

کانه‌زایی مس تیپ مانتو در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه- دختر (ناحیه قم-ساوه) با تأکید بر کانسار نارباغی شرقی، شمال شرق ساوه

نگین فضلی^۱، مجید قادری^{۲(*)}، مهدی موحدنیا^۱ و سجاد مغفوری^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲. استاد، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳. استادیار، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۱

چکیده

کانسارهای مس تیپ مانتو ناحیه قم-ساوه، در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر و در سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن تشکیل شده‌اند. مهم‌ترین این کانسارها نارباغی شرقی، خانکیشی، وشنوه و کهک هستند. ژئومتری ماده معدنی در این کانسارها، چینه‌کران و سنگ درون‌گیر آنها شامل توف سیلتی، توف برش، آندزیت، لیتیک کریستال توف و آندزیت بازالت آمیگدالوئیدال است. کانه‌های اولیه مس (هیوزن) در کانسارهای ناحیه مورد مطالعه، کالکوسیت، بورنیت و به مقدار بسیار اندک کالکوپیریت هستند و با ساخت و بافت رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، دانه‌پراکنده و جانیشینی تشکیل شده‌اند. مطالعات نشان می‌دهد تشکیل و تکوین کانسنگ اولیه در این کانسارها، طی دو مرحله انجام شده است: در مرحله اول که در حین فوران آتشفشان، رسوب‌گذاری و دیاژنز آغازین رخ داده، کانی پیریت در متن سنگ میزبان به صورت دانه‌پراکنده و فرامبوئیدال تشکیل شده و نشان‌دهنده شرایط احیایی حاکم بر حوضه در زمان آتشفشانی و رسوب‌گذاری است. در مرحله دوم که در طی دیاژنز تدفینی رخ داده، با ورود سیالات اکسیدان غنی از مس، پیریت با سولفیدهای مس جانشین شده و آهن اضافی حاصل از این جانیشینی، به صورت هماتیت اولیه در تمامی این کانسارها قابل مشاهده است. رخداد کانه‌زایی در این مرحله، بیشتر به صورت رگه-رگچه‌ای و جانیشینی است. داده‌های ایزوتوپی گوگرد، مربوط به نمونه‌های سولفیدی کانسار نارباغی شرقی در نمونه‌های تجزیه شده (مقادیر $\delta^{34}\text{S}$ از ۱۰/۲- در هزار تا ۴/۴- در هزار با میانگین ۶/۷- در هزار) نشان از تأمین گوگرد توسط احیایی باکتریایی سولفات آب دریای ائوسن دارد. کانسارهای مورد مطالعه، از نظر سنگ میزبان، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، ژئومتری و چگونگی تشکیل، بیشترین شباهت را با کانسارهای مس تیپ مانتو در دنیا نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: ارومیه-دختر، ایزوتوپ‌های گوگرد، تیپ مانتو، چینه‌کران، قم-ساوه، کانه‌زایی مس.

مقدمه

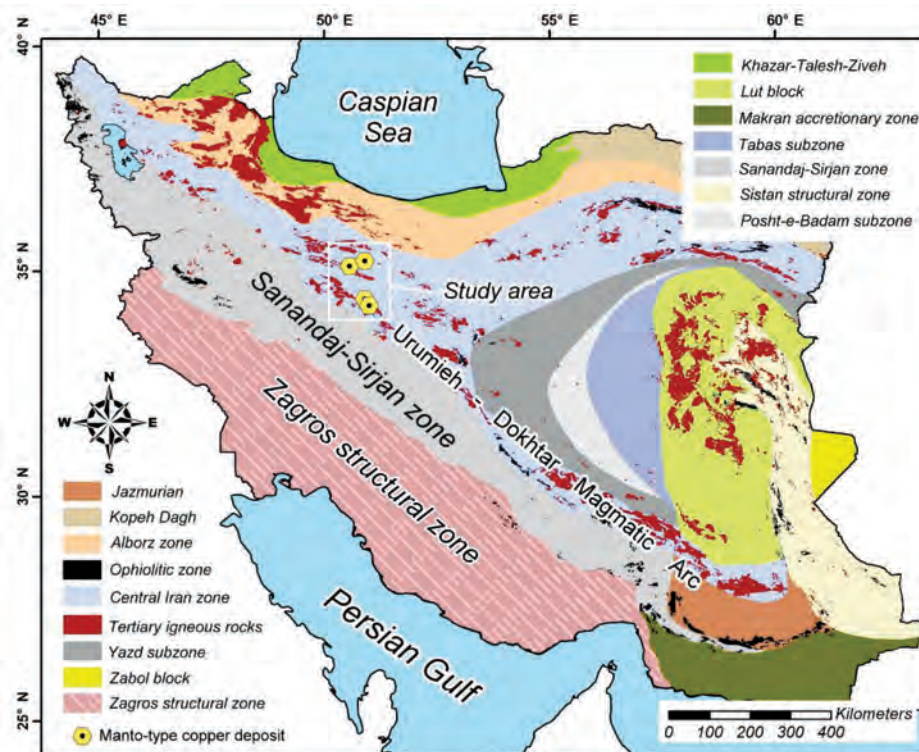
موقعیت ژئودینامیکی و سرگذشت زمین‌شناسی پهنه‌های ساختاری گوناگون ایران، تشکیل انواع تیپ‌های کانساری مس در گستره ایران زمین در زمان‌های مختلف را

* نویسنده مرتبط: mghaderi@modares.ac.ir

گروه دوم در پهنه‌های ساختاری ارومیه- دختر (احمدی، ۱۳۹۹؛ ابولی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴؛ ابولی‌پور، ۱۳۹۱)، کمان ماگمایی البرز (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ Maghfouri et al., 2017)، زیرپهنه سبزواری (نجمی و همکاران، ۱۳۹۶؛ صالحی و رسا، ۱۳۹۴؛ مغفوری و موحدنیا، ۱۳۹۳) و بلوک لوت (علی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱) گزارش شده‌اند. ناحیه قم-ساوه، یکی از مهم‌ترین مناطق دربرگیرنده کانسارهای مس تیپ مانتو با سنگ میزبان ائوسن است و شامل کانسارهای مهمی همچون نارباغی شرقی و وشنوه می‌باشد (شکل‌های ۱ و ۲) که ویژگی اصلی آنها رخداد کانستگ مس به‌صورت چینه‌کران در واحدهای آتشفشانی به‌ویژه گدازه‌های آندزیتی مگاپورفیری و آمیگدالوئیدال و با بافت رگه-رگچه‌ای و محدود به یک واحد چینه‌ای و وجود پارازنز کانیاپی بورنیت، کالکوسیت، کالکوپریت و پیریت است (Wilson and Zentilli, 2006; Wilson et al., 2003) و ویژگی‌های مذکور، حاکی از شباهت این کانسارها با کانسارهای تیپ مانتو در شیلی است.

تمرکز این کانسارها در کمان ماگمایی ارومیه- دختر است (Hosseini et al., 2017; Kouhestani et al., 2017; Mohammaddoost et al., 2017; Ayati et al., 2013; Shafiei et al., 2009; Shafiei and Shahabpour, 2008; Shahabpour, 2005; Zarasvandi et al., 2005; Calagari, 2003; Yaghubpur, 2003; Samani, 1998; Forster, 1978).

