

کانسار مس دوه‌یاتاقی (شمال‌باختر ابهر): نمونه‌ای از ذخایر مس چینه‌کران تیپ مانتو با سنگ میزبان آتشفشانی در کمربند فلززایی طارم-هشتجین

فاطمه معصومی^۱، حسین کوهستانی^{۲*}، میرعلی اصغر مختاری^۳ و رامین محمدی نیائی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲ و ۳- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۴- دکترا زمین‌شناسی اقتصادی، شرکت کالسیمین، زنجان، ایران

نویسنده مسئول: kouhestani@znu.ac.ir *

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۳/۱/۲۹

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴

چکیده

کانسار مس دوه‌یاتاقی در فاصله حدود ۷۲ کیلومتری شمال‌باختر ابهر قرار داشته و بخشی از کمربند فلززایی طارم-هشتجین می‌باشد. کانه‌زایی در کانسار دوه‌یاتاقی به صورت چینه‌کران درون واحدهای توفی ائوسن رخ داده است. پهنه کانه‌دار دارای روند تقریبی خاوری-باختری با شیب حدود ۶۰ تا ۷۰ درجه به سمت شمال بوده و طولی حدود ۲۰۰ متر و پهنایی بین ۰/۵ تا ۳ متر دارد. دگرسانی گرمابی شامل دگرسانی‌های سیلیسی، کلریتی، کرناتی، اپیدوتی و زئولیتی می‌باشد. دگرسانی آرژلیک برون‌زاد حاشیه پهنه کانه‌دار را احاطه کرده است. کالکوسیت اولیه، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت و مس آزاد، مواد معدنی و کلریت، کوارتز، کلسیت، اپیدوت، زئولیت و کانی‌های رسی، مواد باطله در کانسار دوه‌یاتاقی می‌باشند. کالکوسیت ثانویه، کوولیت، مالاکیت، کوپریت و گوتیت کانی‌های برون‌زاد هستند. انواع بافت کانسنگ شامل دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، پُرکننده فضای خالی، جانشینی، اکسلوشن، فرامبوئیدال، برشی، بازماندی و گل‌کلمی می‌باشد. کانه‌زایی در کانسار دوه‌یاتاقی به چهار مرحله قابل تفکیک است. مرحله اول کانه‌زایی مربوط به فرایندهای دیاژنز اولیه بوده و طی آن پیریت‌های فرامبوئیدال با بافت دانه‌پراکنده درون واحدهای توفی تشکیل شده است. مرحله دوم کانه‌زایی مربوط به فرایندهای دیاژنز تأخیری و دگرگونی تدفینی بوده و با حضور کانی‌های بورنیت و کالکوسیت اولیه همراه با اندکی کالکوپیریت با بافت‌های دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، اکسلوشن، پُرکننده فضای خالی و جانشینی مشخص می‌شود. مرحله سوم با حضور رگه-رگچه‌های تأخیری کوارتز-کالکوپیریت-پیریت، کوارتز-کلریت و کلسیت شناخته می‌شود. کانه‌زایی مرحله چهارم مربوط به فرایندهای برون‌زاد می‌باشد. ویژگی‌های کانسار مس دوه‌یاتاقی با کانسارهای تیپ مانتو قابل مقایسه است.

واژه‌های کلیدی: کانه‌زایی مس، دیاژنز، چینه‌کران، تیپ مانتو، دوه‌یاتاقی

۱- پیشگفتار

۲۰۱۸)، آق‌کند (کوهستانی و همکاران، ۲۰۱۷)، زاجکان (کوهستانی و همکاران، ۲۰۱۹a؛ محضی و همکاران، ۱۴۰۱)، مرشون (کوهستانی و همکاران، ۲۰۱۹b؛ محمدی و همکاران، ۱۴۰۱)، عباس‌آباد (کوهستانی و همکاران، ۲۰۲۰)، زه‌آباد (شهبازی و همکاران، ۲۰۱۹)، خلیفه‌لو (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵a؛ اسماعیلی و همکاران، ۲۰۱۵)، چرگر (موسوی مطلق و قادری، ۲۰۱۹؛ موسوی مطلق و همکاران، ۲۰۱۹)، شمال چرگر (ندرلو و همکاران، ۱۴۰۰)، باریک‌آب (بازرگانی گیلانی و پرچگانی، ۱۳۸۹)، چودرچای (یاسمی و همکاران، ۲۰۱۸؛ یاسمی و قادری، ۲۰۱۹)، لوبین-زرده (زمانیان و همکاران، ۲۰۱۹)، گلوجه (مهرابی و همکاران، ۲۰۱۶)، جلیل‌آباد و رشت‌آباد (کوهستانی و همکاران، ۲۰۲۲a)، تشویر (کوهستانی و

کمربند فلززایی طارم-هشتجین میزبان مهمی برای کانه‌زایی‌های فلزی در ایران است. مطالعات اکتشافی و پژوهشی انجام شده در دو دهه گذشته منجر به شناسایی و معرفی انواع مختلفی از کانه‌زایی‌های مس، آهن، سرب-روی و طلا در این کمربند فلززایی شده است. از کانسارها و رخدادهای معدنی مهم می‌توان به کانسارهای آهن-آپاتیت تیپ کایرونای مروارید، سرخه دیزج، علی‌آباد، ذاکر، گلستان‌آباد و زرنان (خان‌محمدی و همکاران، ۱۳۸۸؛ نباتیان و قادری، ۱۳۹۳؛ نباتیان و همکاران، ۲۰۱۳؛ کردیان و همکاران، ۱۳۹۹)، کانسارهای فلزات پایه و گران‌بهای تیپ اپی‌ترمال مانند علی‌آباد-خان‌چای (مختاری و همکاران، ۱۳۹۵؛ کوهستانی و همکاران،

توالی‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن می‌باشند که توسط توده‌های نفوذی ائوسن بالایی قطع شده‌اند (شکل ۱). زمین‌شناسی این واحدها به شرح زیر است.

واحد E_k^{II} از کریستال توف و کریستال لیتیک توف‌های سبز رنگ، توف‌های اسیدی و گدازه‌های لاتیتی و آندزیتی تشکیل شده است. در برخی نقاط، گدازه‌های ریوداسیتی، ایگنیمبریت و توف‌های کربناته نیز در این واحد قابل مشاهده است. در توف‌های کربناته این واحد، آثار فسیلی وجود دارد که سن ائوسن دارند. این واحد با ناپیوستگی در زیر واحد سنگی E_k^{VI} قرار می‌گیرد. بیشینه سستبرای این واحد ۶۰۰ متر بوده و با توجه به موقعیت چینه‌شناسی، سن ائوسن میانی برای آن مشخص شده است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵). واحد E_k^{VII} شامل گدازه‌ها و توف‌های ریوداسیتی و آندزیتی- داسیتی به رنگ هوازده قهوه‌ای و ایگنیمبریت‌ها، کریستال توف‌های اسیدی و توف‌های سیلیسی با رنگ هوازده سفید تا صورتی همراه با مقادیر کمتری آندزیت، بازالت، تراکی آندزیت، میکروکنگلومرای نومولیت‌دار و توف ماسه‌ای می‌باشد. در این واحد، سهم گدازه‌های آندزیتی (واحد E_k^{VI}) و ریوداسیتی (واحد E_k^{V2}) بیشتر از دیگر سازندگان است به‌طوری‌که در برخی از بخش‌ها می‌توان آن‌ها را به‌صورت واحدهای مجزا تفکیک کرد. واحد E_k^{VII} توسط توده نفوذی میکرومونوزودیوریتی (mdی) قطع شده است. دگرسانی گسترده‌تر سنگ‌های این واحد نسبت به دیگر واحدهای ائوسن، ناشی از نفوذ و جایگیری توده‌های گرانیتوئیدی است. مرز واحد E_k^{VII} با واحد E_k^{II} از نوع ناپیوستگی درون حوضه‌ای و با واحد ناپیوستگی درون حوضه‌ای و گاهی زاویه‌دار است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵). میکروکنگلومرای آهکی نومولیت‌دار این واحد دارای مجموعه سنگواره‌های به سن ائوسن میانی می‌باشند. میانگین سستبرای واحد E_k^{VI} نزدیک به ۱۰۰۰ متر است. واحد E_k^{VII} از تناوب ماسه‌سنگ‌های توفی، توف‌های ماسه‌ای، لاپیلی توف، کنگلومرا و برش‌های توفی به همراه گدازه‌های آندزیتی، تراکی آندزیتی و بازالت‌های آندزیتی و اولیوین بازالت تشکیل شده است. رنگ کلی این تناوب سنگی، بنفش تیره است. این واحد در بخش‌هایی دارای کریستال توف‌های ریوداسیتی و لیتیک توف‌های آندزیتی است. در برخی نقاط، از افق‌های پایین به سوی افق‌های بالاتر، بخش‌های دارای گدازه‌های اولیوین بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت، آندزیت پورفیری و آگلومرا از حجم

همکاران، ۲۰۲۲b)، ورمزیار (قربانی و همکاران، ۱۴۰۱؛ کوهستانی و همکاران، ۲۰۲۲b) و چومالو (قاسمی سیانی و همکاران، ۲۰۲۲) و کانسارهای مس تیپ مانتو مانند ماری (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵b؛ مغفوری و همکاران، ۲۰۱۷)، کردکندی (احمدی، ۱۳۹۷) و گله‌رود (عسگری، ۱۳۹۹) اشاره کرد. کانسار مس دوه‌یاتاقی در استان قزوین و در نزدیکی مرز این استان با استان زنجان واقع شده و بخشی از کمربند فلززایی طارم- هشتجین است. فعالیت‌های معدنی در این کانسار از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۲ انجام و طی آن بیش از ۱،۳۵۰ تن ماده معدنی با عیار ۳٪ مس استخراج شده است. از سال ۱۳۹۹، فعالیت‌های اکتشافی جدید بر روی کانسار دوه‌یاتاقی توسط بخش خصوصی انجام شده است که منجر به شناسایی ذخیره‌ای بالغ بر ۱۰۰،۰۰۰ تن با عیار میانگین ۰/۸ درصد وزنی مس شده است. با این وجود، تاکنون پژوهش علمی دقیقی بر روی این کانسار انجام نشده است. در پژوهش حاضر، ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی و ساخت و بافتی در کانسار دوه‌یاتاقی مورد بررسی قرار گرفته و نوع کانه‌زایی آن تعیین شده است. مطالعه دقیق این نوع کانه‌زایی‌ها می‌تواند عوامل کلیدی توزیع زمانی و مکانی برای اکتشاف کانه‌زایی‌های مشابه را معرفی کرده و به‌عنوان الگوی اکتشافی در کمربند فلززایی طارم- هشتجین و دیگر مناطق ایران با زمین‌شناسی مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

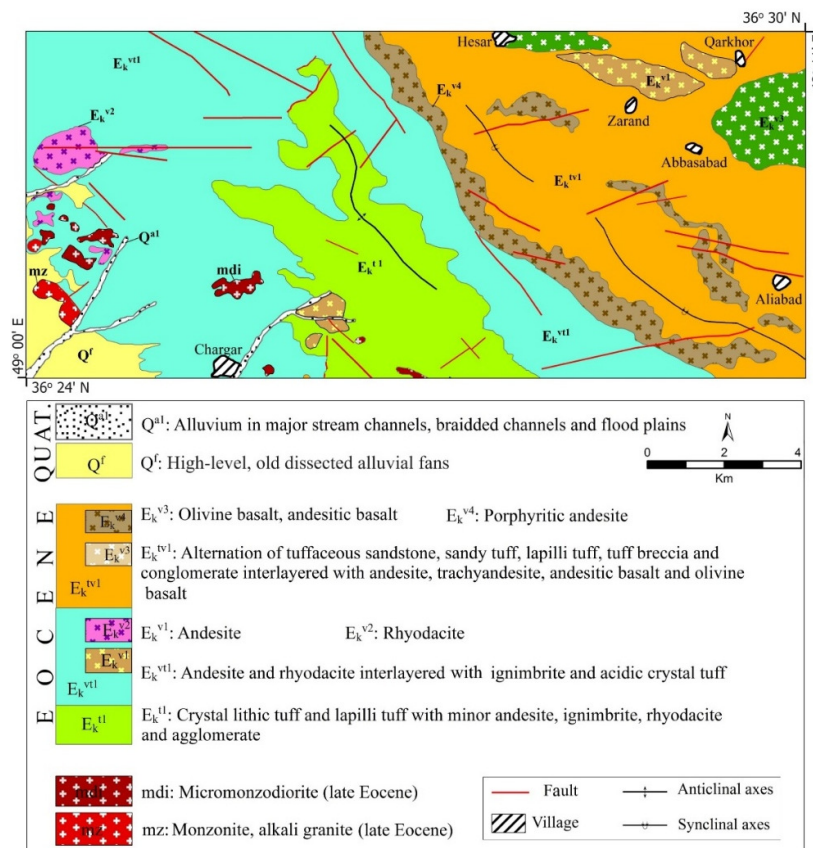
این پژوهش شامل دو بخش مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی می‌باشد. در مطالعات صحرایی، نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۵،۰۰۰ منطقه، تهیه و موقعیت، امتداد، شیب و ضخامت پهنه کانه‌دار و ارتباط آن با سنگ‌های میزبان، مشخص شد. سپس، تعداد ۷ مقطع نازک و ۲۸ مقطع نازک- صیقلی برای مطالعات سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری و ساخت و بافت، تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. در پایان، براساس نتایج به‌دست آمده، تیپ کانه‌زایی تعیین گردید.

۳- زمین‌شناسی عمومی منطقه دوه‌یاتاقی

براساس مطالعات صحرایی و با توجه به نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰ ابهر (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵)، واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در منطقه دوه‌یاتاقی شامل

توفی و لاپیلی توف‌ها دیده شده است. با توجه به سن واحد E_k^{vt1} ، سن احتمالی واحد E_k^{vt1} ، ائوسن میانی - بالایی است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵). واحدهای کواترنری شامل نهشته‌های پادگانه‌های آبرفتی بریده بریده کهن و مرتفع (واحد Q^f) و آبرفت‌های موجود در کانال رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی (واحد Q^{al}) می‌باشند.

بالایی برخوردار هستند به‌طوریکه می‌توان آن‌ها را به‌صورت برونزدهای جداگانه (واحدهای E_k^{v3} و E_k^{v4}) درون واحد E_k^{vt1} تفکیک کرد. بیشتر قطعات موجود در ماسه‌سنگ‌های توفی، لاپیلی توف‌ها، توف برش‌ها و آگلومراها دارای ترکیب آندزیتی هستند ولی قطعات شیشه‌های آتشفشانی نیز در آن‌ها دیده می‌شود. قطعات فلدسپات در ماسه‌سنگ‌های



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای منطقه دوه‌یاتاقي (با تغییرات از حسینی و همکاران، ۱۳۹۵).

