

الگوی پیدایش کانسار مس میاندشت، خاور میامی: بر پایه شواهد زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی

فاطمه اسماعیلی^۱، فردین موسیوند^{۱*}، محمود صادقیان^۱ و سیدمهران حیدری^۲

^۱دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
^۲پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

چکیده

کانسار مس میاندشت، در ۱۱۰ کیلومتری خاور شاهرود، ۲۴ کیلومتری شمال باختر عباس‌آباد و در کمربند آتشفشانی سنوزویک شمال ایران مرکزی قرار گرفته است. عمده واحدهای سنگ-چینه‌ای منطقه مورد مطالعه دارای سن ائوسن و شامل گدازه‌های زیردریایی (بازالت، تراکی‌بازالت، آندزیت و تراکی‌آندزیت)، آذرآواری (توف، توف برش، آگلومرا) و مجموعه‌های رسوبی (آهک نومولیت‌دار، آهک توفی، شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا) هستند. کانه‌زایی مس در این منطقه به صورت اپی‌ژنتیک و چینه‌کران در امتداد لایه‌بندی سنگ‌های درونگیر (توف‌برش و آگلومرا با ترکیب آندزیت‌بازالتی و تراکی‌آندزیت‌بازالتی) و نیز در امتداد گسل‌های قطع‌کننده لایه‌بندی سنگ‌های میزبان رخ داده است. بافت‌های عمده ماده معدنی شامل رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده و جانشینی است. ماده معدنی حاوی کانی‌های اولیه کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت و پیریت و کانی‌های ثانویه کوولیت، کالکوسیت ثانویه، مالاکیت، همتایت، گوئیت و آزوریت است. از مهمترین دگرسانی‌های همراه کانه‌زایی می‌توان به دگرسانی کربناتی-سیلیسی، سریسیتی و آرژیلیک و کلریتی اشاره کرد که با نزدیک شدن به بخش کانه‌دار، بر شدت کربناتی و سیلیسی شدن افزوده می‌شود. محیط زمین‌ساختی تشکیل‌توالی میزبان این کانسار با توجه به بررسی‌های ژئوشیمیایی صورت گرفته، محیط کشتی است که در کمان آتشفشانی حاشیه قاره‌ای تشکیل شده است. با توجه به ویژگی‌هایی نظیر محیط زمین‌ساختی، سنگ‌های دربرگیرنده، کانی‌شناسی، کنترل‌کننده‌های کانه‌زایی و انواع دگرسانی‌ها، کانسار مس میاندشت با کانسارهای تیپ مانتو شباهت زیادی نشان می‌دهد و به‌طور عمده در زمان کوهزایی و چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی توالی میزبان تشکیل شده است. گفتنی است ویژگی خاص کانه‌زایی مس میاندشت شامل گسترش دگرسانی آرژیلیک و نبود دگرسانی قابل توجه ژئولیتی، آن را از دیگر کانسارهای مس منطقه از جمله کانسار عباس‌آباد متمایز می‌کند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

مس
 رگه‌ای
 چینه‌کران
 آتشفشانی
 ائوسن
 مانتو
 میاندشت
 شاهرود

۱- پیش‌نوشتار

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در پهنه سبزوار میزبان کانسارها و اندیس‌های متعدد مس از جمله کانسار معدن بزرگ، آسیادیو، لب‌کال، دامن‌جلا در شمال عباس‌آباد و کانسار چغندر سر (شمالی، مرکزی و جنوبی)، مس گورخان، گریگ، نرتلویی، استغانی، گچ‌کنوم، الهاک او ۲ و مس دوجیله در جنوب عباس‌آباد و کال‌ابری، نسیم، زنگالو، دهنه‌سیاه و شریف در شمال درونه است (توسلی و لطفی، ۱۳۸۰؛ طائفی و همکاران، ۱۳۹۲، ۱۳۹۳؛ صالحی و همکاران، ۱۳۹۴؛ ظفرزاده و همکاران، ۱۳۹۶). برای برخی از این کانسارها مثل معدن بزرگ عباس‌آباد الگوی مانتو ارائه شده است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴؛ جباری و همکاران، ۱۳۹۶). بزرگترین کانسارهای مس تیپ مانتو در پهنه سبزوار، کانسارهای مس منطقه عباس‌آباد در خاور شاهرود است. از جمله کانسارهای مس موجود در پهنه سبزوار کانسار مس میاندشت است که در شمال خاور پهنه سبزوار، بین طول‌های جغرافیایی ۵۶°۱۷' تا ۵۶°۲۵'۱۷" و عرض‌های ۳۶°۲۹'۱۵" تا ۳۶°۳۱'۲۴" شمالی در ۱۱۰ کیلومتری خاور شاهرود در استان سمنان

و در ۲۴ کیلومتری شمال‌باختر عباس‌آباد واقع شده است (شکل ۱).

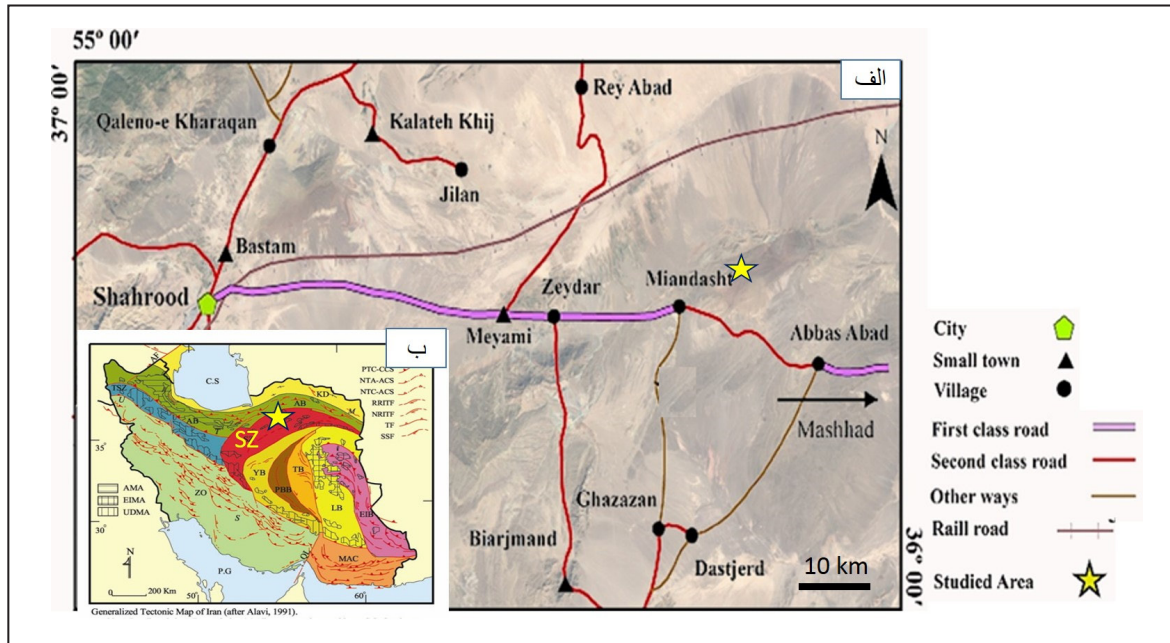
در این پژوهش سعی شده است براساس شواهد زمین‌شناسی صحرایی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی، عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی و الگوی پیدایش و تیپ کانسار مس میاندشت مورد بحث قرار گیرد. امید است نتایج این پژوهش بتواند به عنوان کلید اکتشافی این تیپ کانسار در این پهنه و دیگر نقاط مشابه استفاده شود.

۲- روش پژوهش

بررسی‌های انجام‌شده شامل مطالعه و برداشت‌های دقیق صحرایی به منظور تکمیل نقشه زمین‌شناسی، توالی سنگ‌چینه‌ای، نمونه‌برداری از رخنمون‌های ماده معدنی و مغزه‌های گمانه‌های حفاری بوده است. از رخنمون واحدهای سنگی مختلف، نمونه‌های معرف انتخاب و ۲۸ مقطع نازک-صیقلی و ۱۵ مقطع نازک تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. ساخت و بافت‌ها در مقیاس صحرایی تا میکروسکوپی به دقت برداشت و شکل ماده معدنی مشخص شد. جهت بررسی تغییرات عناصر اصلی و

دگرسان شده در مجاورت ماده معدنی ۴ نمونه به روش پراش اشعه ایکس (XRD) توسط شرکت کانساران بینالود آزمایش شد و توالی پاراژنری کانسار تهیه و ترسیم گردید. در نهایت سعی شد با استفاده از روابط زمین‌شناسی، ساخت و بافتی، دگرسانی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی، الگوی پیدایش و تیپ کانسار مس میاندشت تعیین شود.

عناصر کمیاب تعداد ۱۸ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی و مواد معدنی به منظور انجام تجزیه ICP-MS به شرکت مواد معدنی زرآرما ارسال شد. نتایج ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب در نرم‌افزارهای مختلف مورد تجزیه و تحلیل آماری زمین‌شناسی قرار گرفت. همچنین به منظور شناسایی ترکیب کانیایی در بخش‌های



شکل ۱- الف) موقعیت جغرافیایی کانسار مس میاندشت؛ ب) موقعیت کانسار در پهنه ساختاری سبزوار (SZ).

۳- زمین‌شناسی

مهمترین آنها گسل کال‌آباد است. همچنین در منطقه چین‌خوردگی‌هایی فراوان به صورت تاقدیس و ناودیس دیده می‌شود که از مهمترین آنها می‌توان به ناودیس دوجله و تاقدیس میاندشت اشاره کرد. همچنین، تاقدیس‌ها و ناودیس‌های محلی نیز در این ناحیه وجود دارند که محور بیشتر آنها در جهت شمال خاور- جنوب باختر بوده و تقریباً متقارن هستند (شکل ۲).

بخش عمده واحدهای سنگ‌چینه‌ای محدوده مورد مطالعه شامل واحدهای انوسن است که برحسب جایگاه چینه‌شناسی و تغییرات ترکیب سنگ‌شناسی در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد (خلعتری جعفری، ۱۳۷۱)، از پایین به بالا، به شش واحد اصلی (E1, E2, E3, E4, E5, E6) تقسیم می‌شوند (شکل‌های ۲ و ۳).

واحد E1: به‌طور عمده در برگیرنده کنگلومرای قرمز، ماسه‌سنگ، شیل با گدازه‌های الیون بازالتی، تراکی‌بازالتی و تراکی‌آندزیتی بازالتی است که در قاعده حوضه ابتدا کنگلومرای قرمز تشکیل می‌شود و سپس ژرفای حوضه افزایش می‌یابد و فوران آتشفشانی زیر دریایی رخ می‌دهد.

