سیرجان، بخشی از زمین‌ساخت ایران مرکزی را تشکیل می‌دهد و یا مرتبط با زون خوی-ماکو می‌باشد [۴]. در محدوده مورد مطالعه اغلب واحدهای زمین‌شناسی مربوط به دوره زمانی میوسن است که با واحد کنگلومرای آغاز شده و به ماسه‌سنگها ختم می‌شوند (شکل ۱). مهمترین واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه عبارتند از:



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه. برگرفته از [۲ و ۶] با اندکی تغییرات

سبز- خاکستری با میان‌لایه‌های نازک شیل و مارن غنی از مواد آلی تشکیل شده است. ترکیبات مس (مخصوصاً مالاکیت) در این واحد نیز دیده می‌شوند، اما مقدار کانی‌زایی سولفیدی مس در آن نسبت به واحد  $M^{sh1}$  به مراتب ضعیفتر است. ستون چینه‌شناسی منطقه چشمه‌کنان در شکل ۲ نشان داده شده است.

(۳) واحد  $M^{sh1}$ : این واحد از ماسه‌سنگ سبز- خاکستری به همراه میان‌لایه‌های نازک شیل و مارن غنی از مواد آلی تشکیل شده است. در منطقه مورد مطالعه این رسوبات به صورت توالی و بین‌لایه‌ای با واحدهای  $M^{sst}$  و  $M^{sh2}$  قرار دارند. در این واحد ترکیبات غنی از مس مشاهده می‌گردد.  
(۴) واحد  $M^{sh2}$ : این واحد همانند واحد  $M^{sh1}$  از ماسه‌سنگ

Periods	Age	Formation	Lithologies	Generalized sulfide zoning	Descriptions	
Quaternary		Qal			Recent alluvium	
Miocene		PLQv			Volcanic domes, dacite and rhyodacite	
	Messinian	Mst M <sub>12</sub>			Sandstone with intercalations of red shale Gray limestone	
	Tortonian	Msst		↑ Red beds Redox boundary ↓ Gray beds	Msst: Fine-grained red sandstone with intercalations of gypsum and salt	
	Serravallian				Msh <sub>2</sub> : Coarse-grained gray sandstone	
	Langhian				Msh <sub>1</sub> : Coarse-grained gray sandstone with intercalations of shale	
	Burdigalian	Mcl	Basal conglomerate			
	Aquitainian	Msm	Sandstone and gray gypsiferous marl with intercalations of limestone and conglomerate			
Cretaceous	Sauvannian	K				Limestone, sandstone and shale
	Gallic					
Permian basement					Mishow granite (pre-Permian)	

شکل ۲. ستون چینه‌شناسی منطقه چشمه‌کنان و موقعیت افق‌های احیایی کانه‌دار

طبقات احیایی و هم در طبقات قرمز فرو دیواره می‌باشد [۱۳]، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷]. در ذخیره چشمه‌کنان طبقات قرمز فرودپواره از رسوبات آواری قرمز رنگ ریزدانه تشکیل شده‌اند و تحت عنوان واحد  $M^{sst}$  معرفی گردیده‌اند. طبقات سبز-خاکستری شامل ماسه‌سنگ و شیل به صورت میان‌لایه‌اند. در قسمت بالایی تحت عنوان واحدهای ماسه‌سنگی  $M^{sh1}$  و  $M^{sh2}$  نام‌گذاری شده‌اند.

مطالعات سنگ‌نگاری نشان می‌دهند که ماسه‌سنگهای میوسن در این منطقه به طور عمده حاوی کانیهای کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم، میکا، خرده‌سنگ و چرت می‌باشند. این اجزا (که احتمالاً حاصل تخریب و هوازدهی سنگهای رسوبی و آذرین مثل دیوریت و گابرو می‌باشند) توسط سیمان کربناته (کلسیت و دولومیت) با تبلور اسپاری (۳ تا ۵ درصد)، اکسیدهای آهن (۲ تا ۳ درصد) و رس‌ها (۴ تا ۱۰ درصد) به هم متصل شده‌اند. کوارتزها متشکل از دانه‌های آواری زاویه‌دار تا نیمه‌گرد شده با میانگین قطری بین ۰/۱۵ تا ۰/۵ میلی‌متر کانی اصلی (۵۵ تا ۶۵ درصد) ماسه‌سنگها می‌باشند. همچنین خرده‌سنگهای رسوبی از نوع چرت و میکا از ترکیبات اصلی این سنگها محسوب می‌شوند.

بررسیهای میکروسکوپی حکایت از آن دارند که میزان فلدسپار (پلاژیوکلاز، آلبیت و ارتوکلاز)، در این سنگها بالا بوده، به طوری که اغلب ماسه‌سنگها دارای جورشدگی خوب و بلوغ بافتی مناسبی هستند. رخساره سنگی آنها بر اساس طبقه‌بندی فولک [۱۸] در محدوده لیت‌آرنایت، ساب لیت‌آرنایت و ساب‌آرکوز قرار می‌گیرد (شکل ۳). تصاویر میکروسکوپی از ماسه‌سنگهای دانه‌درشت (طبقات سبز-خاکستری)، جانیشینی دولومیت دانه‌درشت به جای فلدسپارها در ماسه‌سنگهای ساب لیت‌آرنایتی (شکل ۴-الف)، و همچنین حضور کالکوسیت همراه با بیوتیت و کوارتز در ماسه‌سنگهای ساب‌آرکوزیک (شکل ۴-ب) و جانیشینی کلریت توسط مالاکیت در اطراف رخ و حاشیه دانه‌ها (شکل ۴-ت) را به وضوح نشان می‌دهند.

#### کانه‌نگاری، ساخت و بافت

مهمترین کانیهای سولفیدی موجود در نهشته مس چشمه‌کنان عبارتند از پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت و کوولیت. این کانیها به صورت بافتهای دانه‌پراکنده،

کانی‌سازی در منطقه به دلیل هوازدهی سطحی سولفیدهای مس در سطح رخنمونهای سنگی، به شکل کانیهای کربناته مس شامل مالاکیت و آزوریت گسترش یافته و مقدار کانی مالاکیت بیشتر از آزوریت است. مطالعات ساختاری محدوده چشمه‌کنان حاکی از حضور سیستم‌های گسلی متعدد دارد که واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه را تحت تأثیر قرار داده‌اند. روند واحدهای سنگی منطقه در برخی نقاط بر اثر عملکرد گسلها دچار تغییر شده است. تعدادی از این گسلها عمیق بوده و ادامه آنها تا پی‌سنگ کشیده شده است. از مهمترین این گسلها در منطقه مورد بررسی می‌توان به گسل تسوج- میشو و گسل چشمه‌کنان- توپچی اشاره کرد [۴، ۵، ۶ و ۷]. مهمترین رخداد زمین‌شناسی مربوط به این ناحیه که به کانی‌سازی فلزی منجر گردیده است، فاز کوه‌زایی آسترین (Austrian) می‌باشد [۴]. عملکرد این فاز سبب تشکیل طبقات قرمز بالایی شده است. به دنبال آن عملکرد فاز بزرگ کوه‌زایی پاسادین، سازندها را در برخی مناطق از جمله منطقه مورد مطالعه به شدت تغییر داده و موجب چین‌خوردگیهای شدید در آنها شده است [۴]. این ساختارهای خطی به دلیل ویژگیهای خاص خود که عمدتاً گسلهایی با شیب تند می‌باشند، به نظر می‌رسد معبری مناسب برای عبور سیالات محبوس فسیلی بوده‌اند و منجر به رخداد دگرسانیها و کانزاییهای گسترده در این منطقه شده‌اند. براساس مطالعاتی که بر روی اغلب نهشته‌های مس رسوبی دنیا صورت پذیرفته، علاوه بر این کانال‌های عبوری، حضور توده‌های نفوذی نیز می‌تواند عامل مهمی در برقراری چرخه سیالات محبوس فسیلی محسوب گردد [۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲]، اما در منطقه چشمه‌کنان توده نفوذی (گرانیت میشو) موجود در منطقه که سنی قبل از پرمین داشته و واحدهای رسوبی میوسن به صورت دگرشیبی بر روی آن قرار گرفته‌اند [۲]، به دلیل قدیمی‌تر بودن نمی‌توانند نقشی در برقراری چرخه سیالات داشته باشند. زون‌های کانی‌سازی شده در این منطقه به شکل چینه‌سان بوده و دارای ضخامتی متغیر بین ۰/۱ تا ۱ متر و طولی متغیر از ۳ تا ۱۰ متر می‌باشند.