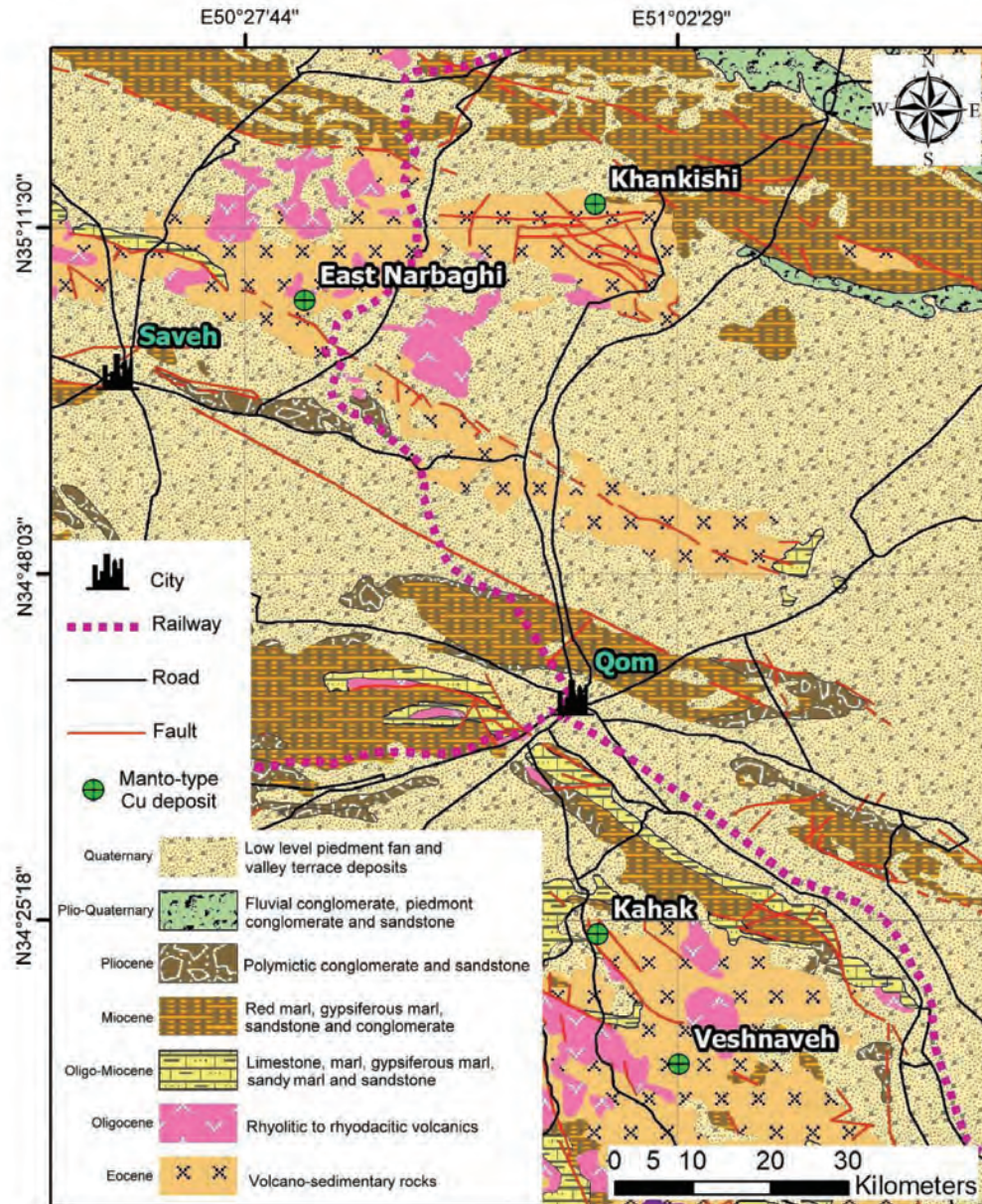
مطالعاتی که در چند سال اخیر توسط پژوهشگران دانشگاهی و شرکت‌های معدنی در پهنه‌های ساختاری مختلف صورت گرفته، سبب شناسایی کانه‌زایی‌های مس تیپ مانتو در سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی شده است. کانسارهای مس تیپ مانتو در ایران بر اساس سن سنگ میزبان، به دو دسته عمده کرتاسه و ائوسن قابل تقسیم هستند. گروه اول تنها در بخش جنوبی پهنه سبزواری سیرجان و در سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی کرتاسه تشکیل شده‌اند و شامل کانسارهای کشت‌مهکی، کال‌ریزه، حسن‌آباد، خورجان و سیمکان می‌باشند (بویری کناری، ۱۳۸۹)، اما



شکل ۱. نقشه پهنه‌های ساختاری-رسوبی ایران (برگرفته از آقائباتی، ۱۳۸۳ و Alavi, 1991) و موقعیت کانسارهای مس تیپ مانتو در ناحیه قم-ساوه (بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه- دختر)

هدف این نوشتار، مطالعه و بررسی زمین‌شناسی، جایگاه چینه‌های افق‌های کانه‌دار و انطباق چینه‌های کانسارهای ناحیه قم-ساوه با تأکید بر زمین‌شناسی، کانه‌زایی و ژئوشیمی ایزوتوپی کانسار نارباغی شرقی با هدف ارائه مدل ژنتیکی تشکیل و تکوین برای کانسارهای مس مانتو در این ناحیه است.

بررسی‌های پژوهشگرهای دانشگاهی و فعالیتهای اکتشافی شرکت‌های معدنی منجر به شناسایی و اکتشاف کانسارهای مختلف مس تیپ مانتو در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر شده است. ناحیه قم-ساوه واقع در بخش میانی این کمربند یکی از این نواحی مستعد می‌باشد و انجام مطالعات گسترده‌تر در این بخش ضروری به نظر می‌رسد.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای و ساده شده ناحیه قم-ساوه (با تغییرات از امامی و حاجیان، ۱۳۷۰ و نوگل‌سادات و همکاران، ۱۳۶۴) و موقعیت کانسارهای مس تیپ مانتو در آن

موقعیت ژئودینامیکی و زمین‌شناسی ناحیه‌ای

در این پژوهش، برای بررسی ویژگی‌های توالی سنگی میزبان کان‌زایی‌ها و تحلیل جایگاه چینه‌ای کان‌زایی‌های مس، مقاطع متعدد زمین‌شناسی در راستای عمود بر لایه‌بندی در توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن در کانسارهای مورد مطالعه، پیمایش شده و ستون چینه‌شناسی هر یک از کانسارها رسم و با ستون چینه‌شناسی سایر کانسارها، انطباق داده شد. به‌منظور مطالعه کانی‌شناسی و ساخت و بافت ماده معدنی مس در کانسار نارباغی شرقی، از بخش‌های مختلف کان‌دار و سنگ‌های میزبان تعداد ۲۹ عدد مقطع نازک-صیقلی، تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. برای بررسی نسبت ایزوتوپی گوگرد در این کانسار، تعداد هشت نمونه از گمانه‌های حفاری انتخاب و پس از جدایش با استفاده از میکرودریل و میکروسکوپ بینوکولار، نمونه‌های خالص سولفیدی (هفت نمونه کالکوسیت و یک نمونه پیریت) جدا شد. این نمونه‌ها در آزمایشگاه ژئوشیمی ذخائر معدنی انستیتو ژئوشیمی آکادمی علوم چین با استفاده از طیف‌سنج جرمی ایزوتوپی مدل Thermo Finnigan MAT 253 مورد تجزیه قرار گرفت. به‌منظور کنترل داده‌های تجزیه‌ای، از ۳ استاندارد جهانی برای ایزوتوپ‌های گوگرد (IAEA-S-1؛ IAEA-S-2؛ IAEA-S-3) استفاده شد. لازم به ذکر است نتایج تجزیه ایزوتوپ‌های گوگرد نمونه‌ها، خطای نسبی کمتر از ۰/۲ در هزار نشان می‌دهد. تمامی نمونه‌های تجزیه شده، نسبت به ترولیت کانیون دیابلو نرمالیزه شده‌اند.

