

# معرفی کانسار مس ماری به‌عنوان یک ذخیره چینه‌کران نوع مانتو در پهنه طارم، شمال غرب ایران

محمد رضا حسین زاده<sup>(۱)</sup>، سجاد مغفوری<sup>(۲)</sup>، محسن مؤید<sup>(۳)</sup> و وحید فریداصل<sup>(۴)</sup>

۱. دانشیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
۲. دانشجوی دکتری، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
۳. استاد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
۴. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۷

## چکیده

کانسار مس ماری در شمال غرب ایران و در منطقه طارم در شمال زنجان واقع شده است. این کانی‌سازی از نوع چینه‌کران و سنگ درونگیر آن، تراکی آندزیت مگاپورفیری به سن ائوسن است. سولفیدهای اصلی مس شامل بورنیت، کالکوسیت و کالکوپیریت عمدتاً همراه با پیریت می‌باشند. بافت‌های موجود در کانی‌سازی شامل پرکننده فضای خالی، دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای و جانشینی است. سنگ‌های آتشفشانی محدوده مورد مطالعه بیشتر دارای ترکیب حدواسط تا اسیدی با سرشت شوشونیتی و پتاسیم بالا است و یک محیط کششی ریفتی درون‌کمانی را نشان می‌دهند. دگرسانی‌های کربناتی، کلریتی، اپیدوتی و سریسیتی در سنگ میزبان دیده می‌شوند. فراوانی مس و نقره در تراکی آندزیت مگاپورفیری سالم به ترتیب تا ۳۲۰۰ و ۲۱۶ بخش در میلیون می‌باشد. بر اساس ویژگی‌های اساسی توده کانه‌دار ماری از جمله محیط تکتونیک، سنگ دربرگیرنده، حالت چینه‌کران، کانی‌شناسی، محتوای فلزی و دگرسانی و مقایسه این ویژگی‌ها با ذخایر مس تیپ مانتو (Manto-type)، کانسار مس ماری می‌تواند به‌عنوان یک ذخیره مس تیپ مانتو در شمال غرب ایران معرفی شود. همانند سایر کانسارهای مشابه این تیپ در دنیا، سه مرحله اصلی برای کانی‌سازی در کانسار ماری می‌توان در نظر گرفت. مرحله اول شامل فعالیت آتشفشانی زیردریایی و فوران گدازه تراکی آندزیت مگاپورفیری به‌همراه دگرسانی ناحیه‌ای پروپلیتی می‌باشد. در مرحله دوم، دیاژنز اولیه و فعالیت میکروارگانسیم‌های احیاکننده سولفات باعث تشکیل پیریت هم به‌صورت پرکننده فضای خالی و هم به‌صورت دانه‌پراکنده در واحد تراکی آندزیتی میزبان شده است. نهایتاً در مرحله سوم، افزایش ضخامت رسوبات، فرونشست حوضه و دیاژنز تدفینی به همراه ورود سیالات غنی از مس به داخل واحد میزبان احیایی موجب جانشینی سولفیدهای مس به جای پیریت‌های اولیه و کانی‌زایی در کانسار ماری شده است.

**واژه‌های کلیدی:** کانسار مس ماری، چینه‌کران، تیپ مانتو، تراکی آندزیت مگاپورفیری، پهنه طارم.

\*نویسنده مرتبط: mr-hosseinzadeh@tabrizu.ac.ir

## مقدمه

اکثر کانسارهای مس ایران در کمان ماگمایی ارومیه-دختر و مجموعه ماگمایی البرز غربی-آذربایجان قرار دارند (قربانی، ۱۳۸۷). تاکنون انواع مختلف تیپ‌های کانه‌زایی مس در ایران مورد شناسایی قرار گرفته‌اند ولی ذخایر تیپ مانتو تنها در پهنه ارومیه دختر (کانسار مس کشکوئی و اندیس مس دارهند)، پهنه سندرچ - سیرجان (کانسار مس کشت مهکی) و پهنه سبزوار (کانسار مس عباس‌آباد) گزارش شده‌اند. کانسار مس عباس‌آباد مهم‌ترین و شناخته شده‌ترین کانسار مس نوع تیپ مانتو در ایران است (Khadem, 1964; Kirkham, 1996). در رابطه با کانی‌زایی مس تیپ مانتو در پهنه طارم و شمال غرب ایران تاکنون گزارشی ارائه نشده و برای اولین بار در طی این تحقیق، این تیپ از کانی‌زایی در این منطقه معرفی شود.

کانسارهای مس تیپ مانتو، نوع خاصی از کانسارهای مس می‌باشند که به صورت چینه‌کران در واحدهای آتشفشانی به خصوص گدازه‌های تراکی آندزیتی مگاپورفیری و آمیگدالوئیدال تشکیل می‌شوند و بیشتر مطالعات بر روی این کانسارها در شیلی و کانادا صورت گرفته است (Cabral and Beaudoin, 2007; Kojima et al., 2007). سن این ذخایر در کشور شیلی، ژوراسیک و کرتاسه می‌باشد (Kirkham, 1996; Kojima et al., 2007). این کانسارها معمولاً به صورت رگه-رگچه‌ای و محدود به یک واحد چینه‌ای مشخص می‌باشند. یکی دیگر از شاخصه‌های اصلی این کانسارها، وجود پارازن کانیاپی بورنیت، کالکوسیت، کالکوپیریت و پیریت می‌باشد (Kojima et al., 2007).

کانسار مس ماری در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال زنجان و یک کیلومتری غرب روستای ماری در کمربند فلززایی طارم-ارسباران واقع شده است (شکل ۱). هدف از این مقاله، مطالعات زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، تغییرات جرم، بافت و ساخت و تعیین تیپ کانی‌زایی در

کانسار ماری و در نهایت، مقایسه با ذخایر شناخته شده از این نوع به منظور ارائه یک کلید اکتشافی برای ذخایر مشابه می‌باشد.

## روش مطالعه

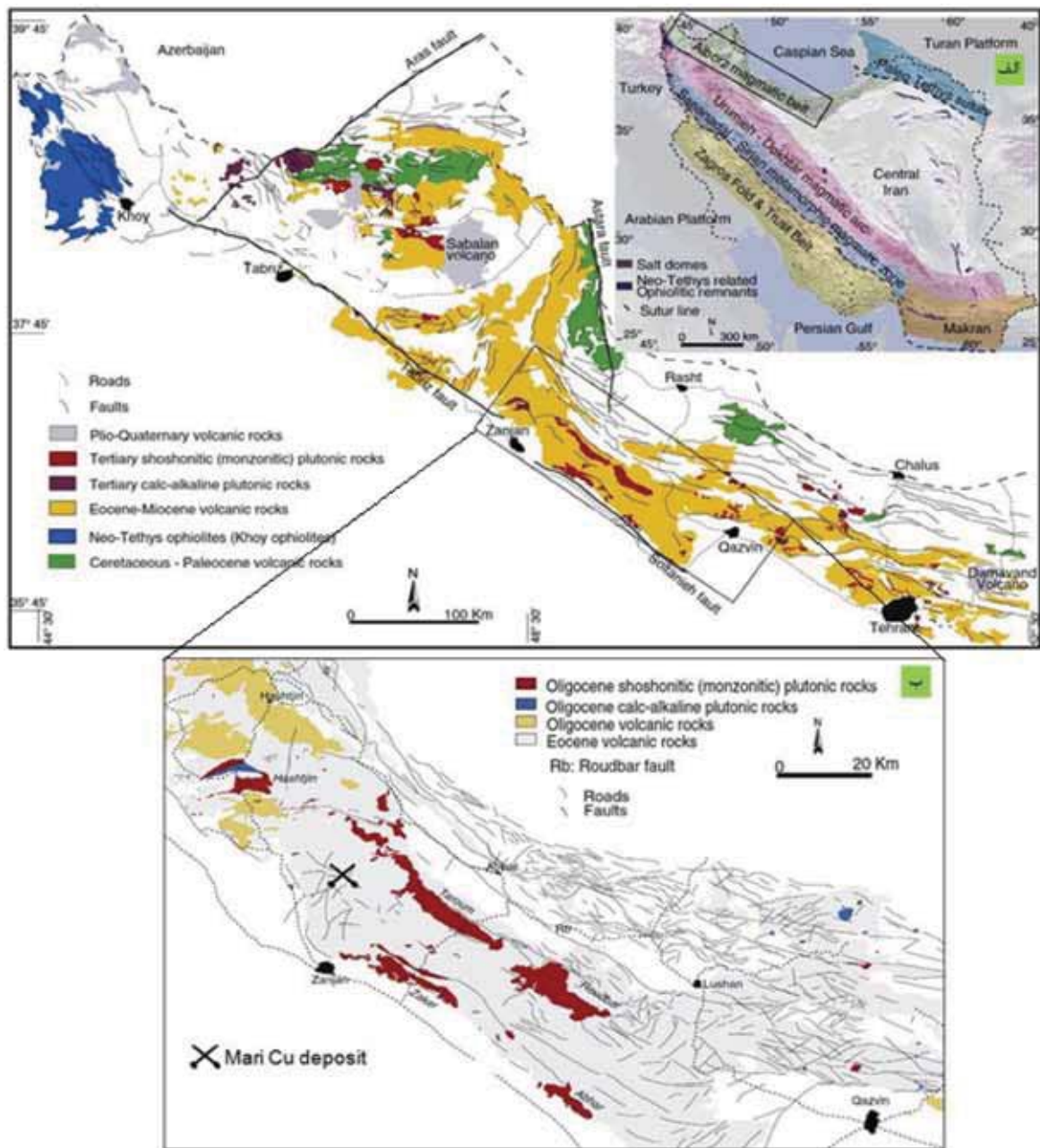
در راستای این پژوهش، پس از انجام عملیات صحرایی و کنترل واحدهای سنگی موجود در منطقه، نمونه‌برداری سیستماتیک و تصادفی از واحدهای سنگی و پهنه‌های کانه‌دار انجام شد. سپس تعداد ۳۰ عدد مقطع نازک و نازک-صیقلی و ۱۱ عدد مقطع صیقلی تهیه و مورد مطالعه سنگ‌شناختی و کانه‌نگاری قرار گرفت. همچنین، تعداد ۱۰ نمونه برای انجام آنالیز به روش XRF و ICP-MS به آزمایشگاه Amdel استرالیا ارسال شد که مقدار کمی این آنالیزها در جدول ۱ آورده شده است.

## زمین‌شناسی

پهنه طارم، از قزوین (غرب طالقان) شروع و تا شمال-شمال غرب میانه و شمال نواحی فروافتادگی منجیل ادامه یافته و از جنوب به فرونشستگی ابهر-زنجان-میانه محدود می‌شود (شکل ۱). منطقه طارم را بسیاری از زمین‌شناسان، جزئی از پهنه البرز غربی به شمار می‌آورند، اما به اعتقاد حاج‌علیلو (۱۳۸۷) این کمربند دست‌کم در ترشیری، زمین‌شناسی متفاوتی از نظر ماگماتیسم و کانی‌سازی با البرز دارد. از لحاظ موقعیت زمین‌شناسی، کانسار ماری در بخش شمال شرقی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش زنجان (حاجیان و زاهدی، ۱۳۸۴) واقع شده است.