#### سنگ‌نگاری

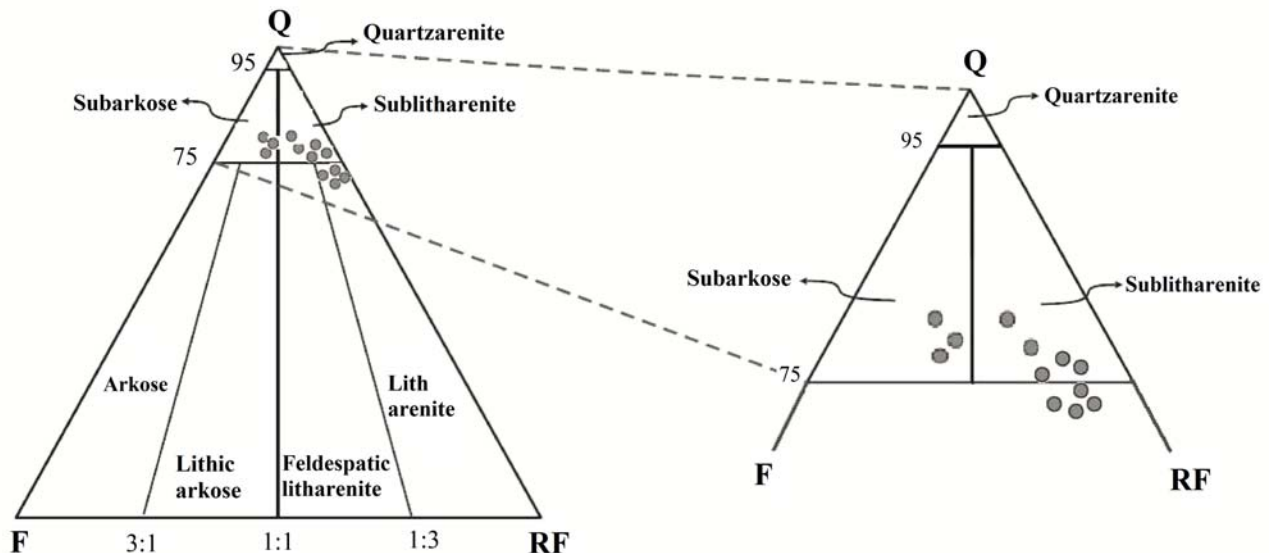
تعیین شرایط کانی‌سازی کانسارهای مس چینه‌سان با سنگ میزبان رسوبی نیازمند مطالعات گسترده هم در سنگ میزبان

کانی‌شناسی، تشکیل و تمرکز کانه‌زایی در چشمه‌کنان در ۴ مرحله، (۱) رسوب‌گذاری، (۲) دیاژنز، (۳) تغییر شکل تکتونیکی و (۴) اکسیداسیون برون‌زاد صورت گرفته است.

جانشینی، سیمان میان‌دانه‌ای و درزه‌های انحلالی دیده می‌شوند که در بخش‌های بعدی به آنها اشاره خواهد شد.

مراحل تشکیل و تکوین کانه‌زایی

بر اساس مطالعات کانه‌نگاری و بررسی ساخت و بافت و



شکل ۳. موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار سه متغیره کوآرتز (Q)، فلدسپار (F) و خرده سنگ (RF) [۱۷۸].

دانه‌پراکنده وجود دارند (کوچکتر از ۱ سانتی‌متر) که به نظر می‌رسد از نوع سین دیاژنتیک بوده و در بین رسوبات تحکیم نیافته اولیه تشکیل شده‌اند. به نظر می‌رسد که در نهشته مس چشمه‌کنان دانه‌های پراکنده پیریت در مراحل اولیه دیاژنز تشکیل شده‌اند سپس در مرحله بعدی سیالات حاوی مس، در برخورد با پیریت، مس را جای‌گزین کرده و کانه‌های سولفیدی کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت به‌صورت بافت جانشینی تشکیل داده‌اند. در مواردی بقایای پیریت‌های اولیه هنوز مشاهده می‌گردد (شکل ۴-د).

مرحله تشکیل سولفیدهای آهن- مس و سولفیدهای مس (Ore-stage)

مرحله عمده کانی‌زایی ذخیره چشمه‌کنان با سولفیدهای افشان قابل تشخیص است. سولفیدهای مس اولیه به‌صورت سیمان در ماسه‌سنگ‌های سبز- خاکستری تشکیل شده‌اند و به‌ندرت با چشم غیر مسلح قابل تشخیص هستند. شواهد کانه‌نگاری حکایت از آن دارند که زون‌های مینرالیزه در منطقه

مرحله قبل از کانه‌زایی: پیریت، سولفید قبل از کانی‌سازی (Pre-ore Stage)

بخش‌های کانی‌سازی نشده و احیایی ماسه‌سنگ‌های سبز- خاکستری دارای دو نسل مختلف پیریت هستند (شکل ۴: ۱) پیریت‌های ریز و خودشکل افشان (Disseminated) (در اندازه ۱۵ میکرون) (شکل ۴-ث، ۴-ج و ۴-چ) که غالباً در اطراف مواد ارگانیکی به‌علت احیا شدن محیط حضور داشته و مربوط به مرحله تشکیل کانه هستند و (۲) پیریت‌های فرامبوئیدال (Frambooidal) با اندازه‌های معمول ۲۵ میکرون تا ۱ میلی‌متر و یا بزرگتر (شکل ۴-ح و ۴-خ) و تجمعات بلوغ‌یافته آنان که مربوط به مراحل اولیه دیاژنز و قبل از کانی‌سازی بوده و به احیای محیط و ایجاد سیال احیایی کمک نموده‌اند. تجمع بالای پیریت‌های بسیار دانه‌ریز در مجاورت مواد ارگانیکی دیده می‌شود که به احتمال زیاد فعالیت غیراکسیدی و احیاء سولفات باکتریایی را پیشنهاد می‌کند. در کنار انبوهه‌هایی با بافت تمشکی، انبوهه‌های نودولی شکل از پیریت‌های بسیار دانه‌ریز نیز در فضای بین‌دانه‌ای دارای بافت

بورنیت است (شکل ۵-۵، د، ۵-۵ و ۵-۵ ر) و به صورت جانشینی در پیریت فرامبوئیدال نسل اول، پیریت دانه پراکنده (بقایای پیریت‌های اولیه در شکل ۴-د)، سیمان کلسیتی (شکل ۵-۵ ب)، دانه‌های فلدسپار دگرسان شده (شکل ۴-ر) و همچنین به صورت سیمان میان‌دانه‌ای دیده می‌شود. این نوع کالکوسیت به صورت دانه پراکنده و در بخش‌های غنی از فسیل گیاهی تشکیل شده است. ۲) نسل دوم کالکوسیت از تبدیل کالکوپیریت و بورنیت جانشین شده در فسیلهای گیاهی و در طی عملکرد فرآیندهای برون‌زاد (Supergene) از دگرسانی سولفیدهای مس به وجود آمده است (شکل ۵-د). نکته قابل ذکر آن است که کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت نیز جانشین پیریت‌های تشکیل شده در مرحله قبلی (اوائل دیاژنز) شده‌اند.

در بافت سیمان میان‌دانه‌ای که حالت خاصی از بافت دانه پراکنده است، فضای بین‌دانه‌های سنگ میزبان توسط سولفیدهای مس اشباع شده پر شده است. این سولفیدها اطراف دانه‌های آواری (کوارتز و فلدسپار) تجمع یافته‌اند [۱۹]. بافت سیمان میان‌دانه‌ای در نهشته مس چشمه‌کنان در بخش‌های با تمرکز بالای سولفید و غنی از فسیل گیاهی مشاهده می‌گردد (شکل ۴-د و شکل ۵-ح و ۵-خ).

بورنیت به طور عمده همراه کالکوپیریت مشاهده می‌گردد. این کانی به شکل دانه‌های پراکنده نامنظم و همچنین به صورت اشکال کاذب بعد از پیریت شکل‌دار بسیار دانه‌ریز قابل رؤیت است. دانه‌های نامنظم بورنیت معمولاً خلل و فرج بین‌دانه‌ای اولیه و دیاژنتیکی تأخیری را پر کرده‌اند. بر اساس رنگ، دو نوع مختلف بورنیت قابل تشخیص است: ۱) بورنیت صورتی (شکل ۵-خ) که معمولاً غنی از گوگرد بوده و ۲) بورنیت بنفش (شکل ۵-د) که فقیر از گوگرد و غنی از مس می‌باشد [۲۲]. هر دو نوع بورنیت منطقه‌بندی خاصی از خود نشان نمی‌دهند ولی نوع صورتی در بخش‌های بالایی فراوانتر است.