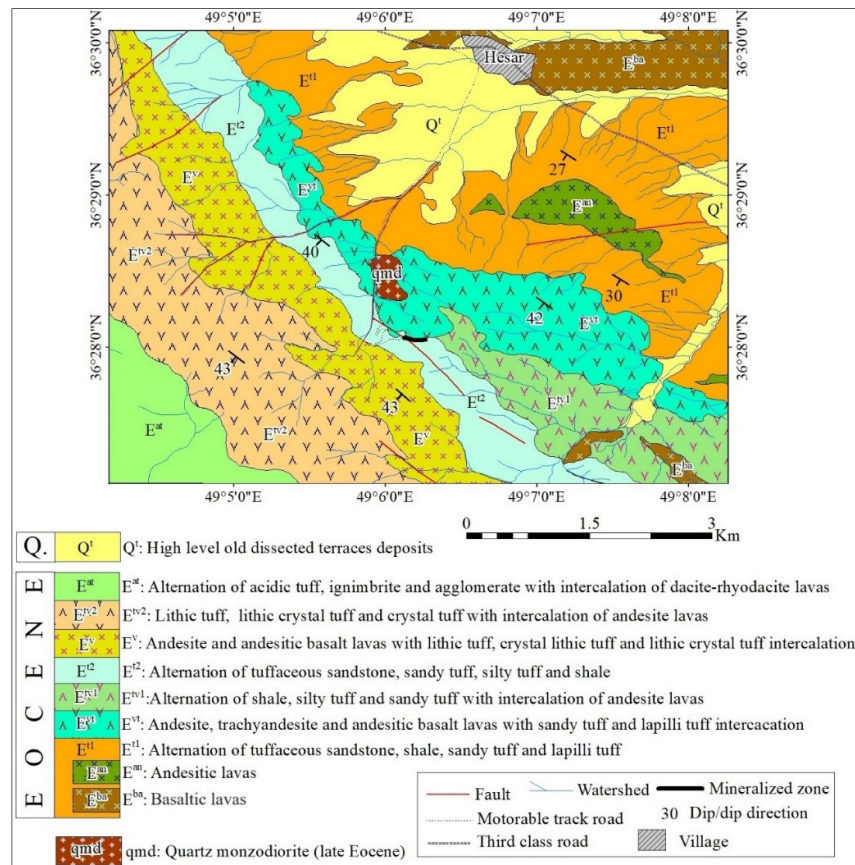
Fig. 1. Regional geological map of the Daveh Yataqi area (after Hosseiny et al., 2016).

مرکزی توده mz، بیشتر بافت گرانولار و بخش‌های حاشیه‌ای بافت میکروگرانولار تا پورفیری نشان می‌دهند. سینیت‌ها دارای فلدسپات قلیایی فراوان و گاهی دارای بیگانه سنگ‌هایی با ترکیب مونزودیوریت هستند. توده mdi بخش حاشیه‌ای توده‌های گرانیتوئیدی توده mz را تشکیل داده و از نظر سنی با توده مرکزی خود هم سن بوده و سن ائوسن بالایی دارد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵). این توده دگرسانی و کانی‌سازی گسترده‌ای را در واحدهای بافت گرانولار و در بخش‌هایی میکروپورفیری و دارای کانی‌های پلاژیوکلاز با ترکیب الیگوکلاز تا آندزین،

توده‌های نفوذی شامل مونزونیت، آلکالی‌گرانیت، کوارتز مونزونیت و سینیت (توده mz) و میکرومونزودیوریت و میکروگرانیت (توده mdi) هستند. توده mz در واحد E_k^{vt1} نفوذ کرده و سن ۳۸ میلیون سال (اشکوب بارتونین از ائوسن بالایی) دارد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵). مونزونیت‌ها، خاکستری رنگ بوده و دارای بافت گرانولار و کانی‌های پلاژیوکلاز با ترکیب الیگوکلاز تا آندزین، فلدسپات‌های قلیایی پرتیتی، کلینوپیروکسن و بیوتیت هستند. آلکالی‌گرانیت‌ها، دارای درشت‌بلورهای فلدسپات قلیایی فراوان، کوارتز و مسکوویت در خمیره میکروگرانولار از کانی‌های روشن رنگ هستند. به‌طور کلی بخش‌های

کارهای راستالغز چپ‌بر، نرمال و گاه معکوس دارند. چین‌خوردگی‌های اصلی منطقه دارای روند کلی شمال‌باختری- جنوب‌خاوری هستند. چین‌ها در نهشته‌های ائوسن، هندسه سیگموئیدال و آرایش هم‌پوشان دارند به گونه‌ای که اثر سطح محوری چین‌ها تا خاوری- باختری و حتی شمال‌خاوری- جنوب‌باختری تغییر می‌کند. طول موج چین‌های اصلی در سنگ نهشته‌های ائوسن تا ۷ کیلومتر نیز می‌رسد. به‌طور کلی، هندسه چین‌ها جهت فشردگی غالب از سوی جنوب‌باختر را پیشنهاد می‌کند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵).

فلدسپات پتاسیم‌دار، کلینوپیروکسن و آمفیبول هستند. در این سنگ‌ها، کانی‌های ثانویه از جمله کلریت، کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن، نتیجه دگرسانی و جانشینی کانی‌های دیگر می‌باشند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵). ساختار تکتونیکی غالب در منطقه دوه‌یاتاکی و مناطق مجاور، سیستم گسل‌های نرمال با شیب تقریبی ۳۰ درجه و راستای کلی شمال‌باختری- جنوب‌خاوری همراه با چند گسل معکوس با شیب ۶۵ درجه به سوی شمال‌خاور و جنوب‌باختر است. گسل‌های فرعی روند شمال‌خاوری- جنوب‌باختری و خاوری- باختری دارند. این گسل‌ها ساز و



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی کانسار مس دوه‌یاتاکی.

Fig. 2. Geological map of the Daveh Yataqi Cu deposit.

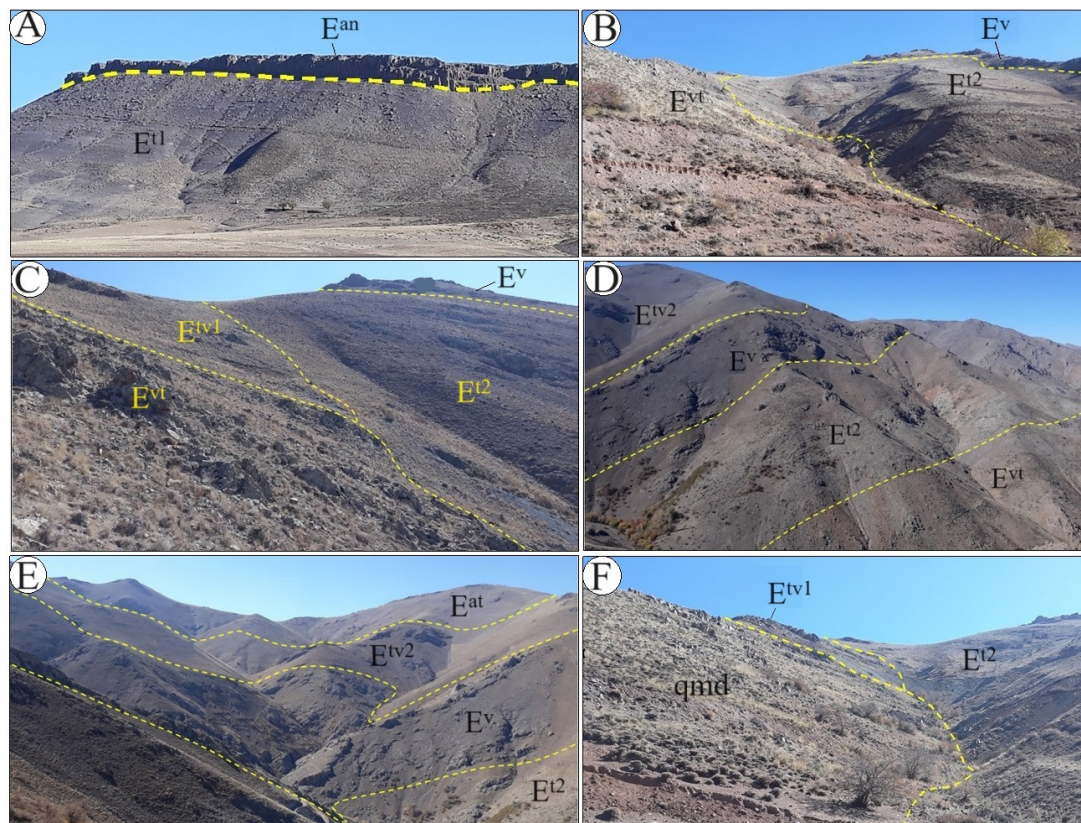
واحد E¹ شامل تناوب لایه‌های نازک تا متوسط ماسه‌سنگ توفی، شیل، توف ماسه‌ای و لاپیلی توف می‌باشد (شکل‌های ۲ و ۳-A). روند عمومی لایه‌بندی در این واحد، شمال‌باختر- جنوب‌خاور با شیب ملایم (کمتر از ۳۰ درجه) به سمت جنوب‌باختر است. این واحد به سمت جنوب، به‌صورت هم‌شیب توسط واحد گدازه‌ای و توفی E⁶ پوشیده می‌شود. واحد E⁹ شامل گدازه‌های بازالتی است که به

۴- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی کانسار دوه‌یاتاکی

براساس مطالعات صحرایی انجام شده و نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰ تهیه شده (شکل ۲)، واحدهای سنگی موجود در کانسار دوه‌یاتاکی شامل سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی ائوسن می‌باشند که توسط توده کوارتز مونوزودیوریتی به سن ائوسن بالایی قطع شده‌اند. زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی این واحدها به شرح زیر است.

روانه‌های آندزیتی است که به‌صورت میان‌لایه درون توالی توفی واحد E^{t1} رخنمون دارند (شکل ۲). این روانه‌های گدازه‌ای به‌صورت هم‌شیب با توالی توفی بوده و گاه توسط واحد سنگی جوان‌تر پوشیده نشده‌اند (شکل ۳-۱).

صورت تپه‌های کم‌ارتفاع در بخش‌های شمالی و جنوب‌خاوری منطقه و به‌ویژه در خاور روستای حصار رخنمون دارند (شکل ۲). سنگ‌های این واحد دارای رنگ خاکستری تیره بوده و به‌صورت میان‌لایه در داخل واحدهای E^{t1} و E^{tv1} قابل تفکیک هستند. واحد E^{an} شامل



شکل ۳. تصاویر صحرایی از واحدهای سنگی در کانسار مس دوه‌یاتاکی. A: نمایی از واحدهای E^{t1} و E^{an} (دید به سمت جنوب‌خاور). B: نمایی از واحد E^{t1} که توسط واحد E^{t2} پوشیده شده است (دید به سمت جنوب‌خاور). C: نمایی از واحد E^{t2} در بین واحدهای E^{tv1} ، E^{vt} و E^v (دید به سمت جنوب‌خاور). D: نمایی از توالی واحدهای E^{tv1} ، E^{t2} ، E^v و E^{tv2} (دید به سمت باختر). E: نمایی از توالی واحدهای E^{t2} ، E^v ، E^{tv2} و E^{at} (دید به سمت جنوب‌باختر). F: نمایی از توده نفوذی کوارتز مونزودیوریتی (دید به سمت شمال‌باختر).

Fig. 3. Field photographs of the rock units in the Dava Yataqi Cu deposit. A: A view of the E^{t1} and E^{an} units, looking southwest. B: A view of the E^{t1} unit that is covered by the E^{t2} unit, looking southeast. C: A view of the E^{t2} unit among the E^{tv1} , E^{vt} , and E^v units, looking southeast. D: A view of the E^{vt} , E^{t2} , E^v , and E^{tv2} units, Looking to the west. E: A view of the E^{t2} , E^v , E^{tv2} , and E^{at} units, looking southwest. F: A view of the quartz monzodiorite intrusion, looking northwest.

هستند. آندزیت‌های بازالتی دارای بافت‌های پورفیری و بادامکی در یک زمینه دانه‌ریز بوده و از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، بلورهای جانشین شده توسط کلسیت و یا مجموعه کلریت-کلسیت-کوارتز تشکیل شده‌اند (شکل ۴-۱ و ۲). پلاژیوکلازها شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار (ابعاد تا ۳/۵ میلی‌متر) و اغلب سالم بوده و به‌ندرت به سریسیت دگرسان شده‌اند. با توجه به زاویه خاموشی، پلاژیوکلازها از نوع آندزین هستند. یکسری بلورهای منشوری (ابعاد تا ۲

واحد E^{vt} متشکل از گدازه‌های آندزیتی، تراکی‌آندزیتی و آندزیت بازالتی همراه با میان‌لایه‌هایی از توف‌ماسه‌ای و لاپیلی توف است (شکل ۳-۱ تا ۳-۴). این واحد سنگی با روند شمال‌باختر- جنوب‌خاور به‌صورت هم‌شیب بر روی واحد توفی E^{t1} واقع شده و خود توسط واحد توفی-گدازه‌ای E^{tv1} و واحد توفی E^{t2} پوشیده شده است. گدازه‌های آندزیتی- تراکی‌آندزیتی این واحد گاه دارای درشت‌بلورهای چند میلی‌متری بوده با بافت مگاپورفیری

شده و خردشده بوده و به هیدروکسیدهای آهن آغشتگی نشان می‌دهند. کریستال توف‌های رسی و توف‌های ماسه‌ای، از بلورهای بسیار ریز (کمتر از ۰/۱ میلی‌متر) پلاژیوکلاز و کوارتز در متنی از کانی‌های رسی تشکیل شده‌اند (شکل ۴-F تا H). بلورهای جانشین شده با کلسیت نیز در این سنگ‌ها دیده می‌شود. در برخی از نمونه‌ها، لایه‌بندی ظریف متشکل از بخش‌های بسیار دانه‌ریز غنی از کانی‌های رسی و بخش‌های نسبتاً درشت‌تر حاوی کوارتز قابل شناسایی است. در برخی دیگر، رگه-رگه‌های کلسیتی دیده می‌شود. آغشتگی به هیدروکسید آهن و تمرکزهایی از کانی‌های کدر در برخی از نمونه‌ها وجود دارد. نمونه‌های توف ماسه‌ای، حاوی بلورهای درشت‌تر بوده و تمرکز کوارتز بیشتری دارند.