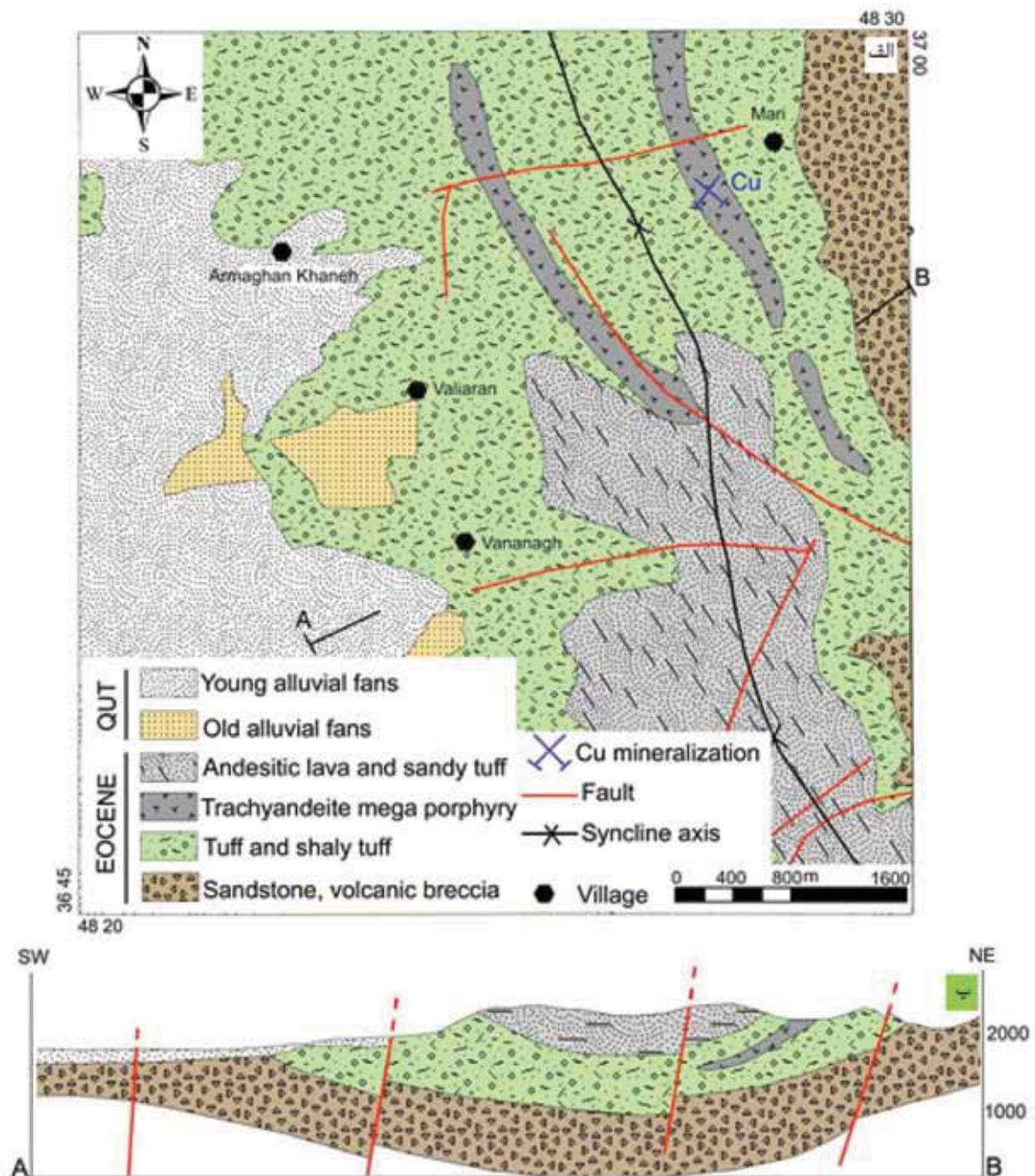
## واحدهای سنگی ائوسن

بخش اصلی رخنمون‌های سنگی این ناحیه را نهشته‌های آذرآواری، جریان‌های گدازه و لایه‌های رسوبی ائوسن تشکیل داده (شکل ۲) که در داخل ساختاری ناودیسی شکل (شکل ۲ب) واقع شده‌اند (Hirayama et al., 1966).



شکل ۱. الف) نقشه شماتیک زمین‌شناسی کمربند ماگمایی البرز و موقعیت مهم‌ترین واحدهای سنگی موجود در آن که زمین‌شناسی ناحیه مطالعاتی به صورت کادر مجزا مشخص شده است (Aghazadeh et al., 2010)، ب) نقشه زمین‌شناسی بزرگ شده از پهنه طارم و موقعیت کانسار مس ماری در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن (Castro et al., 2013)





شکل ۲. الف) نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی ماری؛ کانی‌زایی مس محدود به واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری می‌باشد، ب) مقطع زمین‌شناسی از واحدهای سنگی منطقه معدنی ماری در داخل ساختار ناودیسی شکل (با تغییرات از حاجیان و زاهدی، ۱۳۸۴)

### واحد ماسه‌سنگی و برش آتشفشانی

این واحد، قدیمی‌ترین واحد سنگی در منطقه است و به صورت نازک‌لایه با تنوع ترکیبی توف‌برش، ماسه‌سنگ، لیتیک‌توف و توف ماسه‌ای می‌باشد و دارای بیشترین گسترش

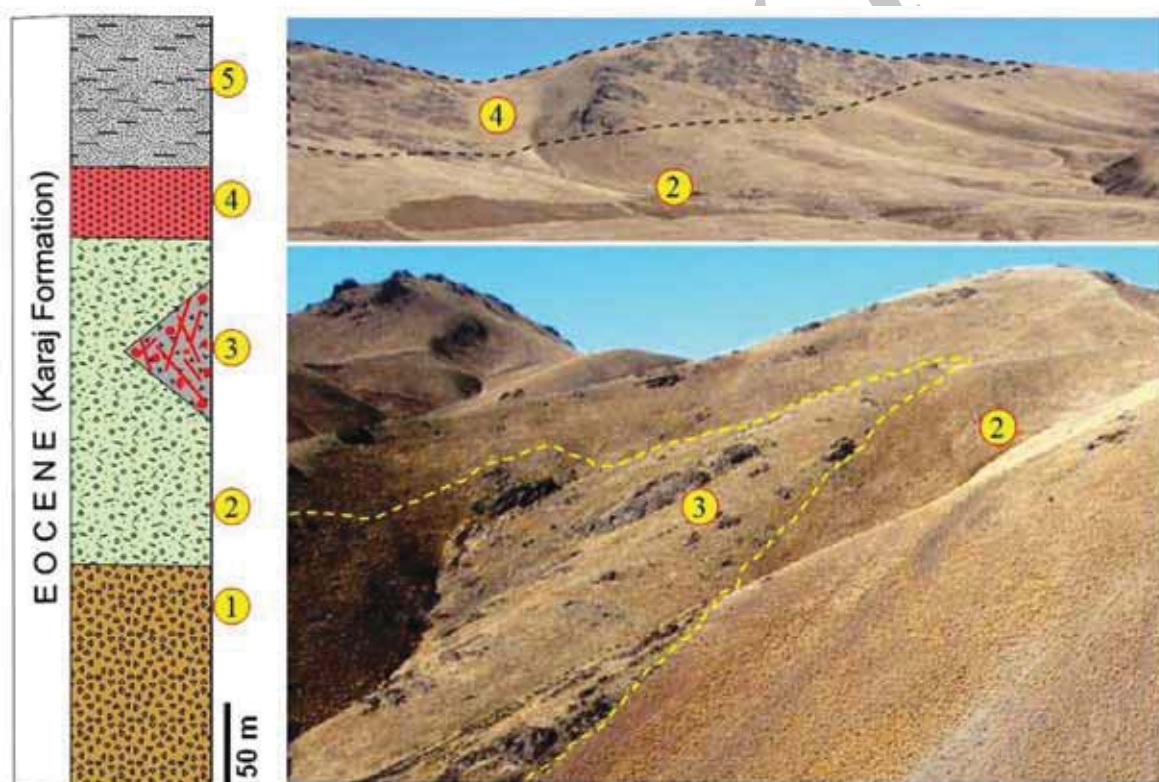
سری ائوسن رشته کوه‌های البرز را در منطقه طارم به دو عضو امند و کردکند تقسیم کرده‌اند. عضو امند، بخش زیرین سازند کرج را تشکیل داده و عضو کردکند به‌طور عادی بر روی نهشته‌های امند قرار گرفته است. واحدهای سنگی موجود در منطقه ماری مربوط به عضو امند می‌باشد (شکل ۳).

تا خاکستری، ترکیب توفی تا شیلی با ضخامت بیش از ۵۵۰ متر می‌باشد و به‌طور هم‌شیب بر روی ماسه‌سنگ و برش‌های آتشفشانی قرار گرفته است. در مقاطع میکروسکوپی، این توف‌ها شامل قطعات خردشده و زاویه‌دار پلاژیوکلاز (۳۰-۴۰ درصد)، کوارتز، کلینوپیروکسن و قطعات دگرسان شده به اپیدوت، کلریت و سریسیت می‌باشند که در یک خمیره شیشه‌ای و خاکستر آتشفشانی پراکنده‌اند و دارای ترکیب آندزیتی می‌باشند. یکی از شاخصه‌های اصلی این واحد سنگی، وجود میان‌لایه‌ای از تراکی آندزیت مگاپورفیری کانه‌دار است که به‌صورت تغییر رخساره جانبی در این واحد آتشفشانی قرار گرفته است (شکل‌های ۴ و ۵-الف).

در بخش شرقی منطقه معدنی است. سنگ‌های توفی و توف‌شیلی به‌صورت هم‌شیب و هم‌روند بر روی ماسه‌سنگ و برش‌های آتشفشانی قرار گرفته‌اند (شکل ۲-الف). برش‌های آتشفشانی به‌صورت میان‌لایه‌های خاکستری‌رنگ در داخل واحد ماسه‌سنگی دیده می‌شوند که لایه‌بندی ضخیم (۳۰۰ تا ۳۵۰ متر) از خود نشان می‌دهند و ترکیب این برش‌های آتشفشانی بازالتی می‌باشند.

### توف و توف شیلی

بخش اعظم واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه از توف با میان‌لایه‌های توف شیلی تشکیل شده است (شکل ۳). این واحد دارای مورفولوژی ملایم و مسطح، رنگ سبز روشن



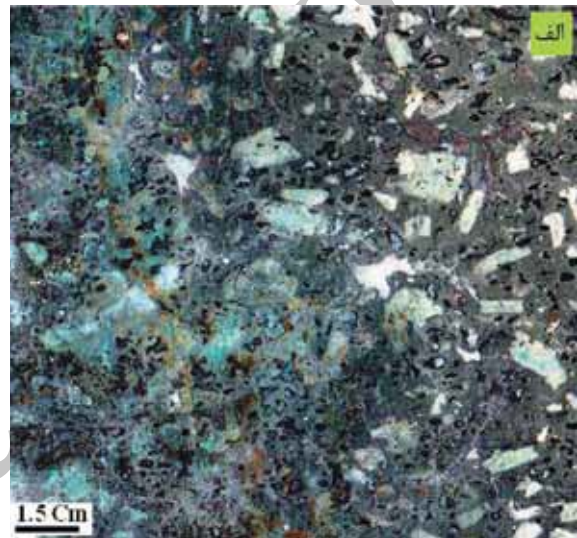
شکل ۳. رخنمونی از واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه (راست) (دید به سمت غرب) و تطبیق واحدها با ستون چینه‌شناسی منطقه ماری (چپ). (۱: ماسه‌سنگ و برش آتشفشانی، ۲: توف و توف شیلی، ۳: تراکی آندزیت مگاپورفیری (میزبان کانسار مس ماری)، ۴: گدازه بازالتی و ۵: گدازه آندزیتی و توف ماسه‌ای)



## تراکی آندزیت مگاپورفیری (میزبان کانه‌زایی مس)

نیز می‌رسد (شکل ۴ الف). در بخش‌های کانه‌دار به ویژه در امتداد رگه‌ها و شکستگی‌ها، پلاژیوکلاز به اپیدوت، کلریت و سریسیت تبدیل شده است. این سنگ میزبان کانی زایی در کانسار ماری می‌باشد (شکل ۴ - ب) بافت این واحد از نوع پورفیری با فنوکریست‌های متوسط تا درشت پلاژیوکلاز در زمینه ریزدانه‌ای از فلدسپار، پیروکسن و کوارتز است. تجمع کانی‌های پلاژیوکلاز در سنگ‌های این واحد قابل توجه می‌باشد، چنانچه در بیشتر موارد نزدیک به ۵۵ تا ۶۰ درصد از حجم سنگ را تشکیل داده است (شکل ۵ - ب).