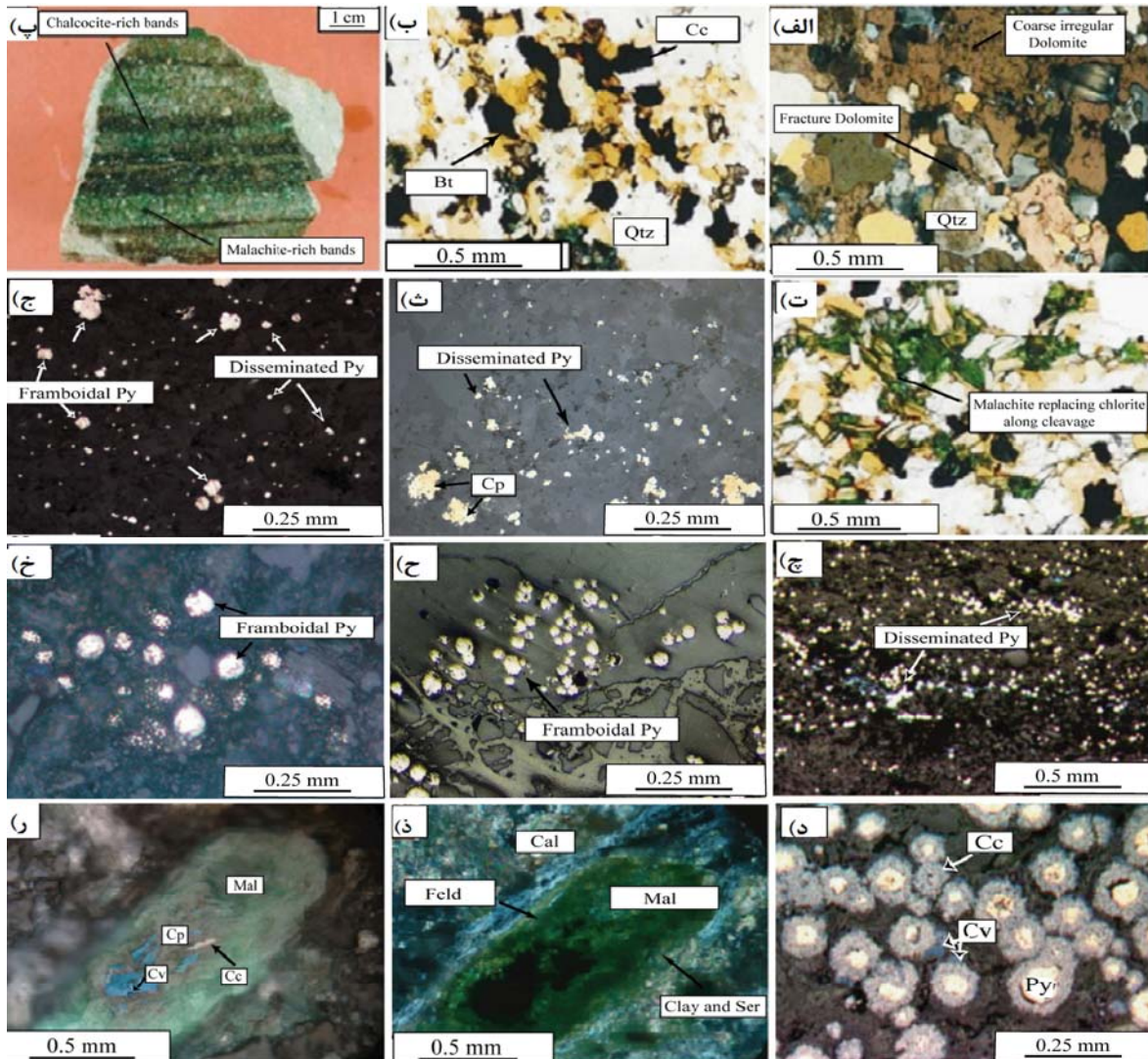
بعضاً بورنیت صورتی شکل در هم‌بافته (intergrowth Weave) را با کالکوپیریت نشان می‌دهد (شکل ۵-خ). بر اساس براون [۲۲] و رز [۲۳] چنین ترکیب برای بورنیت می‌تواند یک حالت نیمه‌پایدار "مس طبقات قرمز" باشد که در ابتدا در طی تبلور سریع در دماهای پایین تشکیل شده است. در مقاطع میکروسکوپی بورنیت صورتی رنگ معمولاً در تماس با کالکوپیریت ظاهر می‌شود (شکل ۵-خ) و جایی که کالکوسیت

به چهار فرم توسعه یافته‌اند: ۱) حضور در حفرات حاصل از انحلال دانه‌های فلدسپار (شکل ۴-ذ و ۴-ر)، ۲) پرکننده فضاهای خالی ناشی از انحلال فشاری توسط دیاژنز با بافت درزه انحلالی (شکل ۵-الف و ۵-ب)، ۳) جانشینی سولفیدهای مس در ساختارهای سلولی فسیلهای گیاهی (شکل ۵-ت، ۵-ث، ۵-ج و ۵-چ) و ۴) به صورت سیمان میان‌دانه‌ای (نوعی از بافت جانشینی) به طوری که فضای بین دانه‌های سنگ میزبان توسط سولفیدهای مس اشباع شده (Impregnant copper sulphide) پر شده و این سولفیدها در اطراف دانه‌های آواری (کوارتز و فلدسپار) تجمع یافته‌اند [۱۹]. (شکل ۵-ح، ۵-خ و ۵-د). همچنین فرارگیری سولفیدهای مس اولیه در فضای خالی میان‌دانه‌ها به صورت سیمان بین‌دانه‌ای می‌تواند بافت دانه پراکنده ایجاد کند [۲۰] که در نهشته مس چشمه‌کنان دیده می‌شود. بافت جانشینی مهمترین و غالبترین بافت موجود در این نهشته است.

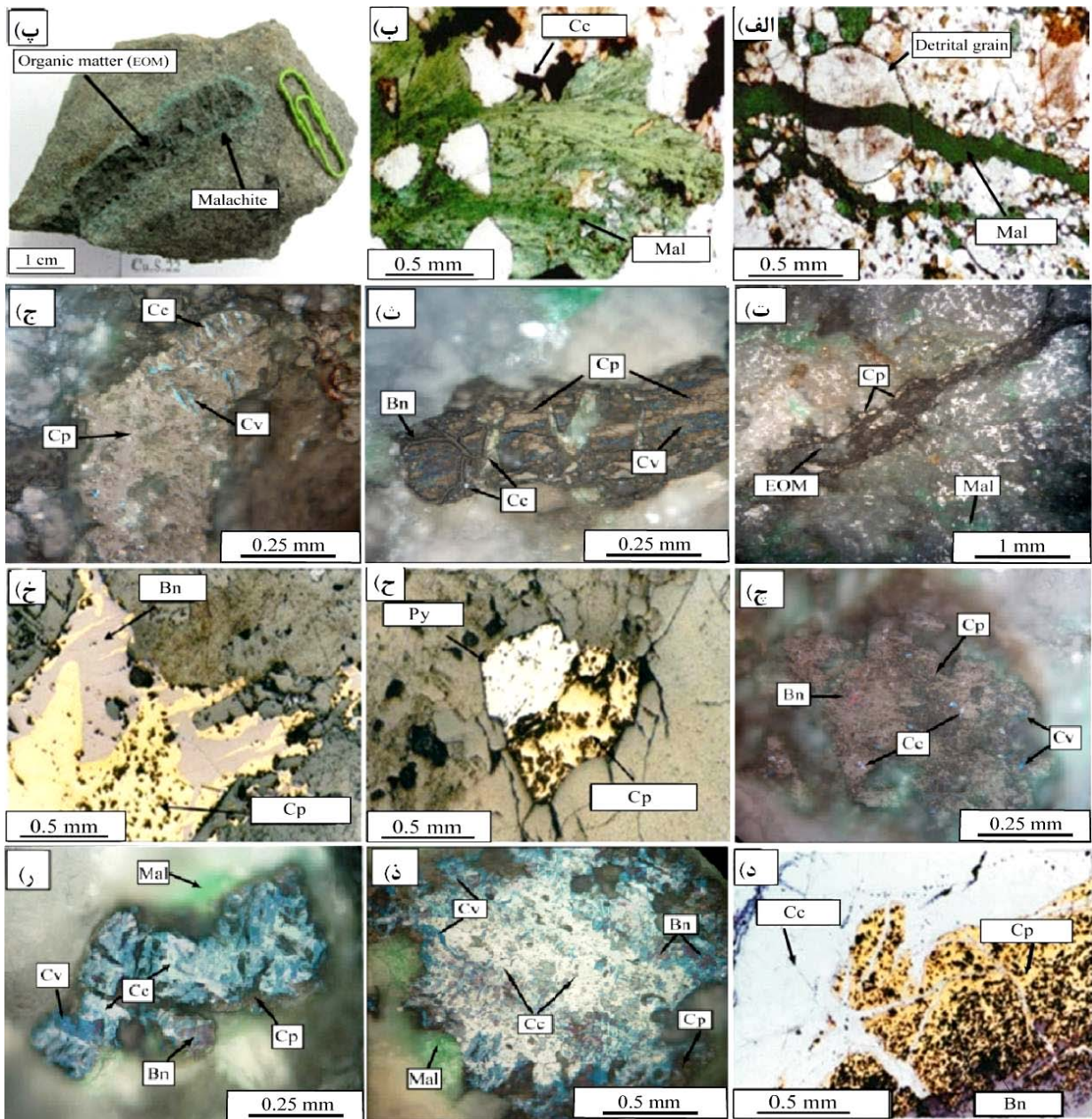
سولفیدهای مس (کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت) مشخصاً در مراحل نهایی دیاژنز به صورت بافت جانشینی تشکیل شده‌اند. کوولیت کانی ثانویه بوده و از دگرسانی سایر سولفیدهای مس به وجود آمده است. با توجه به بررسیهای کانه‌نگاری، سولفیدهای مرحله تشکیل کانه به ترتیب تشکیل توالی پاراژنزی به قرار زیرند (شکل ۲): کالکوپیریت- بورنیت- کالکوسیت.