کانه‌زایی‌های مس تیپ مانتو در ناحیه قم-ساوه

توالی سنگ‌چینه‌ای ائوسن در ناحیه قم-ساوه، میزبان تیپ‌های کانساری مختلفی از جمله منگنز برون‌دی-آتشفشان‌زاد (ونارچ (فردوست، ۱۳۷۰)، شهرستانک (معانی جو و همکاران، ۱۳۹۴)، قلعه محمدعلی‌خان (لطفی و همکاران، ۱۳۸۱))، آهن برون‌دی-آتشفشان‌زاد (نیاز، مأمونیه (محبوبیان فرد و همکاران، ۱۳۹۶)، کوه‌پنگ (فضلی، ۱۳۹۴؛ Rajabpour et al., 2018)، کانسارهای باریت و فلزات پایه تیپ سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (دره کاشان) (نظری،

در طی فرآیندهای بسته شدن اقیانوس نئوتتیس، سامانه‌های کششی و فشاری مختلفی بر روی سرزمین ایران تأثیر گذاشته و سبب تغییرات و تحولات اساسی زمین‌شناسی ایران در طی مزوزوئیک و سنوزوئیک شده‌اند (Omran et al., 2008; Berberian and Berberian, 1981). ائوسن یکی از مهم‌ترین دوره‌های رخداد فرآیندهای مرتبط با فرورانش و بسته شدن اقیانوس نئوتتیس در ایران است (Ahmadian et al., 2009). سنگ‌های ماگمایی این زمان، گسترده‌ترین و در مواردی ضخیم‌ترین واحدهای ولکانوئیک ایران را تشکیل می‌دهند (امامی، ۱۳۷۹). مهم‌ترین گسترش سنگ‌های ماگمایی مزبور در کمان ارومیه-دختر با طولی متجاوز از ۱۷۰۰ کیلومتر است. ماگماتیسیم ائوسن در کمان ارومیه-دختر به‌طور عمده شامل فعالیت‌های آتشفشانی بوده، ولی در بعضی نقاط توده‌های نفوذی نیز به چشم می‌خورند (Nouri et al., 2018).

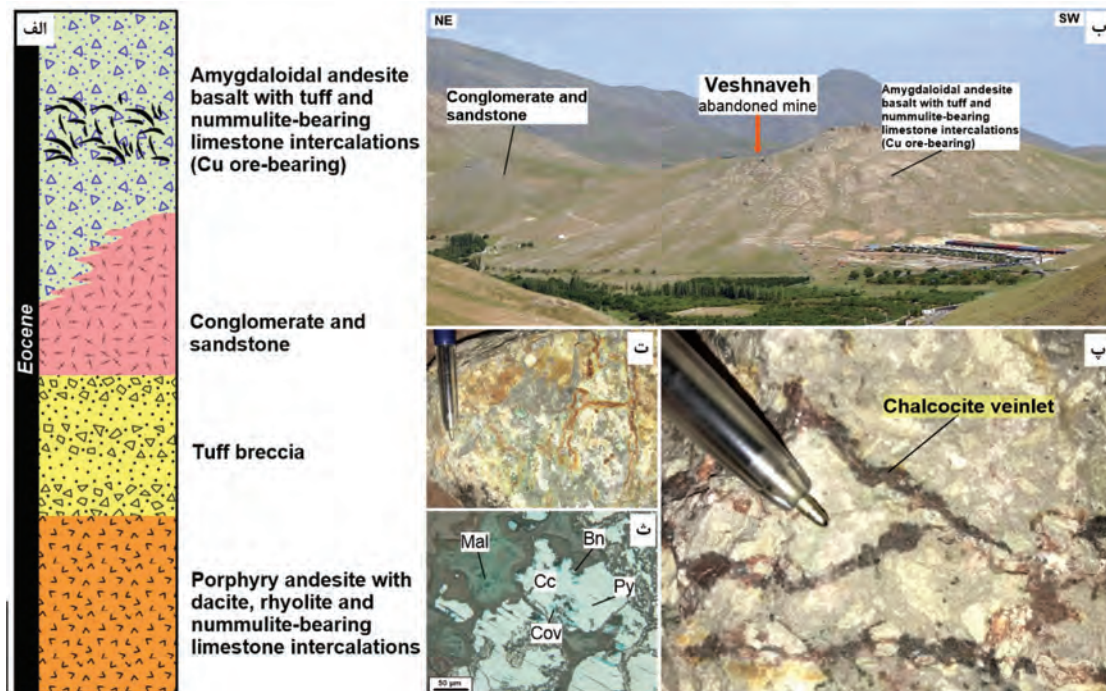
در ائوسن، فوران‌های اولیه از نوع کالک‌آلکان است و سپس انواع سنگ‌های آتشفشانی مانند آندزیت، ریولیت، لایت-آندزیت، ریوداسیت، توف و ایگنمبریت که گاه کالک‌آلکان و گاه هم‌آلکان هستند با حجم‌های مختلف و گاه بدون هیچ‌گونه نظم و ترتیبی خارج شده‌اند (امامی، ۱۳۷۹). به‌طور کلی، سرشت ماگمایی کالک‌آلکان مربوط به کمربند فرورانش یک ویژگی عادی برای سنگ‌های آتشفشانی ائوسن این کمان محسوب گشته و سایر ویژگی‌ها از جمله خصوصیات آداکیتی کمتر مشاهده شده است. ناحیه مورد مطالعه، در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر واقع شده است (شکل ۱). بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط پژوهشگرهای مختلف (کبودی، ۱۳۹۶؛ فضلی، ۱۳۹۴؛ فضلی، ۱۳۸۱؛ Ghaderi et al., 2016) مجموعه سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی میزبان کان‌زایی در مناطق وشنوه، کهک و نارباغی شرقی، در موقعیت ژئودینامیکی کمان ماگمایی تشکیل شده‌اند.

گدازه‌های آندزیت بازالتی، آندزیتی و تراکی آندزیتی همراه با میان‌لایه‌هایی از سنگ‌های اسیدی با ترکیب داسیت، ربولیت و سنگ‌آهک‌های نومولیت‌دار است (شکل ۳-الف و ب). در کانسار و شنوه، کانه‌زایی مس محدود به گدازه‌های آندزیت‌بازالتی است. مجموعه آتشفشانی مورد اشاره، به‌صورت جانبی و عمودی، تبدیل به واحدهای آذرآواری شامل توف و توفیت، آهک ماسه‌ای، ماسه‌سنگ و کنگلومرا شده و به‌طور گسترده در شمال غرب و غرب روستای و شنوه رخنمون دارند. توده‌های نفوذی تونالیتی و دیوریتی به سن میوسن میانی-پسین در جنوب غرب روستای و شنوه دارای رخنمون هستند (قلمقاش، ۱۳۷۴) و ارتباط مشخصی با کانه‌زایی مس ندارند. فاضلی (۱۳۸۱) بر این باور است که سری‌های ماگمایی سنگ‌های ائوسن در گستره منطقه بیشتر کالک‌آلکالن هستند و در موقعیت ژئودینامیکی کمان ماگمایی تشکیل شده‌اند.