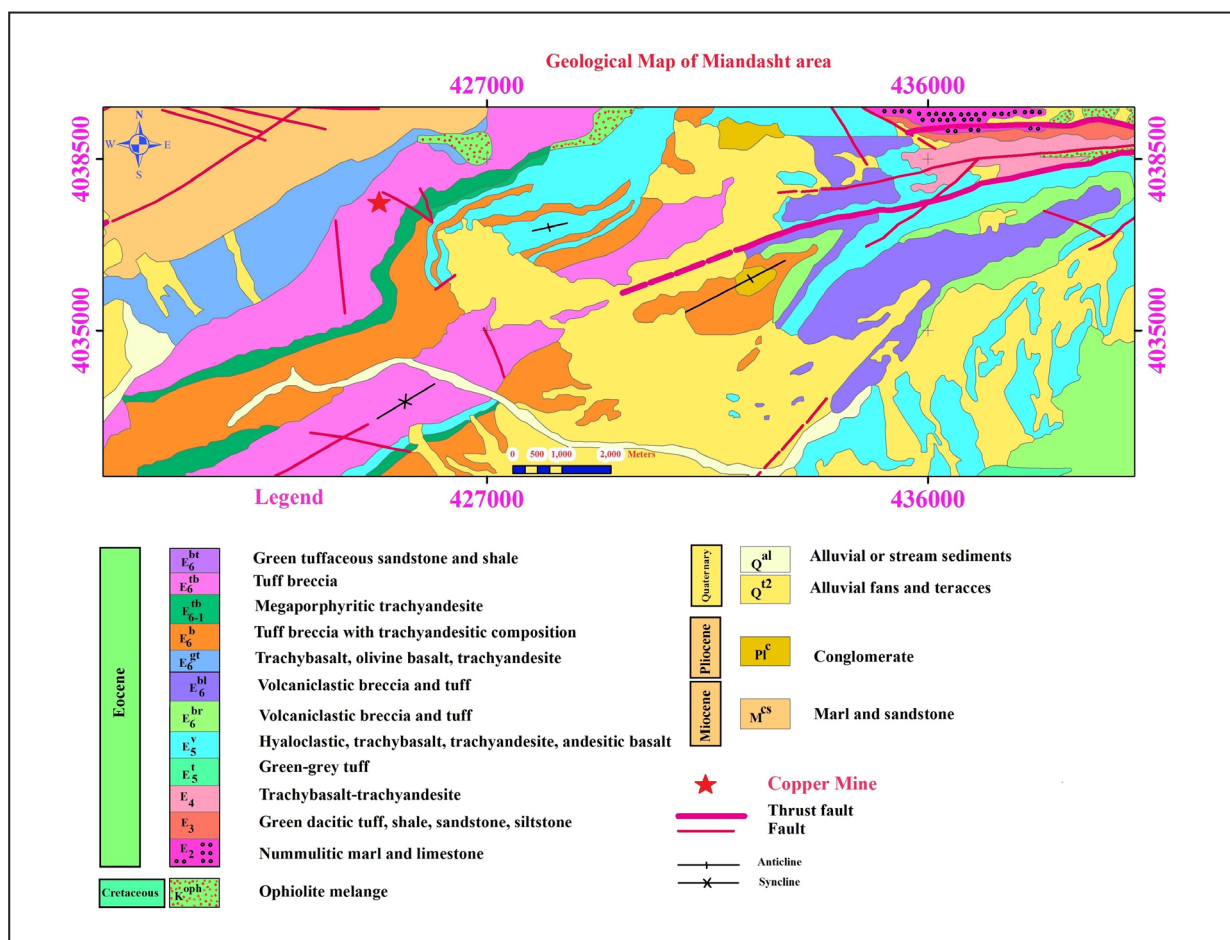
واحد E2: این واحد به‌طور عمده دربرگیرنده گدازه‌های الیون‌بازالتی، تراکی‌بازالتی و تراکی‌آندزیتی بازالتی است.

واحد E3: این واحد شامل تناوبی از توف داسیتی سبز رنگ، سیلتستون، ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک توفی است که نشان‌دهنده حالت تخریبی- انفجاری حوضه است. این واحد، ریخت‌شناسی کم‌ارتفاعی را تشکیل می‌دهد.

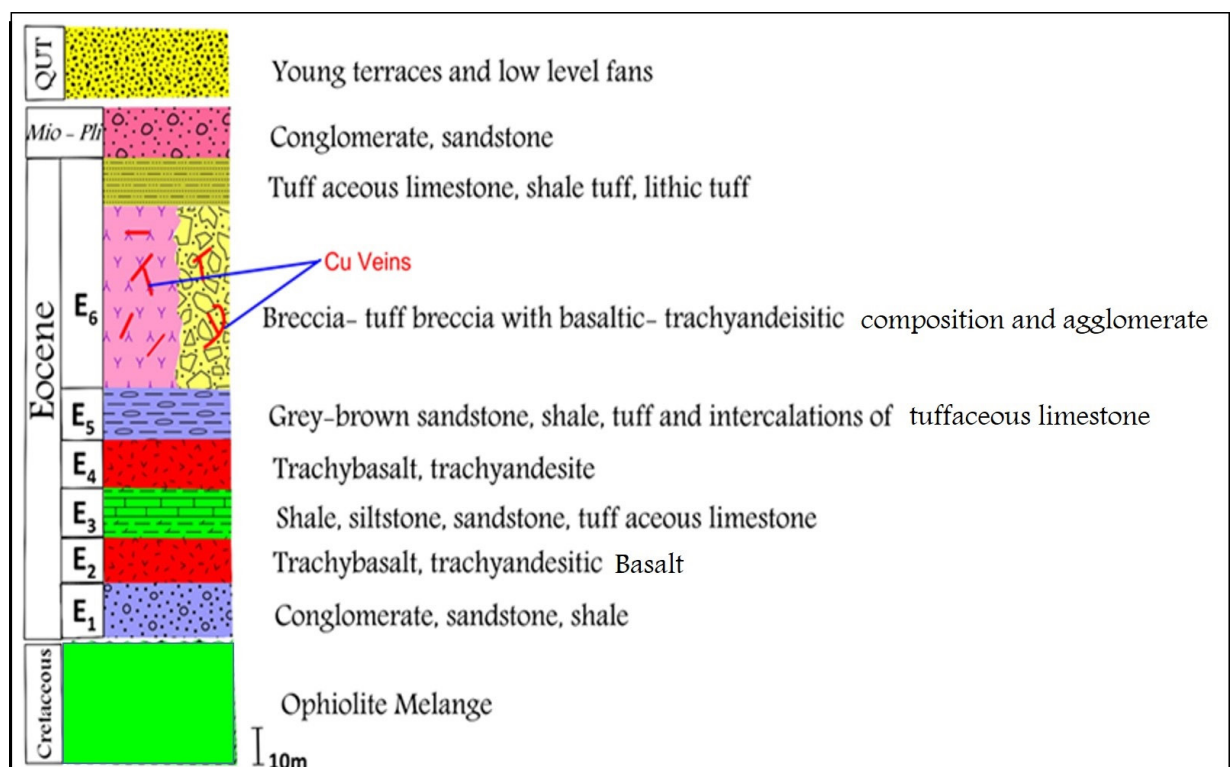
واحد E4: این واحد در برگیرنده گدازه‌های تراکی‌بازالتی تا تراکی‌آندزیتی است. واحد E5: شامل تناوبی از ماسه‌سنگ خاکستری رنگ، توف سبز رنگ همراه با میان‌لایه‌های توف آهکی و سیلتستون است که نشان می‌دهد حوضه حالت تخریبی- انفجاری داشته است. در بالای آن مجموعه‌ای هیالوکلاستیک با ترکیب تراکی‌بازالتی تا آندزیتی‌بازالتی قرار گرفته است.

به‌لحاظ پهنه‌های ساختاری، کانسار مس میاندشت در بخشی از مجموعه سنگ‌های آتشفشانی ترشیری، منسوب به کمان ماگمایی سنوزوییک، که پهنه ایران مرکزی را در بخش شمالی قطع کرده، واقع شده است (شکل ۱). در واقع این ناحیه، در پهنه ساختاری سبزوار، که به لحاظ موقعیت ژئودینامیکی به تکوین اقیانوس نئوتتیس از اواخر مزوزوییک تا انتهای پالئوژن و فرورانش آن به زیر میکرو ورقه‌های قاره‌ای مربوط می‌شود (Dercourt et al., 1986)، واقع است. کانسار مس میاندشت در بخش میانی نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ جاجرم (آقانباتی و افتخارنژاد، ۱۳۷۱) و بخش شمالی ورقه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد (خلعتری جعفری، ۱۳۷۱) در پهنه سبزوار قرار گرفته است. به‌طور کلی این پهنه بیشتر از مجموعه آتشفشانی- رسوبی (پلاژیک) و افیولیتی به سن کرتاسه پسین و سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ترشیری تشکیل شده است (Lindenberg and Jacobshagen, 1983). آقانباتی، ۱۳۴۹). این پهنه به صورت کمربندی متشکل از سنگ‌های آتشفشانی- آذرآواری، همراه با میان‌لایه‌های رسوبی با راستای شمال خاور- جنوب باختر و سن انوسن - الیگوسن است که به‌طور عمده از گدازه‌های آندزیتی- بازالتی، تراکی‌آندزیت، تراکی‌آندزیت- بازالت و کمتر داسیتی و سنگ‌های آذرآواری آندزیتی تشکیل شده و با سنگ‌های رسوبی همچون سنگ‌های آهک نومولیت‌دار همراه هستند (شکل ۲) که نشانه زیردریایی بودن محیط آتشفشانی است.

براساس نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد (خلعتری جعفری، ۱۳۷۱)، مهمترین روندهای ساختاری در این ناحیه مربوط به گسل‌ها بوده که به سه دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول، شامل گسل‌هایی با راستای شمال خاوری - جنوب باختری تا خاوری - باختری است. دسته دوم، گسل‌هایی با روند شمال باختری - جنوب خاوری که به‌طور چیره گسل‌های عادی و یا راست‌لغز است. دسته سوم، گسل‌های با روند شمال خاوری - جنوب باختری تا شمالی - جنوبی هستند که



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ساده شده و تغییر یافته منطقه براساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد (خلعتبری جعفری، ۱۳۷۱) و موقعیت کانسار مس میاندشت در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن.



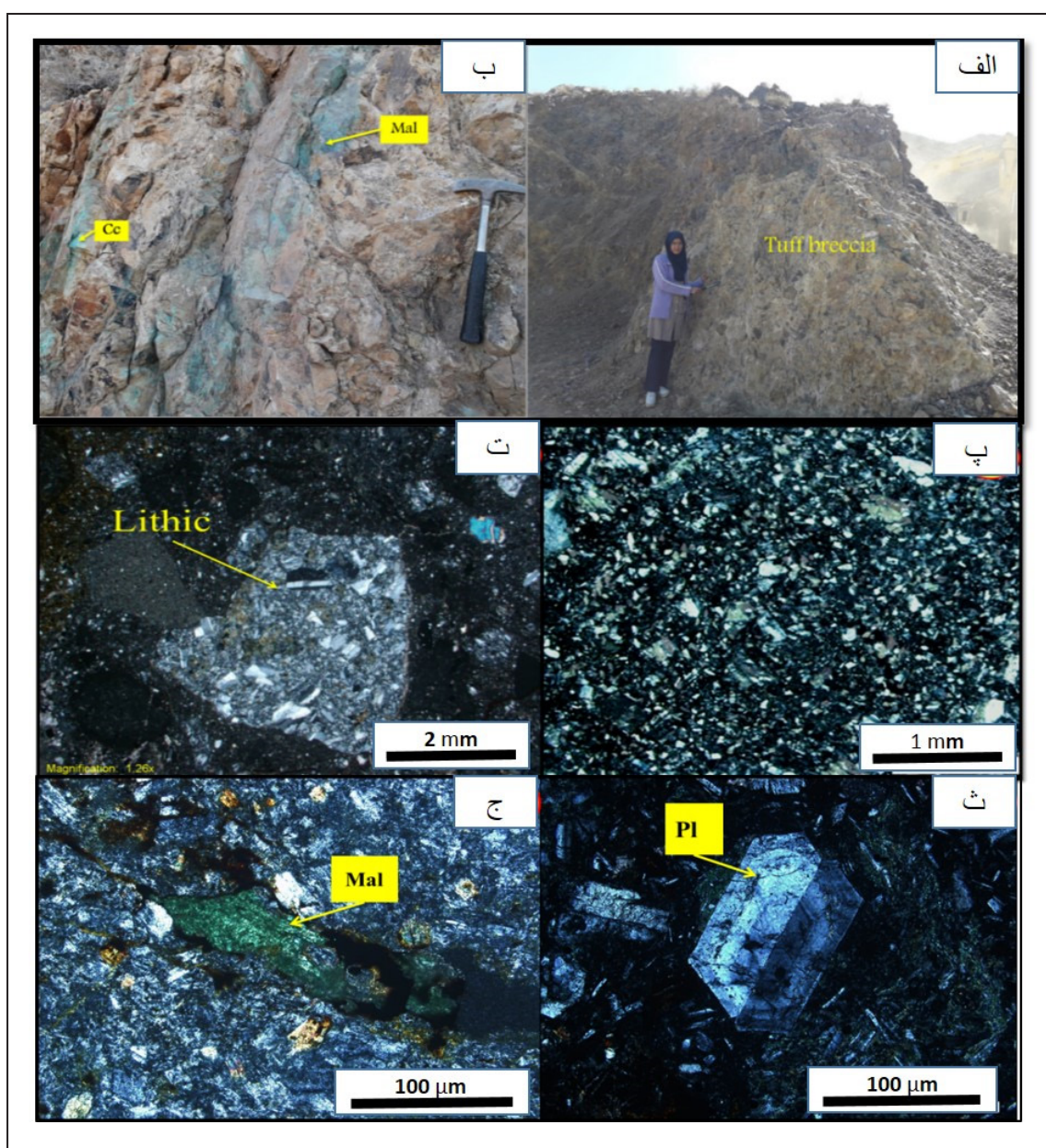
شکل ۳- ستون چینه‌شناسی عمومی منطقه مس میاندشت و موقعیت کانه‌زایی در آن.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که بخش‌های کانهدار با ابعاد مختلف در واحد آذرآواری واحد E6 قرار دارند. بخش کانهدار اصلی شامل کانسار مس میاندشت بوده با این حال اندیس‌های متعددی در این واحد سنگی در شمال خاور کانسار و نیز در کوه خانه خدا دیده می‌شود. موقعیت فضایی کارهای پیشین صورت گرفته در قالب ترانسه‌های اکتشافی و همچنین برداشت‌های دقیق روی زمین نشان می‌دهد که کاندهزایی در امتداد لایه‌بندی واحدهای توف برش (شکل ۴-ب) و به مقدار کمتر آگلومرایی و یا به صورت قطع‌کننده واحدهای میزبان (شکل ۵) به صورت بخش‌های سیلیسی-کربناتی سولفیددار گسترش زیادی دارد و در روی آن دگرسانی آرژلیک گسترده نیز دیده می‌شود (شکل‌های ۵-الف، ب). ستریای برخی رگه‌های سیلیسی-کربناتی به یک متر یا بیشتر می‌رسد (شکل ۵-پ). به‌طور کلی بخش‌های کانهدار به صورت هم‌روند و عمود بر لایه‌بندی بوده (شکل‌های ۵-ت، ث) و کارگاه‌های کهن معدن کاری در آنها دیده می‌شوند (شکل ۵-ت).