در تمام کانیهای سولفیدی مانند پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت و نیز کانیهای غیرسولفیدی مانند مالاکیت و آزوریت، بافت جانشینی که بافت اصلی در نهشته مس چشمه‌کنان است، مشاهده می‌گردد. شرایط احیایی حاصل از مواد آلی، محیط مناسبی برای تشکیل و جانشینی کانیهای سولفیدی در آنها ایجاد نموده است [۲۱]. چنین شرایطی باعث جانشینی کالکوپیریت و بورنیت، به جای سولفیدهای گیاهی به صورت رگه‌چه‌های بزرگ (شکل ۵-ت، ۵-ث، ۵-ج و ۵-چ) و همچنین سبب جانشینی داخل پیریت (شکل ۵-ح) شده است. سولفیدهای غنی‌تر از مس نظیر بورنیت و کالکوسیت در میان کالکوپیریت به صورت بافت جانشینی به وضوح قابل تشخیص هستند (شکل ۵-خ و ۵-د). کالکوسیت (کانی اصلی سولفیدی موجود در نهشته مس چشمه‌کنان) نیز همانند پیریت دو نسل دارد: ۱) نسل اول که در طی فرآیند کانه‌زایی تشکیل شده و شبیه کالکوپیریت و

در حواشی بورنیت قرار دارد، بورنیت بنفش رنگ (غنی از مس) مشاهده می‌گردد (شکل ۵-د).



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی ماسه‌سنگ‌های دانه‌درشت (طبقات سبز- خاکستری). الف) جان‌شینی دولومیت دانه‌درشت به جای فلدسپارها در ماسه‌سنگ‌های ساب‌لیت‌آرنایتی (نور xpl). ب) حضور کالکوسیت همراه با بیوتیت و کوارتز در ماسه‌سنگ‌های ساب‌آرکوزیک (نور ppl). پ) تصویر مزوسکوپی از کانی‌زایی کالکوسیت چینه‌سان و مالاکیت در داخل ماسه‌سنگ‌های ساب‌آرکوزیک. ت) جان‌شینی کلریت توسط مالاکیت در اطراف رخ و حاشیه دانه‌ها (نور ppl). ث) پیریت دانه‌ریز دارای بافت پراکنده یا افشان (Disseminated) و بافت جان‌شینی کالکوپیریت موجود در داخل پیریت دانه‌ریز. ج) پیریت دانه‌ریز دارای بافت پراکنده یا افشان و پیریت‌های دانه‌درشت‌تر دارای بافت تمشکی که در متن سنگ میزبان ساب‌آرکوزی پراکنده شده‌اند. چ) پیریت‌های دارای بافت پراکنده یا افشان که در متن سنگ میزبان ساب‌آرکوزی توزیع شده‌اند. ح و خ) پیریت‌های دارای بافت تمشکی یا فرامبوئیدال (Framboidal)، (نور انعکاسی xpl). د) تشکیل کالکوسیت و کوولیت به صورت بافت جان‌شینی در اطراف پیریت‌های اولیه (سین‌دیاژنتیک). ذ) جان‌شینی مالاکیت داخل فلدسپار و تشکیل کانی‌های رسی از دگرسانی فلدسپار اولیه (نور xpl). ر) کانی‌سازی مس به فرم کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت و مالاکیت (نور انعکاسی xpl). علائم اختصاری به کار رفته عبارتند از: Qtz: کوارتز، Feld: فلدسپار، Bt: بیوتیت، Cc: کالکوسیت، Cv: کوولیت، Cp: کالکوپیریت، Ser: سرسیت، و Mal: مالاکیت.



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی و مزوسکوپی ماسه‌سنگهای دانه‌درشت (طبقات احیایی). الف) بافت درزه انحلالی حاصل از انحلال فشاری در فرآیند دیاژنز داخل کوارتز آواری که توسط مالاکیت پر شده است (نور xpl). ب) تشکیل کالکوسیت و بلورهای شعاعی مالاکیت در ماسه‌سنگهای ساب‌آرکوزیک (نور xpl). پ) کانی‌زایی مالاکیت در اطراف مواد ارگانیکی در اثر دگرسانی برون‌زاد. ت) کانی‌سازی کالکوپیریت در اطراف مواد ارگانیکی که در اثر دگرسانی سطحی به مالاکیت و آزوریت تبدیل شده است. ث) پاراژنز کانیایی سولفیدی مس به صورت بافت جانیشینی در ماسه‌سنگ ساب‌آرکوزیک و لیت‌آرنایتی. ج) پاراژنز کانیایی سولفیدی مس به صورت بافت جانیشینی در ماسه‌سنگ ساب‌آرکوزیک. چ) پاراژنز کانیایی سولفیدی مس به صورت بافت جانیشینی در ماسه‌سنگ ساب‌آرکوزیک. ح) جانیشینی کالکوپیریت داخل پیریت در ماسه‌سنگهای ساب‌آرکوزیک. خ) جانیشینی کالکوپیریت توسط بورنیت در ماسه‌سنگهای ساب‌آرکوزیک. د) جانیشینی کالکوسیت داخل کالکوپیریت و بورنیت. ذ و ر) پاراژنز کانیایی سولفیدی مس به صورت بافت جانیشینی به ترتیب در ماسه‌سنگ ساب‌آرکوزیک و لیت‌آرنایتی. علایم اختصاری به کار رفته عبارتند از: Cc: کالکوسیت، Cv: کولیت، Bn: بورنیت، Cp: کالکوپیریت، Py: پیریت، Mal: مالاکیت و EOM: مواد ارگانیکی. تمامی تصاویر به جز الف و ب در نور پلاریزه انعکاسی و به صورت xpl تهیه شده‌اند.