این واحد سنگی به صورت گدازه‌های بین لایه‌ای توسط واحد توفی در برگرفته شده و به صورت جانبی به آن تغییر می‌یابد (شکل ۳). بیشترین گسترش این واحد در غرب روستای ماری دیده می‌شود (شکل ۲ - الف). ضخامت این گدازه‌ها ۷۵ متر است و دارای درشت بلورهایی از پلاژیوکلاز می‌باشند که گاهی بزرگی آن‌ها به ۱/۵ سانتی‌متر



شکل ۴. الف) نمونه دستی از واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری میزبان کانه‌زایی مس، ب) کانه‌زایی رگه - رگچه‌ای محدود به واحد مذکور

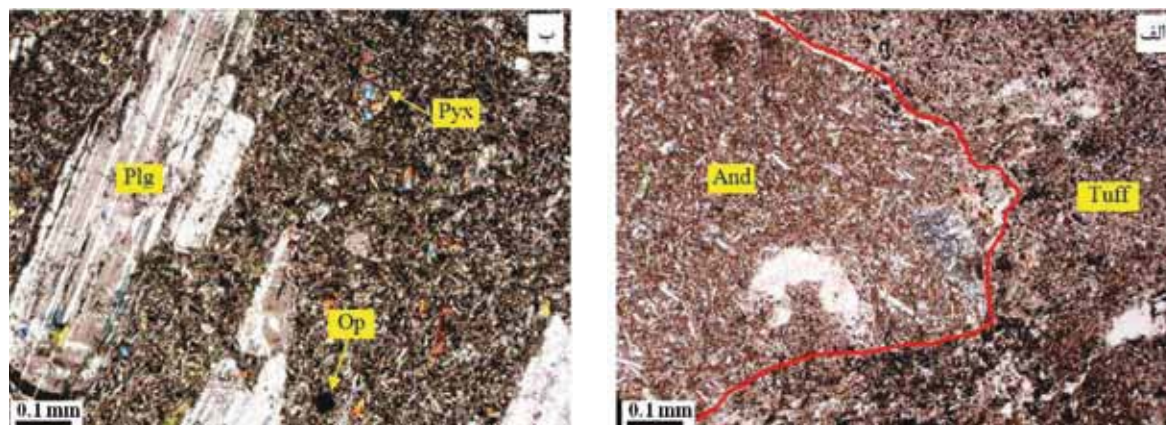
بیشترین گسترش را در نزدیکی محور ناودیس ماری دارد و به صورت هم‌شیب بر روی واحد بازالتی قرار گرفته است (شکل ۲). ضخامت این واحد در بخش‌های مختلف منطقه متفاوت است (۲۰۰ تا ۱۵۰ متر) و دارای رنگ خاکستری تیره می‌باشد. این واحد دارای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن از نوع اوژیت و کانی‌های اپک می‌باشد که در زمینه ریزبلور تا شیشه‌ای قرار گرفته است. در مواردی حاشیه پلاژیوکلازها سالم باقی مانده است ولی وسط آنها دگرسان شده است که می‌تواند نشانگر سدیک بودن حاشیه نسبت به مرکز آن‌ها باشد. توف ماسه‌ای نیز به صورت هم‌شیب با گدازه مذکور قرار گرفته است. این واحد سنگی دارای لایه‌بندی منظم است و رنگ ارغوانی تیره دارد و به‌طور عمده از قطعات لیتیک، کوارتز و پلاژیوکلاز تشکیل شده است.

## واحد بازالتی

رخنمون کوچکی از سنگ‌های بازالتی سالم و دگرسان نشده در شمال شرق روستای ماری به ضخامت حدود ۷۰ متر و به رنگ قهوه‌ای تیره وجود دارد (شکل ۳) که به‌طور هم‌شیب بر روی واحد توفی و توف شیلی قرار گرفته است. این واحد دارای خمیره ریزبلور تا نهان بلور است و حجم اصلی فنوکریست‌ها را پلاژیوکلازهای کلریتی شده تشکیل می‌دهد که در زمینه سنگ به صورت میکروولیت نیز حضور دارد. بلورهای شکل‌دار پیروکسن و الیوین به کلریت و اپیدوت تبدیل شده‌اند.

## گدازه آندزیتی و توف ماسه‌ای

این واحد، جوان‌ترین واحد سنگی در منطقه است که



شکل ۵. الف) تصویر میکروسکوپی از واحد توفی و توف شیلی (PPL)، ب) تصویر میکروسکوپی از واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری میزبان کانه‌زایی مس ماری (XPL)؛ And: آندزیت، Pyx: پیروکسن، Plg: پلاژیوکلاز، Op: کانی اپک (پیریت)

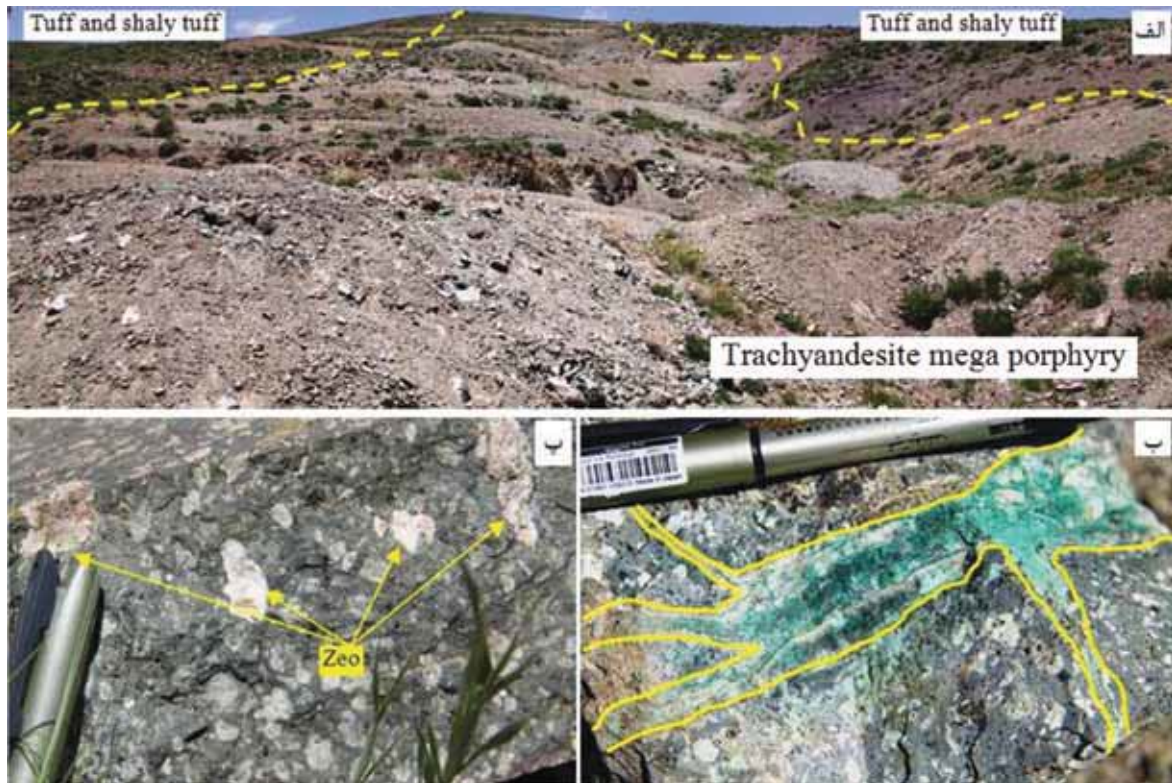
## کانه‌زایی و دگرسانی

### کانه‌زایی

سنگ پراکنده هستند (شکل ۶ ب). کانسارهای مس تیپ مانتو در شیلی، همگی دارای سنگ میزبان آندزیت (آندزیت-بازالت) پورفیری پیریت‌دار می‌باشند (Wilson et al., 2003; Rieger et al., 2008; Zentilli et al., 1997). گسترش این واحد آندزیتی در غرب شیلی سبب رخداد کانسارهای مختلف تیپ مانتو مانند Santo Domingo, El Soldado و Mantos Blancos در این ناحیه شده است (Kojima et al., 2009). در کانسار مس ماری، ادامه رگه-رگچه‌های کانه‌دار از واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری به داخل واحد توفی و توف شیلی ادامه نمی‌یابد که این موضوع، مؤید چینه‌کران بودن کانی‌سازی است. یکی از دلایل محدود بودن کانی‌زایی به واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری، حضور پیریت فراوان در این سنگ و شرایط احیایی حاکم بر آن است (شکل ۹).

واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری، تنها میزبان کانه‌زایی مس در کانسار ماری می‌باشد (شکل ۶-الف). همچنان‌که گفته شد، این واحد به صورت تغییر رخساره جانبی در داخل توف و توف‌های شیلی قرار دارد و یکی از ویژگی‌های ماکروسکوپی آن وجود فنوکریست‌های پلاژیوکلاز درشت بلور و پرشدگی حفرات با زئولیت می‌باشد (شکل ۶-پ) و در زیر میکروسکوپ، زمینه سنگ نیز از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز تشکیل شده است (شکل ۵). این واحد سنگی حاوی پیریت‌های دانه پراکنده فراوان است که نشان دهنده شرایط احیایی حاکم در زمان ته‌نشست است و این ویژگی، نقش اصلی در تمرکز مس داشته است (شکل ۹). بافت ذخیره، پرکننده فضای خالی و رگه-رگچه‌ای با ضخامت چندین میلی‌متر تا سانتی‌متر است (شکل ۷) و در جهات مختلف



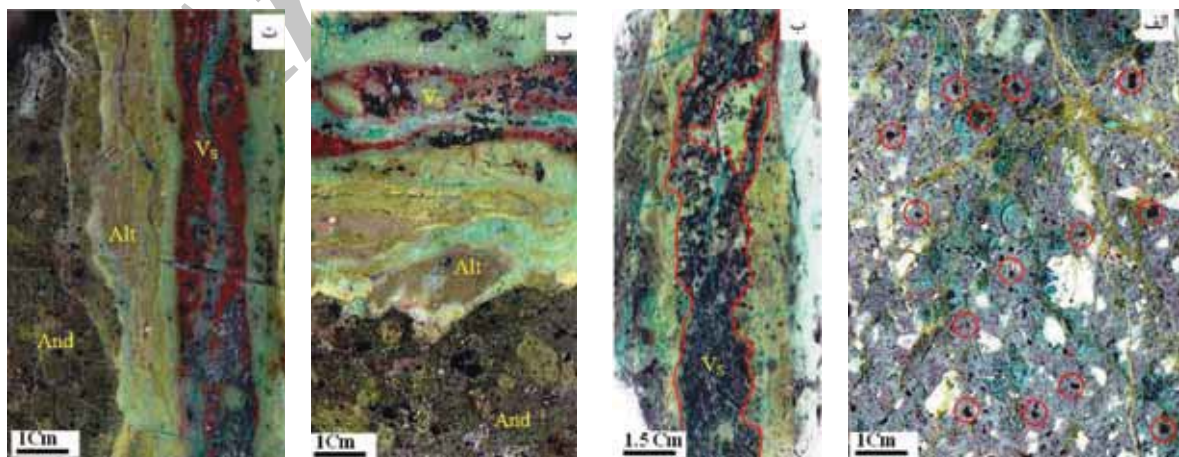


شکل ۶. الف) واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری کانهدار در منطقه ماری (دید به سمت غرب). ب) کانی‌زایی رگه- رگچه‌ای محدود به واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری و پ) بافت بادامکی و پرشدگی حفرات با زئولیت (zeo) در واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری