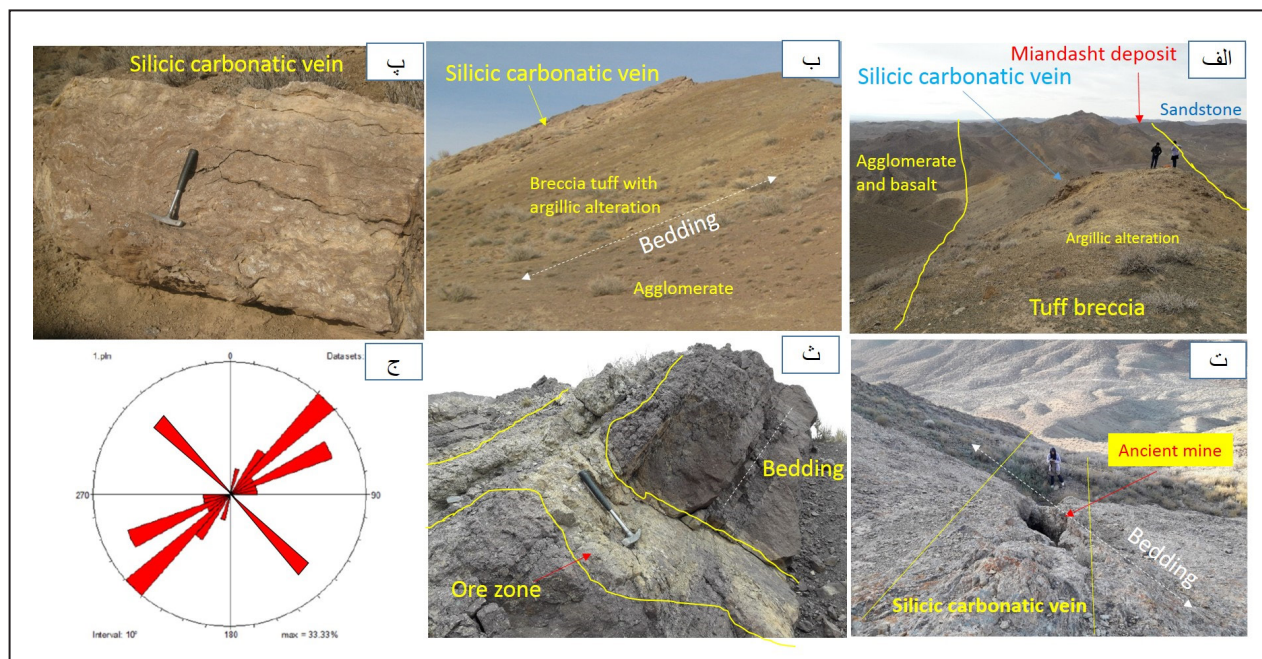
واحد E6: این واحد دربرگیرنده توف برش و آگلومرا با ترکیب آندزیت‌بازالتی و تراکی‌آندزیت‌بازالتی می‌باشد که شرایط انفجاری حوضه را نشان می‌دهد (شکل ۳). سنگ‌های توف برش، لیتیک توف و آگلومرا که میزبان اصلی کاندهزایی مس هستند (شکل ۴-الف، ب)، به طور غالب از پلاژیوکلاز تشکیل شده‌اند. این کانی به صورت بلورهای درشت‌تر و فنوکریست در زمینه‌ای از بلورهای ریز می‌باشد (شکل ۴-پ، ت، ث). به‌نظر می‌رسد کانی‌های مافیک مانند آمفیبول به کانی‌های دگرسانی مثل کلریت تبدیل شده و یا توسط مواد معدنی جانشین شده و سپس به طور ثانویه در مکان آنها مالاکیت تشکیل شده است (شکل ۴-ج).

۴- کاندهزایی

منطقه میاندشت از نظر زمین‌ساختی فعال و دارای گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌های فراوان بوده که زمین ریخت‌شناسی منطقه را تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۲).



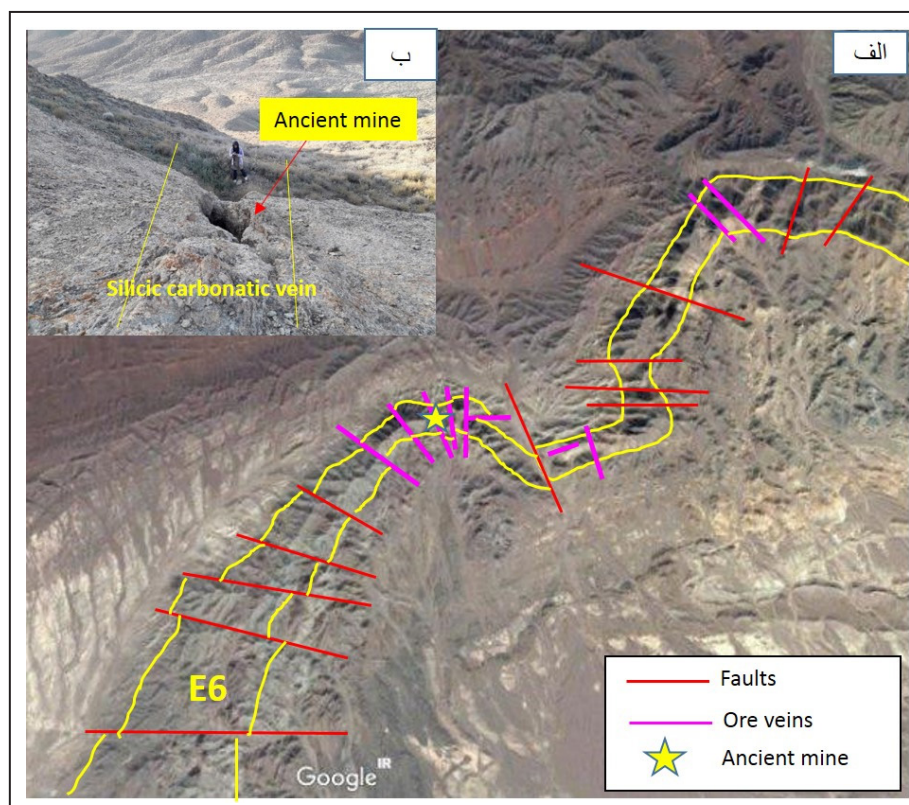
شکل ۴- تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از واحدهای اصلی میزبان کانسار مس میاندشت: (الف) شکل صحرایی از توف برش میزبان کاندهزایی (واحد E6)؛ (ب) رخداد کاندهزایی در امتداد لایه‌بندی توف برش؛ (پ) تصویر میکروسکوپی از کریستال توف؛ (ت) تصویر میکروسکوپی از لیتیک کریستال توف با قطعات پلاژیوکلاز (Pl) و پیروکسن (px) در داخل قطعات سنگی (لیتیک)؛ (ث) شکل فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (Pl) همراه با بافت گلوپورفیری در لیتیک توف؛ (ج) حضور مالاکیت (Mal) به‌صورت پرکننده فضای خالی در توف میزبان.



شکل ۵- تصاویر صحرایی از بخش‌های کانه‌دار و دگرسانی در کانسار مس میاندشت: (الف) نمایی از واحد توف برش دگرسان و میزبان کانه‌زایی و واحد آگلومرای کمرپاین و واحد ماسه‌سنگی کمربالا؛ (ب) رگه و پهنه سیلیسی-کربناتی در امتداد لایه‌بندی واحد توف برش دگرسان؛ (پ) نمایی نزدیک از رگه سیلیسی-کربناتی؛ (ت) رگه سیلیسی-کربناتی حاوی کارگاه کهن معدنکاری؛ (ث) بخش کانه‌دار به صورت عمود و در امتداد لایه‌بندی آگلومرا؛ (ج) نمودار گل‌سرخ نشان‌دهنده روند چیره شکستگی‌های منطقه.

است. در نمودار گل سرخی روند چیره گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه، شمال خاوری- جنوب باختری بوده که در شکل ۵- ج نشان داده شده است، ولی روند اصلی گسل‌های کانه‌دار (واقع در مناطق شدیداً چین‌خورده) شمال باختری- جنوب خاوری است (شکل ۶).