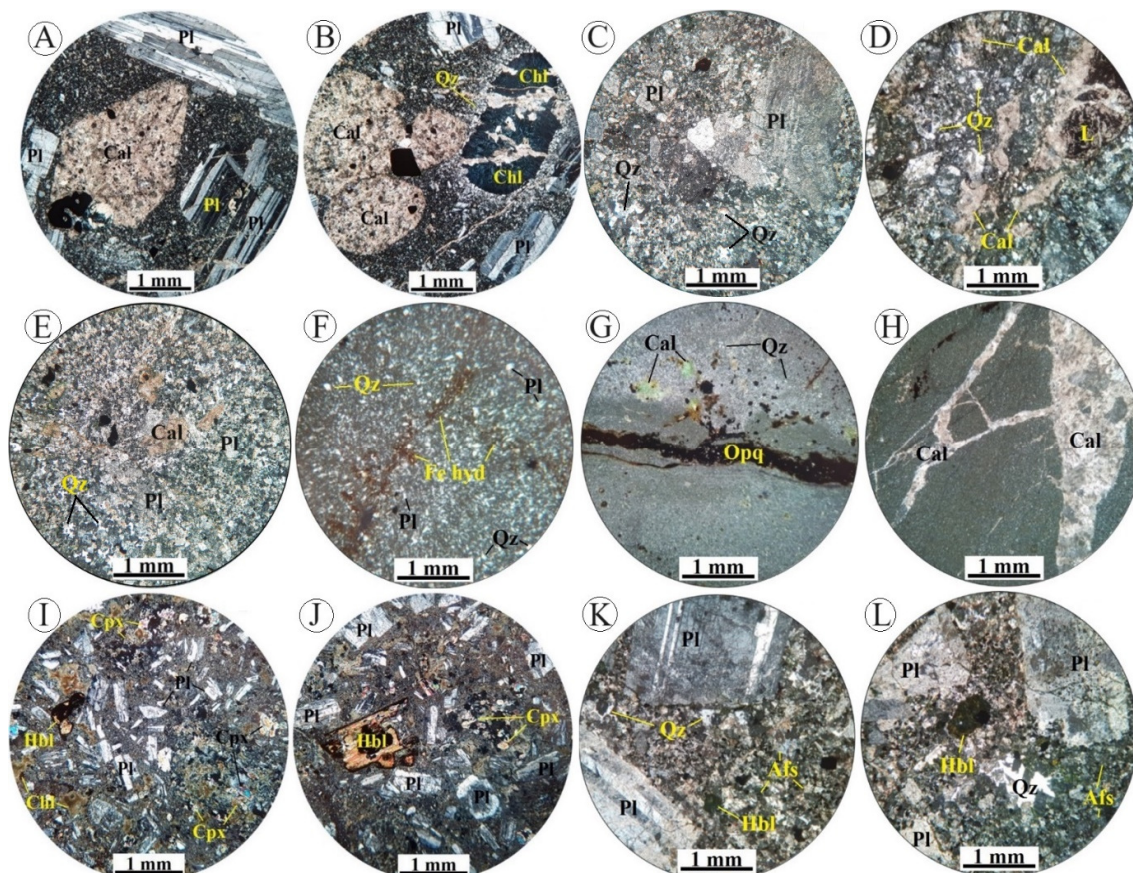
واحد E^v با ریخت‌شناسی نسبتاً صخره‌ساز و روند کلی شمال‌باختر- جنوب‌خاور، در بخش‌های جنوبی، مرکزی و شمال‌باختری منطقه دوه‌یاتاقی رخنمون دارد (شکل‌های ۲ و ۳-B تا E). این واحد عمدتاً متشکل از گدازه‌های آندزیتی تا بازالت آندزیتی بوده و گاه میان‌لایه‌هایی از لایه‌های توفی (لیتیک توف، کریستال لیتیک توف و لیتیک کریستال توف) در داخل آن دیده می‌شود. واحد E^v به‌صورت هم‌شیب بر روی واحد E^{I2} قرار گرفته و خود به‌صورت هم‌شیب توسط واحد توفی- گدازه‌ای E^{IV2} پوشیده می‌شود. نمونه برداشت شده از گدازه‌های بازالت آندزیتی این واحد دارای بافت‌های پورفیری و گلوپروفیری بوده و درشت‌بلورهای آن شامل پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و هورنبلند در یک زمینه دانه‌ریز می‌باشد (شکل ۴-I و J). پلاژیوکلازها به‌صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار در ابعاد تا ۲/۵ میلی‌متر حضور داشته و بعضاً منطقه‌بندی و دگرسانی به کانی‌های رسی نشان می‌دهند. کلینوپیروکسن‌ها به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار در ابعاد تا ۲/۵ میلی‌متر دیده شده و گاه به کلریت دگرسان شده‌اند. بلورهای منشوری و تخت هورنبلند با حاشیه‌های اوپاسیته و ابعاد کمتر از ۰/۵ میلی‌متر قابل مشاهده هستند. واحد E^{IV2} در بخش‌های جنوب‌باختری منطقه دوه‌یاتاقی رخنمون داشته و متشکل از توالی لیتیک توف، لیتیک کریستال توف و کریستال توف بوده و میان‌لایه‌های گدازه‌های آندزیتی در داخل آن دیده می‌شود (شکل ۳-D و E). واحد E^{IV2} دارای ریخت‌شناسی نسبتاً نرم‌فرسا و روند کلی شمال‌باختری- جنوب‌خاوری بوده و به‌صورت هم‌شیب

میلی‌متر) با جانشینی کامل توسط کلسیت در سنگ وجود دارد که به نظر می‌رسد کانی اولیه آمفیبول بوده است. تعداد کمی بلور منشوری جانشین شده توسط مجموعه کلریت- کلسیت- کوارتز در این سنگ‌ها دیده می‌شود که احتمالاً کانی اولیه از نوع پیروکسن بوده است. حفرات پر شده توسط کلریت و کوارتز بافت بادامکی سنگ را ایجاد کرده‌اند. واحد E^{IV1} شامل تناوب شیل، توف سیلتی و توف ماسه‌ای و میان‌لایه‌های گدازه‌ای آندزیتی است (شکل ۳-C و F). این واحد دارای روند کلی شمال‌باختر- جنوب‌خاور بوده و به‌صورت هم‌شیب بر روی واحد توفی E^{VI} قرار گرفته و خود به‌صورت هم‌شیب توسط واحد توفی E^{I2} پوشیده می‌شود. در بخش‌هایی از آن، گدازه‌هایی با رخنمون قابل توجه و با ترکیب بازالتی دیده می‌شود که به‌عنوان واحد E^{ba} تفکیک شده‌اند.

واحد E^{I2} شامل تناوب لایه‌های نازک تا متوسط ماسه‌سنگ توفی، توف ماسه‌ای، توف سیلتی و گاه شیل می‌باشد که با روند شمال‌باختر- جنوب‌خاور از بخش‌های جنوبی تا شمال‌باختری منطقه دوه‌یاتاقی رخنمون دارد (شکل‌های ۲ و ۳-B تا F). این واحد سنگی، میزبان کانه‌زایی مس در منطقه دوه‌یاتاقی بوده و تونل‌های استخراجی قدیمی و فعالیت‌های اکتشافی جدید در آن دیده می‌شود. واحد E^{I2} به‌طور هم‌شیب بر روی واحدهای گدازه‌ای- توفی E^{VI} و E^{IV1} قرار گرفته و خود به‌صورت هم‌شیب توسط واحد گدازه‌ای E^v پوشیده می‌شود. در مقاطع میکروسکوپی، نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های مختلف این واحد سنگی ترکیب لیتیک کریستال توف، کریستال توف، سیلت توفی و توف ماسه‌ای را مشخص کرده است. کریستال توف‌ها و لیتیک کریستال توف‌ها متشکل از بلورهای پلاژیوکلاز، بلورهای جانشین شده توسط کلسیت و کوارتز همراه با قطعات سنگی در یک زمینه دانه‌ریز و گاه حاوی رس هستند (شکل ۴-C تا E). پلاژیوکلازها (ابعاد تا ۲/۵ میلی‌متر) به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا شکسته و زاویه‌دار بوده و به کانی‌های رسی و گاه سرسپیت دگرسان شده‌اند. تعدادی بلور منشوری (ابعاد تا ۰/۵ میلی‌متر) با جانشینی کامل توسط کلسیت و کلریت مشاهده می‌شود که به نظر می‌رسد کانی اولیه از نوع آمفیبول باشد. قطعات سنگی با بافت پورفیری در ابعاد تا ۱/۵ میلی‌متر حضور دارند. بلورهای کوچک کوارتز در فضای بین دیگر بلورها و قطعات سنگی مشاهده می‌شوند. برخی از نمونه‌ها شکسته

رنگ می‌باشد (شکل ۳- E). این واحد با روند عمومی شمال‌باختر - جنوب‌خاور، در گوشه جنوب‌باختری منطقه دوه‌یاتاقي رخمون داشته و به‌طور هم‌شیب بر روی واحد E^{iv} قرار گرفته است.

بر روی واحد E^v قرار گرفته و خود به‌صورت هم‌شیب توسط واحد توفی - گدازه‌ای E^{at} پوشیده می‌شود. واحد E^{at} شامل تناوب سنگ‌های آذرآواری اسیدی لیتیک توف، خاکستر توف، ایگنمبریت و آگلومرا با میان‌لایه‌هایی از گدازه‌های داسیتی - ریوداسیتی به رنگ کلی خاکستری روشن تا کرم



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL) از کانی‌ها و بافت واحدهای سنگی در کنسار مس دوه‌یاتاقي. A و B: درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن‌های کلسیتی‌شده و حفرات پرشده توسط کلریت و کوارتز در زمینه دانه‌ریز در گدازه‌های آندزیتی‌بازالتی. C: درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز همراه با بلورهای کوچک کوارتز در کریستال توف‌ها. D: قطعات سنگی همراه با بلورهای کوارتز و پلاژیوکلاز در متنی از کلسیت در لیتیک کریستال توف‌ها. E: بلورهای آمفیبول جانشین‌شده توسط کلسیت و کلریت همراه با بلورهای پلاژیوکلاز و کوارتز در کریستال توف‌ها. F: بلورهای کوچک کوارتز و پلاژیوکلاز در متن ریزدانه و رسی همراه با رگچه هیدروکسید آهن در توف‌های ماسه‌ای. G: لایه‌بندی ظریف بخش سیلنتی و ماسه‌ای کریستال توف‌های رسی. H: رگچه‌های کلسیتی قطع‌کننده توف‌های سیلنتی دانه‌ریز. I و J: درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و هورنبلندهای اوپاسیته در متن دانه‌ریز در گدازه‌های بازالت آندزیتی. K و L: درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در متن دانه‌ریز متشکل از بلورهای پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپار آرژیلی‌شده، کوارتز و هورنبلندهای کلریتی‌شده در توده کوارتز مونزودیوریت. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (۲۰۱۰) اقتباس شده است. (Afs: آلکالی فلدسپار، Cal: کلسیت، Chl: کلریت، Cpx: کلینوپیروکسن، Fe hyd: هیدروکسید آهن، Hbl: هورنبلند، L: قطعه سنگ، Opq: کانی کدر، Pl: پلاژیوکلاز، Qz: کوارتز).

Fig. 4. A: Photomicrographs (transmitted cross-polarized light, XPL) of minerals and textures of the rock units in the Daveh Yataqi Cu deposit. A and B: Coarse-grained plagioclase and calcitic pyroxene, and vug infilled by chlorite and quartz within fine-grained matrix in andesitic basalt lavas. C: Coarse-grained plagioclase along with fine-grained quartz crystals in crustal tuffs. D: Rock fragments along with quartz and plagioclase crystals within the calcite matrix in lithic crystal tuffs. E: Fine-grained quartz and plagioclase crystals within the fine-grained and clay matrix along with Fe-hydroxide veinlet in sandy tuffs. F: Fine lamination of the silty and sandy part of the crystal clay tuffs. G: Calcite veinlets crosscut fine-grained silty tuffs. H: Coarse-grained plagioclase, clinopyroxene, and opacitic hornblende within fine-grained matrix in basaltic andesite lavas. K and L: Coarse-grained plagioclase within fine-grained matrix composed of argillized plagioclase and alkali feldspar, quartz, and chloritized hornblende in quartz monzodiorite body. Mineral abbreviations from Whitney and Evans (2010). (Afs: alkali feldspar, Cal: calcite, Chl: chlorite, Cpx: clinopyroxene, Fe-hyd: Fe hydroxide, Hbl: hornblende, L: rock fragment, Opq: opaque mineral, Pl: plagioclase, Qz: quartz).

و نمونه دستی بیشتر از نوع پرکننده فضاهای خالی، رگه-رگچه‌ای، برشی و دانه‌پراکنده است (شکل B-۵ تا E). بلورهای کالکوسیت اولیه در نمونه‌های دستی عمدتاً به‌صورت رگه-رگچه‌ای، عدسی‌شکل و دانه‌پراکنده درون سنگ میزبان توفی همراه با مالاکیت به‌صورت پرکننده فضاهای خالی مشاهده می‌شوند.

دگرسانی گرمابی در کانسار مس دوه‌یاتاقی شامل سیلیسی‌شدن، کلریتی‌شدن، کربناتی‌شدن، اپیدوتی‌شدن و زئولیتی می‌باشد. دگرسانی آرژیلیک با ضخامت‌های کم، حاشیه پهنه کانه‌دار را دربر می‌گیرد. دگرسانی کلریتی به‌صورت رگچه‌ای و در مواردی تجمعی در متن سنگ‌های میزبان رخ داده است (شکل A-۶). دگرسانی سیلیسی، به‌صورت تمرکزهای سیلیسی-سولفیدی و رگه-رگچه‌های کوارتز-کلسیتی و کوارتز-کلریتی رخ داده است (شکل B-۶ و C). ضخامت رگچه‌های کوارتزی بیشینه تا ۲ میلی‌متر می‌رسد. دگرسانی کربناتی به دو نوع قابل تفکیک است. دگرسانی کربناتی نوع اول شامل حضور کلسیت در رگه-رگچه‌های کوارتز-کلسیتی است (شکل D-۶). دگرسانی کربناتی نوع دوم شامل کلسیت به‌صورت رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی است (شکل E-۶). دگرسانی زئولیتی شامل بلورهای رشته‌ای زئولیت است که به‌صورت رگچه‌ای در برخی از نقاط پهنه کانه‌دار مشاهده می‌شود (شکل F-۶). گاه تمرکزهایی از مالاکیت در بین زئولیت‌ها دیده می‌شود (شکل G-۶). دگرسانی اپیدوتی به‌صورت تجمعات محدود اپیدوت در متن بخش‌های کانه‌دار حضور داشته و گاه همراهی نزدیکی با دگرسانی زئولیتی نشان می‌دهد (شکل H-۶). دگرسانی آرژیلیک معمولاً توسط شکستگی‌ها کنترل شده و در مقیاس رخنمون سبب تغییر رنگ سنگ‌ها به سمت زرد روشن شده است (شکل I-۶). با توجه به شواهد صحرایی، دگرسانی آرژیلیک ارتباطی به کانه‌زایی نداشته و منشاء برون‌زاد دارد.