## دگرسانی

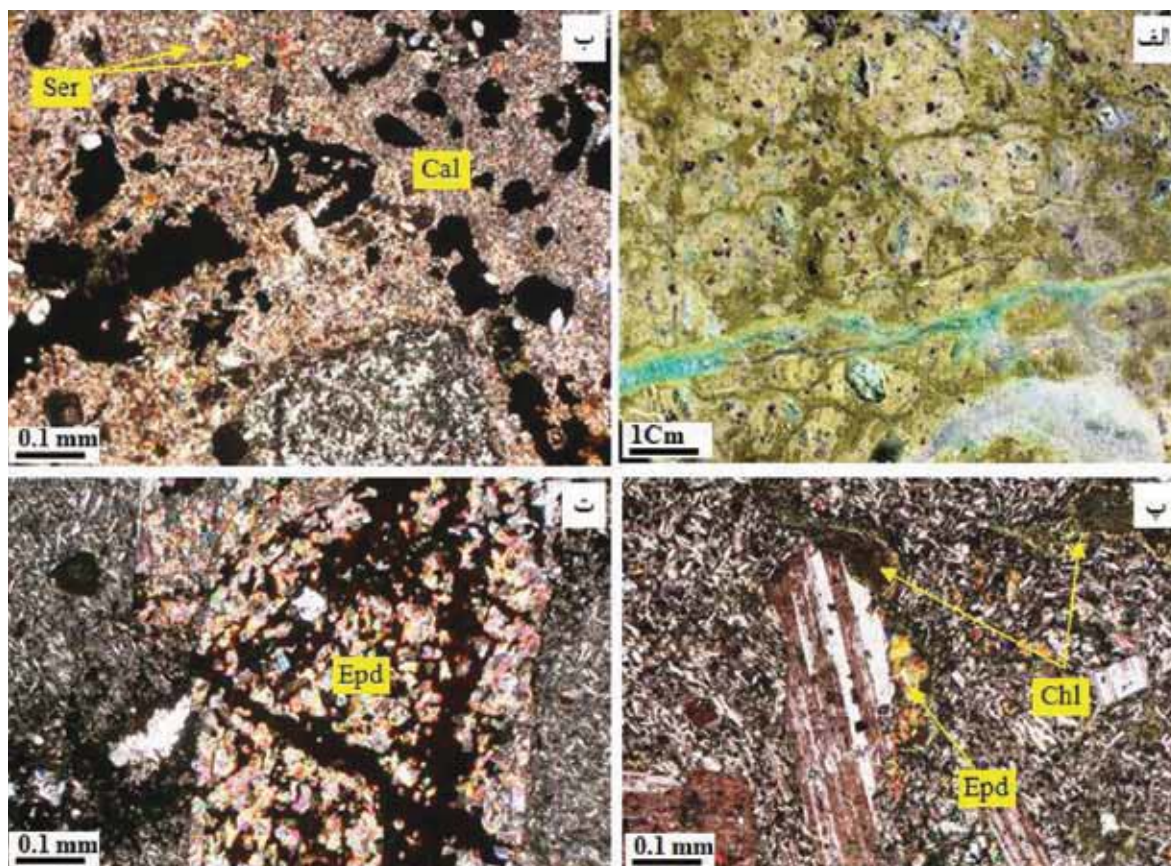
اعتقاد (Kojima et al. 2007) این دگرسانی نشان‌دهنده ته‌نشست این واحد گدازه‌ای در شرایط زیردریایی می‌باشد. علاوه بر این، دگرسانی‌های سریسیتی و هماتیتی در ارتباط با رگه- رگچه‌های حاوی مس مشاهده می‌شوند (شکل ۸).

شدت و گسترش دگرسانی در کانسار ماری نسبتاً کم است. مهم‌ترین دگرسانی در این کانسار، دگرسانی پروپیلیتی می‌باشد که توده میزبان تراکی آندزیتی را تحت تأثیر قرار داده و باعث ایجاد ظاهری سبزه در این واحد شده است. به



شکل ۷. الف) حضور سولفیدهای دانه‌پراکنده و پرکننده فضاهای خالی در واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری، ب) رگچه‌های سولفیدی مس (Vs) در واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری، پ و ت) رگچه‌های سولفیدی (Vs) و اکسیدی مس به همراه حاشیه‌های دگرسان شده (Alt) در تراکی آندزیت مگاپورفیری (And)



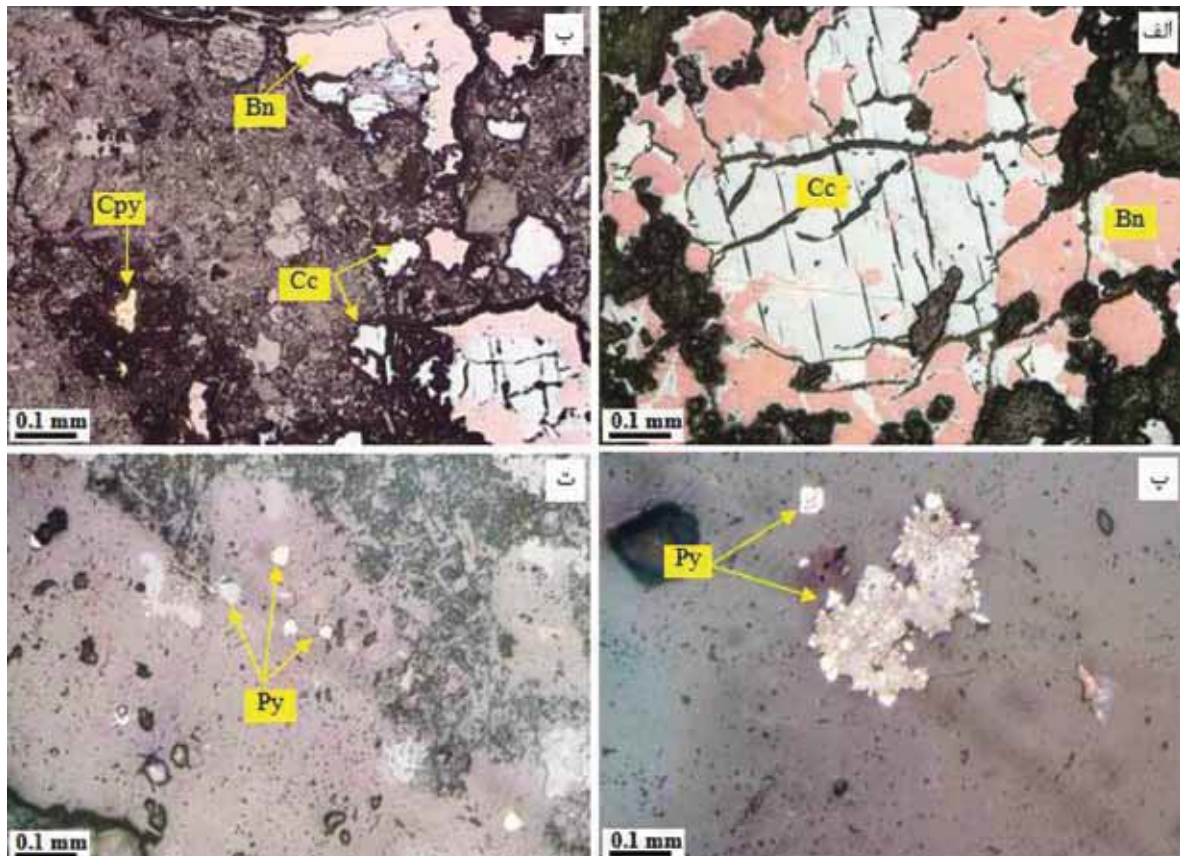


شکل ۸. الف) دگرسانی فراگیر پروپیلیتی در واحد میزبان کانی‌زایی که باعث رنگ سبز در نمونه دستی شده است، ب) دگرسانی کربناتی (Cal) و سریسیتی (Ser) به همراه سولفیدهای مس (نور XPL)، پ) دگرسانی کلریتی (Chl) و اپیدوتی (Epd) در واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری (نور XPL) و ت) دگرسانی اپیدوتی (Epd) در رگه کانه‌دار (نور XPL)

## کانی‌شناسی و ساخت و بافت

هماتیت تبدیل شده است. کالکوسیت دومین کانی فراوان در رگه-رگچه‌های کانه‌دار در این کانسار است که به دو صورت اولیه و ثانویه دیده می‌شود (شکل ۹ الف). انواع اولیه به صورت درهم رشدی با بورنیت و یا به صورت کانی مجزا از سیالات کانه‌ساز تشکیل شده است (شکل ۹-الف و ب) و انواع ثانویه از دگرسانی سولفیدی‌های اولیه به همراه کولیت تشکیل شده است (شکل ۱۰ الف، ب). همراهی بورنیت با کالکوسیت و وجود دو نوع کالکوسیت (اولیه و ثانویه) در بیشتر کانسارهای مس تیپ مانتو شیلی گزارش شده است (Espinoza et al., 1996).

بورنیت، کالکوسیت، پیریت، کالکوپیریت و کولیت مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی در کانسار مس چینه‌کران ماری می‌باشند (شکل ۹، جدول ۲) که در طی فرآیند سوپرژن به مالاکیت و آزوریت تبدیل شده‌اند. همچنین رخداد دگرسانی پروپیلیتیک فراگیر باعث ایجاد ظاهر سبز رنگ در واحد میزبان شده است (شکل ۸-الف). بورنیت مهم‌ترین کانه در کانسار ماری است که به همراه کالکوسیت (اولیه) به صورت رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی در داخل تراکی آندزیت مگاپورفیری دیده می‌شود (شکل ۹-الف). بورنیت در طی فرآیند سوپرژن به کانی‌های کالکوسیت، کولیت و

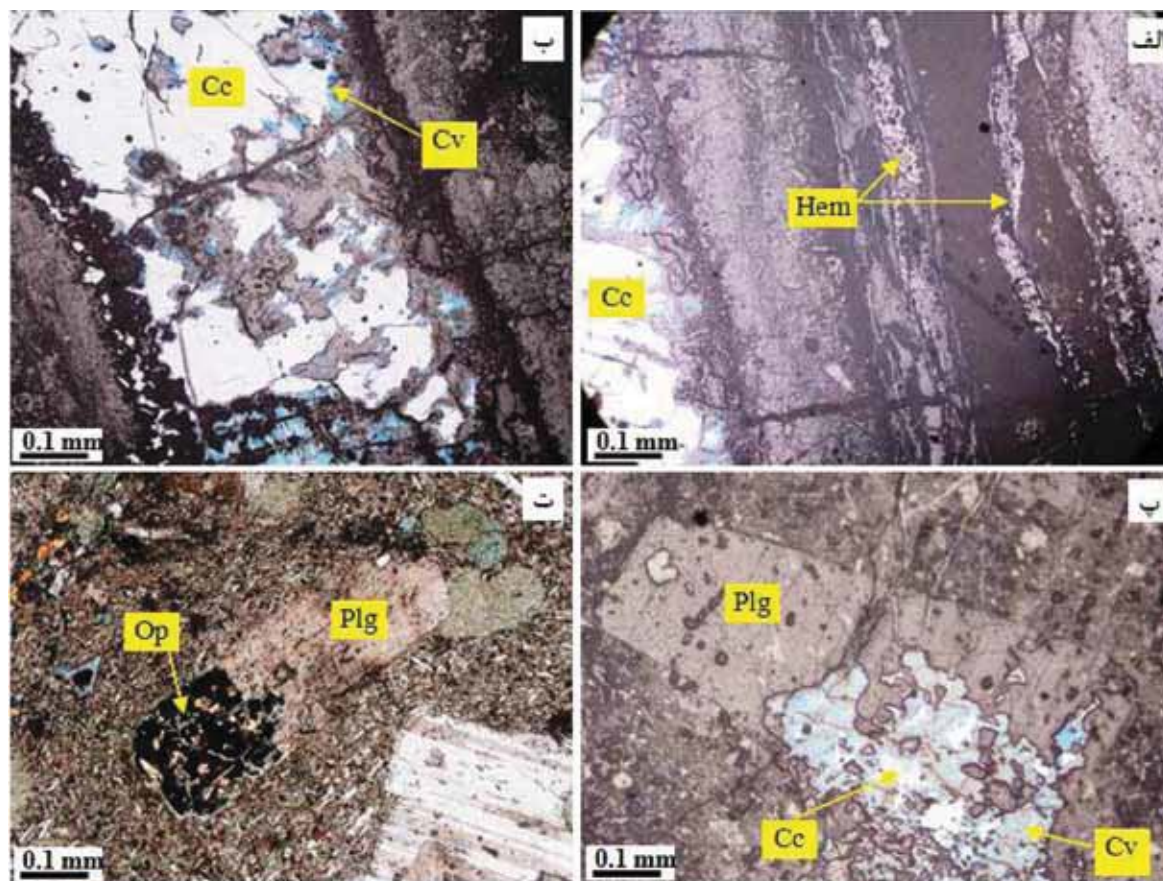


شکل ۹. الف) تصویر میکروسکوپی از کانی‌های بورنیت (Bn) و کالکوسیت (Cc)، ب) پاراژنز کانیایی بورنیت، کالکوسیت و کالکوپیریت (Cpy)، پ) پیریت‌های پرکننده فضای خالی و ت) حضور کانی پیریت دانه‌پراکنده (Py) در داخل تراکی آندزیت مگاپورفیری میزبان کانی‌زایی (همه تصاویر در نور PPL تهیه شده‌اند)

تیپ مانتو در شیلی در نظر گرفته‌اند (جدول ۳). کالکوپیریت نسبت به دیگر کانی‌های سولفیدی از فراوانی کمی در کانسار ماری برخوردار است و به صورت پرکننده فضای خالی در رگه- رگچه‌های کانه‌دار به همراه دیگر کانی‌های سولفیدی دیده می‌شود (شکل ۹ ب). مهم‌ترین کانی‌های باطله شامل کلسیت، کوارتز و اپیدوت می‌باشد. بافت رگه - رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و جانشینی از مهم‌ترین بافت‌های کانسار مس ماری است (شکل ۷). فرایند جانشینی باعث تشکیل کانی‌های سولفیدی مس به جای پیریت و پلاژیوکلاز در طی دیاژنز تدفینی شده است (شکل ۱۰- پ). بافت دانه‌پراکنده کانی‌های پیریت نیز در متن سنگ تراکی آندزیت مگاپورفیری دیده می‌شود (شکل ۹- ت).