کانه‌زایی گرمابی به صورت شکاف پرکن در طول لایه‌بندی و صفحات گسلی و شکستگی‌ها و به صورت رگه- رگچه‌ای، پرکننده حفره‌ها و فضای خالی در سنگ‌های میزبان (توف برش و آگلومرا) رخ داده است. بخش‌های گسله دارای روندهای شمال خاوری- جنوب باختری و شمال باختری- جنوب خاوری بوده

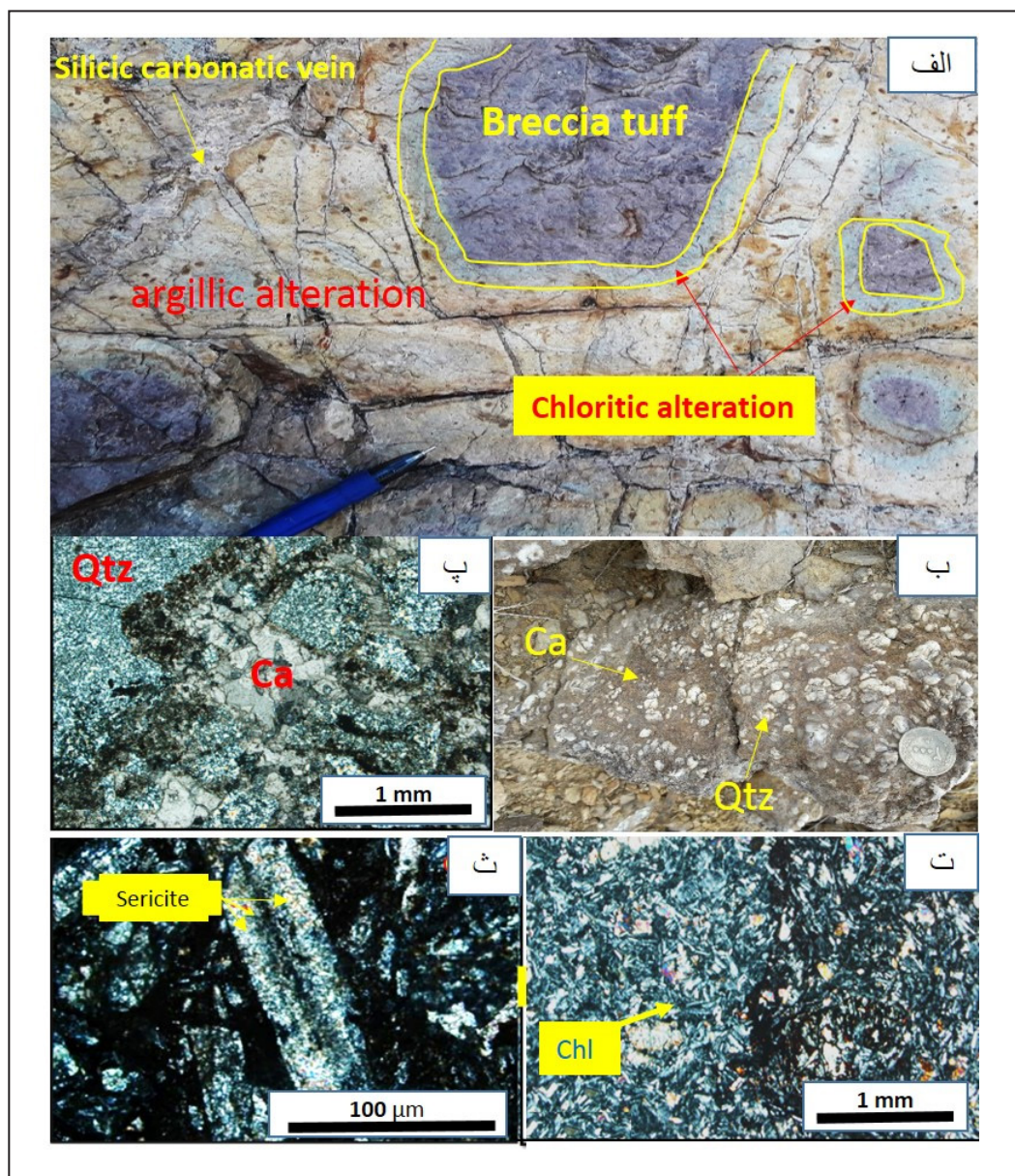


شکل ۶- (الف) موقعیت گسل‌ها و رگه‌های کانه‌دار در واحد توف برش- آگلومرای میزبان (E6)؛ (ب) نمایی از کارگاه معدنکاری کهن در کانسار مس میاندشت.

۴- دگرسانی

می‌یابد. فرایند سیلیسی شدن در سنگ میزبان، به صورت تشکیل رگه و رگچه‌هایی با ستبرای متفاوت در امتداد روندهای ساختاری دیده می‌شود. شدت دگرسانی سیلیسی- کربناتی در منطقه، متفاوت بوده و این امر با تراکم درزه، شکستگی‌ها و حفرات موجود در منطقه، رابطه مستقیم دارد. در این دگرسانی کلسیت همراه کوارتز و کانی‌های سولفیدی در امتداد شکستگی‌ها به صورت رگه- رگچه و پرکننده حفرات مشاهده می‌شود (شکل ۷- ب، پ). دگرسانی کلریتی در این منطقه، به دلیل گسترش درزه و شکستگی‌ها، تمام سنگ‌های منطقه را تحت تأثیر قرار داده است و با رخداد گسترده کلریت در سنگ‌های میزبان همراه است (شکل ۷- ت). به ندرت آثار دگرسانی سریستی در مقیاس میکروسکوپی نیز مشاهده می‌شود (شکل ۷- ث). گفتنی است که در نتایج XRD کانی کلینوپتیولیت نیز که از خانواده زئولیت است دیده می‌شود، اما این کانی در مقاطع میکروسکوپی سنگ‌های میزبان مشاهده نشد.

براساس مطالعات صحرایی، میکروسکوپی و نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD)، مهمترین دگرسانی‌های منطقه مورد مطالعه شامل کلریتی، سیلیسی- کربناتی و آرژیلیک هستند (شکل ۷). دگرسانی آرژیلیک گسترده‌ترین نوع دگرسانی در منطقه است. نتایج آنالیز XRD بیانگر حضور مونتموریلونیت بوده و معرفی دگرسانی آرژیلیک متوسط است که همراه کانه‌زایی دیده می‌شود (شکل ۷- الف). این دگرسانی در مناطق سطحی گسترش داشته و به نظر می‌رسد به صورت ثانویه بر روی دگرسانی کلریتی ایجاد شده است به طوری که واپاشی پیریت در اثر هوازدگی و نفوذ آب‌های جوی موجب ایجاد شرایط اسیدی و در نتیجه تبدیل پلاژیوکلازها به کانی‌های رسی شده است. دگرسانی‌های اصلی و مرتبط با کانه‌زایی در مجاورت رگه- رگچه‌های کانه‌دار، شامل دگرسانی سیلیسی- کربناتی است. شدت دگرسانی‌های یادشده با نزدیک شدن به بخش کانه‌دار افزایش

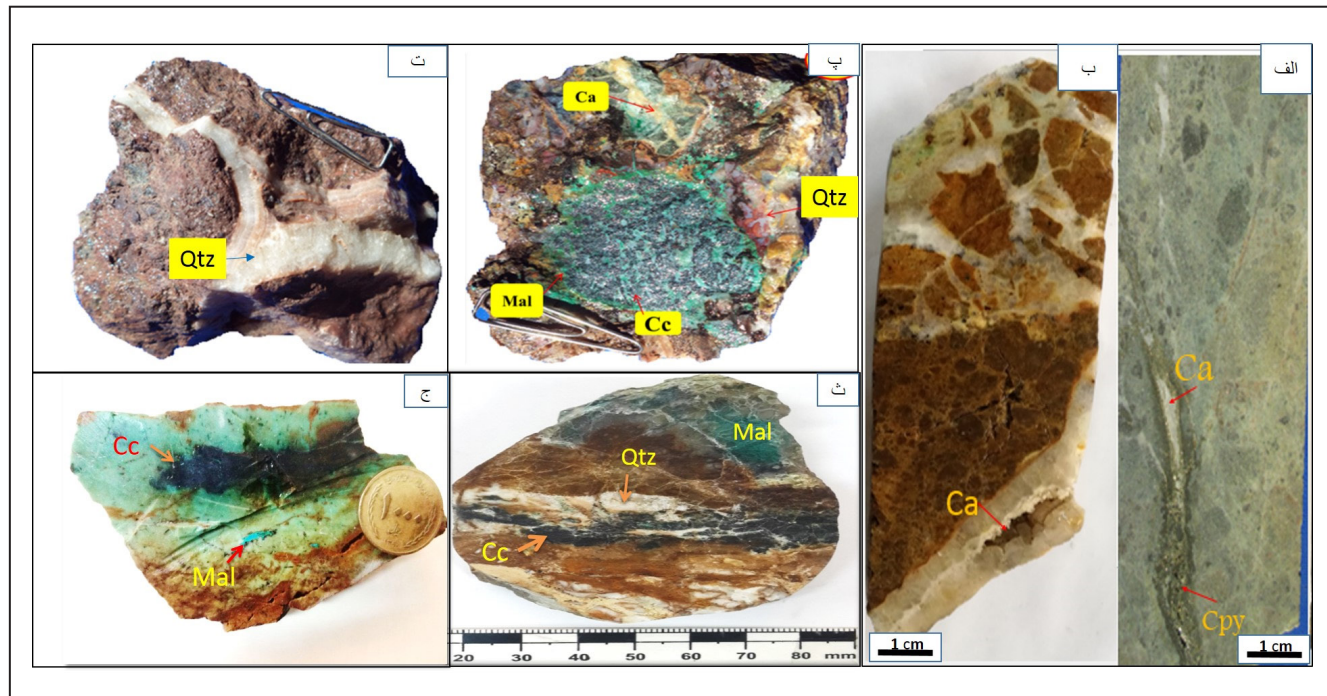


شکل ۷- الف) نمای از گسترش دگرسانی‌های کلریتی اولیه و آرژیلیک ثانویه در اطراف قطعات توف برش میزبان و رگه‌های سیلیسی- کربناتی؛ ب) بخش سیلیسی- کربناتی حاوی کوارتز (Qtz) و بخش‌های سیلیسی کلوپورمی و کلسیت (Ca)؛ پ) دگرسانی سیلیسی- کربناتی در میکروسکوپ؛ ت) دگرسانی کلریتی (Chl) در سنگ میزبان؛ ث) دگرسانی محدود سریستی در فلدسپارهای سنگ میزبان.

۵- ساخت و بافت و کانی‌شناسی ماده معدنی

(توف برش و آگلومرا) به دلیل تخلخل و نفوذپذیری بالا در امتداد درزه‌ها و شکستگی‌ها، فضای مناسب را جهت رخداد کانه‌زایی به وجود آورده‌اند.

کانه‌زایی مس در این کانسار با ساخت و بافت‌های برشی، رگه-رگچه‌ای و فضای خالی پرکن تا دانه پراکنده رخ داده است (شکل ۸). واحدهای آذرآواری میزبان

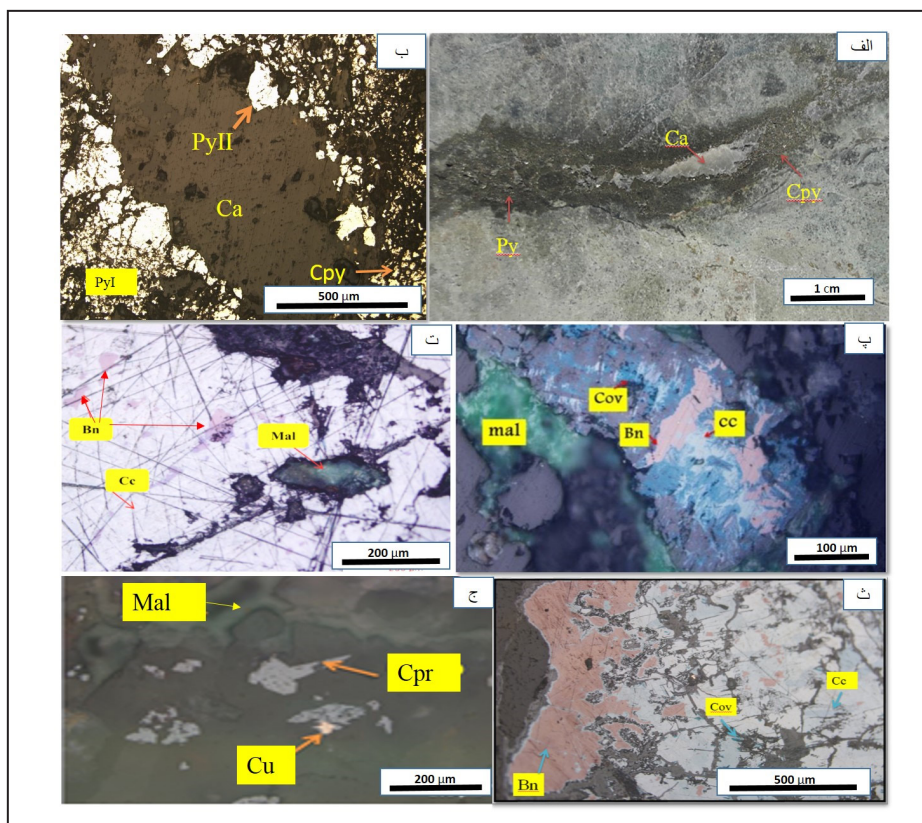


شکل ۸- تصاویری از ساخت و بافت کانه‌زایی در مغزه‌های حفاری: الف) رگه سولفیدی-کربناتی حاوی کالکوپریت (Cpy) و کلسیت (Ca) در واحد توف برش؛ ب) بافت برشی با پرشدگی کلسیت (Ca) در فضاها و توف میزبان؛ پ و ت) نمونه دستی از سنگ میزبان آگلومرای حاوی کانه‌زایی به صورت فضای خالی پرکن و بخش‌های سیلیسی کانه‌دار حاوی کوآرتز (Qtz)، کلسیت (Ca)، کالکوسیت (Cc) و ملاکیت (Mal)؛ ج) کانه‌زایی به صورت رگه سیلیسی-کربناتی کالکوسیت‌دار در توف میزبان.