۵-۱- کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسنگ

پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت اولیه، بورنیت و مس آزاد کانی‌شناسی اصلی ماده معدنی و کلریت، کوارتز، کلسیت، اپیدوت، زئولیت و کانی‌های رسی مواد باطله در کانسار مس دوه‌یاتاقی می‌باشند. کالکوسیت ثانویه، کوولیت، مالاکیت، کوپریت و گوتیت در اثر فرایندهای برون‌زاد تشکیل

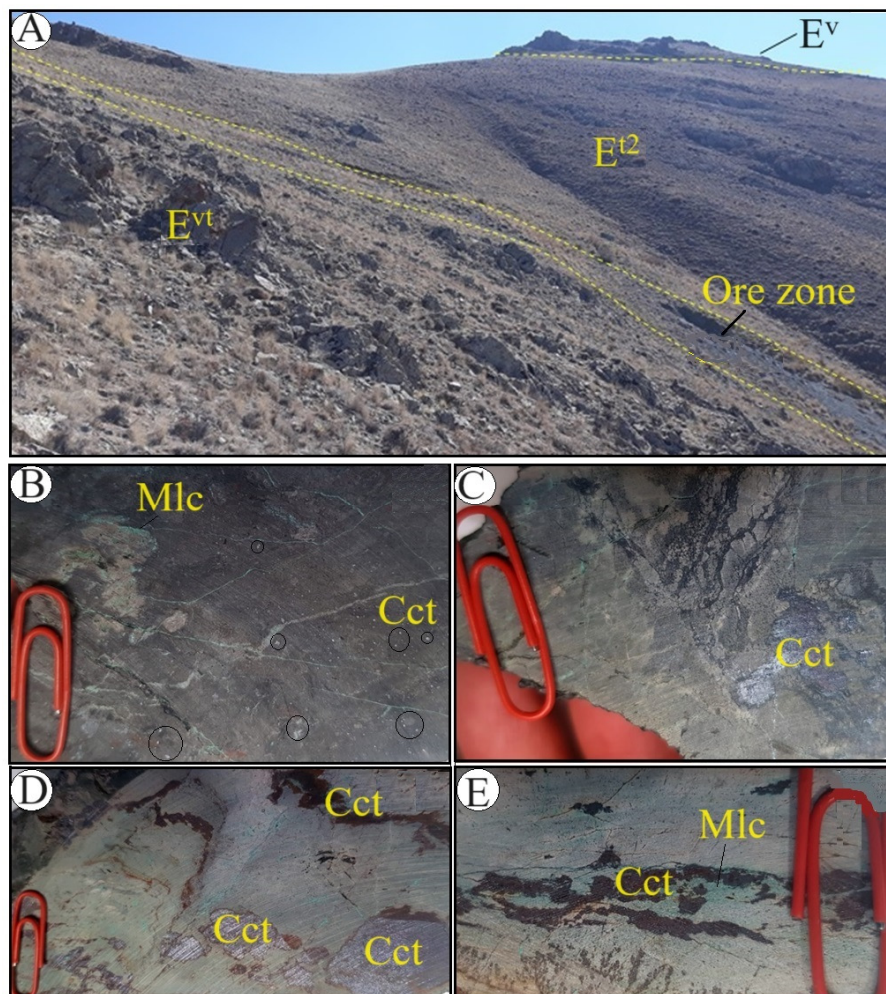
توده نفوذی با ترکیب کوارتز مونزودیوریت (qmd) در بخش‌های مرکزی منطقه دوه‌یاتاقی رخنمون دارد (شکل‌های ۲ و ۳-F). ابعاد این توده حدود ۵۰۰ در ۲۰۰ متر بوده و با روند کلی شمالی-جنوبی در حاشیه آبراهه قابل مشاهده است. در مقیاس میکروسکوپی، توده کوارتز مونزودیوریتی دارای بافت پورفیروئیدی بوده و متشکل از کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، آلكالی‌فلدسپار، کوارتز و هورنبلندهای کلریتی‌شده می‌باشد (شکل K-۴ و L). پلاژیوکلاز کانی عمده این سنگ‌ها است که هم به‌صورت بلورهای درشت (تا ۷ میلی‌متر) و هم به‌صورت بلورهای کوچک (ابعاد کمتر از ۰/۵ میلی‌متر) دیده شده و فراوانی حدود ۵۰ درصد دارد. دگرسانی به سریسیت در بلورهای درشت و دگرسانی به کانی‌های رسی در بلورهای کوچک پلاژیوکلاز دیده می‌شود. برخی از بلورهای درشت پلاژیوکلاز دارای منطقه‌بندی هستند. با توجه به زاویه خاموشی، بلورهای پلاژیوکلاز از نوع آندزین هستند. آلكالی‌فلدسپارها با فراوانی حدود ۳۰ درصد، به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار در ابعاد کمتر از ۰/۳ میلی‌متر مشاهده می‌شوند. دگرسانی به کانی‌های رسی در بلورهای آلكالی‌فلدسپار قابل مشاهده است. هورنبلندها با فراوانی حدود ۱۰ درصد، به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار در ابعاد تا ۱ میلی‌متر حضور دارند. این بلورها اغلب توسط کلریت جانشین شده‌اند. کوارتز با فراوانی حدود ۱۰ درصد به‌صورت بلورهای بی‌شکل در فضای بین دیگر کانی‌ها مشاهده می‌شود. کانی‌های کدر با فراوانی حدود ۲ درصد به‌صورت پراکنده در متن سنگ حضور دارند.

۵- کانه‌زایی و دگرسانی

براساس مطالعات صحرایی، کانه‌زایی در کانسار مس دوه‌یاتاقی به‌صورت چینه‌کران در میزبان واحدهای توفی (کریستال توف‌سیلتی-ماسه‌ای، سیلت‌توفی و توف ماسه‌ای) اتوسن (واحد E¹²) رخ داده است (شکل A-۵). پهنه کانه‌دار دارای روند تقریبی خاوری-باختری با شیب حدود ۶۰-۷۰ درجه به سمت شمال بوده و طولی حدود ۲۰۰ متر و پهنایی بین ۰/۵ تا ۳ متر دارد. آثار معدن‌کاری قدیمی در قالب تونل استخراجی در انتهای بخش باختری پهنه کانه‌زایی دیده می‌شود. در سال‌های اخیر، تعدادی ترانشه اکتشافی-استخراجی نیز بر روی پهنه کانه‌دار حفر شده است. ساخت و بافت ماده معدنی در مقیاس رخنمون

جدایشی (اکسلوشن)، فرامبوئیدال، پرشی، بازماندی و گل‌کلمی می‌باشد.

شده‌اند. انواع بافت کانسنگ شامل دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، جانیشینی، تیغه‌های



شکل ۵. تصاویر صحرایی و نمونه دستی از پهنه کانه‌دار در کانسار مس دوه‌یاتاکی. A: نمایی از پهنه کانه‌زایی درون واحدهای توفی (E^{t2}) ائوسن (دید به سمت جنوب‌خاور). B: کالکوسیت (نقاط روشن مشخص‌شده با دوائر مشکی) با بافت دانه‌پراکنده. C تا E: کالکوسیت با بافت‌های عدسی‌شکل، رگه-رگچه‌ای و لامینه‌ای. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (۲۰۱۰) اقتباس شده است. (Cct: کالکوسیت، Mlc: مالاکیت)

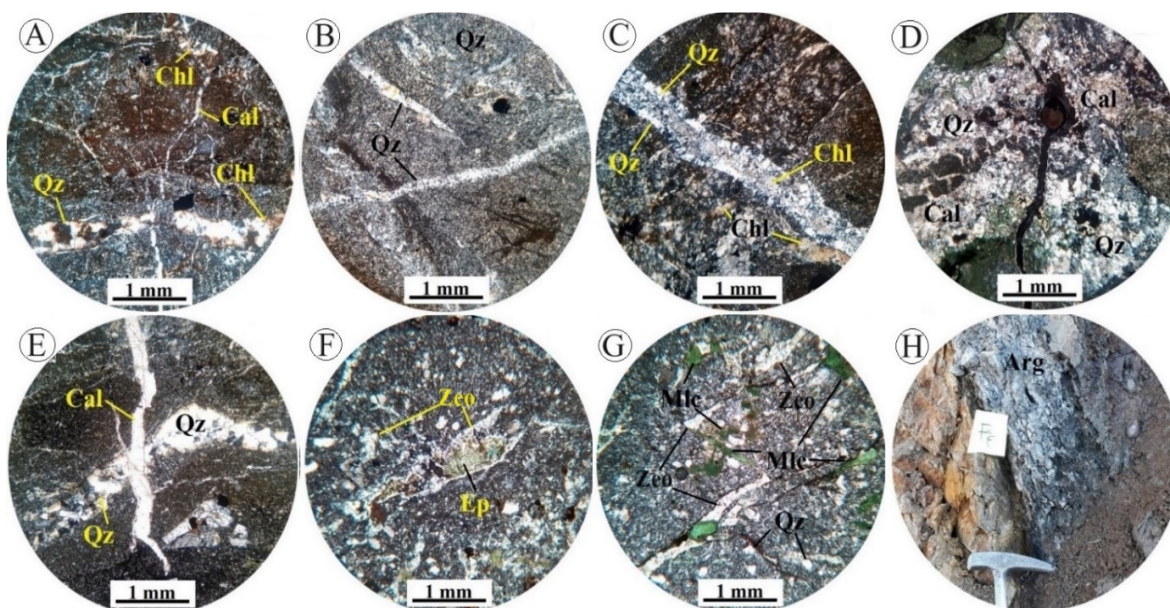
Fig. 5. Field and hand specimen photographs of the ore zone in the Daveh Yataqi Cu deposit. A: A view of the ore zone within the Eocene tuff units, looking southeast. B: Chalcocite (light dots within black circles) with disseminated texture in the tuff unit. C-E: Chalcocite with lens-shaped, vein-veinlet, and laminated textures. Mineral abbreviations from Whitney and Evans (2010). (Cct chalcocite, Mlc: malachite)

کالکوسیت اولیه به‌صورت حاشیه‌ای در اطراف پیریت رشد کرده است. کالکوپیریت عمدتاً به‌صورت بلورهای کوچک تا نسبتاً درشت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل دانه‌پراکنده و یا رگچه‌ای در پهنه کانه‌دار حضور دارد (شکل ۷-B). کالکوپیریت معمولاً دارای ادخال‌هایی از پیریت است (شکل ۷-B). در برخی نقاط، کالکوپیریت به گوتیت دگرسان شده و بقایایی از آن به‌صورت بافت بازماندی باقی مانده است. در برخی از نمونه‌ها، کالکوپیریت به‌صورت تیغه‌های

پیریت به‌صورت بلورهای ریز تا متوسط بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار با بافت دانه‌پراکنده و فرامبوئیدال در پهنه کانه‌دار قابل مشاهده بوده و اغلب توسط کالکوسیت اولیه جانشین شده‌اند (شکل ۷-A). در برخی از نمونه‌ها، ادخال‌هایی از پیریت درون کالکوپیریت دیده می‌شود که بیانگر تبلور زودتر پیریت نسبت به کالکوپیریت در توالی پاراژنزی است. در برخی نقاط، رگچه‌های کالکوپیریت، بلورهای پیریت را قطع کرده است. بعضاً، کالکوپیریت و با

ادخال‌های کالکوسیت اولیه دیده می‌شود (شکل ۷-۷). بورنیت در اثر فرایندهای برون‌زاد به کالکوسیت ثانویه، کوولیت و گوتیت دگرسان شده است (شکل ۷-۷ و ۷-۴). مس آزاد به‌صورت بلورهای دانه‌پراکنده نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل در ابعاد تا ۱ میلی‌متر در برخی از نمونه‌ها قابل مشاهده بوده و با درجاتی مختلف به کوپریت دگرسان شده است (شکل ۷-۴). کوولیت از دگرسانی کانه‌های اولیه مس (بورنیت و کالکوسیت اولیه) حاصل شده است (شکل ۷-۴ و ۷-۴). مالاکیت عمدتاً به‌صورت پرکننده فضاهای خالی و درز و شکاف سنگ‌ها قابل مشاهده است. گوتیت از دگرسانی برون‌زاد کانی‌های بورنیت، کالکوپریت و پیریت حاصل شده است. هماتیت از دگرسانی برون‌زاد کانی‌های کالکوپریت و پیریت تشکیل شده و به‌صورت جانشینی در قالب کانی‌های اولیه مشاهده می‌شود (شکل ۷-۴).