پیریت، هم به صورت دانه‌پراکنده و هم به صورت پرکننده فضای خالی در متن سنگ میزبان تراکی آندزیتی تشکیل شده است (شکل ۹- پ و ۹- ت). این تیپ پیریت‌ها (دانه پراکنده) مانند دیگر کانسارهای مس تیپ مانتو در طی دیاژنز اولیه توسط میکروارگانسیم‌های احیاکننده سولفات آب دریا تشکیل می‌شوند. واکنش گوگرد حاصل از احیای سولفات آب دریا با آهن باعث تشکیل پیریت به صورت دانه پراکنده و پرکننده فضای خالی در سنگ میزبان آندزیتی می‌شود (Kojima et al., 2009). زینتلی و همکاران (Zentilli et al., 1997). حضور پیریت‌های دانه پراکنده در سنگ میزبان را یکی از فاکتورهای اساسی برای احیائی کردن سیالات کانه‌ساز و ته‌نشست سولفیدهای مس در کانسارهای مس





شکل ۱۰. الف) حضور کانی‌های اکسیدی آهن (هماتیت Hem) حاصل از اکسیداسیون سوپرژن کانی‌های سولفیدی (PPL)، ب) تصویر میکروسکوپی از رگه سولفیدی حاوی کالکوسیت (Cc) و کولیت (PPL) (Cv)، پ) جانشینی کالکوسیت از حاشیه به جای کانی پلاژیوکلاز در مرحله دیاژنز تدفینی (PPL) و ت) حضور کانی اپک (Op) در داخل پلاژیوکلاز (XPL)

## ژئوشیمی

### ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه

جهت بررسی ژئوشیمی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی منطقه، آنالیز عناصر اصلی و کمیاب این توده‌ها صورت گرفته است (جدول ۱). بر این اساس، سنگ‌های غیردگرسان در نمودار  $K_2O-SiO_2$  (Pecerillo and Taylor, 1976)، بیشتر در محدوده سری شوشونیتی قرار می‌گیرند (شکل ۱۱ الف). با توجه به این که واحدهای مورد مطالعه، درجاتی از دگرسانی را متحمل شده‌اند، برای دقت بیشتر در تعیین نوع سنگ‌ها از نمودار  $Zr/TiO_2-Nb/Y$  (Winchester and Floyd, 1977) استفاده شد که مبتنی بر عناصر غیرمتحرک فرعی و کمیاب است، (شکل ۱۱-ب). طبق این نمودار، نمونه‌ها در محدوده تراکی‌اندزیت قرار گرفته‌اند. جهت

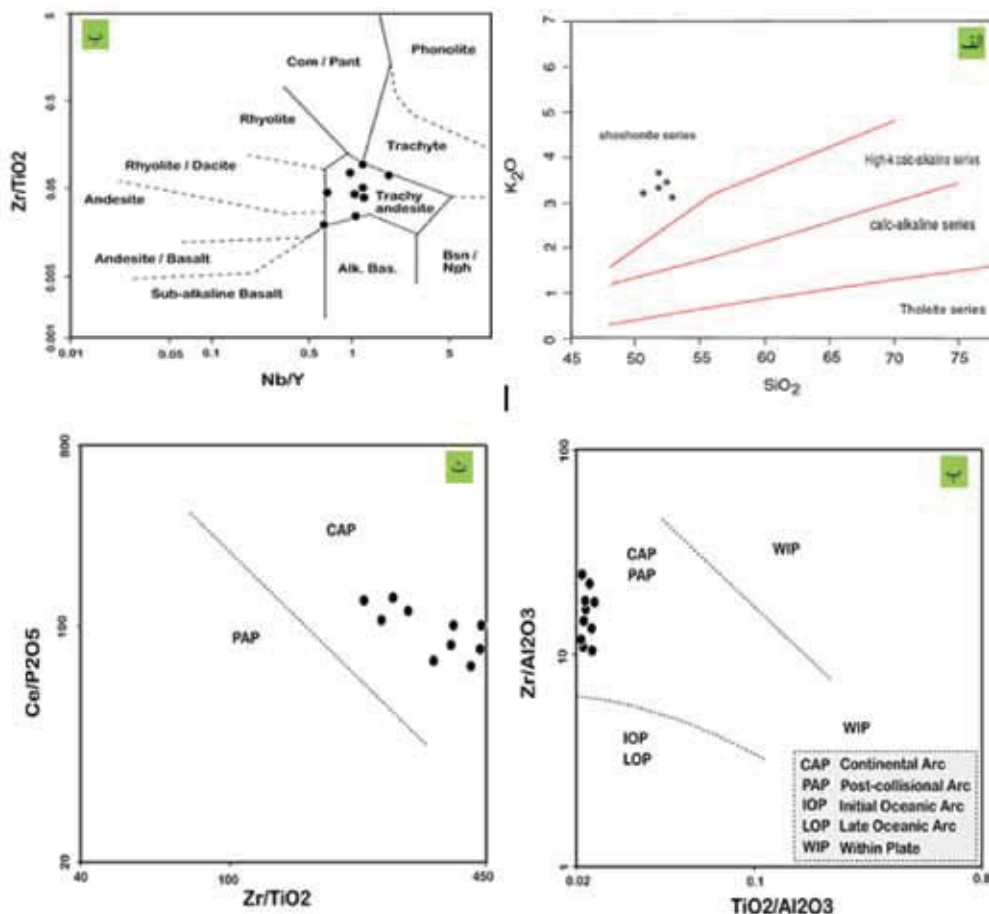
تشخیص محیط تکتونیکی منطقه مورد مطالعه، از نمودار  $Zr/Al_2O_3-TiO_2/Al_2O_3$  (Muller and Groves, 1997) استفاده شده است (شکل ۱۱-پ) که نقاط معرف نمونه‌ها در محدوده قوس‌های ماگمایی واقع شده‌اند و در نمودار فعال  $Ce/P_2O_5-Zr/TiO_2$  برای تفکیک کمان حاشیه قاره ای فعال (CAP) و قوس‌های ماگمایی بعد از تصادم (PAP)، نمونه‌ها در محدوده کمان حاشیه قاره ای فعال واقع شدند (شکل ۱۱-ت). همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، وجود تراکی‌اندزیت به همراه بازالت، واحدهای پیروکلاستیک و به مقدار کم رسوبی در منطقه نیز می‌تواند نشان‌دهنده محیط تکتونیکی ریفتی (احتمالاً ریفت داخل کمان) برای منطقه مورد مطالعه باشد؛ زیرا این بازالت‌ها پس از فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر پوسته قاره‌ای و ذوب شدن پوسته اقیانوسی تشکیل شده‌اند (معین وزیری و احمدی، ۱۳۸۱).

## محاسبه تغییرات جرم

می‌شود به طوری که در سنگ تراکی آندزیت مگاپورفیری سالم مقدار این عناصر بالا است و در طی کانی‌زایی از مقدار آن‌ها کاسته می‌شود. این کاهش به دلیل شستشوی این عناصر در طی فرآیند کانه‌زایی توسط محلول فرورو است که در طی آن، تخریب کانی‌های پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم، به خروج این عناصر منجر می‌شود (شکل ۱۲).

در مورد عناصر جزئی عبوری شامل Co، Ag، V، Mo، Zn و W، Cu الگوی تغییرات جرم همه عناصر تقریباً مشابه هم‌دیگر بوده (شکل ۱۲-ب) و رگه‌های کانه‌دار از این عناصر نسبت به سنگ سالم غنی شده‌اند که علت آن حضور این عناصر در سیال کانه‌دار و تشکیل رگه‌های حاوی این عناصر در تراکی آندزیت مگاپورفیری است.

آنالیزهای ژئوشیمیایی بر روی سنگ میزبان (تراکی آندزیت مگاپورفیری) فاقد کانی‌زایی و تراکی آندزیت‌های کانه‌دار و رگه‌های حاوی سولفید، با انتخاب شش نمونه به منظور محاسبه تغییرات جرم در طی کانی‌سازی و تکامل مراحل مختلف کانسارسازی صورت گرفته است. در این مبحث با استفاده از جدول تغییرات جرم و نمودارهای رسم شده (عنصر Ti به عنوان عنصر غیرمتحرک در نظر گرفته شده است)، رفتار عناصر اصلی و فرعی، عناصر عبوری جزئی (TRTE)، عناصر با قدرت میدان بالا (HFSE)، عناصر لیتوفیل درشت یون (LILE) و عناصر کمیاب خاکی (REE) در پروفیل مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته‌اند (شکل ۱۲). در میان عناصر اصلی، بیشترین تغییر در K، Na و Mg دیده

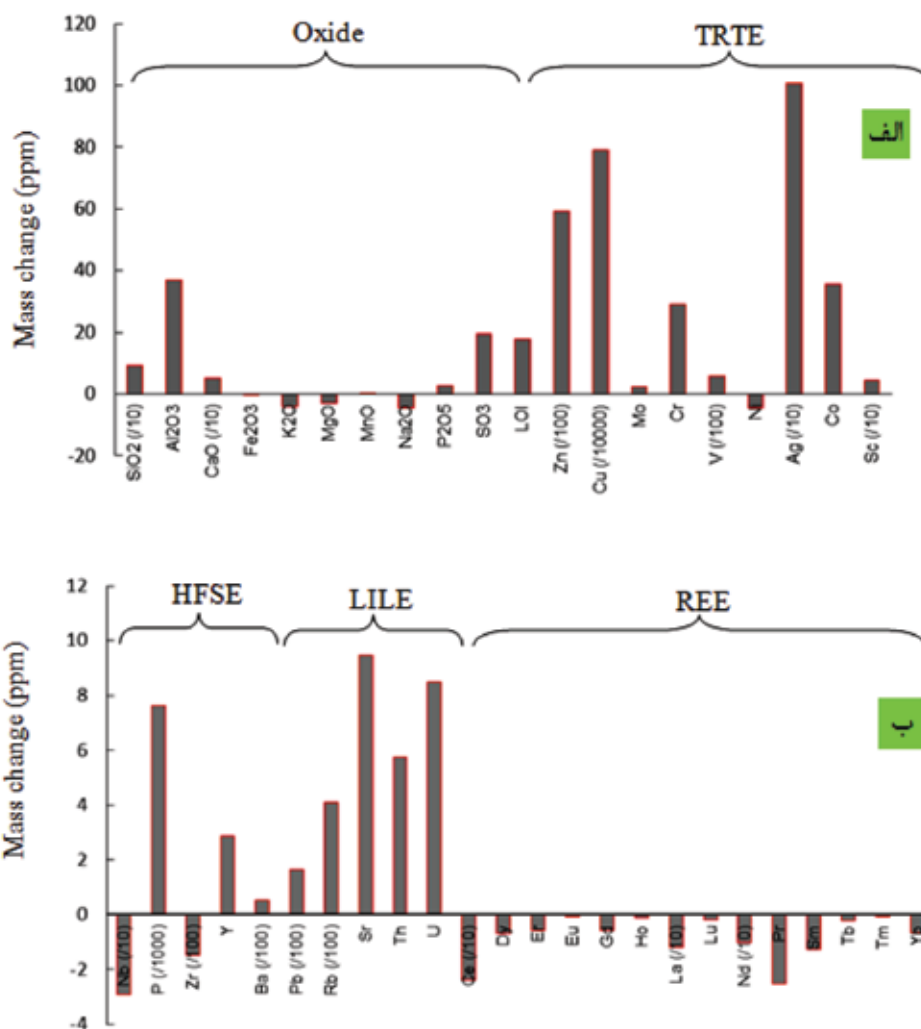


شکل ۱۱. الف) موقعیت نمونه‌ها در نمودار  $K_2O$ - $SiO_2$  (Pecirillo and Tylor, 1976)، ب) موقعیت نمونه‌ها در نمودار  $Nb/Y$ - $Zr/TiO_2$  (Winchester and Floyd, 1977) که در محدوده تراکی آندزیت قرار گرفته‌اند، پ) نمودار  $Zr/Al_2O_3$ - $TiO_2/Al_2O_3$  (Muller and Groves, 1997) برای تشخیص محیط نکتونیک کمان قاره‌ای از کمان‌های پس از برخورد (Muller and Groves, 1997)



فاکتور در کاهش (تهی شدگی) و افزایش (غنی شدگی) جرم عناصر می باشد. اگر دمای دگرسانی بالا باشد میزان عناصر Al، REE، HFSE و سایر عناصر غیرمتحرک کاهش می یابد ولی اگر دما پایین باشد مقادیر این عناصر با پیشرفت دگرسانی یک روند افزایشی نشان می دهد (Salvi and Jones, 1996). چون مقادیر جرمی عناصر REE، HFSE و Al در منطقه مورد مطالعه با افزایش شدت دگرسانی در پروفیل نمونه برداری سیر صعودی دارد و نسبت به نمونه سالم دگرسان نشده غنی شدگی نشان می دهند، بنابراین می توان اظهار نظر کرد که دمای دگرسانی در منطقه مورد مطالعه پایین بوده است.