(شکل‌های ۹-پ، ت، ث). البته مقداری کالکوسیت ثانویه هم در حواشی بورنیت دیده می‌شود که در اثر فرایند برون‌زاد ایجاد شده است. کولیت از جمله کانی‌های برون‌زاد سولفیدی است که در گذر از محیط اکسیدان به احیایی با افزایش تدریجی گوگرد شکل می‌گیرد. بیشترین گسترش این کانی به صورت لکه‌ای و نامنظم در درون حاشیه کالکوسیت اولیه قابل مشاهده است (شکل ۹-پ).

به ندرت مس طبیعی هم دیده شد که در اثر هوازدگی به کوپریت و ملاکیت تبدیل شده است (شکل ۹-ج). ملاکیت مهمترین کانی ثانویه مس‌دار در کانسار مورد مطالعه است، و به دلیل حضور این کانی بیشتر رخنمون‌های سطحی را غشای نازک سبز رنگی پوشانده است. البته به ندرت مقداری آزوریت هم دیده می‌شود. از جمله کانی‌های ثانویه فراوان، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) هستند. این کانی‌ها در نتیجه اکسایش و هوازدگی کانی‌های پیریت و کالکوپریت تشکیل شده‌اند. همراهی اکسیدهای آهن با کربنات‌های مس (ملاکیت و آزوریت)، از شواهد کانه‌زایی سطحی می‌باشد (شکل ۹). براساس مطالعات ساخت و بافت و کانی‌شناسی، توالی پاراژنری کانسار مس میاندشت در شکل ۱۰ ارائه شده است.

کانه‌های اصلی تشکیل‌دهنده به سه گروه: کانی‌های سولفیدی (کالکوپریت، پیریت، کالکوسیت، کولیت و بورنیت)، کربناته (ملاکیت و آزوریت) و اکسیدی (کوپریت، هماتیت و گوتیت) تقسیم می‌شوند. کانی‌های باطله شامل کوآرتز، کلسیت، کلریت و کانی‌های رسی هستند. بافت رگه-رگچه‌ای سیلیسی-کربناتی از بافت‌های غالب در این کانسار بوده که حاوی سولفید هستند (شکل ۹-الف). ابعاد رگه-رگچه‌ها از چند میلی‌متر تا چند متر متغیر است. رگه-رگچه‌های کربناتی گسترش خوبی به ویژه در واحدهای توف برش و آگلومرا نشان می‌دهند و بیشتر از درز و شکاف‌های با روند شمال باختری-جنوب خاوری پیروی می‌نمایند (شکل ۶). پیریت به عنوان کانی چیره در این رگه‌ها به صورت دو نسل شامل پیریت‌های بی‌شکل نسل اول (PyI) و بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار نسل دوم (PyII) حضور دارند (شکل ۹-ب). گفتنی است که به صورت ناحیه‌ای در سنگ‌های توفی منطقه قالب‌های پیریت هوازده دیده می‌شود که تشکیل آنها می‌تواند مربوط به پیش از کانه‌زایی در طی دیاژنز توالی میزبان باشد. بورنیت نیز به وفور همراه کالکوسیت اولیه دیده می‌شود و گاهی به صورت اکسولوشن داخل کالکوسیت قرار دارد



شکل ۹- الف) نمونه دستی مربوط به رگه- رگچه سولفیدی- کربناتی حاوی پیریت (Py)، کالکوپیریت (Cpy) و کلسیت (Ca)؛ ب) پیریت‌های بی شکل نسل ۱ (PyI) همراه کالکوپیریت (Cpy) و پیریت‌های بی شکل تا نیمه شکل دار تا شکل دار (PyII) در رگه کانه دار که در وسط حاوی کلسیت (Ca) است؛ پ) کالکوسیت (Cc) نسل اول و بورنیت (Bn) در رگه کانه دار که توسط کوولیت (Cov) و مالاکیت (Mal) جانشین شده‌اند؛ ت) اکسولوشن بورنیت در کالکوسیت نسل اول؛ ث) تمرکز بیشتر بورنیت نسبت به کالکوسیت در حاشیه رگه کانه دار (سمت چپ)؛ ج) تبدیل مس طبیعی به کوپریت (Cpr) و مالاکیت (Mal) در رگه کلسیتی کانه دار.

Stages		Pre-mineralization	Hypogen mineralization	Supergene/ weathering
Minerals				
Minerals	Pyrite		_____	
	Chalcopyrite		_____	
	Bornite		_____	
	Chalcocite		_____	
	Native copper		_____	
	Covellite			_____
	Fe- Mn oxide /hydroxide			_____
	Azurite			_____
	Malachite			_____
	Goethite			_____
Alteration	Quartz		_____	
	Sericite		_____	
	Chlorite		_____	
	Calcite		_____	
	Zeolite		_____	
	Clay minerals			_____
Textures and structures	Vein-veinlets		_____	
	Disseminated		_____	
	Replacement		_____	
	Open space fillings		_____	
	Colloform		_____	

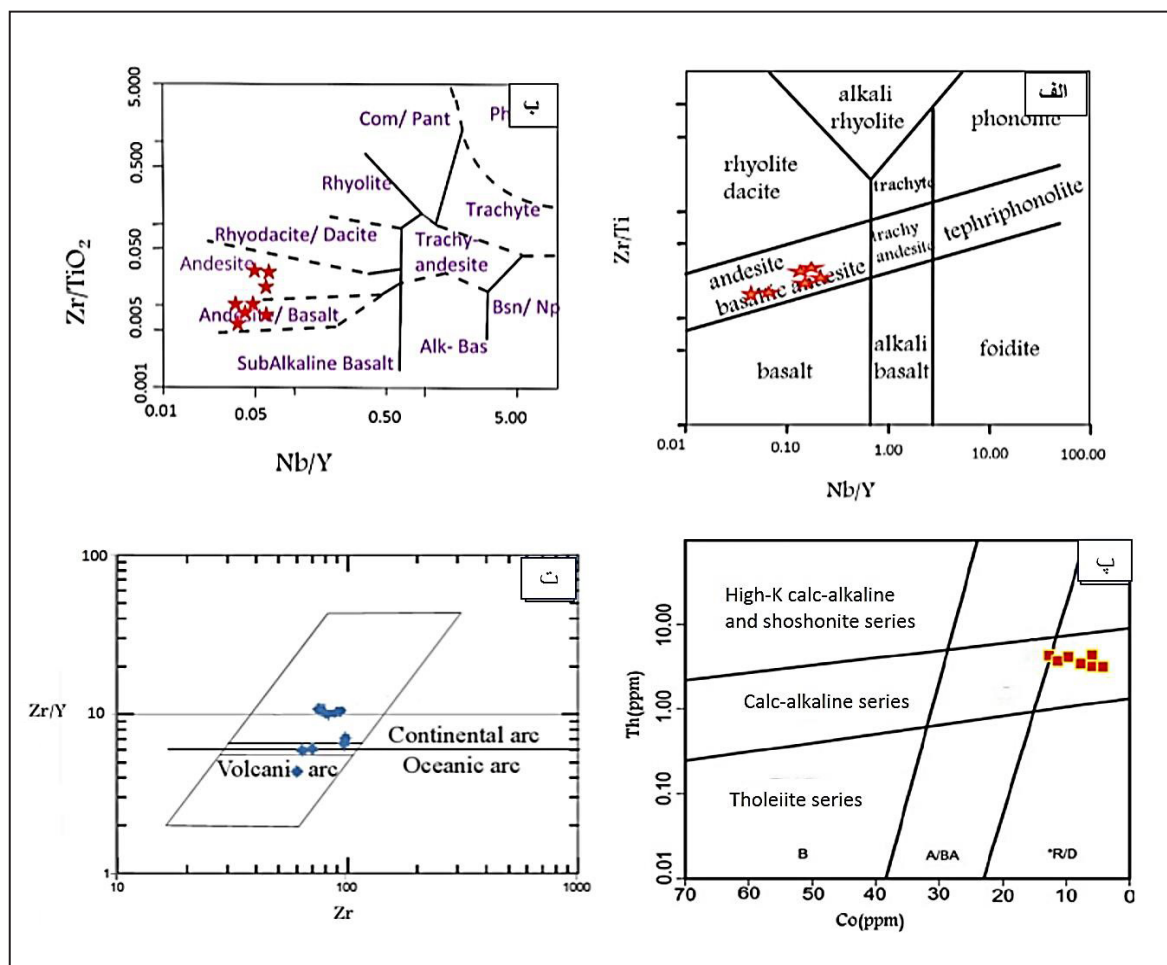
شکل ۱۰- توالی پاراژنتیک و ساخت و بافت کانی‌ها در کانسار مس میاندشت.

۶- ژئوشیمی

همانطور که بیان شد جهت بررسی تغییرات عناصر اصلی و عناصر کمیاب تعداد ۱۸ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی و کانسنگ و سنگ‌های همراه کانه‌زایی به منظور انجام تجزیه ICP-MS به شرکت مواد معدنی زرآرما ارسال شد. مطالعات ژئوشیمیایی در این پژوهش دو بخش بررسی ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین و بررسی ژئوشیمیایی کانسنگ را شامل می‌شود. برای بررسی ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین سعی شده است تا حد امکان از سنگ‌های کمتر دگرسان تا تازه نمونه‌برداری شود. برای بررسی ژئوشیمیایی کانه‌زایی و لیتوژئوشیمیایی سعی شده در جهت عمود بر روند چیره کانه‌زایی یعنی عمود بر لایه‌بندی نمونه‌برداری شود که نمونه‌های واحد توف برش کانه‌دار و دیگر لایه‌های سنگی کمربالا و کمرباین را شامل می‌شود. در مجموع سعی شده است نمونه مناسب و تا حد امکان نماینده کل واحد سنگی برداشت شود.