جدایشی با بافت اکسلوشن در داخل بورنیت دیده می‌شود (شکل ۷-۷). کالکوسیت به دو صورت اولیه و ثانویه حضور دارد. کالکوسیت‌های اولیه شامل بلورهای ریز تا نسبتاً درشت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل بوده و معمولاً با بورنیت هم‌رشدی دارند (شکل ۷-۴). کالکوسیت اولیه به‌صورت ادخال درون بورنیت نیز دیده می‌شود (شکل ۷-۷). در برخی نقاط، کالکوسیت‌های اولیه جانشین پیریت‌های فرامبوئیدال شده‌اند (شکل ۷-۴). کالکوسیت‌های اولیه به کوولیت دگرسانی نشان می‌دهند (شکل ۷-۴). کالکوسیت‌های ثانویه محصول دگرسانی بورنیت هستند (شکل ۷-۴). بورنیت به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل نسبتاً درشت عمدتاً به‌صورت دانه‌پراکنده، تجمعی و یا رگچه‌ای قابل مشاهده است. در برخی بلورهای بورنیت، تیغه‌های جدایشی کالکوپریت و

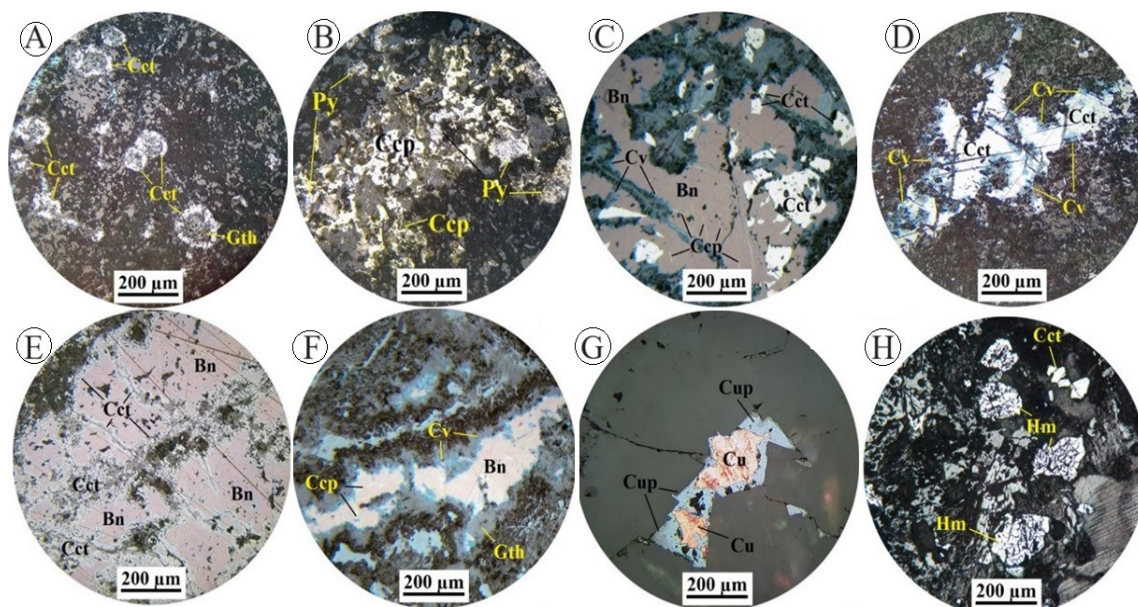


شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی (A تا G، نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL) و صحرایی (H) از انواع دگرسانی‌ها در کانسار مس دوه‌یاتاچی. A: رگچه‌های کوارتز-کلریتی در دگرسانی کلریتی. B: رگچه‌های کوارتزی در دگرسانی سیلیسی. C: رگچه‌های کوارتز-کلریتی در دگرسانی سیلیسی. D: کوارتز و کلسیت با بافت پرکننده حفرات در دگرسانی‌های سیلیسی و کربناتی نوع اول. E: رگچه کلسیتی قطع‌کننده رگچه کوارتزی در دگرسانی کربناتی نوع دوم. F: زئولیت و اپیدوت با بافت پرکننده حفرات در دگرسانی‌های زئولیتی و اپیدوتی. G: زئولیت با بافت پرکننده حفرات در دگرسانی زئولیتی. H: نمای نزدیک از دگرسانی آرژیلیک در مقیاس رخمون. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (۲۰۱۰) اقتباس شده است. (Arg: دگرسانی آرژیلیک، Cal: کلسیت، Chl: کلریت، Ep: اپیدوت، Mlc: مالاکیت، Qz: کوارتز، Zeo: زئولیت).

Fig. 6. Microscopic (A-G, transmitted cross-polarized light, XPL) and field (H) photographs of hydrothermal alteration types in the Daveh Yataqi Cu deposit. A: Quartz-chlorite veinlets in chlorite alteration. B: Quartz veinlets in silica alteration. C: Quartz-chlorite veinlets in silica alteration. D: Quartz and calcite with vug infill texture in silica and type-1 carbonate alterations. E: Calcite veinlet crosscutting quartz veinlet in type-2 carbonate alteration. F: Zeolite and epidote with vug infill texture in zeolite and epidote alterations. G: Zeolite with vug infill texture in zeolite alteration. H: Close view of argillic alteration in outcrop scale. Mineral abbreviations follow Whitney and Evans (2010). (Arg: argillic alteration, Cal: calcite, Chl: chlorite, Ep: epidote, Mlc: malachite, Qz: quartz, Zeo: zeolite).

بلورهای رشته‌ای در حفرات و شکستگی‌ها قابل مشاهده است (شکل ۶-F و G). اپیدوت به‌صورت تجمعی در ابعاد تا ۰/۵ میلی‌متر در پهنه کانه‌دار دیده می‌شود (شکل ۶-F). کانی‌های رسی یکی دیگر از کانی‌های باطله غالب همراه با کانه‌زایی است که مربوط به سنگ میزبان اولیه سیلت توفی می‌باشد. لازم به ذکر است که کانی‌های رسی حاصل از دگرسانی آرژلیک به‌صورت هاله‌ای باریک در اطراف پهنه کانه‌زایی قابل مشاهده است (شکل ۶-H).

کوارتز، کلریت، کلسیت، اپیدوت، زئولیت و کانی‌های رسی، مهم‌ترین کانی‌های باطله در کانسار مس دوه‌یاتاکی هستند. کوارتز مهم‌ترین کانی باطله در این کانسار است که به‌صورت بلورهای ریز بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار دیده می‌شود (شکل ۶-A تا E). کلریت به‌صورت رگچه‌ای و تجمعی در متن سنگ قابل مشاهده است (شکل ۶-A و C). کلسیت بافت‌های رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی دارد. زئولیت با فراوانی کم و به‌صورت تمرکزهایی با



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپی (نور بازتابی عادی، PPL) از کانی‌شناسی و ساخت و بافت مواد معدنی در کانسار مس دوه‌یاتاکی. A: پیریت‌های فرامبوئیدال جانشین‌شده توسط کالکوسیت اولیه. B: هم‌رشدی پیریت و کالکوپیریت. ادخال‌های پیریت داخل کالکوپیریت نیز دیده می‌شود. C: هم‌رشدی کالکوسیت اولیه و بورنیت. ادخال‌های کالکوسیت اولیه و کالکوپیریت (بافت اکسلوشن) داخل بورنیت نیز دیده می‌شود. D: دگرسانی کالکوسیت اولیه به کوولیت. E: دگرسانی بورنیت به کالکوسیت ثانویه. F: دگرسانی بورنیت به کوولیت و گوتیت. G: دگرسانی مس آزاد به کوپریت. H: جانشینی کانی‌های سولفیدی اولیه توسط هماتیت. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و وائز (۲۰۱۰) اقتباس شده‌اند. Bn: بورنیت، Ccp: کالکوپیریت، Cct: کالکوسیت، Cu: مس آزاد، Cup: کوپریت، Cv: کوولیت، Gth: گوتیت، Hem: هماتیت، Py: پیریت).

Fig. 7. Photomicrographs (reflected plane-polarized light, PPL) of the ore mineralogy and texture in the Daveh Yataqi Cu deposit. A: Framboidal pyrite that was replaced with hypogene chalcocite. B: Intergrowth of pyrite and chalcopyrite. Pyrite inclusions within chalcopyrite are also observed. C: Intergrowth of hypogene chalcocite and bornite. Hypogene chalcocite and chalcopyrite (exsolution texture) inclusions within bornite are also observed. D: Alteration of hypogene chalcocite to covellite. E: Alteration of bornite to covellite and goethite. F: Alteration of native Cu to cuprite. G: Alteration of native Cu to cuprite. H: Replacement of primary sulfide minerals by hematite. Mineral abbreviations follow Whitney and Evans (2010). (Bn: bornite, Ccp: chalcopyrite, Cct: chalcocite, Cu: native Cu, Cup: cuprite, Cv: covellite, Gth: goethite, Hem: hematite, Py: pyrite).

سولفیدی (کالکوسیت اولیه) جانشین شده‌اند. مرحله دوم کانه‌زایی مربوط به فرایندهای دیاژنز تأخیری و دگرگونی تدفینی است. مشخصه اصلی این مرحله تشکیل زئولیت درون واحدهای توفی میزبان کانه‌زایی است. این مرحله با حضور کانی‌های بورنیت، کالکوسیت اولیه (Cct1) و مس آزاد با بافت‌های دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، اکسلوشن،

۵-۲- مراحل کانه‌زایی و توالی پاراژنتیک کانی‌ها

کانه‌زایی در کانسار مس دوه‌یاتاکی به چهار مرحله قابل تفکیک است. مرحله اول مربوط به فرایندهای دیاژنز اولیه بوده و طی آن پیریت‌های فرامبوئیدال (Py1) با بافت دانه‌پراکنده درون واحدهای توفی تشکیل شده است. پیریت‌های فرامبوئیدال در مراحل بعدی توسط کانی‌های

کلریت و کلسیت شناخته می‌شود. کانه‌زایی مرحله چهارم مربوط به فرایندهای برون‌زاد بوده و طی آن کانی‌های کالکوسیت ثانویه (Cct2)، کوولیت، مالاکیت، کوپریت و گوتیت با بافت‌های پرکننده فضای خالی، بازماندی، جانیشینی و کلوفرمی تشکیل شده‌اند. مراحل کانه‌زایی و توالی پاراژنتیک کانی‌ها در کانسار مس دوه‌یاتاقي در شکل ۸ نشان داده شده است.

پرکننده فضای خالی و جانیشینی مشخص می‌شود. مقادیر اندکی کالکوپیریت (Ccp1) با بافت جدایشی (اکسولوشن) با میزبان بورنیت نیز در این مرحله تشکیل شده است. زئولیت، اپیدوت و کلریت همراه با اندکی کلسیت، کانی‌های باطله مرحله دوم کانه‌زایی هستند. مرحله سوم به آخرین فعالیت‌های گرمابی در کانسار مس دوه‌یاتاقي مرتبط است. این مرحله از کانه‌زایی با حضور رگه-رگچه‌های تأخیری کوارتز- کالکوپیریت (Ccp2)- پیریت (Py2)، کوارتز-

	Early Diagenesis	Late Diagenesis/Burial metamorphism	Late-ore stage	Supergene
Pyrite	Py1		Py2	
Chalcopyrite		Ccp1	Ccp2	
Bornite				
Chalcocite		Cct1		Cct2
Nativ Cu				
Covellite				
Malachite				
Cuprite				
Goethite				
Hematite				
Quartz				
Chlorite				
Zeolite				
Epidote				
Calcite				
Clay minerals				
Disseminated				
Brecciated				
Vein-veinlets				
Exsolution				
Framboidal				
Colloform				
Vug infill				
Replacement				
Relict				

شکل ۸. توالی پاراژنتیک و ساخت و بافت مواد معدنی و باطله در کانسار مس دوه‌یاتاقي.

Fig. 8. Paragenetic sequences showing the structure and texture of gangues and ore minerals at Daveh Yataqi Cu deposit.

۶- بحث و بررسی

۶-۱- تیپ کانه‌زایی

ماسه‌ای، سیلت‌توفی و توف‌ماسه‌ای) آئوسن رخ داده است. کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، کوپریت، مس آزاد و مالاکیت مهم‌ترین پاراژنز کانیاپی در کانسارهای تیپ مانتو هستند. در کانسار دوه‌یاتاقي نیز بورنیت، کالکوسیت اولیه، پیریت، کالکوپیریت، مس آزاد و کوولیت مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی می‌باشند. چینه‌کران بودن و بافت‌های رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و جانیشینی از دیگر شاخصه‌های کانسارهای مس تیپ مانتو است (کوجیما و همکاران، ۲۰۰۹). کانه‌زایی در کانسار دوه‌یاتاقي نیز چینه‌کران بوده و انواع بافت ماده معدنی شامل دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، جانیشینی و برشی، می‌باشد. مهم‌ترین کانی‌های باطله در کانسارهای تیپ مانتو عبارت از

با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی، دگرسانی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت و براساس تقسیم‌بندی دیل (۲۰۱۰) برای انواع کانسارهای مس، کانسار مس دوه‌یاتاقي در گروه کانسارهای مس با سنگ میزبان آتشفشانی (دسته کانسارهای تیپ مانتو) قرار می‌گیرد. یکی از ویژگی‌های کانسارهای مس تیپ مانتو وجود توالی آتشفشانی- رسوبی و سنگ میزبان آذرآواری و آندزیت تا بازالت پورفیری می‌باشد (آیارزوم و همکاران، ۱۹۹۸؛ هاگان و همکاران، ۲۰۰۳؛ ویلسون و همکاران، ۲۰۰۳a, b). در کانسار مس دوه‌یاتاقي پهنه کانه‌زایی درون واحدهای توفی (کریستال توف‌سیلتی-

کلریتی، کربناتی، اپیدوتی و زئولیتی می‌باشد. با وجود شباهت‌های فراوان بین کانسار دوه‌یاتاقي و کانسارهای مس تیپ مانتو، تفاوت بین این کانسارها سن سنگ‌های میزبان است به‌طوریکه توالی آتشفشانی در منطقه دوه‌یاتاقي دارای سن ائوسن است ولی توالی میزبان کانه‌زایی در کانسارهای تیپ مانتو، ژوراسیک تا کرتاسه پایینی می‌باشد. در جدول ۱، ویژگی‌های اصلی کانسار دوه‌یاتاقي با انواع کانسارهای مس با سنگ میزبان آتشفشانی مقایسه شده است.

کربنات، اپیدوت، کوارتز، زئولیت و کلریت می‌باشند. کانی‌های باطله در کانسار مس دوه‌یاتاقي شامل کلریت، کوارتز، کلسیت، اپیدوت، زئولیت و کانی‌های رسی هستند. اگرچه گستردگی دگرسانی در کانسارهای تیپ مانتو قابل توجه نیست و علت آن پایین بودن دمای سیال کانه‌دار است ولی در مطالعات میکروسکوپی، دگرسانی کربناتی، کلریتی، سیلیسی، اپیدوتی و زئولیتی در این ذخایر گزارش شده است. در کانسار دوه‌یاتاقي نیز دگرسانی‌های گرمایی در مقیاس رخنمون شاخص نبوده و در مقیاس میکروسکوپی شامل سیلیسی،

جدول ۱. مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار دوه‌یاتاقي با انواع کانسارهای مس با سنگ میزبان آتشفشانی.

Table 1. Comparison of main characteristics of the Daveh Yataqi deposit with volcanic-hosted Cu deposits.