۱۳۷۳)، ورنان (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۶)، کانه‌زایی مس رگه‌ای گرمابی زرنديه (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۶)، کانسارهای مس تیپ مانتو (نارباغی شرقی (فضلی، ۱۳۹۴) و شنوه (مهرابی و فاضلی، ۱۳۸۰) می‌باشد. در این پژوهش، ویژگی‌های مهم کانه‌زایی‌های مس تیپ مانتو در ناحیه قم-ساوه (شکل ۲) تشریح شده و کانسار مس نارباغی شرقی، به‌صورت جزئی، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کانسار و شنوه

کانسار مس و شنوه در دو کیلومتری جنوب شرق روستای و شنوه و ۶۰ کیلومتری جنوب قم واقع شده است (شکل ۲). بر اساس مطالعات فاضلی (۱۳۸۱)، قدیمی‌ترین مجموعه سنگی در گستره مورد نظر، توالی گدازه‌های آندزیتی-بازالتی با سن ائوسن بالایی است و گسترده‌ترین مجموعه سنگی ناحیه را تشکیل می‌دهد. این توالی از قدیم به جدید شامل



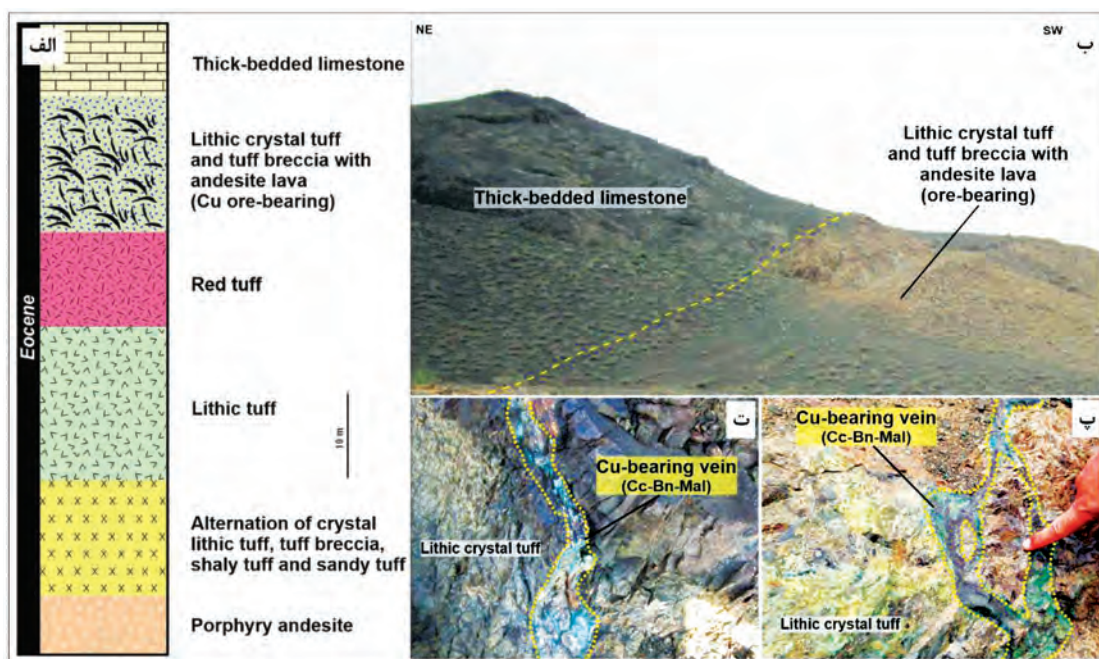
شکل ۳. الف) ستون چینه‌شناسی توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن در کانسار و شنوه و موقعیت کانه‌زایی چینه‌کران مانتو در آن، ب) دورنمایی از رخنمون واحدهای آندزیتی و آندزیت بازالتی در جنوب روستای و شنوه و محل معدن متروکه و شنوه در آن (دید به سمت جنوب شرقی)، پ) تصویر نمونه دستی آندزیت دربرگیرنده کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای کالکوسیت، ت) تصویر نمونه دستی کانه‌زایی دانه‌پراکنده کالکوسیت در متن آندزیت بازالتی و تشکیل مالاکیت ثانویه در آن، ث) تصویر میکروسکوپی کانسنگ اولیه مس متشکل از کالکوسیت و بورنیت که بقایای ریز پیریت در آن قابل مشاهده است (کالکوسیت: Cc، بورنیت: Bn، پیریت: Py، کولیت: Cov، مالاکیت: Mal) (نشانه‌ها برگرفته از Whitney and Evans, 2010)

کلریت و اپیدوت که در اثر فرآیندهای هیدروترمال و دگرسانی کانی‌های مافیک سنگ میزبان شکل گرفته‌اند، اشاره کرد.

کانسار کهک

کانسار مس کهک در پنج کیلومتری شرق روستای کهک و ۳۵ کیلومتری جنوب قم واقع شده است (شکل ۲). توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن میانی و فوقانی دارای گسترش وسیعی در منطقه کهک است و قدیمی‌ترین واحدهای سنگی ناحیه را تشکیل می‌دهند. در کانسار کهک، توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن از قدیم به جدید شامل آندزیت با درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، توف، توف شیلی و توف ماسه‌ای، لیتیک توف و توف قرمز رنگ، گدازه‌های آندزیتی، کریستال توف، توف برشی و آهک نومولیت‌دار ضخیم‌لایه است (شکل ۴-الف و ب). بر اساس مطالعات کبودی و همکاران (۱۳۹۸) و کبودی (۱۳۹۶) سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه کهک دارای ماهیت آلکالن تا کالک‌آلکالن است و در محیط کمان قاره‌ای تشکیل شده‌اند.

کانه‌زایی مس به صورت چینه‌کران در بخش فوقانی آندزیت‌بازالت‌های آمیگدالوئیدال ائوسن فوقانی رخ داده است (Nezafati and Stoellner, 2018). کانسنگ مس به صورت رگه-رگچه‌ای (شکل ۳-پ) و دانه‌پراکنده (شکل ۳-ت) در سنگ میزبان آندزیتی تشکیل شده است. کانی‌شناسی ماده معدنی در این گستره ساده است و شامل کالکوسیت، بورنیت، هماتیت و به مقدار کمتر کالکوپیریت و پیریت است (شکل ۳-ث). کانی‌های کولیت، مالاکیت و گوتیت نیز به صورت ثانویه در مرحله اکسیداسیون سوپرژن، تشکیل شده‌اند. بیشترین کانی مس‌دار در کانسار وشنوه، کالکوسیت است و به صورت اولیه و با بافت رگه-رگچه‌ای، پرکننده حفرات و بادامک‌ها و گاهی به صورت دانه‌پراکنده در متن سنگ میزبان مشاهده می‌شود. پهنه‌های دگرسانی گسترش چندانی ندارد و مهم‌ترین دگرسانی‌ها شامل پروپیلیتی و سیلیسی است. کانی‌های باطله بیشتر شامل کلسیت و باریت است و با بافت رگه-رگچه‌ای و پرکننده حفرات مشاهده می‌شوند. از دیگر کانی‌های باطله می‌توان به



شکل ۴. الف) ستون چینه‌شناسی توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن در کانسار کهک و موقعیت کانه‌زایی چینه‌کران مانتو در آن (دید به سمت جنوب‌شرق)، ب) دورنمایی از رخنمون واحدهای لیتیک کریستال توف و سنگ‌آهک در محدوده معدنی کهک، پ و ت) نمایی از رخنمون کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای مس در واحد کریستال لیتیک توف در کانسار کهک (کالکوسیت: Cc، بورنیت: Bn، مالاکیت: Mal) (نشانه‌ها برگرفته از (Whitney and Evans, 2010)

پوشانده می‌شوند. بر روی توف‌های ریوداسیتی، واحد توف و توف‌برش آندزیتی با میان‌لایه‌هایی از گدازه آندزیتی به صورت هم‌شیب قرار گرفته و خود توسط مجموعه توفیت کربناته، توف و آگلومرا خاکستری تا سبز رنگ پوشانده می‌شود.