عناصر LILE در رگه های کانه دار نسبت به سنگ سالم غنی شدگی نشان می دهند. تشکیل کانی های پتاسیم دار در طی تشکیل دگرسانی از قبیل سریسیت می تواند عامل غنی شدگی عنصر Rb باشد و تشکیل کانی کربناته در رگه های کانه دار باعث غنی شدگی عناصر Sr و Ba شده است (شکل ۱۲- الف). عناصر (LREE) Pr, Nd, Sm, Ce, La و (HREE) Gd, Lu, Yb, Er, Ho, Tb تغییرات جرم مشابهی دارند و تا حدودی روند کاهش در طی رگه های کانه دار نشان می دهند. این کاهش به دلیل شستشوی این عناصر در طی فرآیند کانی زایی و دگرسانی توسط محلول فرورو است (شکل ۱۲- الف). دمای دگرسانی مهم ترین



شکل ۱۲. الف) محاسبه تهی شدگی و غنی شدگی عناصر عبوری جزئی (TRTE) و اکسیدهای اصلی در رگه های کانه دار کانسار مس ماری، ب) محاسبه تهی شدگی و غنی شدگی عناصر با قدرت میدان بالا (HFSE)، عناصر لیتوفیل درشت یون (LILE) و عناصر کمیاب خاکی (REE) در رگه های کانه دار کانسار مس ماری

جدول ۱. جدول آنالیز نمونه‌های سنگی کانسار مس ماری.

Element	Unit	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>	M <sub>10</sub>	M <sub>11</sub>	M <sub>12</sub>	M <sub>13</sub>
SiO <sub>2</sub>	%	۵۱/۷۹	۶۲/۵۰	۹/۴۴	۲۹/۳۱	۷۹/۵۱	۳۸/۵۲	۷۸/۵۲	۲۵/۶۷	۳۳/۶۲	۰/۴۵۵
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	۱۷/۲۶	۱۷/۳۱	۱۲/۹۵	۱۱/۷۱	۱۷/۰۷	۱۷/۴	۱۵/۷۵	۱۱/۸۸	۱۳/۵۵	۱۴/۹۳
Na <sub>2</sub> O	%	۳/۶۵	۲/۵۵	۰/۰۴	۰/۰۱	۲/۹	۲/۷۷	۴/۰۲	۰/۰۷	۰/۳۴	۳/۴۹
K <sub>2</sub> O	%	۳/۶۷	۳/۲۱	۰/۵۵	۰/۰۱	۳/۳۲	۳/۴۴	۳/۱۲	۰/۰۳	۰/۲	۰/۴
CaO	%	۶/۷۹	۳/۱۳	۱۰/۸۴	۱۲/۶۴	۶/۶۸	۸/۱۴	۷/۰۶	۱۳/۱	۱۲/۷۷	۷/۶۷
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	۸/۲۲	۶/۷۸	۳/۱	۱/۶۵	۸/۴۴	۸/۲۳	۷/۲۷	۴/۰۶	۶/۸۹	۴/۷۶
MgO	%	۴	۳/۵۱	۱/۳	۰/۱۳	۴/۲۱	۳/۹۲	۳/۱۴	۰/۱۸	۰/۳۱	۲/۲۱
MnO	%	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	۰/۴۱	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۷۱	۰/۳۹	۰/۰۴	۰/۴۳	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۴۲
TiO <sub>2</sub>	%	۰/۷۹	۰/۹	۰/۳۹	۰/۱۷	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۵	۰/۳۹	۰/۴۳	۰/۶۴
SO <sub>3</sub>	%	۰	۰/۰۲	۲/۶۳	۴/۱۶	۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۲۳
LOI	%	۳/۲۳	۵/۷۱	۲/۹۸	۴/۵	۳/۳۱	۲/۲۵	۵/۴۶	۲/۶۹	۱/۸۲	۴/۲۷
Ag	ppm	۰/۴۵	۹/۳	۷۱/۷	۲۱۶/۸	۰/۴۷	۰/۳۹	۰/۳۲	۰/۴۱	۰/۶۳	۲۳/۷
As	ppm	۱۱/۹	۲/۷	۳/۷	۲/۷	۳	۲/۷	۲/۶	۳	۲/۸	۳/۸
Au	ppb	۶	۱۰	۳۲	۶۰	۷	۵	۴	۴	۶	۲۰
Ba	ppm	۵۷۶	۴۹۲	۲۷۱	۱۱۹	۶۶۰	۶۹۱	۴۵۳	۱۱	۲۱	۱۰۹
Be	ppm	۱/۶	۱/۲	۱/۹	۱/۹	۱/۶	۱/۶	۱/۴	۱/۷	۱/۵	۱/۳
Cd	ppm	۰/۲۶	۰/۹	۲/۸	۱/۵	۱/۴	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۶
Ce	ppm	۴۹	۴۱	۲۷	۱۲	۵۱	۴۷	۵۷	۲۸	۲۰	۳۸
Co	ppm	۲۲	۲۹	۱۷	۱۲	۲۴	۲۲	۲۳	۵	۶	۱۹
Cr	ppm	۵۸	۹۲	۴۲	۱۷	۶۶	۶۵	۹۱	۲۲	۴۱	۷۵
Cu	ppm	۸۶	۴۲۲۹۶	۱۲۴۳۳۹	۱۷۰۴۰۷	۳۸۴	۳۲۰۰	۵۰	۴۶	۴۸۸۹	۳۹۵۶۱
Dy	ppm	۳/۵	۳/۵	۱/۷	۰/۴۱	۴/۴	۳/۸	۳/۳	۲/۵	۱/۷	۲/۸
Er	ppm	۲/۲	۲	۱	۰/۲۶	۲/۶	۲/۵	۱/۸	۱/۵	۱	۱/۶
Eu	ppm	۱/۲	۱/۳	۰/۷۱	۰/۲	۱/۴	۱/۲	۱/۲	۰/۶۶	۰/۵۴	۰/۹۶
Gd	ppm	۴/۲	۱/۳	۲/۱	۰/۵۴	۵/۳	۴/۴	۴/۴	۳	۲	۳/۶
Ho	ppm	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۳۸	۰/۱	۰/۹۷	۰/۸۸	۰/۷۲	۰/۵۴	۰/۳۷	۰/۶۱
La	ppm	۲۸	۲۱	۱۵	۶	۳۱	۲۷	۳۴	۱۳	۱۰	۲۰
Li	ppm	۳۸	۶۹	۱۶	۳	۴۲	۲۰	۲۱	۳	۳	۲۰
Lu	ppm	۰/۳۷	۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۳۷	۰/۴۵	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۳
Mn	ppm	۸۱۵	۹۳۲	۴۷۲	۲۲۴	۹۶۴	۶۴۰	۸۸۸	۳۰۹	۳۶۶	۵۳۷
Mo	ppm	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۵۶	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۶
Nb	ppm	۳۴	۶	۱	۱	۳۴	۳۰	۳۱	۱۳	۱۲	۲
Nd	ppm	۲۳	۲۵	۱۱	۲/۸	۲۳	۲۱	۲۵	۱۵	۱۰	۲۰
Ni	ppm	۲۳	۳۰	۱۱	۴	۲۳	۲۲	۲۶	۴	۹	۲۱
P	ppm	۱۵۵۹	۱۹۸۱	۱۸۲۹	۱۹۷۴	۱۵۶۹	۱۶۰۵	۱۷۸۶	۹۲۷	۸۱۲	۱۴۴۲
Pb	ppm	۳۲	۳۳	۵۶	۴۵	۲۱	۲۰	۳۷	۲۸	۲۷	۳۲
Pr	ppm	۵/۷	۶/۲	۲/۸	۰/۷۳	۵/۵	۵/۲	۶/۵	۳/۷	۲/۵	۵
Rb	ppm	۱۲۴	۱۳۳	۱۲۴	۱۱۷	۱۱۵	۱۰۸	۱۲۸	۱۲۹	۱۳۷	۱۱۰
Sb	ppm	۱/۰۳	۱/۱۱	۱/۰۱	۱/۱۱	۱/۰۱	۱/۰۸	۰/۹۸	۱/۱۲	۰/۹۷	۱/۰۶
Sc	ppm	۱۴/۲	۳۴/۷	۱۶/۷	۱۱/۱	۲۱/۵	۴/۸	۲۱/۴	۱۱/۴	۱۲/۳	۲۰/۶
Sm	ppm	۴/۳	۵	۲/۱	۰/۵۷	۴/۷	۴/۲	۴/۷	۲/۸	۱/۹	۳/۷
Sr	ppm	۳۵	۱۶	۳۳	۱۰	۳۳	۳۶	۱۸	۴۰	۹۶	۴۶
Ta	ppm	۱/۱۴	۱/۲۶	۲/۰۱	۱/۰۴	۱/۶۴	۱/۵۶	۱/۴۷	۱/۲۶	۱/۰۸	۰/۵۴
Tb	ppm	۰/۶۵	۰/۷	۰/۳۱	۰/۰۷	۰/۷۶	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۴۵	۰/۳	۰/۵۴
Th	ppm	۶/۵	۴/۵	۳/۶	۲/۴	۷/۶	۷/۴	۵/۳	۳/۹	۲/۹	۴/۷
Tm	ppm	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۳	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۳۹
U	ppm	۲/۴	۲/۳	۲/۳	۲/۳	۲/۶	۲/۳	۲/۹	۲/۶	۲/۱	۲/۹
V	ppm	۲۴۰	۲۹۲	۲۰۸	۱۶۴	۲۸۶	۲۵۱	۱۸۰	۱۵۳	۱۴۳	۱۶۵
Y	ppm	۲۸	۲۹	۱۶	۶	۳۱	۲۵	۳۲	۱۳	۱۱	۲۲
Yb	ppm	۳/۵	۳/۶	۲/۴	۱/۵	۳/۷	۳/۲	۳/۵	۲/۳	۱/۸	۲/۷
Zn	ppm	۹۶	۳۱۴	۷۸۰	۱۳۰۲	۸۰	۶۹	۸۷	۱۹	۴۸	۲۸۳
Zr	ppm	۳۱۹	۳۳۶	۱۸۲	۹۳	۱۹۱	۳۹۲	۲۱۱	۲۹۳	۱۹۰	۲۵۵



مانتو شامل پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه‌ای-رگچه‌ای و جان‌شینی هستند که کلیه این بافت‌ها در کانسار مس ماری مشاهده می‌شوند (شکل‌های ۷، ۹ و ۱۰). با وجود شباهت‌های اساسی بین کانسار ماری و کانسارهای مس تیپ مانتو در غرب شیلی، تفاوتی بین این کانسارها وجود دارد و آن سن واحد میزبان است به طوری که توالی آتشفشانی در منطقه ماری در زمان سنوزوئیک تشکیل شده است (شکل ۲) ولی توالی میزبان کانه‌زایی در کانسارهای تیپ مانتو شیلی دارای سن مزوزوئیک می‌باشد (جدول ۳).