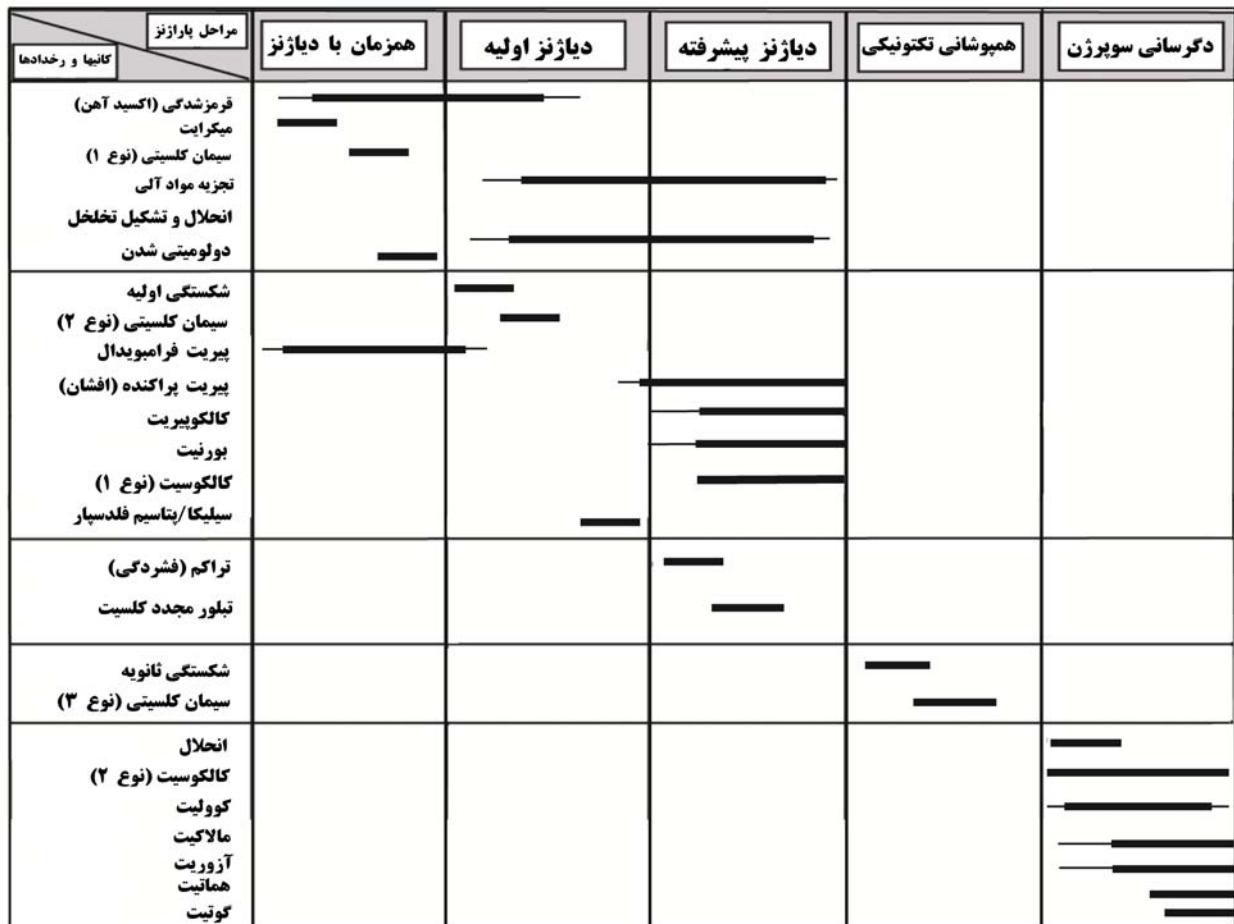
**مرحله بعد از تشکیل کانه (Post-ore)**

جانشینی کانی‌های مرحله تشکیل کانه (ore-stage) در ماسه‌سنگ‌های سبز- خاکستری با وقوع فرآیند سیلیسی شدن که به از بین رفتن خلل و فرج و نفوذپذیری منجر شده، به پایان رسیده است. وقایع بعد از تشکیل کانه به دیاژنز تدفینی پیشرفته، هم‌پوشانی تکتونیکی (شامل درزه و شکافهای فاز تأخیری سنگ میزبان) و دگرسانی برون‌زاد وابسته است (شکل ۶). سیلیسی شدن بعد از تشکیل کانه شامل کوارتز و به مقدار کمتر فلدسپار پتاسیم است که در طی تراکم تدفینی عمیق، حفظ شده‌اند. تغییر شکل تکتونیکی فاز کوه‌زایی پاسادین مربوط به مرحله بعد از تشکیل کانه (post-ore) در ذخیره چشمه‌کنان بسیار حایز اهمیت است. اکسیداسیون سطحی به مقدار فراوانی به صورت مالاکیت و آزوریت در رخنمونهای کانی‌سازی شده و نیز به صورت گوتیت و سایر اکسیدهای آهن (مخصوصاً واحد  $M^{sh2}$ ) در جایی که این واحدها حاوی پیریت هستند، به وضوح دیده می‌شود. به طور کلی کانی‌سازی برون‌زاد شامل کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) می‌باشد. مالاکیت و به مقدار کمتر آزوریت در حاشیه کانه‌های کالکوپیریت، بورنیت، کولیت و کالکوسیت تشکیل شده‌اند و شکافهای داخل ماسه‌سنگها را اشغال نموده‌اند (شکل ۵- ذ و ۵- ر). در مقاطع میکروسکوپی گوتیت محصول فرعی جانشینی برون‌زاد سولفیدهای مس حاوی آهن نظیر کالکوپیریت و بورنیت است. نوارهایی از مالاکیت تقریباً به موازات لایه‌بندی سنگ میزبان در بخش بالایی واحدهای احیایی کانه‌زایی شده تشکیل شده‌اند. این نوارها، بافت‌های درزه انحلالی (Solution seams) حاصل از انحلال دانه‌های آواری نظیر کوارتز هستند که سولفیدهای مس در میان آنها باقی مانده‌اند و در مرحله برون‌زاد به مالاکیت تبدیل شده‌اند (شکل ۵- الف و ۵- ب). این گونه درزه‌های انحلالی پس از مرحله دیاژنز اولیه و پیش از دیاژنز تأخیری، در جهت عمود بر فشار بار لیتوستاتیک و در سطوحی موازی با لایه‌بندی سنگ میزبان تشکیل شده‌اند [۲۴]. در اثر فشار بار لیتوستاتیکی، ذرات قابل حل به صورت شیمیایی انحلال پیدا می‌کنند و در صورت وجود اجزای غیرقابل انحلال، این ذرات در میان دانه‌های انحلال یافته (فضای درون درزه‌های انحلالی) باقی می‌مانند. این اجزای غیر قابل حل می‌توانند کانی سولفیدی و یا مواد آلی باشند [۲۴].

با توجه به مشاهدات کانه‌نگاری توالی پاراژنزی را می‌توان به صورت زیر ترسیم کرد (شکل ۶: ۱). مرحله سین‌ژنتیک (برای وقایع دیاژنتیکی بدوی بوده که در رسوبات به محض ته‌نشین شدن و در طی تدفین خیلی کم عمق آنها به وجود آمده است)، ۲) مرحله دیاژنز اولیه (در طی مراحل تدفینی با عمق متوسط اعمال شده است)، ۳) مرحله دیاژنز پیشرفته (در طی تدفین عمیق رسوبات به وجود می‌آید)، ۴) به دنبال مراحل یاد شده اثر فعالیتهای تکتونیکی (تغییر شکل، درزه‌ها و شکستگیها) که در اثر فاز کوه‌زایی پاسادین در منطقه به وجود آمده است و ۵) در نهایت دگرسانی‌های برون‌زاد تأخیری که در سنگ میزبان و کانی‌سازی موجود به وقوع پیوسته است. در شکل ۶ خلاصه‌ای از روابط زمانی، وقایع و مشخصات ویژه سنگ میزبان در طی کانی‌زایی مرحله تشکیل کانه‌ها و سایر جانشینیهای کانیایی که در مطالعات میکروسکوپی مشخص گردیده، نشان داده شده است.

**نقطه شماری ماسه‌سنگ‌های مینرالیزه**

نتایج نقطه‌شماری و ابعاد اندازه دانه‌ها برای ماسه‌سنگ‌های کانی‌سازی شده در جدول ۱ نشان داده شده است. تقریباً اغلب دانه‌های فلدسپار دچار دگرسانی شده‌اند و تنها تعداد معدودی از آنها دستخوش دگرسانی نگشته‌اند (جدول ۱). در بین ۶ نمونه مطالعه‌شده، درصد بالاتر فلدسپارهای دگرسان شده با مقدار بالای مس همخوانی دارند (شکل ۷- الف). اندازه دانه‌ها در بین ۶ نمونه ماسه‌سنگی بازه‌ای از ۰/۳۲ تا ۰/۵۵ میلی‌متر را نشان می‌دهد. به طور عمده این بازه کوچک اندازه دانه به ماهیت خوب جورشدگی ماسه‌سنگ‌های چشمه‌کنان وابسته است. در میان این بازه کوچک، ارتباطی نسبی بین اندازه دانه و محتوای مس وجود دارد. بدین صورت که نمونه‌های با اندازه دانه بزرگتر (۰/۵۵ میلی‌متر) دارای مقادیر بالاتری از مس (۶/۲٪) هستند (جدول ۱ و شکل ۷- ب). مقدار کلسیت در نمونه‌های مورد مطالعه متغیر بوده و بعضاً به ۴/۲٪ می‌رسد (جدول ۱). همچنین، نتایج نقطه‌شماری بین نسبت مواد ارگانیکی و مقدار مس آشکار می‌کند که نمونه‌های با مقدار بالاتر مواد ارگانیکی دارای بالاترین مقدار مس هستند (شکل ۷- پ). درصد رسهای اولیه بازه‌ای بین ۴ تا ۱۰ درصد را نشان می‌دهد. در کل به نظر می‌رسد که رابطه معکوسی بین درصد مقدار رس و مقدار مس در نمونه‌ها وجود دارد (شکل ۷- ت).