کانه‌زایی مس در کانسار خانکیشی در دو بخش شمال غربی و جنوب رخ داده است. در بخش شمال غربی، رگه‌های سیلیسی-سولفیدی کانه‌دار با شیب قائم و ضخامتی متغیر از چند سانتی‌متر تا بیش از یک متر، لایه‌بندی واحدهای میزبان توف ریوداسیتی، ایگنمبریت و آندزیتی را قطع و دگرسان کرده‌اند. با توجه به موضوع این پژوهش، از توصیف این تیپ کانه‌زایی، پرهیز می‌شود. اما در بخش جنوبی این گستره، کانه‌زایی مس چینه‌کران و محدود به واحد گدازه آندزیتی پورفیری رخ داده است (شکل ۶-پ). ماده معدنی بیشتر به صورت رگه-رگچه‌ای است (شکل ۶-ت) و کانی‌شناسی آن شامل کالکوسیت، بونریت، کلسیت و به مقدار کمتر زئولیت می‌باشد. کانسنگ ثانویه نیز در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها تشکیل شده است (شکل ۶-ث). لازم به ذکر است که در اطراف رگه-رگچه‌های کانه‌دار، دگرسانی‌های کربناتی و هماتی یافتند (شکل ۶-ج).

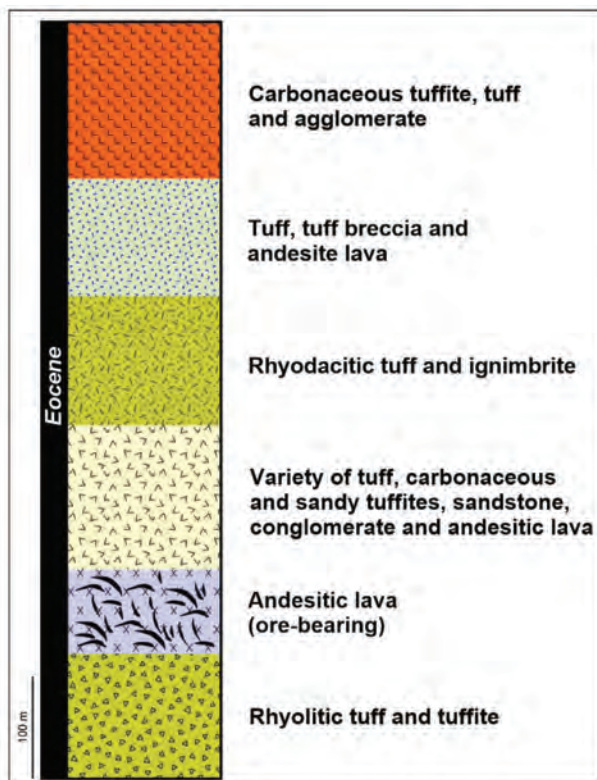
کانسار نارباغی شرقی

کانسار مس نارباغی شرقی در ۲۶ کیلومتری شمال شرق ساوه و در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر و نقشه ۱:۱۰۰/۰۰۰ زاویه واقع شده است (شکل ۲) (عمیدی و همکاران، ۱۳۸۴). قدیمی‌ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه، واحدهای سنگی ائوسن میانی شامل توالی آتشفشانی-رسوبی از نوع آندزیت، بازالت آندزیتی، ایگنمبریت، توف خرده‌سنگی، توف و توف شیلی است (شکل ۷-الف)، که توسط توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف با سن الیگومیوسن و یا جوان‌تر قطع شده‌اند (فضلی و همکاران، ۱۳۹۸؛ فضلی، ۱۳۹۴). لازم به ذکر است که گستره معدنی نارباغی، از لحاظ رخداد تیپ‌های کانه‌زایی بسیار جالب توجه بوده و انواع کانسارهای مس تیپ مانتو، آهن لایه‌ای و مس اپی‌ترمال در آن گزارش شده است. مهم‌ترین مورد، کانه‌زایی مس-نقره از نوع اپی‌ترمال سولفیداسیون حدواسط است.

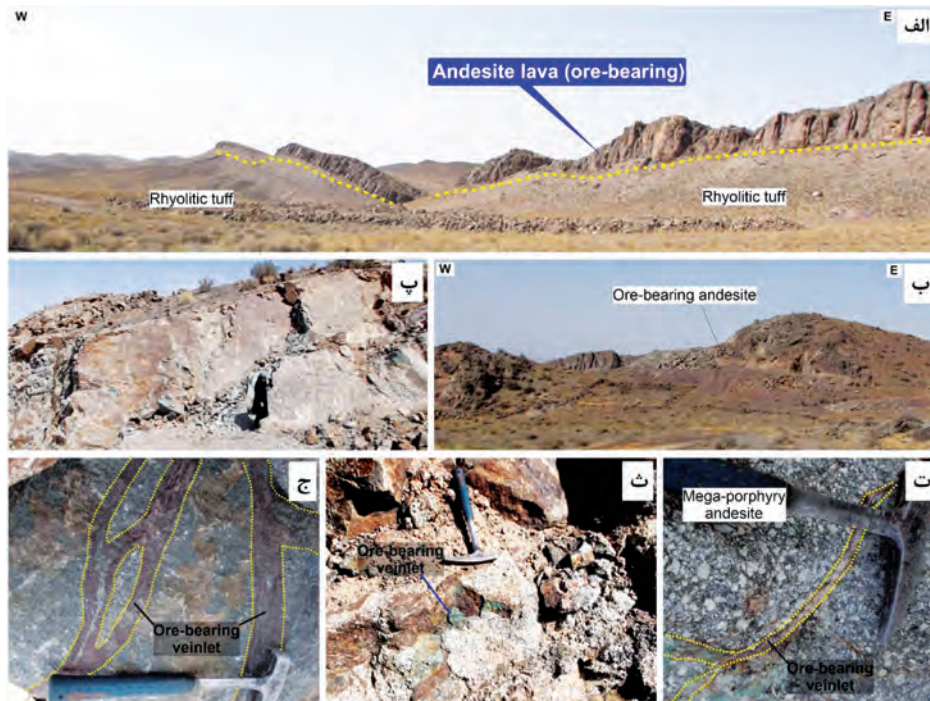
کانه‌زایی چینه‌کران مس در سنگ‌های آندزیتی (مگاآندزیت)، کریستال توف و توف برشی رخ داده است. بافت غالب ماده معدنی، رگه-رگچه‌ای است و قطع‌کننده لایه‌بندی سنگ میزبان می‌باشد (شکل ۴-پ و ت). همچنین کانی‌های سولفیدی با بافت دانه‌پراکنده و پیریت فرامبوئیدال نیز در این کانسار گزارش شده‌اند (کیودی و همکاران، ۱۳۹۸). پاراژنز کانیایی کانسنگ اولیه مس ساده است و شامل کالکوسیت، بونریت و به مقدار کمتر کالکوپیریت و پیریت می‌باشد و با کانی‌های باطله کلسیت، کوارتز، زئولیت، کلریت و اپیدوت همراهی می‌شوند. دگرسانی‌های شاخص گستره شامل پروپیلیتیک، کلریتی و اپیدوتی است.