### نحوه تشکیل کانسار مس ماری

نظرات مختلفی در مورد چگونگی تشکیل کانسارهای مس مانتو وجود دارد ولی (Kirkham 1996) برای تشکیل این کانسارها دو مدل دگرگونی و اپی‌ژنتیک - دیاژنتیک پیشنهاد کرده است: در مدل دگرگونی، مس در درجات بالای دگرگونی و در طی واکنش‌های آب‌زدایی آزاد شده و در سنگ‌های میزبان نهشته شده است. در مدل اپی‌ژنتیک - دیاژنتیک، کانه‌زایی مس در ارتباط با دیاژنز آغازین تا تدفینی می‌باشد. در این مدل، مس از تراکی آندزیت میزبان که در شرایط احیایی ته‌نشست شده است، در طی فرآیند فروشست آزاد می‌شود. سیالاتی که این مس را از سنگ‌های تراکی آندزیتی شستشو می‌دهند، به طور عمده شوره‌های حوضه‌های هستند ولی دخیل بودن آب دریا، آب‌های جوی و سیالات ماگمایی نیز توسط اپروتوپ‌های اکسیژن، هیدروژن و گوگرد تأیید شده است.

در این نظریه، سنگ میزبان به‌عنوان منشأ اجزاء کانه‌دار در نظر گرفته می‌شود. (Campano and Guerra 1975) معتقدند که مقادیر بالایی از مس به‌طور اولیه در سنگ میزبان وجود داشته و در طی دیاژنز تدفینی و دگرسانی گرمایی، فروشست شده‌اند. در کانسار مس ماری نیز مقدار مس اولیه در سنگ میزبان تراکی آندزیتی دگرسان نشده در حدود ۳۲۰۰ ppm می‌باشد. با توجه به عدم رخداد دگرگونی در منطقه کانی‌سازی ماری چه به‌صورت محلی و چه به‌صورت ناحیه‌ای، مدل دگرگونی را نمی‌توان برای تشکیل این کانسار پیشنهاد کرد و مدل اپی‌ژنتیک - دیاژنتیک قابل قبول‌تر است. با توجه به ویژگی‌های فوق و همچنین مدل ارائه شده

### مقایسه کانسار مس ماری با کانسارهای مس تیپ مانتو در غرب شیلی

با توجه به مطالب فوق، ویژگی‌های اساسی کانسار ماری با ویژگی‌های شاخص کانسارهای مس تیپ مانتو مقایسه شده است (جدول ۲).

یکی از ویژگی‌های اساسی کانسارهای مس تیپ مانتو وجود توالی آتشفشانی- رسوبی و سنگ میزبان آندزیت تا بازالت پورفیری است (Wilson et al., 2003; Haggan et al., 1998). در کانسار مس ماری، پهنه کانه‌دار در داخل تراکی آندزیت مگاپورفیری توالی آتشفشانی- رسوبی به سن ائوسن تشکیل شده است (شکل ۲-ب و شکل ۳). بورنیت، کالکوسیت، کالکوپیریت و پیریت مهم‌ترین پاراژنز کانیایی کانسارهای تیپ مانتو غرب شیلی است (جدول ۳). در کانسار مس ماری نیز کانی‌های بورنیت و کالکوسیت مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی بوده و به مقدار کمتر پیریت و کالکوپیریت نیز دیده می‌شود (شکل‌های ۹ و ۱۰). یکی از شاخصه‌های اصلی کانسارهای تیپ مانتو، همراهی نقره با مس است که میزان آن از ۸ تا ۳۲ گرم در تن تغییر می‌کند (Maksaev and Zentilli, 2002). در کانسار مس ماری نیز مقدار نقره بالا است به طوری که مقدار آن بین ۹ تا ۲۱۶ گرم در تن می‌باشد (شکل ۱۲-ب). چینه‌کران بودن و همچنین بافت رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی از دیگر شاخصه‌های کانسارهای مس تیپ مانتو است (Kojima et al., 2009). در کانسار ماری، بافت ماده معدنی به‌صورت رگه-رگچه‌ای بوده و محدود به واحد آتشفشانی تراکی آندزیت مگاپورفیری می‌باشد (شکل ۶). مهم‌ترین کانی‌های باطله در کانسارهای مانتو شیلی عبارت از کربنات، کلریت، اپیدوت، سیلیس و کلریت می‌باشند (جدول ۳). در کانسار مس ماری نیز باطله‌های مشابهی حضور دارند (شکل ۸). اگر چه گستردگی دگرسانی‌ها در کانسارهای تیپ مانتو شیلی قابل توجه نیست و علت آن نیز دما پایین بودن سیال کانه‌دار است ولی در مطالعات میکروسکوپی این ذخایر دگرسانی کربناتی، کلریتی، سیلیسی و سربسیتی در سنگ میزبان تراکی آندزیتی مشاهده شده است. در کانسار مس ماری نیز این دگرسانی‌ها مشاهده می‌شوند (شکل ۸). بافت‌های مهم در کانسارهای

رسوب‌گذاری در این محیط کشتی با ته‌نشینی رسوبات تخریبی (ماسه‌سنگ و برش آتشفشانی) همراه بوده است (شکل ۱۳- الف). گدازه‌های تراکی آندزیت مگاپورفیری در این مدت فوران نموده‌اند (شکل ۱۳ الف ۱) که مقدار اولیه مس در آن‌ها بالا (حداکثر ۳۲۰۰ ppm) بوده است.

### مرحله کانی‌زایی

#### مرحله دیاژنز آغازین

در طی دیاژنز اولیه، فعالیت میکروارگانسیم‌های احیاکننده سولفات آب دریا باعث احیاء سولفات آب دریا و آزادشدن گوگرد شده و سپس این گوگرد در واکنش با آهن محیط سبب ایجاد پیریت به صورت پراکنده فضای خالی و دانه پراکنده در سنگ میزبان تراکی آندزیتی شده است (شکل ۱۳ ب ۲، ۳). بنابراین، در این مرحله پیریت در زمینه سنگ و نیز به صورت پراکنده فضای خالی تشکیل شده است.

برای کانسارهای تپ مانو توسط Kojima et al. (2007) و Kirkham (1996)، مراحل تشکیل کانسار مس ماری را می‌توان به صورت اپی‌ژنتیک- دیاژنتیک ارائه کرد. لازم به ذکر است که بوبری و همکاران (۱۳۹۳) و ابولی و همکاران (۱۳۹۰) چنین مدلی را به ترتیب برای کانسارهای مانو کشت مهکی صفاشهر و کشکوئیه رفسنجان ارائه کرده‌اند.

مراحل کانی‌زایی در کانسار مس ماری بر اساس نوع فرآیندهای موثر بر کانی‌زایی به سه مرحله تقسیم می‌شود که در ذیل به شرح آنها پرداخته می‌شود:

### قبل از کانی‌زایی

#### مرحله همزمان با آتشفشان

در زمان ائوسن در یک محیط ریفت درون کمانی، مواد آذرآواری و رسوبی شروع به ته‌نشست کرده و همزمان، خروج گدازه‌ها به صورت متناوب با توف‌ها و سنگ‌های رسوبی صورت گرفته است (شکل ۱۳- الف). به طوری که شروع

جدول ۲. مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانه‌ها و کانی‌ها در کانسار مس ماری و بافت‌های غالب در آن

Minerals/ Textures	Pre- Mineralization	Mineralization		Post- Mineralization	
	Volcanism	Diagenesis		Supergene	
		Early	Late	Sulphide	Oxide
Minerals	Bornite		●		
	Chalcocite		●	●	
	Chalcopyrite		●		
	Pyrite	●			
	Covellite		●		
	Hematite				●
	Azurite				●
	Malachite				●
	Zeolite		●		
	Calcite		●		
	Chlorite		●		
	Epidote		●		
	Silica		●		
Textures	Disseminated	●	●		
	Vein- Veinlet		●	●	
	Open space filling		●		
	Replacement		●	●	

### مرحله دیاژنز تدفینی

به سمت بالا و نقاط کم فشار حرکت کرده و با ورود به واحد تراکی آندزیت پورفیری غنی از پیریت، احیاء شده آن‌ها و مس به شکل سولفیدی در فضاهای مناسب ته‌نشین شود. همچنین برخورد سیالات با پیریت سبب آزاد شدن آهن و تشکیل هماتیت در اطراف سولفیدهای مس می‌شود. از جمله شواهد دیاژنز تدفینی در کانسار ماری، جاننشینی کالکوسیت به جای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز از حاشیه (شکل ۱۳- پ ۴) و تشکیل کانی زئولیت (شکل ۶- پ) در واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری است. حضور پیریت‌های دانه‌پراکنده و پرکننده فضای خالی در واحد تراکی آندزیتی سبب شده که کانی‌سازی مس به صورت چینه‌کران بوده و محدود به واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری باشد (شکل ۱۳- پ ۵).

فعالیت آتشفشانی وسیع و ادامه رسوب‌گذاری باعث ضخیم‌تر شدن توالی آتشفشانی- رسوبی حوضه ائوسن شده و این افزایش ضخامت رسوبات سبب تدفین عمیق و افزایش فشار و دما در سیال بین حوضه‌ای، به عبارتی دیاژنز تدفینی می‌شود و این به نوبه خود، تحرک سیالات شورابه‌ای را در میان توالی آتشفشانی ایجاد کرده است (Barnes, 1979).

علاوه بر این، دیاژنز تدفینی سبب آب‌زدایی واحدهای آذرآواری حاوی مس، آزاد شدن فلزات موجود در ساختار کانی‌ها و وارد شدن آن‌ها به شورابه حوضه‌ای می‌شود. این سیالات دما بالا در طی گردش در میان واحدهای آتشفشانی از مس غنی می‌شوند. سیالات غنی از مس

### مرحله پس از کانه‌زایی

شرایط اکسیدان، هوازگی و شستشو، سولفیدهای مس به کالکوسیت‌های ثانویه، کوولیت، مالاکیت، آزوریت و هماتیت تبدیل می‌شوند (جدول ۲).

این مرحله، شامل بالآمدگی حوضه و رخنمون یافتن واحدها در سطح زمین است که باعث هوازگی و دگرسانی سوپرژن سولفیدهای اولیه شده است. در این مرحله به علت

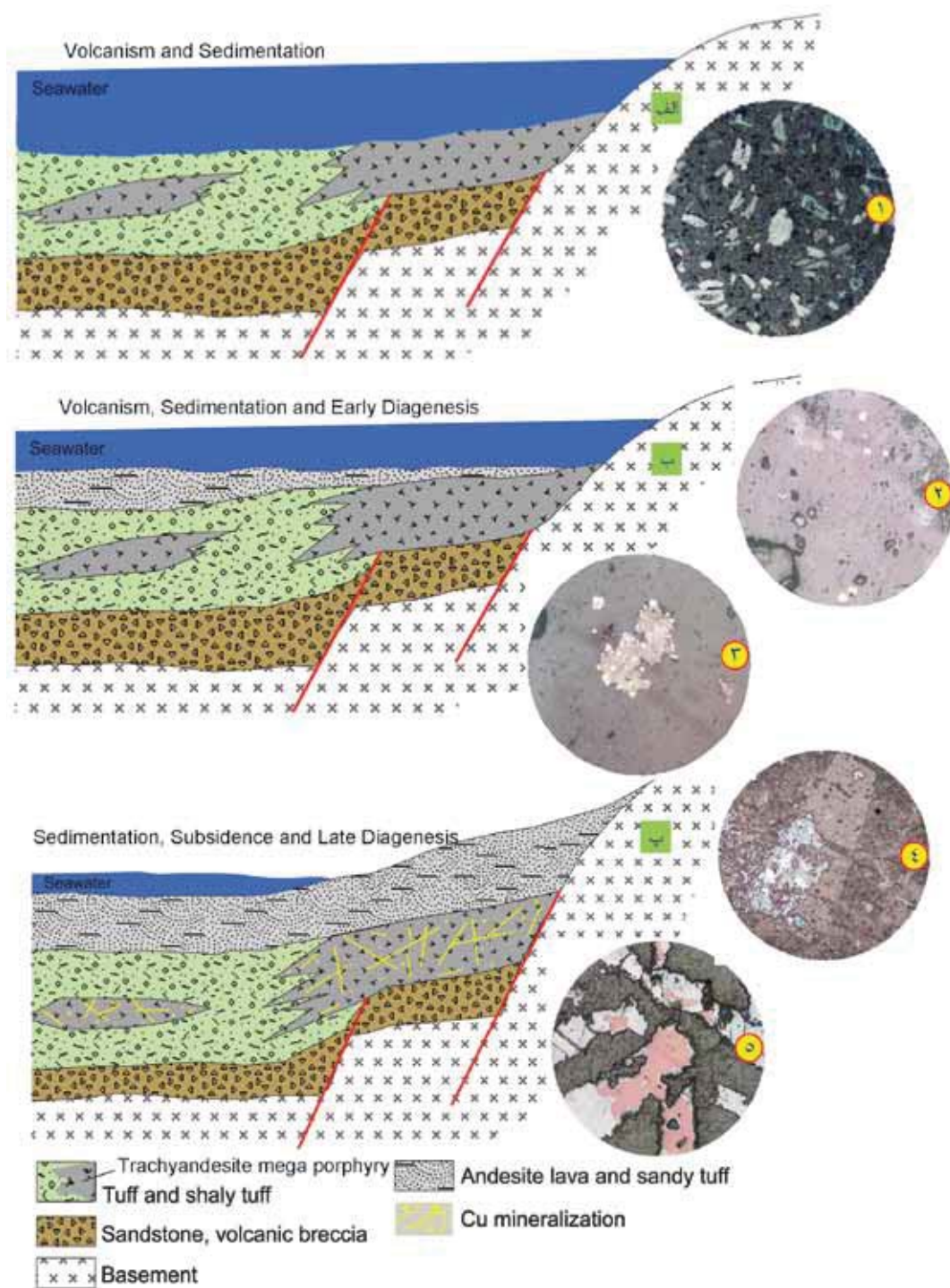
جدول ۲. مقایسه کانسار مس ماری با دیگر کانسارهای مس تیپ مانتو در شیلی و ایران