۶-۱- ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی میزبان: محیط زمین‌ساختی تشکیل

نظر به وجود دگرسانی در منطقه سعی شده است از نمودارهایی که مبتنی بر عناصر کم‌حرکت‌تر مثل عناصر Nb، Zr، Y هستند، استفاده شود. بر اساس نمودار Zr/Ti در برابر Nb/Y از وینچستر و فلوید (Winchester and Floyd, 1977) سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری در توالی میزبان

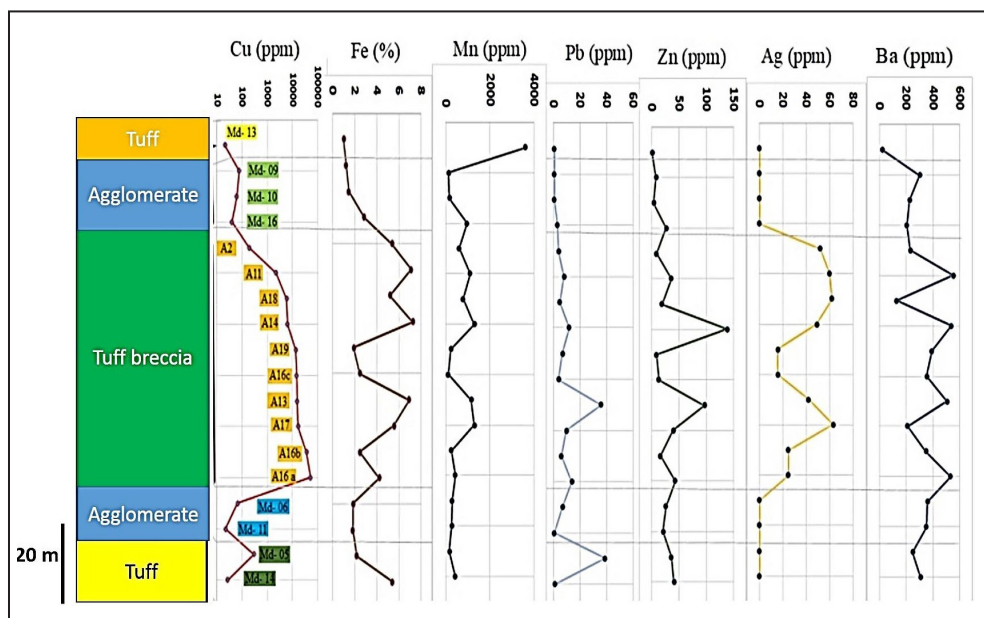


شکل ۱۱- سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانسار مس میاندشت در نمودارهای ژئوشیمیایی. الف، ب) موقعیت نمونه‌ها در نمودارهای Nb/Y در برابر Zr/Ti و Nb/Y در برابر Zr/TiO₂ (Winchester and Floyd, 1977)؛ پ) موقعیت نمونه‌ها بر روی نمودار دوتایی Th/Co از (Hastie et al., 2007) که در محدوده سری کالک‌آلکان قرار می‌گیرد؛ ت) محیط زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه بر اساس تغییرات Zr در برابر Zr/Y (Pearce, 1983) که در محدوده کمان‌های حاشیه قاره‌ای قرار می‌گیرند.

۲-۶- ژئوشیمی بخش کانه‌دار: با استفاده از مقاطع لیتوژئوشیمیایی عناصر

مثل روی، نقره، باریم و آهن نیز مربوط به این واحد سنگی است (شکل ۱۲). به طور کلی، مقدار نقره همراه کانه‌زایی مس بالاست. بیشترین مقدار نقره مربوط به واحد توف برش و همراه با کانه‌زایی مس بوده و برابر ۶۳ ppm است. براساس مقطع لیتوژئوشیمیایی، با افزایش عیار مس، میزان نقره نیز افزایش می‌یابد (شکل ۱۲).

می‌توان تغییرات عنصری را در واحدهای سنگ‌چینه‌ای مورد بررسی قرار داد. بر این اساس مس تنها در توف برش همانطور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است به مقدار قابل ملاحظه‌ای وجود دارد. بیشترین رخداد کانه‌زایی مس در واحد توف برش رخ داده است و مقدار مس در این واحد سنگی به بیش از ۵ درصد می‌رسد (شکل ۱۲). همچنین بیشترین میزان دیگر عناصر



شکل ۱۲- نمودار تغییرات میزان برخی از عناصر در واحدهای توالی میزان کانسار مس میاندشت بر اساس داده‌های ICP-MS.

۷- بحث

۷-۱- الگوی تشکیل کانسار

بر اساس مطالعات و مشاهدات صحرایی، شواهد زمین‌ساختی، مشاهدات کانی‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی، و شواهد ژئوشیمیایی، الگوی تشکیل و تکامل کانسار مس میاندشت را می‌توان در سه مرحله بیان کرد:

۱- فرورانش و تشکیل حوضه آتشفشانی- رسوبی درون کمائی: پیامد فرورانش ورقه اقیانوسی نئوتیس به زیر ایران مرکزی در زمان مزوزویک، رخداد رژیم کششی و ایجاد حوضه اقیانوسی سبزوار در بخش‌های شمالی پهنه ایران مرکزی بوده است که در ادامه در زمان کرتاسه بالایی این پوسته اقیانوسی شروع به فرورانش به زیر بلوک توران کرده که نتیجه آن گسترش کمان آتشفشانی البرز یا کمربند ماگمایی شمال ایران مرکزی در زمان انوسن بوده است (Rossetti et al., 2010; Ghasemi and Rezaei-Kakhkhaei, 2015 (شکل ۱۳- الف). نظر به این که احتمالاً فرورانش به صورت مایل بوده، محیط‌های ریفتی درون کمائی گسترش داشته و در این حوضه‌های آتشفشانی- رسوبی زیردریایی، فوران‌های آتشفشانی به صورت نهشته‌های گدازه‌ای، آگلومرای و آذرآواری با ماهیت تراکی‌بازالتی و بازالتی صورت گرفته و این فوران‌ها طی دوره حیات این حوضه‌ها به دفعات تکرار شده است.

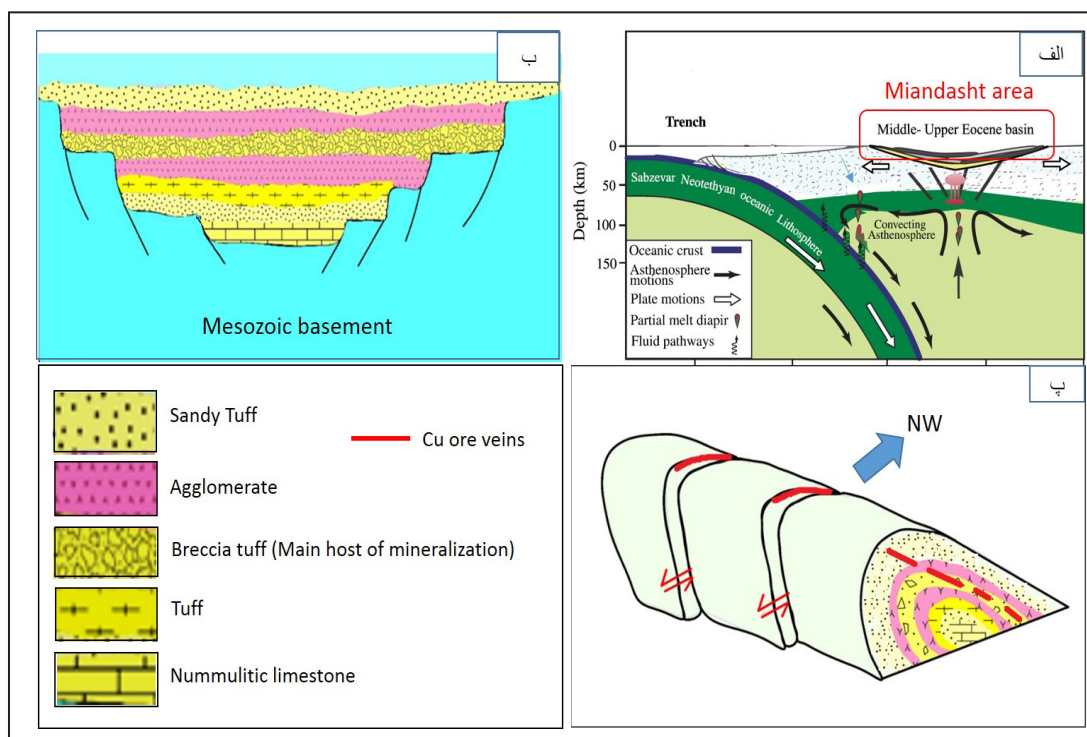
۲- مرحله فعالیت آتشفشانی، تدفین و دیاژنز: در این مرحله در شرایط کششی حاکم بر حوضه درون کمان آتشفشانی انوسن در زیر پهنه سبزوار، سنگ‌های آتشفشانی شامل گدازه و آذرآواری و رسوبی شامل تخریبی و کربناتی نهشته شده است. سپس انباشته شدن واحدهای آتشفشانی- رسوبی با گذر زمان موجب تدفین واحدها و رخداد فرایند دیاژنز و تشکیل ژئولیت و پیریت به صورت دانه پراکنده شده است (شکل ۱۳- ب). این فرایند موجب ایجاد و چرخش سیالات شور و گرم حوضه‌ای و شستشوی واحدهای آتشفشانی و در نتیجه غنی شدن آنها از فلزاتی همچون مس شده

است. احتمال رخداد کانه‌زایی اولیه مس کم عیار در این مرحله در منطقه وجود دارد. **۳- بالآآمدگی و چین خوردگی:** در مرحله بالآآمدگی و چین خوردگی منطقه و ایجاد گسل‌ها و شکستگی‌ها، شرایط لازم برای رسیدن سیال به بخش‌های بالاتر توالی فراهم می‌شود. در این مرحله سیال مس‌دار ناشی از دیاژنز با راه یافتن در طول لایه‌بندی واحدهای توف برش و آگلومرای و نیز به داخل درز و شکستگی‌های قطع‌کننده لایه‌بندی و فضاهای خالی منجر به رخداد کانه‌زایی همراه با دگرسانی عمده سیلیسی- کربناتی و کلریتی شده است (شکل ۱۳- پ). در واقع خلل و فرج سنگ‌ها در طول لایه‌بندی و نیز درز و شکاف‌هایی که در جهات مختلف سنگ میزبان را قطع کرده‌اند، به صورت شبکه‌ای نامنظم ولی متراکم، فضای مناسب برای ورود محلول‌های کانی‌ساز را فراهم کرده است.

۷-۲- تیپ کانه‌زایی

کانسار مس میاندشت با توجه به داشتن توالی میزان آتشفشانی- رسوبی و نوع سنگ‌های میزبان و همراه، ماهیت چینه‌کران کانه‌زایی و قرارگیری بخش عمده آن در واحد چینه‌شناسی خاص، نوع دگرسانی‌ها و ترکیب کانی‌شناسی و ساخت و بافت ماده معدنی، در مقایسه با انواع تیپ کانسارهای عمده مس شامل ماگمایی، پورفیری، اسکارد، IOCG، رسوبی و مانتو و سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS)، بیشتر با کانسارهای نوع مانتو قابل مقایسه است. از این رو، در ادامه به طور مفصل ویژگی‌های این کانه‌زایی با کانسارهای نوع مانتو مقایسه می‌شود.

۳- محیط زمین‌ساختی: بر اساس رمیرز و همکاران (Ramirez et al., 2006) بیشترین رخداد کانه‌زایی مس نوع مانتو در مناطق کششی و در کمربندهای ماگمایی مرتبط با فرورانش ژوراسیک تا کرتاسه، صورت گرفته است.



شکل ۱۳- مراحل تشکیل کانسار مس میانداشت: الف) مرحله فروانش و ایجاد کمان آتشفشانی حاشیه قاره در منطقه (Ghasemi and Rezaei-Kakhkhahi, 2015)؛ ب) مرحله فعالیت آتشفشانی- رسوبی، تدفین و دیاژنز و ایجاد سیال کانه‌ساز؛ پ) بالا آمدگی و چین خوردگی و گسل خوردگی منطقه و نفوذ سیال کانه‌دار در درزه و شکستگی‌ها و امتداد لایه‌بندی و تمرکز کانه‌زایی.