کانسار خانکیشی

کانسار مس خانکیشی در دو کیلومتری جنوب روستای خانکیشی و ۵۰ کیلومتری شمال شرق ساوه واقع شده است (شکل ۲). در این منطقه، آثار فعالیت‌های شدادی به‌وفور به چشم می‌خورد. واحدهای آتشفشانی-رسوبی ائوسن با امتداد شرقی-غربی، گسترش قابل توجهی را در منطقه داشته و قدیمی‌ترین واحد سنگی دارای رخنمون در گستره معدنی، توف‌های ریولیتی و توفیت می‌باشند (شکل ۵). این واحد دارای لایه‌بندی منظم و رنگ روشن (به دلیل ترکیب اسیدی آن) است. بر روی این واحد، گدازه‌های آندزیتی و آندزی‌بازالتی میزبان کانه‌زایی قرار می‌گیرند (شکل ۶-الف). این گدازه‌ها دارای بافت پورفیری هستند و در مواردی درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز با اندازه بیش از یک سانتی‌متر در آنها مشاهده می‌شود. این بلورهای درشت در متنی از پلاژیوکلاز و پیروکسن‌های ریز و تجزیه شده به کلریت، اپیدوت، کلسیت و اکسیدهای آهن قرار دارند. این واحد سنگی که در بخش جنوبی کانسار خانکیشی دارای رخنمون است، میزبان کانه‌زایی چینه‌کران مس در این کانسار است (شکل ۶-ب). مجموعه آذرآواری-رسوبی با ضخامتی بیش از ۲۵۰ متر و متشکل از توف، توفیت آهکی-ماسه‌ای، ماسه‌سنگ، کنگلومرا با میان‌لایه‌های گدازه آندزیتی، بر روی گدازه‌های آندزیتی میزبان کانه‌زایی قرار می‌گیرد. سنگ‌های آذرآواری-رسوبی به صورت هم‌شیب با سنگ‌های توف ریوداسیتی و ایگنمبریت با ضخامتی در حدود ۱۵۰ متر



شکل ۵. ستون چینه‌شناسی توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن در کانسار خانکیشی و موقعیت کان‌زایی چینه‌کران مانتو در آن



شکل ۶. الف) دورنمایی از رخنمون واحدهای سنگی توف ریولیتی و گدازه آندزیتی میزبان کان‌زایی در کانسار خانکیشی (دید به سمت شمال)، ب) دورنمایی از واحد آندزیتی میزبان کان‌زایی و فعالیت‌های معدنی صورت گرفته در آن، پ) نمایی نزدیک از رخنمون واحد میزبان در داخل کارگاه روباز استخراجی، ت) واحد آندزیت پورفیری میزبان کان‌زایی و رگچه‌های کان‌دار قطع‌کننده آن، ث) کان‌سنگ ثانویه سوپرژن مس (مالاکیت) در کانسار خانکیشی، ج) گسترش دگرسانی هماتیتی در اطراف رگه-رگچه‌های کان‌دار

واحد فلسیک در گستره مورد مطالعه است. واحد گدازه‌های آندزی بازالت که هم‌ارز واحد داسیتی است، پوشاننده واحد لیتیک توف میزبان کانه‌زایی می‌باشد. این واحد دارای رنگ رخنمون خاکستری تا تیره سبز است و آخرین واحد آتشفشانی ائوسن گستره نارباغی را تشکیل می‌دهد.

واحد میزبان کانه‌زایی مس در کانسار نارباغی شرقی (واحد ۲)، قابل تقسیم به شش زیرواحد است (شکل ۷-ب) که با شیب ملایم به سمت جنوب در کانسار نارباغی شرقی دارای رخنمون هستند (شکل ۷-پ). قدیمی‌ترین زیرواحد شامل گدازه‌های آندزیتی با میان‌لایه‌های توف آندزیتی با ضخامتی حدود ۱۰ متر است (شکل ۸-الف). این زیرواحد از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در یک زمینه میکروکریستالین تشکیل شده است. گسترش دگرسانی‌های کربناتی و کلریتی از ویژگی‌های این گدازه‌های آندزیتی است.

زیرواحد توف شیلی قرمز رنگ سیلیسی شده با ضخامت سه متر، به صورت هم‌شیب بر روی زیرواحد آندزیتی قرار دارد (شکل ۸-ب) و کم‌پایین ماده معدنی را شامل می‌شود. مطالعات میکروسکوپی نشان‌دهنده وجود پلاژیوکلاز، کوارتز، قطعات لیتیک و قطعات رسوبی در این زیرواحد است. از بخش فوقانی این واحد، نشانه‌هایی از کانه‌زایی مس به صورت دانه‌پراکنده و رگه-رگچه‌ای مشاهده می‌شود. زیرواحد توف شیلی قرمز رنگ سیلیسی شده، با مجموعه توف سیلیتی با میان‌لایه‌های توف برش و گدازه آندزیتی پوشانده می‌شود (شکل ۸-پ). این زیرواحد دربرگیرنده ماده معدنی مس در کانسار نارباغی شرقی است (شکل ۸-ت و ج). لایه‌هایی از توف برش و گدازه آندزیتی با ضخامتی کمتر از ۱۵ سانتی‌متر در بین بخش‌های توف سیلیتی مشاهده می‌شود. ضخامت این واحد کانه‌دار از پنج تا هفت متر متغیر است. وجود میان‌لایه‌های گدازه آندزیتی (شکل ۸-چ) و توف برش (شکل ۸-خ) در داخل واحد رسوبی، نشان‌دهنده تغییر در ته‌نشست هم‌زمان واحدهای رسوبی و آتشفشانی در یک حوضه واحد است.

زیرواحد توف سیلیتی میزبان کانه‌زایی به صورت هم‌شیب توسط لیتیک کریستال توف پوشیده می‌شود (شکل ۸-ث).