ویژگی‌های شاخص	کانسار ماری	کانسارهای تیپ مانتو	کانسار عباس‌آباد	کانسار کشکوئیه	کانسار کشت مهکی	کانسار ورزش
موقعیت جغرافیایی	۴۰ کیلومتری شمال زنجان	شیلی	شمال شاهرود	غرب رفسنجان	شمال غرب ده‌بید فارس	۱۵ کیلومتری شرق قاین
محیط تکتونیکی	ریفت درون قوس ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای	کمان و پشت کمان	...	محیط کششی پشت کمان	ریفت درون کمان آتشفشانی	ریفت درون قاره‌ای
سنگ میزبان	تراکی آندزیت مگاپورفیری	گدازه‌های بازالتی و آندزیتی مگاپورفیری	آندزیت تا آندزیت بازالتی پورفیری	آندزیت دارای اشکال بادامکی	واحد آذرآواری با ترکیب آندزیتی- تراکی آندزیتی	آندزیت تا آندزیت بازالتی بادامکی
کانی شناسی	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت و هماتیت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت، دیژنیت و هماتیت	کالکوسیت، دیژنیت، بورنیت، کوولیت، مس طبیعی	بورنیت، کالکوزیت، کالکوپیریت، پیریت، دیژنیت و هماتیت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت، دیژنیت، کوولیت، مس طبیعی، کالکوپیریت	کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت، مس طبیعی، کالکوپیریت



ادامه جدول ۳.

ویژگی‌های شاخص	کانسار ماری	کانسارهای تیپ مانتو	کانسار عباس‌آباد	کانسار کشکوئیه	کانسار کشت مهکی	کانسار ورزگ
کانی‌های باطله	کربنات، کوارتز، کلریت، اپیدوت و فلدسپار	کربنات و کلریت، سیلیس، هماتیت و آلکالی فلدسپار	کربنات، کلریت، زئولیت، کوارتز	کربنات و به میزان کمتر سیلیس، کلریت، هماتیت و آلکالی فلدسپار	اپیدوت، کربنات، کلریت و آلکالی فلدسپار	کربنات، کلریت، کوارتز، زئولیت
میزان نقره	۹ تا ۲۱۶ گرم در تن	۸ تا ۳۲ گرم در تن	...	۶ تا ۲۳ گرم در تن	تا ۳۵ گرم در تن	تا ۱۰۰ گرم در تن
دگرسانی	کربناتی، کلریتی، اپیدوتی، سرپسیتی، سیلیسی	کربناتی، کلریتی، سیلیسی، سرپسیتی، هماتیتی و آلبیتی	...	گسترش ضعیفی دارد و شامل کربناتی، هماتیتی و سرپسیتی	کلریتی، سیلیسی، کلسیتی، اپیدوتی	اپیدوتی، سیلیسی، کربناتی، کلریتی
سن واحد میزبان	اٹوسن	کرتاسه	اٹوسن زیرین	اٹوسن	کرتاسه زیرین	پالئوسن-اٹوسن
ساخت و بافت	پرکننده فضای خالی، رگه-رگچه‌ای، دانه رگچه‌ای، دانه پراکنده و جانیشینی	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه-رگچه‌ای، جانیشینی	پرکننده فضای خالی و رگه-رگچه‌ای	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه-رگچه‌ای، جانیشینی	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه-رگچه‌ای، جانیشینی و لامینه‌ای	رگه-رگچه‌ای، بادامکی و دانه پراکنده
شکل هندسی	استراتاباند	استراتاباند	استراتاباند	استراتاباند	استراتاباند	استراتاباند
منبع	تحقیق حاضر	(Kirkham, ۱۹۹۶)	(سامانی، ۱۳۸۱)	(ابولی و همکاران، ۱۳۹۰)	(بویری و همکاران، ۱۳۹۳)	(علی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱)



شکل ۱۳. مراحل تشکیل کانسار مس ماری. الف) فعالیت آتشفشانی، ته‌نشست رسوبات در حوضه آتشفشانی- رسوبی اتوسن و تشکیل واحد تراکی آندزیت مگاپورفیر (۱)، ب) رخداد دیاژنز اولیه به همراه فعالیت میکروارگانیسم‌های احیاکننده سولفات باعث تشکیل پیریت به صورت دانه پراکنده (۲) و پرکننده فضای خالی (۳) در واحد تراکی آندزیت مگاپورفیر شده است. پ) ادامه رسوب‌گذاری باعث افزایش ضخامت رسوبات همراه با ادامه فرونشست حوضه، باعث افزایش فشار و حرارت حوضه و حدوث دیاژنز تدفینی شده و همین دیاژنز تدفینی سبب آب‌زدایی واحدهای آذراواری مس‌دار و وارد شدن آن‌ها به شورابه حوضه‌ای می‌شود. از جمله شواهد دیاژنز تدفینی، جان‌نشین شدن پلاژیوکلازها از حاشیه توسط کالکوسیت می‌باشد (۴). با توجه به حضور پیریت‌های دانه‌پراکنده و پرکننده فضای خالی در این واحد تراکی آندزیتی، شرایط احیایی حاکم برای ته‌نشست سولفیدهای مس در این واحد فراهم می‌شود (۵) و کانی‌زایی مس در منطقه ماری به صورت چینه‌کران محدود به واحد تراکی آندزیت مگاپورفیری می‌شود

## منابع

- Castro, A., Aghazadeh, A., Badrzadeh, Z. and Chichorro, M., 2013. Late Eocene-Oligocene post collisional monzonitic intrusions from the Alborz magmatic belt, NW Iran. An example of monzonite magma generation from a metasomatized mantle source, *Lithos*, 19.
- Cabral A.R. and Beaudoin, G., 2007. Volcanic red-bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada. *Mineral Deposita*, 42, 901 - 912.
- Campano, P. and Guerra, N., 1975. The role of bitumen in strata-bound copper deposit formation in the Copiapó area, Northern Chile. *Mineral Deposita*, 41, 339 - 355.
- Espinoza, R. S., Veliz, G. H., Esquivel, L. J. and Arias F. J., 1996. The cupriferous province of the coastal ranges, Northern Chile, In: *Andean copper 194 deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny*. Soc Econ Geologists Special Publication, 5, 19-32.
- Haggan, T., Parnell, J. and Cisternas M.E., 2003. Fluid history of andesite-hosted CuS-bitumen mineralization, Copiap district, North Central Chile. *Journal of Geochemical Exploration*, 78631-635.
- Hirayama, K., Samimi, M., Zahedi, M. and Hushmand-Zadeh A., 1966. Geology of Tarom district, western part (Zanjan area, North west Iran), *G.S.I 8*, 31.
- Khadem, N., 1964. Types of copper deposits in Iran. In *symposium on Mining Geology and The Base Metals Central Treaty Organization*, Ankara.
- Kirkham, R.V., 1996. Volcanic red bed copper, Geological Survey of Canada, Canadian mineral deposit types, 8, 241-252.
- Kojima, S., Aguilera, D. T. and Hayashi K. I., 2007. Genetic aspects of manto type cop-
- ابولی، م.، راستاد، ا. و رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۹۰. کانه‌زایی مس چینه‌کران نوع مانتو (Manto-type) در پهنه دهج- ساردوئیه در ناحیه کشکوئیه رفسنجان. دومین همایش زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه لرستان.
- بویری، م.، راستاد، ا. و رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۹۳. کانی‌زایی مس (نقره) نوع Volcanic Red Bed در کانسار کشت مهکی، شمال باختر صفاشهر، پهنه سندج- سیرجان جنوبی، فصلنامه علوم زمین. ۹۳، ۱۹ - ۳۶.
- حاج علیلو، ب.، ۱۳۷۸. متالوژی ترشیری در البرز باختری- آذربایجان (میان- سیه‌رود) با نگرشی خاص بر منطقه هشتجین، رساله دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- حاجیان، آ. و زاهدی، م.، ۱۳۸۴. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زنجان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قربانی، م.، ۱۳۸۷. زمین‌شناسی اقتصادی کانسارها و نشانه‌های معدنی ایران، انتشارات آریز زمین.
- سامانی، ب.، ۱۳۸۱. متالوژی کانسارهای مس تیپ مانتو در ایران، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- علی‌زاده، و.، مومن‌زاده، م. و امامی، م.، ۱۳۹۱. سنگ‌نگاری، ژئوشیمی، کانی‌شناسی، مطالعه میانبارهای سیال و تعیین نوع کانی‌زایی کانسار مس ورزگ- قاین، فصلنامه علوم زمین شماره ۸۶، ۲۱-۳۸.
- معین‌وزیری، ح. و احمدی، ع.، ۱۳۸۱. پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آذرین، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۵۴۴.
- Aghazadeh, M., Castro, A., Omran, N.R., Emami, M.H., Moivaziri, H. and Badrzadeh, Z., 2010. The gabbro (shoshonitic)-monzonite-granodiorite association of Khankandi pluton, Alborz Mountains, NW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 38, 199-219.
- Barnes H.L., 1979. Solubilities of ore minerals, In: *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. 2nd edn John Wiley & Sons, New York, 404-410.



- per deposits based on geochemical studies of north Chilean deposits. *Resource Geology*, 59, 87-98.
- Kojima, S., Trista, D., guilera, A., Ken-ichiro and Ayashi H., 2009. Genetic aspects of the manto-type copper deposits based on geochemical studies of North Chilean deposits. *Resource Geology*, 59, 87 - 98.
  - Maksaev, V. and Zentilli M., 2002. Chilean strata-bound Cu-(Ag) deposits: an overview. In: Porter, T.M. (Ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits. A Global Perspective*. PGC Publishing Adelaide, 163-184.
  - Muller, D. and Groves D. I., 1997. *Potassic Igneous Rocks and Associated Gold -Copper Mineralization*, Sec updated Springer Verlag, 242.
  - Oyarzum, R., Ortega, L., Sierra, J., Lunar, R. and Oyarzn J., 1998. Cu, Mn and Ag mineralisation in the Quebrada Marquesa Quadrangle, Chile: The Talcuna and Arqueros Districts. *Mineralium Deposita*, 33, 547-559.
  - Pecerrillo, A. and Taylor S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the kastamous area, Northen Turkey. *Contrib.Mineral Petrol*, 58, 63-81.
  - Rieger, A., Schwark, L. and Cisternas M. E., 2008. Genesis and Evolution of Bitumen in Lower Cretaceous Lavas and Implications for Strata-bound Copper Deposits, North Chile, *Economic Geology*, 103, 387- 404.
  - Salvi, S. and Williams-Jones, A.E., 1996. The role of hydrothermal processes in concentrating high-field strength elements in the Strange Lake peralkaline complex, northeastern Canada. *Geochemical. Cosmochim. Acta*, 60, 1917-1932.
  - Wilson, N.S.F., Zentilli, M., and Spiro B., 2003. 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, 163- 174.
  - Winchester, J.A., and Floyd P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 16, 325-343.
  - Zentilli, M., Munizaga, F., Graves, M.C., Boric, R., Wilson, N.S.F., Mukhopadhyay, P.K. and Snowdon L.R., 1997. Hydrocarbon involvement in the genesis of ore deposits: An example in Cretaceous strata-bound (manto-type) copper deposits of central Chile. *International Geology Review*, 39, 1- 21.