ساخت و بافت‌های موجود در کانسار مس میانداشت نیز شامل رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، دانه پراکنده و جانشینی بوده هر چند که بافت برشی نیز گسترش زیادی در مناطق کانه‌زایی دارد. کانی‌شناسی در کانسارهای نوع مانتو شامل کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، کوپریت، مس طبیعی، مالاکیت و کریزوکولا است (Boric et al., 2002; Cabral and Beaudoin, 2007; Kojima et al., 2009). در کانسارهای منطقه میشیگان، کانی‌شناسی مواد معدنی شامل مس طبیعی، کوپریت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، نقره طبیعی، دیژنیت و کالکوسیت است (Ramirez et al., 2006). ترکیب کانی‌شناسی در کانسار مس میانداشت نیز شامل کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت، کوولیت، مالاکیت و آزوریت است. در پاراژنز کانیایی کانسارهای مس میشیگان، مس طبیعی بیشترین سهم را دارد، در حالی که در کانسار مس میانداشت، کانی‌های سولفیدی مس که بیشتر کالکوسیت هستند، حضور دارند و مس طبیعی به ندرت قابل مشاهده است.

دگرسانی: دگرسانی اصلی کانسارهای مس نوع مانتو شامل سیلیسی، کلسیتی، آلپیتی و پروپیلیتیک است (Kojima et al., 2008). برخی از این کانسارها در کانادا و دیگر نقاط دنیا دارای دگرسانی‌های آلپیتی، کلریتی، اپیدوتی، زئولیتی، سیلیسی و اکسیدی آهن هستند (Boric et al., 2002; Cabral and Beaudoin, 2007). در کانسار مس میانداشت دگرسانی‌های عمده مرتبط با کانه‌زایی شامل کربناتی-سیلیسی و کلریتی است. همچنین دگرسانی آرژیلیک که به صورت ثانویه در اثر هوازدگی در بخش‌های سطحی تشکیل شده است نیز در منطقه گسترش زیادی دارد. در کانسار میانداشت، با افزایش شدت دگرسانی‌های کربناتی و سیلیسی شدن، حجم کانه‌زایی نیز افزایش یافته است. در کانسارهای منطقه میشیگان، سنگ میزبان تا حد رخساره پرنیت-پومیلایت دگرگون شده در حالی که در کانسار مس میانداشت، آثاری از دگرگونی دیده نمی‌شود. در کانسارها مس مانتو حفرات بادامکی سنگ‌های آتشفشانی توسط زئولیت پر شده‌اند در حالی که در سنگ‌های میزبان کانسار میانداشت در مطالعات میکروسکوپی آثار آشکاری از حضور زئولیت دیده نشده و تنها در نتایج XRD به صورت کانی کلینوپتولیت در یک مورد دیده شد.

دیگر پژوهشگران (Cabral and Beaudoin, 2007) محیط زمین‌ساختی تشکیل این کانسارها را مربوط به رخدادهای کششی در خاستگاه کوهزایی معرفی کرده‌اند. در کمربند آند که میزبان کانسارهای نوع مانتو شیلی می‌باشد، این محیط‌های کششی ناشی از فروانش مایل (Oblique subduction) پوسته اقیانوسی آرام به زیر پوسته قاره‌ای آمریکای جنوبی حاصل شده است (Boric et al., 2002). سنگ‌های آتشفشانی منطقه میانداشت دارای نسبت $Zr/Y > 3$ هستند و در گروه کمان‌های آتشفشانی حاشیه قاره‌ای قرار می‌گیرند. به نظر می‌رسد که کمان ماگمایی سازنده سنگ‌های منطقه، ناشی از فروانش یک پوسته اقیانوسی به زیر یک پوسته قاره‌ای بوده است. بنابراین محیط تکتونوماگمایی منطقه مورد مطالعه را می‌توان جزو محیط‌های کمان آتشفشانی حاشیه قاره‌ای به‌شمار آورد.

سنگ میزبان: سنگ میزبان در کانسارهای نوع مانتو گدازه آندزیتی و بازالتی است (Kirkham, 1996; Kojima et al., 2009) و گاهی گدازه‌های آتشفشانی مافیک تا فلسیک و توف را نیز شامل می‌شود (Boric et al., 2002; Cabral and Beaudoin, 2007). البته در منطقه میشیگان یا کونواو آمریکا، سنگ میزبان شامل بازالت آمیگدالوئیدال با میان‌لایه‌های کنگلومراری است (Ramirez et al., 2006). در کانسار مس میانداشت نیز سنگ میزبان شامل گدازه و سنگ‌های آذرآواری در افق خاص توالی آتشفشانی-رسوبی میزبان (واحد E6) با ترکیب آندزیت و آندزیت-بازالت می‌باشد. کانه‌زایی مس در بخش‌های نفوذپذیری در امتداد لایه‌بندی سنگ میزبان و به مقدار کمتر به صورت قطع‌کننده آنها رخ داده است. آنچه مسلم است ترتیب فازهای تشکیل‌دهنده این مجموعه آتشفشانی، شامل تناوبی از انفجاری‌ها (آذرآواری-برش آتشفشانی) و گدازه‌های آندزیتی است که در ادامه فعالیت‌های رسوبی در حوضه کم ژرف درون قاره‌ای تشکیل شده‌اند.

ساخت و بافت و کانی‌شناسی: ساخت و بافت‌های رایج در کانسارهای نوع مانتو و منطقه میشیگان شامل رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، دانه پراکنده و جانشینی است (Boric et al., 2002; Ramirez et al., 2006; Cabral and Beaudoin, 2007).

گسترش زیادی دارد. براین اساس بر اکتشاف اینگونه ذخایر در پهنه سبزوار تأکید می‌شود. نکته‌ای که در اکتشاف می‌بایست مد نظر قرار گیرد این است که پهنه‌های آرژلیک ثانویه (که در کانسار مس میاندشت دیده می‌شود) می‌تواند در بررسی تصاویر ماهواره‌ای برای مکان‌یابی برخی از کانه‌زایی‌ها مفید باشند. در کنار پهنه‌های دگرسانی، افزون بر لایه‌بندی‌های واحدهای آتشفشانی بازیک - حدواسط (توف برش و آگلومرا)، گسل‌های با روند NE-SW و NW-SE (که قطع‌کننده چین‌خوردگی‌ها هستند) نیز کنترل‌کننده کانه‌زایی بوده و در اکتشاف می‌توانند مورد توجه واقع شوند.

۸- نتیجه‌گیری

کانسار مس میاندشت با داشتن ویژگی‌هایی همچون جایگاه زمین‌شناسی، محیط زمین‌ساختی کمان آتشفشانی حاشیه قاره‌ای، سنگ میزبان گدازه و واحد آذرآواری با ترکیب آندزیت، آندزیت-بازالت، چینه کران بودن کانسار، حضور ساخت و بافت‌های رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، دانه پراکنده و جانشینی، ترکیب کانی‌شناسی ماده معدنی، حضور دگرسانی‌های سیلیسی-کربناتی و کلریتی در محل رگه-رگچه‌های کانه‌دار در واحد توف برش و آگلومرا، بیشترین شباهت را با کانسارهای تیپ مانتو نشان می‌دهد که در خاور شاهرود گسترش دارند. براساس مطالعات صحرایی، نمونه دستی و میکروسکوپی این طور استنباط می‌شود که مرحله اصلی کانه‌زایی مس در منطقه میاندشت در حین کوهزایی و چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی توالی میزبان رخ داده است. مهمترین تفاوت کانه‌زایی مس میاندشت با کانسارهای مس منطقه عباس‌آباد، وجود دگرسانی آرژلیک سطحی وسیع و نبود دگرسانی زنولیتی گسترده می‌باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود و آقای خان‌عمیدی بهره‌بردار کانسار مس میاندشت به خاطر حمایت مالی این تحقیق سپاسگزاری و تقدیر می‌شود.

در مجموع، با توجه به شواهد ارائه شده و مقایسه‌ای که بین کانسار مس میاندشت و کانسارهای تیپ مانتو ارائه شد، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کانسار مس میاندشت از نوع مانتو بوده و به‌طور عمده در حین کوهزایی و چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی توالی میزبان تشکیل شده است. این مدل برای رخداد کانسار بزرگ مس نوع مانتو El Soldado شیلی (Boric et al., 2002) نیز ارائه شده است. گفتنی است ویژگی خاص کانه‌زایی مس میاندشت شامل گسترش دگرسانی آرژلیک و نبود دگرسانی قابل توجه زنولیتی، آن را از دیگر کانسارهای مس منطقه از جمله کانسار عباس‌آباد متمایز می‌کند. تیپ مانتو که در کشور شیلی به این نام معروف است از مهمترین تیپ‌های کانساری مس است که در کشورهای دیگر به اسامی دیگری مانند تیپ آتشفشانی- لایه‌های سرخ (Volcanic-Red Beds) (کانادا) و مس کوبیناوی (Keweenaw) (آمریکا) نام‌گذاری شده‌اند (Kirkham, 1996; Lefebure and Church, 1996; Espinoza et al., 1996; Brown, 2006; Kojima et al., 2009; Carrillo-Rosúa et al., 2014; Bornhorst and Mathur, 2017). این کانسارها اهمیت زیادی در تولید مس در دنیا دارند. کانسارهای تیپ مانتو در ایران عمدتاً در توالی‌های آتشفشانی ائوسن قرار دارند (سامانی، ۱۳۸۱). این کانسارها در پهنه‌های ساختاری مختلفی رخ داده‌اند: ۱) کمان ماگمایی ارومیه- دختر: مثل کانسار مس وشنوه (مهرابی و فاضلی، ۱۳۸۳؛ حق‌نظر و همکاران، ۱۳۸۸)، نارباغی (فضلی و همکاران، ۱۳۹۳) و کهک قم (کبودی و همکاران، ۱۳۹۸) و کشکویه (ابولی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴)، ۲) پهنه سندانج- سیرجان: کانسار کشت مهکی به سن کرتاسه پیشین (بویری‌کناری و همکاران، ۱۳۹۳؛ Boveiri et al., 2013)، ۳) کمریند ماگمایی خاور ایران: مثل کانسار ورزگ قائن (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۱) و گرماب قائن (عادل‌پور و همکاران، ۱۳۹۴)، ۴) کمریند ولکانوپلوتونیک البرز- آذربایجان: مثل کانسار ماری (Maghfouri et al., 2017) و کانسارهای منطقه شاهرود - عباس‌آباد در پهنه سبزوار. در این میان، کانه‌زایی مس مانتو در منطقه شاهرود- عباس‌آباد که بزرگ‌ترین آنها کانسار معدن بزرگ است،