کانسار دوه‌یاتاقي	تیپ مانتو	تیپ میشیگان	طبقات قرمز آتشفشانی
موقعیت	شمال باختر ابهر، ایران	شیلی (کانسار بوئن اسپرانزا)	جزیره کونوا، آمریکا (کانسار میشیگان)
سنگ میزبان	کریستال توف سیلتی- ماسه‌ای، سیلت توفی، توف ماسه‌ای	گدازه‌های بازالتی و آندزیتی	بازالت آمیگدا لوتیدال با میان‌لایه‌های کنگلومرایی
سری ماگمایی	کالک‌آلکان تا پتاسیم بالا	کالک‌آلکان (آلکان)	توله‌ایتی (ساب‌آلکان)
جایگاه تکتونیکی	ککش پشت کمان	درون قاره‌ای	قاره‌ای تا دریایی کم‌عمق
پاراژنز کانیایی	کالکوسیت اولیه، بورنیت، پیریت، کالکوپیریت، مس آزاد	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، مس آزاد	پیریت، کالکوسیت، بورنیت، مس آزاد
بافت ماده معدنی	دانه پراکنده، رگه- رگچه‌ای، پُرکننده فضای خالی، جانشینی	رگه- رگچه‌ای، پُرکننده فضای خالی، جانشینی	دانه پراکنده، رگه- رگچه‌ای، پُرکننده فضای خالی
کانی‌های دگرسانی	کوارتز، کلریت، کلسیت، اپیدوت، زئولیت	کربنات، کلریت، اپیدوت، کوارتز	کلسیت، کلریت، زئولیت، اپیدوت
سن کانه‌زایی	ائوسن	ژوراسیک	پالئوزوئیک
منابع	تحقیق حاضر	سلیتو (۱۹۷۷)، ماکسایف و زنتیلی (۲۰۰۲)، رامیرز و همکاران (۲۰۰۶)، تریستا- آگوئیرا و همکاران (۲۰۰۶)، کوچیما و همکاران (۲۰۰۹)	رُزمیر (۲۰۱۱)، بورن هورست و بارون (۲۰۱۱)
			کیرکهام (۱۹۹۶)، کبرال و بیودیون (۲۰۰۷)

۶-۲- کانسارهای مس تیپ مانتو در ایران و مقایسه با کانسار دوه‌یاتاقي

کانسارهای مس تیپ مانتو در ایران در کمان ماگمایی ارومیه- دختر (کانسارهای نارباغی شرقی، خانکشی، کهک، وشنوه و کشکویه)، پهنه سندنجد- سیرجان (کانسار کشت‌مهکی)، کمر بند فلز زایی طارم- هشتجین (کانسارهای قبله‌بلاغ، یمقان، ماری، کردکندی و گلهرود)، پهنه سبزوار (عباس‌آباد، دوچپله، گل چشمه، زنگالو، ابری، رهبری و چشمه مرضیه) و بلوک لوت (ورزگ) شناسایی شده و دارای سنگ میزبان آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی هستند (موحدنیا و همکاران، ۲۰۲۲). این کانسارها براساس سن سنگ میزبان به دو گروه

سنی کرتاسه و ائوسن قابل تفکیک هستند (فضلی و همکاران، ۱۴۰۰؛ موحدنیا و همکاران، ۲۰۲۲). گروه اول عمدتاً در بخش جنوبی پهنه سندنجد- سیرجان درون سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی کرتاسه تشکیل شده و شامل کشت‌مهکی، کال‌ریزه، حسن‌آباد، خورجان و سیمکان هستند (بویری کناری و همکاران، ۱۳۹۳؛ فضلی و همکاران، ۱۴۰۰). گروه دوم در پهنه ساختاری ارومیه- دختر (مانند نارباغی شرقی، خانکشی، کهک، وشنوه، داوران، کشکویه و دارهند)، کمر بند فلز زایی طارم- هشتجین (مانند ماری، قبله‌بلاغ، یمقان، قشلاق، دهنج، کردکندی و گلهرود)، پهنه سبزوار (مانند عباس‌آباد، زنگالو، دوچپله، چشمه مرضیه، کال‌آبری، گل چشمه و نسیم یا

آذرآواری و رسوبی مشابه با کانسارهای مس تیپ مانتو در دیگر نقاط دنیا است. این کانسارها در ایران دارای کنترل‌کننده ساختاری بوده و در آن‌ها کانه‌زایی مس (نقره) به صورت رگه-رگچه‌ای، دانه‌پراکنده و پرکننده حفرات رخ داده است. کانه‌زایی مس عموماً ارتباط نزدیکی با پیریت‌های فرامبوئیدال و پیرویت‌نمن‌ها دارد. مجموعه کانی‌شناسی در کانسارهای مس تیپ مانتو در ایران ساده بوده و شامل کالکوسیت، بورنیت، مس آزاد، کالکوپیریت، آکانتیت و پیریت همراه با مقادیر اندکی دیژنیت، کوولیت، کوپریت، تنوریت، کریزوکولا، آنیلیت، مالاکیت، آزوریت و کلاسلایت نقره‌دار است (موحدنیا و همکاران، ۲۰۲۲). کلریت، کلسیت، کوارتز و ژئولیت به عنوان کانی‌های دگرسانی حضور دارند. سولفیدهای مس معمولاً جانشین پیریت‌های دیاژنزی شده‌اند که خود جانشین پیرویت‌نمن شده است (موحدنیا و همکاران، ۲۰۲۲). در جدول ۲، ویژگی‌های اصلی کانسار دوه‌یاتاکی با برخی از کانسارهای مس تیپ مانتو در ایران مقایسه شده است.

چشمه‌گز) و بلوک لوت (مانند گرماب و ورزگ) درون توالی‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی ائوسن تشکیل شده‌اند (بهزادی، ۱۳۷۳؛ فاضلی، ۱۳۸۱؛ سامانی، ۱۳۸۶؛ علیزاده و همکاران، ۱۳۹۱؛ بویری کناری و همکاران، ۱۳۹۳؛ ابولی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴؛ صالحی و همکاران، ۱۳۹۴؛ حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵b؛ مهوشی و ملک‌زاده شفاوردی، ۱۳۹۵؛ جباری و همکاران، ۱۳۹۶؛ مغفوری و همکاران، ۲۰۱۷؛ نجمی و همکاران، ۱۳۹۶؛ کبودی و همکاران، ۱۳۹۸؛ احمدی، ۱۳۹۹؛ عسگری، ۱۳۹۹؛ فضلی و همکاران، ۱۴۰۰؛ جیبا و همکاران، ۱۴۰۰؛ استادحسینی و همکاران، ۲۰۲۱؛ موحدنیا و همکاران، ۲۰۲۲؛ قلیچ‌خانی و همکاران، ۲۰۲۳؛ رمضانی آبیخش و همکاران، ۱۴۰۲).

کانسارهای مس مانتو در ایران اغلب در حوضه‌های کششی پشت کمان در ارتباط با فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر صفحات خرد قاره‌های ایران مرکزی تشکیل شده‌اند (موحدنیا و همکاران، ۲۰۲۲). توالی سنگ‌چینه‌شناسی در این نوع کانه‌زایی‌ها معمولاً شامل توالی‌های سنگی آتشفشانی،

جدول ۲. مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار دوه‌یاتاکی با برخی از کانسارهای مس تیپ مانتو در ایران.

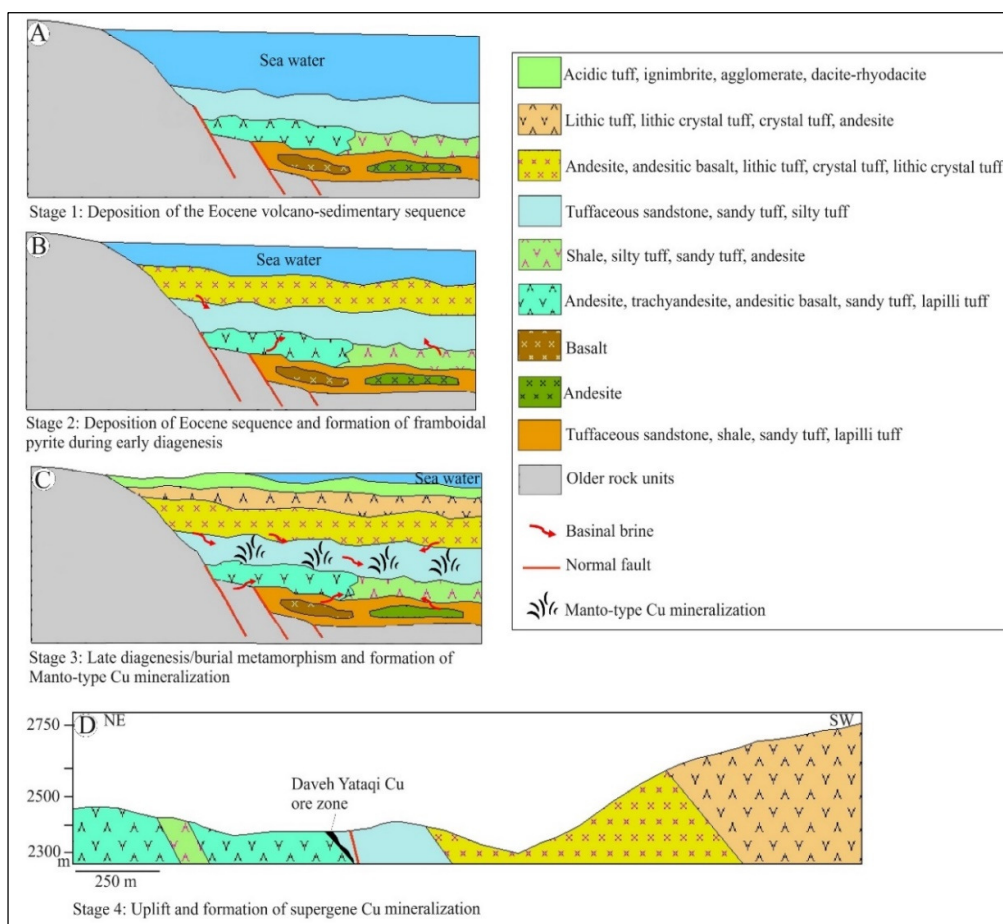
Table 2. Comparison of main characteristics of the Daveh Yataqi deposit with some Manto-type Cu deposits in Iran.

دوه‌یاتاکی	معدن بزرگ	زنگالو	وشنوه	ماری	گلپرو
موقعیت	شمال باختر ابهر	خاور شاهرود	شمال باختر بردسکن	جنوب خاور وشنوه، قم	شمال زنجان
سنگ	کریستال توف	آندزیت پورفیری، تراکی آندزیت، کنگلومرا	توف، تراکی آندزیت، تراکی بازالت	آندزیت	اولیون بازالت، آندزیت
میزبان	سیلتی-ماسه‌ای، سیلت توفی، توف ماسه‌ای	آندزیت، تراکی آندزیت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت	کالکوسیت، بورنیت، پیریت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت
پاراژنز	کالکوسیت اولیه، بورنیت، پیریت، کالکوپیریت، مس آزاد	کالکوسیت، کالکوپیریت، پیریت، مس آزاد	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت	کالکوسیت، بورنیت، پیریت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت
بافت ماده معدنی	دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، جانشینی	دانه‌پراکنده، پرکننده فضای خالی، جانشینی	پرکننده فضای خالی، رگه-رگچه‌ای، دانه‌پراکنده	پرکننده فضای خالی، رگه-رگچه‌ای، دانه‌پراکنده	رگه-رگچه‌ای، جانشینی
کانی‌های دگرسانی	کوارتز، کلریت، کلسیت، اپیدوت، ژئولیت	کلریت، اپیدوت، کلسیت، کوارتز، ژئولیت	کلریت، اپیدوت، کوارتز، ژئولیت	کربنات، کلریت، کوارتز، اپیدوت	کوارتز، کلسیت، کلریت، ژئولیت، اپیدوت
سن کانه زایی	ائوسن	ائوسن میانی-بالایی	ائوسن بالایی	ائوسن	ائوسن
منابع	تحقیق حاضر	صالحی و همکاران (۱۳۹۴)	قلیچ‌خانی و همکاران (۲۰۲۳)	فاضلی (۱۳۸۱)	حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۵b)، مغفوری و همکاران (۲۰۱۷)
					عسگری (۱۳۹۹)

۳-۶- الگوی تشکیل کانسار دوه‌یاتاقی

براساس نتایج حاصل از مشاهدات صحرایی، مطالعات سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری، توالی پاراژنری کانی‌ها و کانه‌ها در کانسار دوه‌یاتاقی، مراحل تکوین و تکامل این کانسار را می‌توان به‌صورت یک توالی چهار مرحله‌ای خلاصه کرد (شکل ۹). مرحله نخست با آغاز رسوب‌گذاری واحدهای آتشفشانی-رسوبی ائوسن در یک حوضه کششی پشت کمان (وردل و همکاران، ۲۰۱۱؛ شفائی‌مقدم و همکاران، ۲۰۱۸؛ مختاری و همکاران، ۲۰۲۲) همراه است (شکل ۹-۱). در مرحله دوم، فعالیت احیاء سولفات آب دریا توسط باکتری‌ها سبب آزاد شدن گوگرد و تشکیل پیریت‌های فرامبوئیدال با بافت دانه‌پراکنده درون واحدهای توفی میزبان کانه‌زایی شده است (شکل ۹-۲). تشکیل این پیریت‌ها بعد از ته‌نشست و قبل از سنگ‌شدگی و طی دیاژنز اولیه سنگ‌های توفی بوده است. در مرحله سوم (دیاژنز تأخیری/ دگرگونی تدفینی)، ادامه

فعالیت‌های آتشفشانی و رسوب‌گذاری سبب ضخیم‌تر شدن توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن شده است (شکل ۹-۳). این افزایش ضخامت سبب تدفین عمیق و افزایش فشار و دما در سیالات بین حوضه‌ای (کیرک‌هام، ۱۹۹۶) می‌شود. تحرک این سیالات درون توالی آتشفشانی-رسوبی (بوریگ و همکاران، ۲۰۰۲) سبب شسته‌شدن مس از ساختار کانی‌ها و انتقال آن به نقاط کم فشار می‌شود. ورود سیالات غنی از مس به درون واحدهای توفی غنی از پیریت، موجب احیاء آن‌ها و ته‌نشینی مس به شکل سولفیدی در فضاهای مناسب می‌گردد. جاننشینی پیریت‌های فرامبوئیدال توسط کالکوسیت اولیه و وجود ژئولیت در واحدهای توفی میزبان از شواهد دیاژنز تدفینی در کانسار دوه‌یاتاقی است. مرحله چهارم با بالا آمدگی منطقه و توسعه فرایندهای هوازدگی و فرسایش همراه بوده و طی آن ریخت‌شناسی امروزی منطقه حاصل شده است (شکل ۹-۴).



شکل ۹. A تا D: تصاویر شماتیک از مراحل شکل‌گیری کانه‌زایی در کانسار مس دوه‌یاتاقی. برای توضیح به متن مراجعه شود.

Fig. 9. A-D: Schematic representation of mineralization evolution stages at Daveh Yataqi Cu deposit. See text for details.