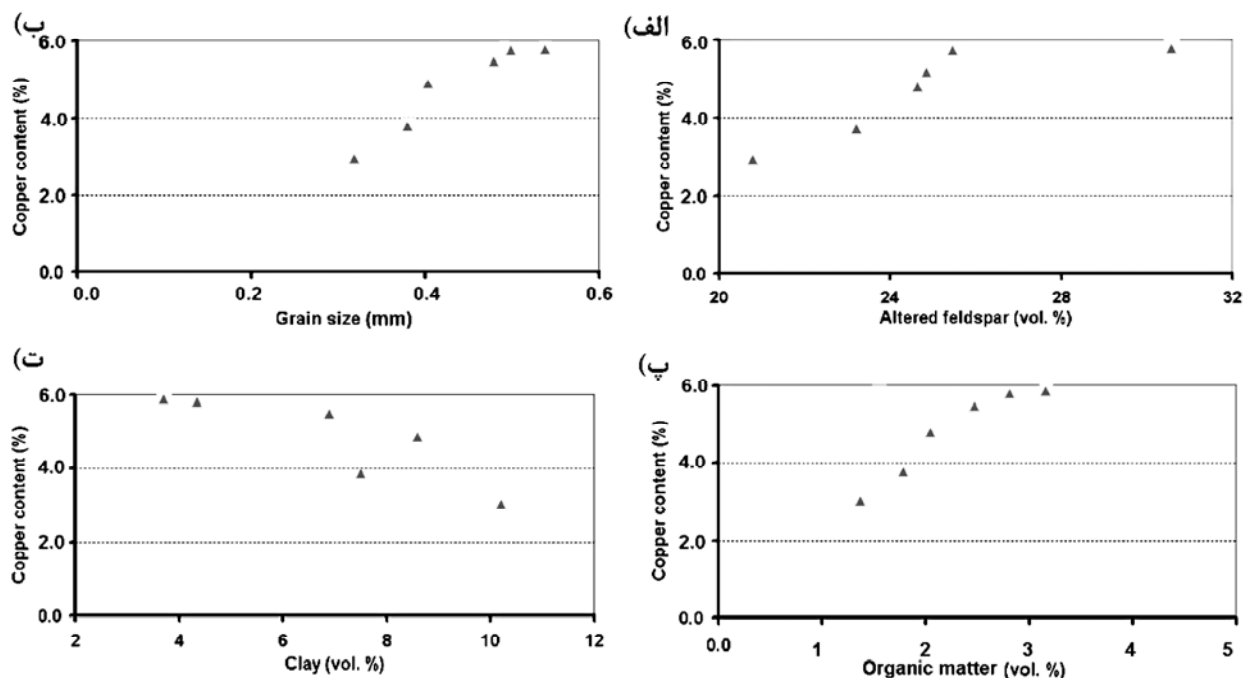


شکل ۶. سکانس کانیایی تشکیل شده و وقایع همراه با آن در ذخیره مس چشمه‌کنان. محور افقی از چپ به راست عبارتند از: (۱) مرحله سین دیاژنز (اثرات اولیه دیاژنز) که در رسوبات بعد از ته‌نشست و تدفین بسیار کم عمق به وجود آمده است. (۲) مرحله دیاژنز اولیه (محیط تدفین با عمق متوسط). (۳) مرحله دیاژنز پیشرفته (تدفین عمیق). (۴) مرحله وقایع کوه‌زایی - تکتونیکی و (۵) مرحله دگرسانی برون‌زاد سنگ میزبان. محور عمودی وقایع سنگ‌نگاری و کانیهایی تشکیل شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱. نقطه‌شماری و اندازه ابعاد دانه‌ها در ۶ نمونه از ماسه‌سنگهای چشمه‌کنان.

نمونه	مقدار مس (%)	نقطه‌شماری (درصد حجمی)												
		DQ	AQ	FF	AF	Por	SC	SR	LF	Mi	Cl	OM	Cal	GS
Cu.s1	۲/۸	۵۲/۴	۳/۸	۰/۴	۲۱/۱	۱/۱	۱/۷	۱/۱	۵/۵	۰/۴	۱۰/۲	۱/۴	۰/۹	۰/۳۲
Cu.s7	۵/۹	۵۰/۸	۲/۶	۰/۹	۲۶/۷	۲	۴/۷	۱/۲	۲/۲	۱/۱	۴/۲	۲/۹	۰/۷	۰/۵
Cu.s11	۵/۶	۴۸/۳	۲/۷	۰/۵	۲۵/۳	۱/۴	۳/۸	۱/۸	۲/۴	۰/۹	۷/۱	۲/۴	۳/۴	۰/۴۸
Cu.s19	۴/۷	۴۹/۸	۳/۳	۰/۴	۲۴/۹	۱/۴	۴	۰/۷	-	۱/۱	۸/۷	۲	۳/۶	۰/۴
HR.s3	۶/۲	۴۵	۲/۴	۰/۷	۳۰/۹	۱/۷	۵/۶	۰/۴	۱/۵	۰/۹	۳/۹	۳/۲	۳/۸	۰/۵۵
HR.s4	۳/۹	۵۱	۳/۸	۱/۴	۲۳/۳	۰/۷	۳/۲	۰/۷	۱/۶	۰/۹	۷/۶	۱/۷	۴/۲	۰/۳۸

DQ: کوارتز آواری، AQ: کوارتز درج‌ازا، FF: فلدسپار فاقد دگرسانی، AF: فلدسپار دگرسان‌شده، Por: تخلخل، SC: کانیهایی سولفیدی پرکننده حفرات یا تخلخل اولیه، SR: کانیهایی سولفیدی جایگزین دانه‌های آواری یا سیمان دیاژنتیکی، LF: خرده‌سنگ، Mi: میکا، Cl: رس، OM: مواد ارگانیکی، Cal: کلسیت، GS: اندازه دانه بر حسب میلی‌متر.



شکل ۷. نمودارهای مربوط به روابط بین اختلاف اندازه دانه‌ها، ترکیب ماسه‌سنگهای چشمه‌کنان و مقدار مس موجود در آنها براساس نقطه‌شماری و اندازه ابعاد دانه. الف) نمودار رابطه بین درصد فلدسپارهای دگرسان‌شده و مقدار مس. ب) نمودار رابطه بین اندازه دانه و مقدار مس. پ) نمودار رابطه مقدار مواد ارگانیکی و مقدار مس. ت) نمودار دو متغیره مقدار رس در برابر مقدار مس.

#### منشأ

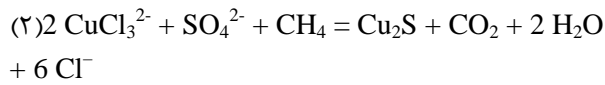
با توجه به مطالعات انجام شده، منشأ مس در طبقات فرودیواره، چگونگی انتقال آن و نیز مراحل مختلف ته‌نشست و مدل کانی‌سازی را می‌توان به صورت زیر برای ذخیره چشمه‌کنان تشریح کرد:

**منشأ مس:** منشأ مس در این گونه ذخایر، طبقات قرمز با نفوذپذیری بالا و اکسید شده می‌باشند که در بخشهای تحتانی و یا به صورت بین‌لایه‌ای با طبقات احیایی نهشته‌های مس چینه‌سان قرار دارند [۲۵، ۲۶، ۲۷ و ۲۸]. این طبقات به طور معمول حاوی کانیهای ناپایداری نظیر پیروکسن، بیوتیت، هورنبلند، مگنتیت و فلدسپار می‌باشند و کانیهای یادشده حاوی مقادیر جزئی از مس هستند [۲۹، ۳۰ و ۳۱]. در کانسارهای مس رسوبی و در طی فرآیند دیاژنز اولیه، هیدرولیز کانیهای سیلیکاتی مانند پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت موجب آزاد شدن آهن موجود در شبکه آنها، به صورت هیدروکسید آهن فریک (پیش‌ماده اولیه هماتیت) می‌گردد که با تجمع در پیرامون دانه‌های آواری، باعث سرخ‌شدن رسوبات در مراحل اولیه دیاژنز می‌شود [۳۱]. همچنین، در طی دیاژنز اولیه و در اثر تخریب مواد آلی، اسید هومیک ایجاد می‌شود و در محیط

اسیدی ناشی از آن، تخریب برخی از کانیهای سیلیکاتی ادامه می‌یابد. در اثر تخریب کانیهای سیلیکاتی، جان‌شینی پلاژیوکلاز توسط فلدسپار پتاسیم درج‌ازا و نیز شسته‌شدن بیوتیت، عناصر فلزی موجود در شبکه آنها آزاد و این عناصر توسط هیدروکسیدهای آهن و اسمکتیت موجود در زمینه رسی ماسه‌سنگ، جذب می‌شوند [۱۵]. در مراحل بعدی دیاژنز، طی تبلور و بلوغ اکسیدهای آهن بی‌شکل و تبدیل آنها به هماتیت [۳۱] و همچنین تبدیل اسمکتیت به ایلیت، محتوای فلزی درون این کانیها، از جمله مس، آزاد و وارد سیال اکسیدان می‌شوند و می‌توانند توسط آن حمل شوند. به نظر می‌رسد رخداد چنین سازوکاری در تشکیل نهشته مس چشمه‌کنان محتمل باشد.