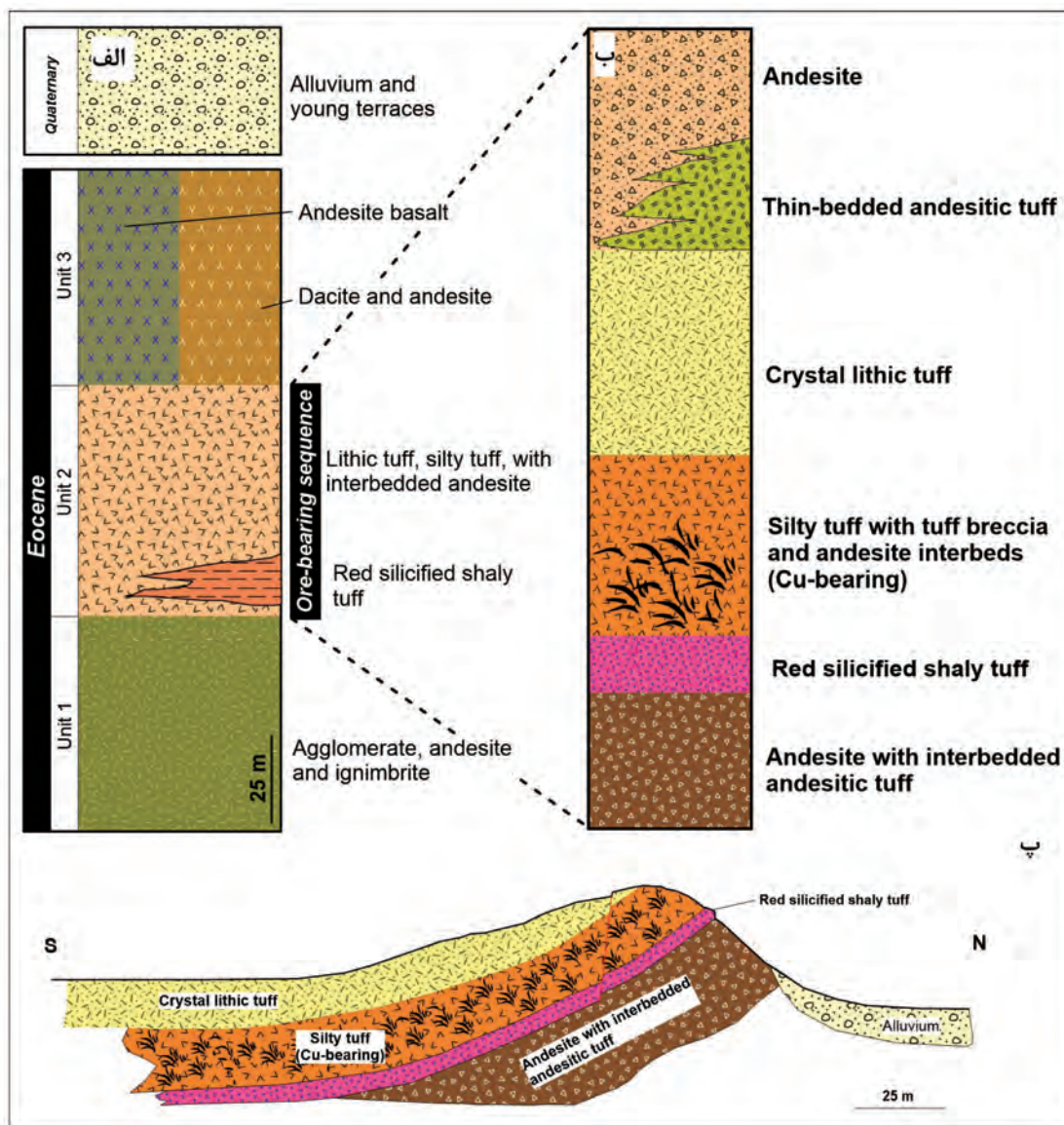
این کانسار در بخش شمالی منطقه معدنی نارباغی (نارباغی شمالی) رخ داده و توسط فضلی و همکاران (۱۳۹۸) و فضلی (۱۳۹۴) مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات ژئوشیمیایی انجام شده بر روی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در گستره معدنی نارباغی توسط فضلی (۱۳۹۴)، حاکی از تشکیل آنها در موقعیت ژئودینامیکی کمان ماگمایی است و ماهیت کالک‌آلکان دارند.

زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

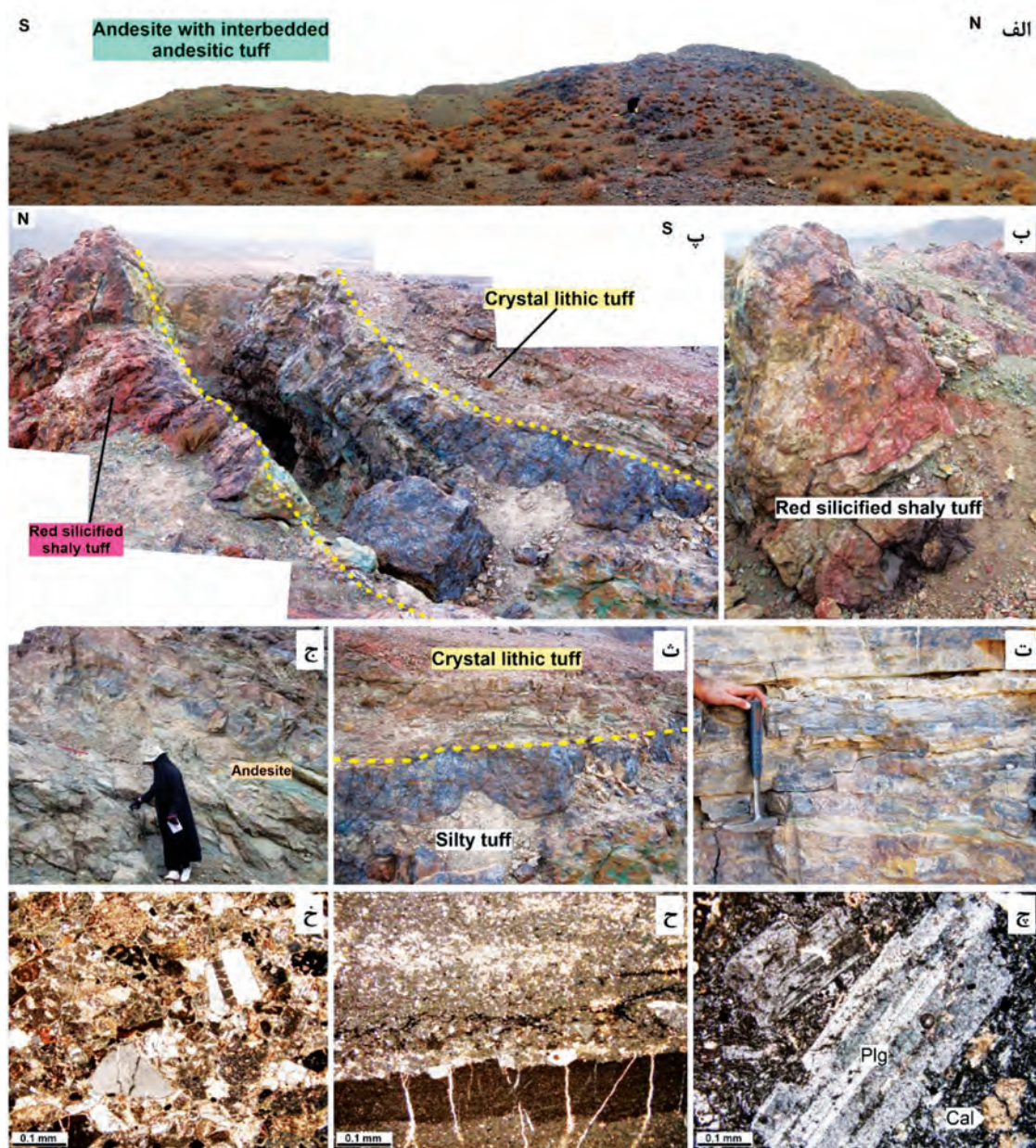
مجموعه آتشفشانی-رسوبی ائوسن در منطقه نارباغی شرقی قابل تقسیم به سه واحد اصلی است (شکل ۷-الف) (فضلی و همکاران، ۱۳۹۳؛ عمیدی و همکاران، ۱۳۸۴). قدیمی‌ترین واحد سنگی دارای رخنمون در این کانسار، مجموعه آگلومرایی، آندزیتی و ایگنمبریتی (واحد ۱) است و گدازه‌های آندزیتی به صورت میان‌لایه درون واحدهای آگلومرایی قرار دارند. قطعات آگلومرای بیشتر از جنس آندزیت هستند که به رنگ خاکستری تیره در گستره برونزد دارند. بافت بخش‌های آندزیتی در نمونه دستی از آفانیتیک تا پورفیریتیک تغییر می‌کند. همچنین میان‌لایه‌های ایگنمبریتی نیز در این واحد قابل مشاهده هستند. واحد ۱ توسط مجموعه آتشفشانی-رسوبی واحد ۲، متشکل از لیتیک توف، توف سیلیتی همراه با میان‌لایه‌های آندزیتی پوشیده می‌شود. لازم به ذکر است که در بخش زیرین واحد ۲، میان‌لایه‌های توف سیلیتی قرمز رنگ سیلیسی شده نیز قابل مشاهده هستند. این واحد سنگی ضخامتی کمتر از پنج متر دارد و به صورت هم‌روند با دیگر واحدهای سنگی منطقه مشاهده می‌شود. بیشتر قطعات لیتیک این واحد سنگی را آندزیت تشکیل می‌دهد. همچنین میان‌لایه‌های آندزیتی دارای بلورهای فنوکریست پلاژیوکلاز تا چهار میلی‌متر می‌باشند. میکروولیت‌های زمینه آن بسیار ریز و بدون جهت‌یافتگی مشخصی می‌باشند. شکل‌های بادامکی (آمیگدال) که توسط کلسیت و کلریت پر شده‌اند نیز در زمینه فراوان هستند. در بخش‌های شرقی و جنوبی روستای نارباغی، واحد داسیتی (واحد ۳) رخنمون دارد و تنها