کتابنگاری

- ابولی‌پور، م.، راستاد، ا. و رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۹۴، کانه‌زایی مس چینه کران نوع مانتو (Manto-type) در آندزیت پورفیرپرویتوم‌دار کشکویه رفسنجان زیر پهنه دهج- ساردویه، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۵، صفحه ۱۲۳-۱۴۴.
- آقاباتی، ع.، ۱۳۴۹، زمین‌شناسی منطقه فرومد و عباس‌آباد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ۷۴ صفحه.
- آقاباتی، ع. و افتخارنژاد، ج.، ۱۳۷۱، نقشه زمین‌شناسی جاجرم به مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به شماره DJ ۴۰-۱۴.
- بادامه، ع.، ۱۳۸۲، پتروژن سنگ‌های آتشفشانی منطقه میاندشت شرق شاهرود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- بویری‌کناری، م.، راستاد، ا. و رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۹۳، کانه‌زایی مس- نقره نوع "Volcanic Red Bed" در کانسار کشت مهکی، شمال باختر صفاشهر، پهنه سندانج- سیرجان. مجله علوم زمین، شماره ۹۳، صفحه ۱۹-۶۳.
- توسلی، ع. و لطفی، م.، ۱۳۸۰، مطالعات دور سنجدی در پی‌جویی و اکتشافات معدنی در محدوده عباس‌آباد سمنان، شمال- شمال خاوری ایران، فصلنامه علوم زمین ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور شماره ۱، صفحه ۶۳-۷۹.
- جباری، ا.، ملک‌زاده شفاوردی، آ. و کریم‌پور، م.، ۱۳۹۶، کانسار مس چینه کران (نوع مانتو) کال ابری در مجموعه آتشفشانی-رسوبی ائوسن شمال‌غربی بردسکن، شمال شرقی ایران، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۲۳.
- حق‌نظر، ش.، ملکوتیان، س. و مرتضوی، م.، ۱۳۸۸، سنگ‌شناختی و کانی‌سازی در معادن باستانی وشنوه- جنوب قم"، فصلنامه تخصصی زمین و منابع، شماره یک، صفحه ۲۷-۳۸.
- خلعتری جعفری، م.، ۱۳۷۱، نقشه زمین‌شناسی عباس‌آباد به مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به شماره ۷۲۶۲.
- سامانی، ب.، ۱۳۸۱، متالورژی کانسارهای مس (نوع مانتو) در ایران، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- صالحی، ل.، رسا، ا.، علیرضایی، س. و کاظمی مهرنیا، ا.، ۱۳۹۳، پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژن سنگ‌های آتشفشانی عباس‌آباد (شرق شاهرود) با تأکید بر دگرسانی و کانه‌زایی مس همراه آن، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۳۱، ص. ۴۹-۶۳.
- صالحی، ل.، رسا، ا.، علیرضایی، س. و کاظمی مهرنیا، ا.، ۱۳۹۴، کانسار مس معدن بزرگ با میزبان آتشفشانی، نمونه‌ای از کانسارهای مس نوع مانتو، خاور شاهرود، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۹۸، صفحه ۹۳ تا ۱۰۴.
- طائفی، ن.، صادقیان، م. و موسیوند، ف.، ۱۳۹۲، کانی‌شناسی، ساخت و بافت و الگوی رخداد کانه‌زایی مس نرتلویی و استغانی در جنوب شرق شاهرود، سی و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- طائفی، ن.، موسیوند، ف. و صادقیان، م.، ۱۳۹۳، کانی‌شناسی و ژئوشیمی و الگوی رخداد کانه‌زایی مس در منطقه گریگ و گورخان، جنوب شرق شاهرود، ششمین همایش زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه زاهدان.
- ظفرزاده، م.، موسیوند، ف. و رضائی اومالی، ر.، ۱۳۹۶، الگوی رخداد کانه‌زایی مس توران، شرق میامی، بر مبنای مطالعات ساخت و بافت و کانی‌شناسی مواد معدنی، کنفرانس ملی مهندسی مواد، متالورژی و معدن ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز.

عادل پور، م.، رسا، ا.، مسعودی، ف. و حسینی، م.، ۱۳۹۴، سنگ‌نگاری، ژئوشیمی، کانه‌زایی و جایگاه زمین‌ساختی- ماگمایی کانسار مس گرماب، قائن (خراسان جنوبی). پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۲۴، صفحه ۷۷-۵۸.

علیزاده، و.، مؤمن‌زاده، م. و امامی، م.، ۱۳۹۱، سنگ‌نگاری، ژئوشیمی، مطالعه میانبارهای سیال و تعیین نوع کانه‌زایی کانسار مس ورزگ- قائن، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و دوم، شماره ۸۶، ص. ۴۷ تا ۵۸.

فضلی، ن.، قادری، م. و مغفوری، م.، ۱۳۹۳، کانه‌زایی مس چینه‌کران تپ ماتو نارباغی شرقی در توالی آتشفشانی رسوبی ائوسن، شمال‌شرق ساوه، سی و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی اکتشافات معدنی کشور.

قاسمی، ح.، عرب‌زاده بنی‌اسدی، م. و رستمی‌حصوری، م.، ۱۳۹۹، شیمی کانی و شیمی ایزوتوپی سنگ کل: روزنه‌ای به پتروژنز سنگ‌های بازالتی- آندزیتی ائوسن عباس‌آباد، شرق شاهرود، فصلنامه علوم زمین، جلد ۱۱۸، ص. ۱۳۵-۱۴۴.

قاسمی، ح.، رستمی‌حصوری، م.، صادقیان، م. و کدخدای‌عرب، ف.، ۱۳۹۵، فعالیت ماگمایی کشتی پشت کمانی در حوضه الیگومیوسن لبه شمالی ایران مرکزی، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۹، ص. ۲۳۹-۲۵۲.

کبودی، ز.، قادری، م. و راستاد، ا.، ۱۳۹۸، کانی‌شناسی، ساخت و بافت و الگوی تشکیل کانسار مس تپ ماتو کهک در توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن، جنوب قم، شماره ۱۱۳، صفحه ۱۴۵ تا ۱۵۴.

مهرابی، ب. و فاضلی، آ.، ۱۳۸۰، بررسی تپ کانی‌سازی مس در کانسار و شوه (جنوب استان قم)، بیستمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Boric, R., Holmgren, C., Wilson, N. S. F., and Zentilli, M., 2002. The geology of the El Soldado manto type Cu (Ag) deposit, central Chile. Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and related deposits: a global perspective (Porter, TM, pp. 163-184. <https://www.geokniga.org/books/4896>.
- Bornhorst, T.J. and Mathur, R., 2017. Copper Isotope Constraints on the Genesis of the Keweenaw Peninsula Native Copper District, Michigan, USA". Minerals, 7: 185. <https://doi.org/10.3390/min7100185>.
- Boveiri Konari, M., Rastad, E., Kojima, S., and Omran, N.R., 2013. Volcanic red bed-type copper mineralization in the Lower Cretaceous volcano-sedimentary sequence of the Keshtmahaki deposit, southern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran", Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen, Journal of Mineralogy and Geochemistry, Vol. 190, p. 107-121. DOI: 10.1127/0077-7757/2013/0236.
- Brown, A.C., 2006. Genesis of native copper lodes in the Keweenaw district, northern Michigan: A hybrid evolved meteoric and metamorphogenic model. Economic Geology 101: 1437-1444. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.101.7.1437>.
- Cabral, A. R., and Beaudoin, G., 2007. Volcanic red-bed copper mineralisation related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada." Mineralium Deposita 42(8): 901-912. <https://doi.org/10.1007/s00126-007-0141-7>.
- Carrillo-Rosúa, J., Boyce, A.D., Morales-Ruano, S., Morata, D., Roberts, S., Munizaga, F., and Moreno-Rodríguez, V., 2014. Extremely negative and inhomogeneous sulfur isotope signatures in Cretaceous Chilean manto-type Cu-(Ag) deposits, Coastal Range of central Chile". Ore Geology Reviews 56: 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.06.013>.
- Espinoza, S., Véliz, H., Esquivel, J., Arias, J. and Moraga, A., 1996. The cupriferous province of the Coastal Range, northern Chile. Soc. Econ. Geol. Spec. Publ., 5, 19- 32. DOI: <https://doi.org/10.5382/SP.05.02>.
- Ghasemi, H., and Rezaei-Kahkhaei M., 2015. Petrochemistry and tectonic setting of the Davarzan-Abbasabad Eocene volcanic (DAEV) rocks, NE Iran. Mineralogy and Petrology 109: 235-252. <https://doi.org/10.1007/s00710-014-0353-3>.
- Hastie, A. R., Craig, Kerr, A., Pearce, J., and Mitchell, S. F., 2007. Classification of Altered Volcanic Island Arc Rocks Using Immobile Trace Elements: Development of the Th-Co Discrimination Diagram. Journal of Petrology 48 (12). 2341-2357. <https://doi.org/10.1093/petrology/egm062>.
- Kirkham, R.V., 1996. Volcanic red bed copper, Geol. Sur. Of Canada, Canadian mineral deposit types, 8: 241- 252. DOI:<https://doi.org/10.1130/DNAG-GNA-P1.241>.
- Kojima, S., Trista-Aguilera, D., and Hayashi, K.I., 2009. Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits". Resource geology, 59(1), pp. 87-98. <https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.2008.00081.x>.
- Lefebure, D.V., and Church, B.N., 1996. Volcanic Redbed Cu, in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 1 - Metallic Deposits, Lefebure, D.V., Höy, T, Editors, British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File 1996-13, pages 5-7. <https://www.medellin.unal.edu.co/~rrodriguez/MODELOS/columbia/Volcanic%20Redbed%20Copper.htm>.
- Lindenberg, H. G., and Jacobshagen, V., 1983. Post-Paleozoic Geology of the Taknar Zone and Adjacent Area, NE Iran, Khorasan." GSI. Rep 51, 145-163.
- Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M., Moayyed, M., Movahednia, M., and Flavien, C., 2017. Geology, mineralization and sulfur isotopes geochemistry of the Mari Cu (Ag) Manto-type deposit, northern Zanjan, Iran. Ore Geology Reviews 81: 10- 22. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.10.025>.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J. and Norry, M.J. eds. Continental basalts and mantle xenoliths, Nantwich, Cheshire: Shiva Publications, pp. 230-249. <http://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/8626>.
- Ramírez, L., Palacios, C., Townley, B., Parada, M., Sial, A. N., Fernandez-Turiel, J. L., Gimeno, D., Garcia-Valles, M., and Lehmann, B., 2006. The Mantos Blancos Copper Deposit: An Upper Jurassic Breccia-Style Hydrothermal System in the Coastal Range of Northern Chile." Mineralium Deposita 41 (3). 246-258. <https://doi.org/10.1007/s00126-006-0055-9>.
- Rossetti, F., Nasrabad, M., Vignaroli, G., Theye, T., Gerdes, A., Razavi, M., and Moin Vaziri, H., 2010. Early Cretaceous migmatitic mafic granulites from the Sabzevar range (NE Iran): implications for the closure of the Mesozoic peri-Tethyan oceans in central Iran. Terra Nova, v 22, pp 26-34. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2009.00912.x>.
- Winchester, J., and Floyd, P., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their diffraction products using immobile elements. Chemical geology 20: 325- 343. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(77\)90057-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(77)90057-2).

Original Research Paper

Genesis of the Miandasht copper deposit, East of Mayamey: Based on geological, mineralogical and geochemical evidences

Fatemeh Esmacili¹, Fardin Mousivand^{1*}, Mahmoud Sadeghian¹ and Seyed Mehran Heidari²

¹Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

²Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2021 July 10

Accepted: 2022 February 21

Available online: 2022 December 22

Keywords:

Copper

Vein

Stratabound

Volcanic

Eocene

Manto

Miandasht

Shahrood

ABSTRACT

Miandasht copper deposit is located in 110 km east of Shahrood, 24km north west of Abbasabad, and in the Cenozoic volcanic belt of north of Central Iran zone. The major rock units of the study area have Eocene age and include submarine flows (andesite, basalt, and trachyandesite), pyroclastic (tuff breccia and agglomerate) and sedimentary complex (Micritic limestone, tuffaceous limestone, shale, sandstone and conglomerate). Mineralization in the Miandasht copper deposit occurred as parallel to layering of the host rocks (tuff breccia and agglomerate), and also along with cross-cutting faults of the host rocks in form of stratabound and epigenetic ores. The main ore textures include vein- veinlets, open space filling, disseminated and replacement. The Ores contain primary pyrite, chalcocite, bornite, and secondary covellite, chalcocite, malachite, hematite and limonite. The most important wall rock alterations accompanied with mineralization are carbonatic- silicic, sericitic, argillic, and chloritic, and that the amount of carbonatization and silicification increases with closing to mineralization zones. According to geochemical studies, tectonic setting of the deposit was extensional environment formed in a continental margin volcanic arc. Based on essential characteristics of the copper mineralization such as tectonic setting, host rocks, mineralogy, and type of alterations, the Miandasht copper deposit shows many similarities with Manto- type deposits, dominantly formed during orogeny, folding and faulting of the host sequence. It should be mentioned that some characteristic features of the Miandasht copper deposit including development of argillic alteration, and lack of extensive zeolitic alteration, distinguishes it from other copper deposits in the region including Abbasabad deposit.

* Corresponding author: Fardin Mousivand; E-mail: mousivand@shahroodut.ac.ir

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

doi: 10.22071/GSJ.2022.293355.1919

dor: 20.1001.1.10237429.1401.32.4.4.0