**انتقال مس:** سیالات محبوس کلریدی با منشأ دریایی یا تبخیری که از دیاژنز طبقات قرمز نشأت گرفته‌اند، به عنوان حمل‌کنندگان مس در این ذخیره در نظر گرفته می‌شوند. تشکیل کمپلکس‌های قوی بین مس و یون کلر، در شورابه‌های دمای پایین در بسیاری از مطالعات زمین‌شیمیایی بررسی شده است [۸، ۱۴، ۲۸، ۳۲ و ۳۳]. با توجه به این مطالعات،

می‌پیوندند [۳۲]:

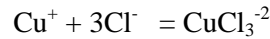
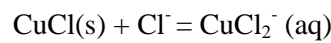


فعالیت گسلها و عملکرد شورابه به کاهش گرادیان حرارتی منجر شده، به طوری که به بلوغ دمایی مواد ارگانیکی انجامیده است. این فرآیند موجبات تجزیه بافت‌های چوبی فسیل‌شده را باعث شده است. تشکیل گرافیتوئیدها در ذخیره، شاهد محکمی دال بر تجزیه مواد ارگانیکی به واسطه عمل شورابه است. در کانه یا بافت مواد ارگانیکی، تنوع سولفیدهای مس به شرایط متفاوت  $fO_2$ ،  $fS_2$ ، غلظت‌های نسبی آهن و مس در محلول و حلالیت وابسته به دما بستگی دارد [۳۹]. بر اساس شکل ۲، کمپلکس‌های مس در ابتدا و سپس کمپلکس‌های آهن حلالیت خود را از دست داده‌اند، به طوری که در ابتدا مجموعه کانیهای غنی از مس (کالکوسیت و بورنیت) در واحد  $M^{sh1}$  تشکیل شده‌اند. همان طوری که محلولها در حالت پیش‌رونده از مس تهی شده‌اند، بورنیت-کالکوپیریت، کالکوپیریت-پیریت و در نهایت پیریت در افق‌های بالاتر ته‌نشست نموده‌اند (واحد  $M^{sh2}$ ). منطقه‌بندی کالکوسیت-بورنیت-کالکوپیریت-پیریت همچنین می‌تواند از تهی‌شدگی تدریجی مس در طی جریان رو به بالای سیال کانه‌دار به وجود آمده باشد. عملکرد واحدهای شیلی و مارنی در بخش‌های بالایی زون‌های کانی‌سازی شده به عنوان سدهای زمین‌شیمیایی (به علت نفوذپذیری پایین)، مانع از عبور و نفوذ بیشتر سیال حاوی کمپلکس‌های کلریدی به سمت بالای سیستم گردیده و در نهایت ته‌نشست بیشتر مس را سبب گردیده است. کنترل‌کننده‌های زمانی و کانی‌زایی این شرایط را فراهم می‌آورند که کانی‌سازی سولفیدی مس چینه‌سان چشمه‌کنان را مدل‌سازی نماییم. کانی‌سازی در چشمه‌کنان در بهترین حالت توسط مدل اختلاط سیال بعد از مرحله کوه‌زایی (post-orogenic) قابل توجیه است.

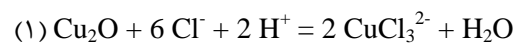
### نتایج

مهمترین نتایج حاصل از بررسی‌های صحرائی، سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری در ذخیره مس چشمه‌کنان تسوج به قرار زیر است: ۱- کانی‌سازی مس در این منطقه به شکل کالکوپیریت، بورنیت، کوولیت و کالکوسیت و همچنین در رخنمون‌های سطحی در اثر اکسیداسیون به شکل مالاکیت و آزروریت رخ داده است. توسعه زون‌های کانی‌سازی شده در منطقه به شکل

مهمترین کمپلکس‌های کلریدی تشکیل‌شونده در شورابه‌های محبوس طبقات قرمز را می‌توان به شرح زیر نام برد [۳۴]:



آب‌شویی مس از سنگ منشأ طبقات قرمز فرودیواره در مقادیر pH پایین می‌تواند توسط واکنش زیر توجیه گردد [۳۲]:



به دنبال واکنش یادشده، باید منشأی برای شورابه قائل شد تا این‌که مس را انتقال دهد. تبخیریهایی که معمولاً به صورت بین‌لایه‌ای همراه با طبقات قرمز قرار دارند، می‌توانند منشأ چنین شورابه‌هایی در نظر گرفته شوند [۲۳]. از آنجایی که اکسیدهای آهن موجود در ماسه‌سنگها، می‌توانند روینده‌های (Scavengers) خیلی خوبی برای مس باشند، به نظر می‌رسد که تحرک مس در تشکیل زون‌های مینرالیزه در این منطقه به واسطه دسترسی مس به لیگندهای کلریدی و تشکیل کمپلکس‌های کلریدی بوده است. شورابه‌های کلریدی حاصل از تراکم و دیازنز، مس را از کانیهای مس‌دار طبقات قرمز موجود شسته و به واسطه نفوذپذیری بالای ماسه‌سنگها و حضور سیستم‌های گسلی فراوان، به بخش بالایی سکانس رسوبی منتقل کرده‌اند.

**کانی‌سازی و تجمع مس:** تخریب کمپلکس‌های کلریدی مس در بین سدهای سولفیدی هیدروژن ( $\text{H}_2\text{S}$ ) حاصل از تجزیه مواد ارگانیکی باعث ته‌نشست مس به فرم سولفیدهای هیپوزن در این منطقه شده است. گازهای احیاکننده ( $\text{H}_2\text{S}$ ،  $\text{CH}_4$ ) و  $\text{H}_2$  حاصل از تجزیه مواد ارگانیکی نقش بسیار مهمی را در این زمینه ایفا نموده‌اند [۳۵]. کمپلکس‌های کلریدی حاوی مس بعداً با گوگرد احیایی (پیریت،  $\text{HS}^-$  و  $\text{H}_2\text{S}$ ) مواجه شده و در نتیجه جانشین پیریت سین‌دیازنتیک گشته‌اند [۳۶ و ۳۷]. این مواد ارگانیکی توسط واکنش‌های ردوکس (Redox reactions) که مس‌وول ته‌نشست کانه هستند، مصرف می‌گردند. منشأ اصلی سولفیدهایی که به شکل پیریت‌های افشان دانه‌ریز در سنگ میزبان احیایی یافت می‌گردند، می‌تواند به علت احیای سولفات توسط مواد کربن‌دار و یا فعالیت باکتریایی در رسوبات باشد [۳۸]. یون سولفات معمولاً در شورابه‌های حاصل از تبخیریه‌ها فراوان بوده و می‌تواند محلولهای اکسیدی غنی از مس را تشکیل دهد. جایی که این شورابه‌ها با سیالات احیایی مخلوط شوند، واکنش زیر به وقوع

و پیشنهادهای ارزنده و سازنده داوران محترم مجله سپاس‌گزاری می‌نمایند.

#### منابع

- [۱] افتخارنژاد ع.، " نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی چهارگوش تبریز- پلدشت به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۰).
- [۲] خدابنده ع. ا.، امینی فضل ع.، " نقشه زمین‌شناسی چهارگوش تسوج به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۲).
- [۳] زارعی راد م.، خدابنده ع. ا.، "گزارش پایان عملیات اکتشاف تکمیلی مس چشمه‌کنان تسوج"، وزارت صنایع و معادن کشور، استان آذربایجان شرقی، (۱۳۸۶).
- [۴] آقباتی ع.، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی ایران، (۱۳۸۳) ۶۰۶ ص.
- [۵] مختاری د.، "نقش فعالیت‌های تکتونیکی در تکامل مخروط افکنه‌های دامنه شمالی میشوداغ، شمال غرب ایران"، فضای جغرافیایی، شماره ۵ (۱۳۸۱).
- [۶] مختاری د.، "پژوهشی در اثرات ژئومورفولوژیکی گسل شمالی میشو و آسیب‌پذیری سکونت‌گاه‌های واقع در مسیر آن"، طرح تحقیقاتی دانشگاه تبریز، (۱۳۸۳).
- [۷] مختاری د.، "تحلیل زمین‌ساخت رسوبی چاله تکتونیکی و در حال گسترش مرند"، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰ (۱۳۸۶).

[8] Brown A. C., "Refinements for footwall red-bed diagenesis in the sediment-hosted stratiform copper deposits model", *Economic Geology* 100 (2005) 765-771.