- Asgari, E (2022) Geology and mineralization of Galharoud Cu deposit, northeast Zanjan. Unpublished M.Sc. Thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran, 108 p. (in Persian with English abstract)
- Bazargani-Guilani, K. and Parchekani, M (2011) Metallogenic properties of Barik-Ab Pb-Zn (Cu) ore deposit with acidic tuff host rock, west Central Alborz, northwest of Iran. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 20 (78): 97-104. (in Persian with English abstract) doi.org/10.22071/GSJ.2010.54611.
- Behzadi, M (1994) Economic geology investigations in Qebleh Bolaq copper index in the Tarom Sofla region, Zanjan province. Unpublished M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 318 p. (in Persian with English abstract)
- Boric, R., Holmgren, C., Wilson, N. S. F., Zentilli, M (2002) The geology of the El Soldado Manto-type Cu (Ag) deposit, central Chile, In T.M. Porter (Editor), *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*. PGC Publication, Adelaide, Australia, 2: 185-205.
- Bornhorst, T. J. and Barron, R. J (2011) Copper deposits of the western Upper Peninsula of Michigan. In: *Archean to Anthropocene: Field Guides to the Geology of the Mid-Continent of North America* (Eds, Miller, J. D., Hudak, G. J., Wittkop, C., McLaughlin, P. I.) Geological Society of America, 24: 1-42. doi.org/10.1130/2011.0024(05).
- Boveiri Konari, M., Rstad, E., Kojima, S., Rashidnejad Omran, N (2013) Volcanic redbed-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)*, 190 (2): 107-121. doi.org/10.1127/0077-7757/2013/0236.
- Cabral, A. R. and Beaudoin, G (2007) Volcanic red-bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada. *Mineralium Deposita*, 42 (8): 901-912. doi.org/10.1007/s00126-007-0141-7.
- Dill, H. G (2010) The chessboard classification scheme of mineral deposits: mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth Science Reviews*, 100 (1-4): 1-20. doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.10.011.
- Esmaili, M., Lotfi, M., Nezafati, N (2015) Fluid inclusion and stable isotope study of the Khalyfehlou copper deposit, southeast Zanjan, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8 (11): 9625-9633.
- Fazeli, A (2002) Type of the copper mineralization at Veshnaveh deposit, south of Qom. Unpublished

۷- نتیجه‌گیری

کانه‌زایی مس در کانسار دوه‌یاتاقی به صورت چینه‌کران و با بافت‌های دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، پُرکننده فضای خالی، جانشینی، اکسلوشن، فرامبوئیدال، برشی، بازماندی و گل‌کلمی، درون واحدهای توفی (کریستال توف‌سیلتی-ماسه‌ای، سیلت‌توفی و توف‌ماسه‌ای) اتوسن رخ داده است. کانی‌شناسی کانسنگ در این کانسار شامل کالکوسیت اولیه، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت، مس آزاد، کلریت، کوآرتز، کلسیت، اپیدوت، زئولیت و کانی‌های رسی می‌باشد. مقایسه شواهد زمین‌شناسی، کان‌زایی، نوع دگرسانی‌ها، کانی‌شناسی و ساخت و بافت در کانسار مس دوه‌یاتاقی با انواع کانسارهای مس با سنگ میزبان آتشفشانی نشان می‌دهد که این کانسار از نوع کانسارهای مس تیپ مانتو بوده و از این نظر مشابه با سایر کانسارهای مس تیپ مانتو با سنگ میزبان اتوسن در ایران است. با توجه به گسترش زیاد واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی اتوسن در شمال‌باختر ایران، بررسی این واحدهای سنگی احتمالاً می‌تواند به ردیابی و شناسایی ذخایر جدید مس مانتو منجر شود.

۸- قدردانی

نویسندگان از حمایت‌های مالی دانشگاه زنجان برای انجام این پژوهش و از سردبیر و داوران محترم مجله یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی برای راهنمایی‌های علمی که منجر به غنای بیشتر مقاله حاضر گردیده است، تشکر می‌نمایند.

References

- Abolipour, M., Rastad, E., Rashidnejad Omran, N (2015) Manto-type copper mineralization in pyrobitumen-bearing porphyritic andesite, Koshkouieh district of Rafsanjan, DehajSardoye subzone. *Scientific Quarterly Journal of Geoscience*, 24 (95): 123-144. doi.org/10.22071/gsj.2015.42418.
- Ahmadi, M (2019) Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of Kordkand Cu-Fe deposit, northwest Zanjan. Unpublished M.Sc. Thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran, 104 p. (in Persian with English abstract)
- Alizadeh, V., Momenzadeh, M., Emami, M. H (2013) Petrography, geochemistry, mineralogy, fluid inclusions, and mineralization study of Vorezg-Qayen copper deposit. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 22 (86): 47-58. doi.org/10.22071/gsj.2012.54056

- with extended English abstract) doi.org/10.22055/aag.2021.34764.2157.
- Kaboodi, Z., Ghaderi, M., Rastad, E (2019) Mineralogy, texture and structure and genetic model of Kahak Manto-type copper deposit in the Eocene volcano-sedimentary sequence, south Qom. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 29 (113): 145–154. (in Persian with English abstract).
- Khanmohammadi, N., Khakzad, A., Izadyar, J (2009) Mineralography, structural and textural studies and genesis of Zaker ironapatite deposit (northeast of Zanjan). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 76 (1): 119–126. (in Persian with English abstract) doi.org/10.22071/GSJ.2009.55669.
- Kirkham, R. V (1996) Volcanic Redbed copper. In: *Geology of Canadian Mineral Deposit Types* (Eds, Eckstrand, O. R., Sinclair, W. D., Thorpe, R. I.) Geological Society of America, 8: 241–252. doi.org/10.1130/DNAG-GNA-P1.241.
- Kojima, S., Tristá-Aguilera, D., Hayashi, K (2009) Genetic aspects of the Manto-type copper deposits based on geochemical studies of north Chilean deposits. *Resource Geology*, 59 (1): 87–98. doi.org/10.1111/j.1751-3928.2008.00081.x
- Kordian, Sh., Mokhtari, M. A. A., Kouhestani, H., Veisheh, S (2020) Geology, mineralogy, structure and texture, geochemistry and genesis of the Golestan Abad iron oxide-apatite deposit (East of Zanjan). *Journal of Economic Geology*, 12 (3): 299–325. (in Persian with extended English abstract) doi.org/10.22067/econg.v12i3.79628.
- Kouhestani, H., Azimzadeh, A. M., Mokhtari, M. A. A., Ebrahimi, M (2017) Mineralization and fluid evolution of epithermal base metal veins from the Aqkand deposit, NW Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen (Journal of Mineralogy and Geochemistry)*, 194 (2): 139–155. doi.org/10.1127/njma/2017/0036.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M. A. A., Chang, Z (2022a) Fluid inclusion and stable isotope constraints on the genesis of epithermal base metal veins in the Armağan Khaneh mining district, Tarom-Hashtjin metallogenic belt, NW Iran. *Australian Journal of Earth Sciences*, 69 (6): 844–860.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M. A. A., Chang, Z., Qin, K. Z., Aghajani Marsa, S (2022b) Fluid inclusion, zircon U–Pb geochronology, and O–S isotopic constraints on the origin and evolution of ore-forming fluids of the Tashvir and Varmazyar epithermal base metal deposits, NW Iran. *Frontiers in Earth Science*, 10: 990761. doi.org/10.3389/feart.2022.990761.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M. A. A., Chang, Z., Johnson, A. C (2018) Intermediate-sulfidation type base metal mineralization at Aliabad-Khanchy, Tarom-Hashtjin metallogenic belt. NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 93: 1–18.
- M.Sc. Thesis, Kharazmi University, Tehran, Iran, 157 p. (in Persian with English abstract)
- Fazli, N., Ghaderi, M., Movahednia, M., Maghfouri, S (2021) Manto-type copper mineralization in the central part of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc (Qom-Saveh region) with emphasis on the East Narbaghi deposit, northeast Saveh. *Iranian Journal of Geology*, 15 (59): 69–90.
- Ghasemi Siani, M., Mehrabi, B., Nazarian, M., Lotfi, M., Corfu, F (2022) Geology and genesis of the Chomalu polymetallic deposit, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 143: 104763. doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104763.
- Ghelichkhani, M., Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M. H., Homam, S. M (2023) Zangalou Manto-type deposit in the Sabzevar zone, northeast Iran: Evidence of mineralogy, geochemistry, U–Pb dating, fluid inclusion, and stable isotopes. *Geological Journal*, 58 (1): 465–496. doi.org/10.1002/gj.4607.
- Ghorbani, A., Kouhestani, H., Mokhtari, M. A. A (2022) Genesis of the Varmazyar Pb–Zn (Ag) occurrence, Tarom-Hashtjin metallogenic belt: Insights from ore geology, geochemistry and fluid inclusion studies. *Journal of Economic Geology*, 14 (1): 1–38 (in Persian with extended English abstract).
- Haggan, T., Parnell, J., Cisterna, M. E (2003) Fluid history of andesite-hosted CuS-bitumen mineralization, Copiapo district, north-central Chile. *Journal of Geochemical Exploration*, 78–79: 631–633. doi.org/10.1016/S0375-6742(03)00131-6.
- Hosseiny, M., Moosavi, E., Rasouli Jamadi, F (2016) Geological map of Abhar, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Hosseinzadeh, M. R., Maghfouri, S., Moayyed, M., Rahmani, A (2016a) Khalyfehlou deposit: High-sulfidation epithermal Cu–Au mineralization in the Tarom magmatic zone, north Khoramdareh. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 25 (99): 179–194. (in Persian with English abstract) doi.org/10.22071/GSJ.2016.40910.
- Hosseinzadeh, M. R., Maghfouri, S., Moayyed, M., Farid-Asl, V (2016b) Mari deposit as Manto-type stratabound reserve in the Tarom zone, NW Iran. *Iranian Journal of Geology*, 10 (38): 17–37.
- Jabbari, E., Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M. H (2017) Kalabri stratabound (Manto-type) copper deposit in Eocene volcanic-sedimentary complex of NW Bardaskan, NE Iran. *Advanced Applied Geology*, 7 (1): 1–19. (in Persian with English abstract) doi.org/10.22055/AAG.2017.13066.
- Jiba, Z., Ghaderi, M., Maghfouri, S (2021) Geology, mineralogy, and fluid inclusion studies of the Yamaghan Manto-type Cu (Ag) deposit, southeast Zanjan, NW Iran. *Advanced Applied Geology*, 11 (3): 594–615. (in Persian

- occurrence (SE Zanjan): Mineralization, geochemistry, and fluid inclusions evidence. *Petrological Journal*, 13 (1): 143–168 (in Persian with extended English abstract). doi.org/10.22108/ijp.2021.128215.1229.
- Mokhtari, M. A. A., Kouhestani, H., Saeedi, A. (2016) Investigation on type and origin of cooper mineralization at Aliabad Mousavi–Khanchy occurrence, east of Zanjan, using petrological, mineralogical and geochemical data. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 25 (100): 259–270. (in Persian with English abstract) doi.org/10.22071/GSJ.2016.40756.
- Mokhtari, M. A. A., Kouhestani, H., Pang, K. N., Hsu, S. C., Chung, S. L., Lee, H. Y. (2022) Early Eocene high-Sr/Y magmas from the Urumieh-Dokhtar paleoarc, Iran: Implications for the origin of high-flux events in magmatic arcs. *Lithos*, 416–417: 106656. doi.org/10.1016/j.lithos.2022.106656.
- Mousavi Motlagh, S. H. and Ghaderi, M. (2019) The Chargar Au–Cu deposit: an example of low-sulfidation epithermal mineralization from the Tarom subzone, NW Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen (Journal of Mineralogy and Geochemistry)*, 196 (1): 43–66. doi.org/10.1127/njma/2019/0158.
- Mousavi Motlagh, S. H., Ghaderi, M., Yasami, N., Alfonso, P. (2019) Stable isotope geochemistry of Chargar epithermal deposit: Constraints on epithermal systems in the Tarom metallogenic belt, NW Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 205: 106331. doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.06.013.
- Movahednia, M., Maghfouri, S., Fazli, N., Rastad, E., Ghaderi, M., González, F. J. (2022) Metallogeny of Manto-type stratabound Cu–(Ag) mineralization in Iran: Relationship with Neo-Tethyan evolution and implications for future exploration. *Ore Geology Reviews*, 149: 105064.
- Nabatian, G. and Ghaderi, M. (2013) Mineralogy and geochemistry of rare earth elements at iron oxide-apatite deposits of Zanjan area. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 93 (3): 157–170. (in Persian with English abstract) doi.org/10.22071/GSJ.2014.43556.
- Nabatian, G., Ghaderi, M., Daliran, F., Rashidnejad Omran, N. (2013) Sorkhe-Dizaj iron oxide-apatite ore deposit in the Cenozoic Alborz–Azarbaijan magmatic belt, NW Iran. *Resource Geology*, 63 (1): 42–56. doi.org/10.1111/j.1751-3928.2012.00209.x.
- Naderlou, F., Mokhtari, M. A. A., Kouhestani, H., Nabatian, G. (2021) Type and origin of the north Chargar Cu–Au mineralization, southeast of Zanjan: using petrological, mineralogical, and geochemical data. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 31 (2): 149–162. (in Persian with extended English abstract). doi.org/10.22108/ijp.2021.128215.1229.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M. A. A., Qin, K. Z., Zhang, X. N. (2020) Genesis of the Abbasabad epithermal base metal deposit, NW Iran: Evidences from ore geology, fluid inclusion and O–S isotopes. *Ore Geology Reviews*, 126: 103752.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M. A. A., Qin, K. Z., Zhao, J. X. (2019a) Fluid inclusion and stable isotope constraints on ore genesis of the Zajkan epithermal base metal deposit, Tarom–Hashtjin metallogenic belt, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 109: 564–584. doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.05.014.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M. A. A., Qin, K. Z., Zhao, J. X. (2019b) Origin and evolution of hydrothermal fluids in the Marshoun epithermal Pb–Zn–Cu (Ag) deposit, Tarom–Hashtjin metallogenic belt, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 113: 103087. doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103087.
- Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M. R., Moayyed, M., Movahednia, M., Choulet, F. (2017) Geology, mineralization and sulfur isotope geochemistry of the Mari Cu (Ag) Manto-type deposit, northern Zanjan, Iran. *Ore Geology Reviews*, 81 (1): 10–22.
- Mahvashi, M. and Malekzadeh Shafaroudi, A. (2016) Cheshmegaz (Nasim) copper deposit, NW Bardaskan: mineralogy, alteration, geochemistry and model determining. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 24 (3): 41–434 (in Persian with English abstract).
- Mahzi, B., Kouhestani, H., Mokhtari, M. A. A. (2022) Investigation of type and genesis of base metal mineralization in the Zajkan deposit (Tarom-e-Sofla, Qazvin Province) using geology, geochemistry, and fluid inclusions data. *Journal of Advanced Applied Geology*, 12 (3): 365–392 (in Persian with extended English abstract).
- Maksaev, V. and Zentilli, M. (2002) Chilean stratabound Cu–(Ag) deposits: An overview. In T.M. Porter (Editor), *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*. PGC Publication, Adelaide, Australia, 2: 163–184.
- Masoumi, F. (2023) Geology, geochemistry and genesis of Daveh Yataqi Cu deposit, NW Abhar. Unpublished M.Sc. Thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran, 69 p. (in Persian with English abstract).
- Mehrabi, B., Ghasemi Siani, M., Goldfarb, R., Azizi, H., Ganerod, M., Marsh, E. E. (2016) Mineral assemblages, fluid evolution and genesis of polymetallic epithermal veins, Gulojeh district, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 78: 41–57. doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.03.016.
- Mohammadi, S., Kouhestani, H., Mokhtari, M. A. A. (2022) Intermediate-sulfidation epithermal Cu (Pb–Zn) mineralization in the Marshoun 2