[9] Brown A. C., "Genesis of native copper lodes in the Keweenaw district, northern Michigan: A hybrid evolved meteoric and metamorphogenic model", *Economic Geology* 101 (2006) 1437-1444.

[10] Brown A. C., "A process-based approach to estimating the copper derived from red beds in the sediment-hosted stratiform copper deposit model", *Economic Geology* 104 (2009) 857-868.

[11] Hitzman M., Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J., Selly, D., "The sediment-hosted stratiform copper ore system", In: 100th Anniversary volume. Society of Economic Geologists (2005) 609-642.

چینه‌سان بوده و در داخل ماسه‌سنگهای درشت دانه سبز- خاکستری رخ داده است.

۲- رخساره ماسه‌سنگهای میزبان زون‌های کانی‌سازی شده مس در حد ساب آرکوز و لیت‌آرنایت و ساب لیت‌آرنایت می‌باشد.

۳- موقعیت کانی‌سازی در این منطقه در کنترل رخساره رسوبی و تمرکز مواد ارگانیکی است.

۴- مطالعات میکروسکپی حکایت از آن دارند که زون‌های مینرالیزه در منطقه به چهار شکل توسعه یافته‌اند: (۱) حضور در حفرات حاصل از انحلال دانه‌های فلدسپار، (۲) پرکننده فضاهای خالی ناشی از انحلال فشاری توسط دیاژنز با بافت درزه انحلالی، (۳) جاننشینی سولفیدهای مس در ساختارهای سلولی فسیلهای گیاهی و (۴) به‌صورت سیمان میان‌دانه‌ای (نوعی از بافت جاننشینی).

۵- دسترسی به لیگاندهای کلریدی، حضور مقادیر بالای کلاست‌های فسیلی گیاهی، دیاژنز، عملکرد مارن و شیل‌ها به عنوان سد زمین‌شیمیایی و وجود سیستم‌های گسلی از جمله عواملی هستند که نقشی ارزنده در رخداد و توسعه کانی‌سازی منطقه ایفا کرده‌اند.

۶- تشکیل کانیهای مس (مالاکیت) بعد از مرحله دیاژنز اولیه و بعد از تشکیل کانیهای هماتیت، رسها و سیمان کلسیتی، و همچنین قبل از رورشدیهای کوارتز و تراکم رسوبات صورت گرفته است.

۷- منطقه‌بندی گسترده سولفیدهای آهن و مس و همچنین هماهنگی ضعیف با لایه‌بندی نشان می‌دهند که کانی‌زایی بر روی لایه‌های زون انتقالی بعد از ته‌نشست، هم‌پوشانی شده است. کاهش نفوذپذیری و تخلخل رسوبات میزبان به‌واسطه نئومورفیسم و سیمانی‌شدن، پیدایش سیالات حاوی فلز را محدود ساخته است.

۸- با توجه به نتایج به‌دست آمده به نظر می‌رسد که کانی‌سازی مس در منطقه چشمه‌کنان شباهت زیادی به کانسارهای مس رسوبی تیپ طبقات قرمز دارد.

#### تشکر و قدردانی

نویسندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه ارومیه برخوردار بوده‌اند، لذا شایسته است نهایت سپاس و قدردانی خود را ابراز دارند. همچنین از نظرات

- [24] Durieux C. G., Brown A. C., "Geological context, mineralization, and timing of the Juramento sediment-hosted stratiform copper-silver deposit, Salta district, northwestern Argentina", *Mineralium Deposita* 42 (2007) 879–899.
- [25] White D. E., "Environments of generation of some basemetal ore deposits", *Economic Geology* 63 (1968) 301-335.
- [26] Lustwerk R. L., Rose A.W., "Source and segregation of transition metals during diagenetic formation of the Redstone stratiform copper deposit, Mackenzie Mountains, Northwest Territories, Canada", *Geological Society of America, Abstracts with Program* 15 (1983) 632p.
- [27] Brown A. C., "An epigenetic origin for stratiform Cd-Pb-Zn sulphides in the lower Nonesuch Shale, White Pine, Michigan", *Economic Geology* 69 (1974) 271-274.
- [28] Brown A. C., "Alternative sources of metals for stratiform copper deposits", *Precambrian Research* 25 (1984) 61–74.
- [29] Zielinski A., Bloch S., Walker T. R., "The mobility and distribution of heavy metals during the formation of first cycle red beds", *Economic Association of Canada, Special Paper* 36 (1983) 710p.
- [30] Walker T. R., "Formation of red beds in modern and ancient deserts", *Geological Society of America, Bulletin* 78 (1967) 281–282.
- [31] Walker T. R., "Application of diagenetic alterations in redbeds to the origin of copper in stratiform copper deposits", *Geological Association of Canada Special Paper* 36 (1989) 85–96.
- [32] Rose A. W., "The effect of cuprous chloride complexes in the origin of red-bed copper and related deposits", *Economic Geology* 71 (1976) 1036–1048.
- [33] Sillen G. L., Martell A. E., "Stability constants of metal ion complexes", *Spec. Publ. Chem. Soc. London* 17 (1964) 754p.
- [34] Mesmer R. E., Baes C. F., "The hydrolysis of cations; a critical review of hydrolytic species and their stability constants in aqueous solution", *Oak Ridge Natl. Lab. ORNL-NSF-EATC-3* (1974) Part 3.
- [35] Zhuang H., Ran C., He, M. et al., "Interactions between copper, salt and organic matter and the formation of sandstone-hosted copper deposits", *Acta Geologica Sinica* 70 (1996) 162-172.
- [12] Hitzman M. W., Selley D., Bull S., "Formation of Sedimentary Rock-Hosted Stratiform Copper Deposits through Earth History", *Economic Geology* 105 (2010) 627–639.
- [13] Brown A. C., "World-class sediment-hosted stratiform copper deposits: characteristics, genetic concepts and metallotects", *Australian Journal Earth Science* 44 (1997a) 317–328.
- [14] Brown A. C., "Global-scale constraints on the formation of sediment-hosted stratiform copper deposits", *Proceedings, International Cornet symposium, Mons* (1997b) 93–102.
- [15] Brown A. C., "Redbeds: source of metals for sediment-hosted stratiform copper, sandstone copper, sandstone lead, and sandstone uranium-vanadium deposits", *Geol Assoc Can Geotext* 4 (2003) 121–133.
- [16] Boyle R. W., Brown A. C., Jefferson C. W., Jowett E. C., Kirkham R.V., "Sediment-hosted stratiform copper deposits", *Geological Association of Canada, Special Paper* 36 (1989) 710p.
- [17] Kirkham R.V., "Sediment-hosted stratiform copper", *Geol Surv Can Geol Canada* 8 (1995) 223–240.
- [18] Folk R. L., "Petrology of Sedimentary Rocks", *Hemphill's Book Store. Austin, Texas* (1980) 185p.
- [19] MacIntyre T. J., "Fault-controlled hydrocarbon-related bleaching and sediment-hosted copper mineralization of the Jurassic Wingate sandstone at the Cashin Mine, Montrose county, Colorado", *M.S thesis, Department of Geology and Geological Engineering* (2005).
- [20] Asael D., Matthews A., Oszczepalski S., Bar-Matthews M., Halicz L., "Fluid speciation controls of low temperature copper isotope fractionation applied to the Kupferschiefer and Timna ore deposit", *Chemical Geology* 262 (2009) 147-158.
- [21] Subias I., Fanlo I., Mateo J., "A model for the diagenetic formation of sandstone-hosted copper deposits in Tertiary sedimentary rocks, Arago'n (NE Spain): S/C ratios and sulphur isotope systematic", *Ore Geology Reviews* 23 (2003) 55–70.
- [22] Brown A. C., "Zoning in the White Pine copper deposit, Ontonogan County, Michigan", *Economic Geology* 66 (1971) 543–573.
- [23] Rose A. W., "Mobility of copper and other heavy metals in sedimentary environments", *Geol Assoc Can Special Paper* 36 (1989) 97–110.

*orebody of the Zambian Copperbelt*", Geological Association of Canada Special Paper 36 (1989) 499-518.

[39] Liu J., Li C., Zhang Q., Pan J., Liu Y., Liu X., Liu S., Yang W., "Wood cell texture from Jinman copper deposit in west Yunnan and its genesis significance ", Science in China 31(2001) 89-95.

[36] Lur'ye A. M., "Formation conditions of copper-sandstone and copper-shale deposits", Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag (1986) 477-491.

[37] Sutton S. J., Maynard J. B., "A fluid mixing model for copper mineralization at Konkola North, Zambian Copperbelt", Journal of African Earth Sciences 42 (2005) 95-118.

[38] Sweeney M. A., Binda P. L., "The role of diagenesis in the formation of the Konkola Cu-Co