- Journal of Petrology, 59 (7): 1417–1465. doi.org/10.1093/petrology/egy067.
- Shahbazi, S., Ghaderi, M., Alfonso, P (2019) Mineralogy, alteration, and sulfur isotope geochemistry of the Zehabad intermediate-sulfidation epithermal deposit. NW Iran. Turkish Journal of Earth Sciences, 28 (6): 882–901. doi.org/10.3906/yer-1902-1.
- Tristá-Aguilera, D., Barra, F., Ruiz, J., Morata, D., Talavera-Mendoza, O., Kojima, S., Ferraris, F (2006) Re-Os isotope systematics for the Lince-Estefanía deposit: Constraints on the timing and source of copper mineralization in a stratabound copper deposit, Coastal Cordillera of northern Chile. Mineralium Deposita, 41 (1): 99–105. doi.org/10.1007/s00126-006-0048-8.
- Verdel, C., Wernicke, B. P., Hassanzadeh, J., Guest, B (2011) A Paleogene extensional arc flare-up in Iran. Tectonics, 30 (3). doi.org/10.1029/2010tc002809.
- Whitney, D. L. and Evans, B. W (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 95 (1): 185–187. doi.org/10.2138/am.2010.3371.
- Wilson, N. S. F., Zentilli, M., Reynolds, P. H (2003a) Age of mineralization by basinal fluids at the El Soldado Manto-type Cu deposit, Chile: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of K-feldspar. Chemical Geology, 197 (1): 161–176. doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00350-9.
- Wilson, N. S. F., Zentilli, M., Spiro, B (2003b) A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado Manto type Cu deposit, Chile: the essential role of bacteria and petroleum. Economic Geology, 98 (1): 163–174. doi.org/10.2113/gsecongeo.98.1.163.
- Yasami, N. and Ghaderi, M (2019) Distribution of alteration, mineralization and fluid inclusion features in porphyry-high sulfidation epithermal systems: The Chodarchay example, NW Iran. Ore Geology Reviews, 104: 227–245. doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.11.006.
- Yasami, N., Ghaderi, M., Alfonso, P (2018) Sulfur isotope geochemistry of the Chodarchay Cu-Au deposit, Tarom, NW Iran. Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen (Journal of Mineralogy and Geochemistry), 195 (2): 101–113. doi.org/10.1127/njma/2018/0097.
- Zamanian, H., Rahmani, S., Zareisahameih, R (2019) Fluid inclusion and stable isotope study of the Lubin-Zardeh epithermal Cu–Au deposit in Zanjan Province, NW Iran: Implications for ore genesis. Ore Geology Reviews, 112: 103014. doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103014.
- with English abstract) doi.org/10.22071/gsj.2020.185408.1652.
- Najmi, F., Mazaheri, S. A., Saadat, S., Entezari, A (2017) Geology, alteration, mineralization and geochemical study in copper mine, Golcheshmeh Area, South of Neyshabour. Iranian Journal of Geology, 11 (43): 27–44. (in Persian with English abstract)
- Ostadosseini, A., Barati, M., Afzal, P., Lee, I. S (2021) Geochemical and microthermometric characteristics of the Davaran Manto-type copper deposit, Central Iran. Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen (Journal of Mineralogy and Geochemistry), 197 (2): 145–164. doi.org/10.1127/njma/2021/0263.
- Oyarzun, R., Ortega, L., Sierra, J., Lunar, R., Oyarzun, J (1998) Cu, Mn, and Ag mineralization in the Quebrada Marquesa Quadrangle, Chile: The Talcuna and Arqueros districts. Mineralium Deposita, 33: 547–559. doi.org/10.1007/s001260050171.
- Ramezaniabbakhsh, T., Karimpour, M. H., Azizi, H., Rahimi, R., Saadat, S (2023) Metallogeny of Manto copper deposits, special view in the Nasim copper deposit, northwest of Bardaskan, Razavi Khorasan. Journal of Economic Geology, 15 (1): 143–174. (in Persian with extended English abstract).
- Ramirez, L. E., Palacios, C., Townley, B., Parada, M. A., Sial, A. N., Fernandez-Turiel, J. L., Gimeno, D., Garcia-Valles, M., 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: 246–258. doi.org/10.1007/s00126-006-0055-9.
- Rosemeyer, T. (2011) News from the Keweenaw: Part 4-Recent Mineral Finds in Michigan's Copper Country. Rocks and Minerals, 86 (3): 206–227.
- Salehi, L., Rasa, I., Alirezaei, S., Kazemi Mehrnia, A (2016) The Madan Bozorg, volcanic-hosted copper deposit, East Shahrud; an example of Manto type copper deposits in Iran. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 98 (4): 93–104. (in Persian with English abstract) doi.org/10.22071/gsj.2016.41166.
- Samani, B (2001) Metallogeny of Manto-type deposits in Iran. 6th National Geosciences Congress, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Shafaii Moghadam, H., Griffin, W. L., Kirchenbaur, M., Garbe-Schonberg, D., Zakie Khedr, M., Kimura, J. I., Stern, R. J., Ghorbani, G., Murphy, R., O'Reilly, S. Y., Arai, S., Maghdour-Mashhour, R (2018) Roll-back, extension and mantle upwelling triggered Eocene potassic magmatism in NW Iran.

Daveh Yataqi Cu deposit (NW Abhar): Example of Manto-type volcanic-hosted stratabound Cu resources in the Tarom-Hashtjin metallogenic belt

F. Masoumi¹, H. Kouhestani^{2*}, M. A. A. Mokhtari³ and R. Mohammadi Niaei⁴

1- M. Sc. student, Dept., of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2, 3- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

4- Ph. D. in Economic Geology, Calcimin Company, Zanjan, Iran

* kouhestani@znu.ac.ir

Received: 2024.2.13 Accepted: 2024.4.17

Abstract

Daveh Yataqi Cu deposit is located ~72 km northwest of Abhar and is part of the Tarom-Hashtjin metallogenic belt. Mineralization occurs as a stratabound zone hosted by the Eocene tuff units. The ore zone has an E-W trend with 60-70° to the north and is 200 m in length and 0.5 to 3 m in width. Hydrothermal alteration includes silica, chlorite, carbonate, epidote, and zeolite alteration. Supergene argillic alteration covered the margins of the ore zone. Hypogene chalcocite, bornite, chalcopyrite, pyrite, and native Cu are ore minerals; chlorite, quartz, calcite, epidote, zeolite, and clay minerals are gangue minerals. Supergene chalcocite, covellite, malachite, cuprite, and goethite are supergene minerals. The ore minerals show disseminated, vein-veinlet, vug infill, replacement, exsolution, framboidal, brecciated, relict, and colloform textures. Mineralization at Daveh Yataqi can be divided into four stages. Stage 1 is related to the early diagenesis processes in which disseminated framboidal pyrites are formed within tuff units. Stage 2 is related to the late diagenesis and burial metamorphism processes and is characterized by bornite, and hypogene chalcocite along with minor chalcopyrite with disseminated, vein-veinlets, exsolution, vug infill, and replacement textures. Stage 3 is marked by late quartz-chalcopyrite-pyrite, quartz-chlorite, and calcite vein-veinlets. Stage 4 mineralization is related to supergene processes. Characteristics of the Daveh Yataqi Cu deposit are comparable with the Manto-type deposits.

Keywords: Cu mineralization, Diagenesis, Stratabound, Manto-type, Daveh Yataqi

Introduction

Tarom-Hashtjin metallogenic belt is an important metalliferous belt in northwestern Iran hosting numerous Kiruna-type iron-apatite deposits (i.e., Morvarid, Sorkhe Dizaj, Aliabad, Golestan Abad, and Zarnan; Khanmohammadi et al., 2009; Nabatian and Ghaderi, 2013; Nabatian et al., 2013; Kordian et al., 2020), epithermal precious and base metal deposits (i.e., Aliabad-Khanchy, Aqkand, Zajkan, Marshoun, Abbasabad, Zehabad, Khalyfehlou, Chargar, north Chargar, Barik-Ab, Chodarchay, Lubin-Zardeh, Gulojeh, Jalilabad, Rashtabad, Tashvir, Varmazyar, and Chomalou; Bazargani-Guilani and Parchekani, 2011; Esmaeli et al., 2015; Hosseinzadeh et al., 2016a; Mehrabi et al., 2016; Mokhtari et al., 2016; Kouhestani et al., 2017; Kouhestani et al., 2018; Yasami et al., 2018; Kouhestani et al., 2019a; Kouhestani et al., 2019b; Mousavi Motlagh and Ghaderi, 2019; Mousavi Motlagh

et al., 2019; Shahbazi et al., 2019; Yasami and Ghaderi 2019; Zamanian et al., 2019; Kouhestani et al., 2020; Naderlou et al., 2021; Ghasemi Siani et al., 2022; Ghorbani et al., 2022; Kouhestani et al., 2022a; Kouhestani et al., 2022b; Mahzi et al., 2022; Mohammadi et al., 2022), and Manto-type copper deposits (i.e., Mari, Kordkandi and Galharoud; Hosseinzadeh et al., 2016b; Maghfouri et al., 2017; Ahmadi, 2019; Asgari, 2022).

Daveh Yataqi Cu deposit (28° 36' 06"E, 49° 06' 20"N) is located in the Qazvin province near the border of Zanjan province. It was mined for two years between 1971 to 1973, which led to the extraction of > 1,350 tons of ore with 3% copper grade. Since 2020, new exploration and mining activities on this deposit have been started, which has led to the identification of 100,000 tons of ore with an average 0.8 wt.% copper grade (unpublished data). Despite ancient and new mining activities in the Daveh Yataqi area, no detailed

studies have been conducted on the geology, mineralogy, and genesis of the Daveh Yataqi deposit. In this contribution, we investigate the detailed geology, mineralogy, structure and texture, and alteration types of the Daveh Yataqi Cu deposit to constrain its ore genesis and mineralization evolution. The results of this research may have implications for the regional exploration of similar deposits in this area and other parts of the Tarom-Hashtjin metallogenic belt.

Material and methods

This research includes two parts, field and laboratory studies. During the fieldwork, the geological map, scale 1:25000, of the Daveh Yataqi deposit was prepared, and the location, extension, slope, and thickness of the ore zone and its relationship with the host rocks were determined. Approximately, eighty samples were collected from the ore zone and different rock units. Among these, seven thin and twenty-eight polished thin sections were examined for petrography, mineralography, and ore texture using a transmitted and reflected polarized light microscope in the laboratory of the University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Results and Discussion

The rock units exposed in the Daveh Yataqi deposit belong to the Eocene volcanic and volcanoclastic rocks that have been intruded by the late Eocene quartz monzodiorite intrusion. The Eocene strata from the bottom to the top include: 1- alternation of tuffaceous sandstone, shale, sandy tuff, and lapilli tuff (E^{t1} unit) intercalation with andesite (E^{an} unit) and basalt (E^{ba} unit) lavas, 2- andesite, trachyandesite, and andesitic basalt lavas with sandy tuff, and lapilli tuff intercalation (E^{vt} unit), 3- alternation of shale, silty tuff, and sandy tuff with intercalation of andesite lavas (E^{tv1} unit), 4- alternation of tuffaceous sandstone, sandy tuff, silty tuff, and shale (E^{t2} unit), 5- andesite and andesitic basalt lavas with lithic tuff, crystal lithic tuff, and lithic crystal tuff intercalation (E^v unit), 6- alternation of lithic tuff, lithic crystal tuff, and crystal tuff with intercalation of andesite lavas (E^{tv2} unit), and 7- alternation of acidic tuff, ignimbrite, and agglomerate with intercalation of dacite-rhyodacite lavas (E^{at} unit). The quartz monzodiorite intrusion (qmd)

has a porphyry to porphyroidic texture with coarse-grained plagioclase crystals.

Mineralization at Daveh Yataqi occurs as a stratabound zone hosted by the Eocene tuff (crystal silty-sandy tuff, silty tuff, and sandy tuff) units. The ore zone has an E-W trend with $60-70^\circ$ to the north and is 200 m in length and 0.5 to 3 m in width. Hydrothermal alteration includes silica, chlorite, carbonate, epidote, and zeolite alteration. Supergene argillic alteration covered the margins of the ore zone. Hypogene chalcocite, bornite, chalcopyrite, pyrite, and native Cu are ore minerals; chlorite, quartz, calcite, epidote, zeolite, and clay minerals are gangue minerals. Supergene chalcocite, covellite, malachite, cuprite, and goethite are supergene minerals. The ore minerals show disseminated, vein-veinlet, vug infill, replacement, exsolution, framboidal, brecciated, relict, and colloform textures.

Mineralization at Daveh Yataqi can be divided into four stages. Stage 1 is related to the early diagenesis processes in which disseminated framboidal pyrites are formed within tuff units. Stage 2 is related to the late diagenesis and burial metamorphism processes and is characterized by bornite, and hypogene chalcocite along with minor chalcopyrite with disseminated, vein-veinlets, exsolution, vug infill, and replacement textures. Stage 3 is marked by late quartz-chalcopyrite-pyrite, quartz-chlorite, and calcite vein-veinlets. Stage 4 mineralization is related to supergene processes.

Conclusions

Copper mineralization at Daveh Yataqi occurs as stratabound within Eocene volcanic and volcanoclastic rocks and shows disseminated, vein-veinlet, vug infill, replacement, exsolution, framboidal, brecciated, relict, and colloform textures. Ore and gangue minerals at this deposit include hypogene chalcocite, bornite, chalcopyrite, pyrite, and native Cu, chlorite, quartz, calcite, epidote, zeolite, and clay minerals. A comparison of the main characteristics of the Daveh Yataqi deposits with different types of Cu deposits reveals that the geology, alteration, mineralization, mineralogy, and texture of Daveh Yataqi are similar to Manto-type volcanic-hosted stratabound Cu deposits.