کانه‌زایی مس تیپ مانتو در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه- دختر ...

این واحد آتشفشانی به واسطه رنگ قهوه‌ای، از واحدهای بالا و پایین خود متمایز است. توف آندزیتی نازک‌لایه، دیگر واحد آذرآواری گستره نارباغی شرقی است و به صورت تغییر رخساره جانبی به واحد آندزیتی تبدیل می‌شود (شکل ۸-ج). این واحد توفی دارای ترکیب آندزیتی است و قطعاتی از گدازه آندزیتی به صورت لیتیک در داخل آن مشاهده می‌شود. گدازه‌های آندزیتی، جوان‌ترین زیر واحد واحد دو را تشکیل می‌دهند و به صورت مگاپورفیر هستند و از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در زمینه‌ای از میکروولیت تشکیل شده‌اند.



شکل ۷. الف) ستون چینه‌شناسی ناحیه‌ای توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن در منطقه نارباغی، ب) ستون چینه‌شناسی کانسار مس نارباغی شرقی و موقعیت کانه‌زایی مس تیپ مانتو در آن، پ) برش زمین‌شناسی شماتیک از واحدهای آتشفشانی-رسوبی ائوسن در محل کانسار نارباغی شرقی



شکل ۸. الف) دورنمایی از رخنمون واحد آندزیتی با میان لایه‌های توف آندزیتی در بخش شمالی محدوده معدنی نارباغی شرقی (دید به سمت غرب)، ب) رخنمون واحد توف شیلی قرمز رنگ سیلیسی شده (کمبریابین ماده معدنی)، پ) رخنمون واحد توف سیلیتی میزبان کانه‌زایی و واحدهای کمربالین و کمربالای آن (دید به سمت شرق)، ت: نمایی نزدیک از رخنمون واحد توف سیلیتی میزبان کانه‌زایی، ث) همبری واحدهای توف سیلیتی (میزبان کانه‌زایی) و کریستال لیتیک توف (کمبرالای کانه‌زایی)، ج) رخنمون واحد آندزیتی، چ) تصویر میکروسکوپی میان لایه‌های آندزیتی واحد میزبان کانه‌زایی، ح) تصویر میکروسکوپی توف سیلیتی میزبان کانه‌زایی، خ) تصویر میکروسکوپی میان لایه‌های توف برش واحد میزبان کانه‌زایی مس در کانسار نارباغی شرقی (پلاژیوکلاز: Plg، کلسیت: Cal) (نشانه‌ها برگرفته از Whitney and Evans, 2010)

کانه‌زایی

به صورت رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی (شکل ۹-ب) و هم‌روند با لایه‌بندی (شکل ۹-پ و ت) مشاهده می‌شود. رگه-رگچه‌های کانه‌دار بیشتر دارای قطر کم (کمتر از یک میلی‌متر تا چند سانتی‌متر) است و شکستگی‌ها و فضا‌های

کانه‌زایی مس در کانسار نارباغی شرقی به شکل چینه‌کران و محدود به واحد توف سیلیتی با میان لایه‌هایی از توف برش و گدازه آندزیتی رخ داده است (شکل ۹-الف). ماده معدنی

ساخت و بافت ماده معدنی

کانسار مس نارباغی شرقی، از کانی‌شناسی ساده‌ای برخوردار است و مهم‌ترین کانی‌های موجود در این کانسار شامل کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت و به مقدار اندک، پیریت است. همان‌گونه که اشاره شد، کانه‌زایی مس در کانسار نارباغی شرقی، بیشتر به صورت سوپرژن می‌باشد و متشکل از کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) است. آثار بسیار کمی از سولفیدهای اولیه مس برجای مانده است. کانی‌های اکسیدی مس به صورت دانه‌پراکنده از بخش فوقانی کمربین (توف شیلی هماتیتی-سیلیسی) شروع و تا بخش زیرین توالی کمربالا (لیتیک کریستال توف) ادامه دارند. بافت پرکننده فضای خالی، لامینه، رگه-رگچه‌ای و بافت جاننشینی از بافت‌های شاخص کانسار مس نارباغی شرقی است. بخش بیشتری از کانه‌زایی مس در گمانه‌های حفر شده در بخش مرکزی کانسار نارباغی شرقی، به صورت رگه-رگچه‌ای دیده می‌شود و تمامی این رگه-رگچه‌ها به واحد توف شیلی با میان‌لایه‌های توف برشی و گدازه آندزیتی محدود هستند. آثار بسیار اندکی از پیریت به صورت دانه‌پراکنده و فرامیوئیدال در نمونه‌های گمانه‌های حفاری مشاهده شده است (شکل ۹-ث و ج) و در بخش‌هایی توسط کالکوسیت در حال جاننشینی است. به نظر می‌رسد شکل‌گیری این پیریت‌ها در مرحله هم‌زمان با آتشفشانی و رسوب‌گذاری و دیاژنز آغازین می‌باشد. جاننشینی پیریت توسط کالکوسیت و بورنیت در برخی نمونه‌ها قابل مشاهده است (شکل ۹-ح).

ژئوشیمی ایزوتوپی گوگرد

به منظور تعیین منشأ گوگرد در کانسار مس نارباغی شرقی، نسبت ایزوتوپی گوگرد در کانی‌های کالکوسیت رگه-رگچه‌ای و پیریت دانه‌پراکنده (گمانه‌های حفاری) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنالیزهای ایزوتوپی در جدول ۱ نشان داده شده است. در هفت نمونه کالکوسیت تجزیه شده، مقادیر $\delta^{34}\text{S}$ از ۸/۱- در هزار تا ۴/۴- در هزار (با میانگین ۶/۲- در هزار) متغیر هستند و مقدار $\delta^{34}\text{S}$ در کانی پیریت،

خالی موجود در سنگ توف سیلنتی با میان‌لایه‌هایی از توف برش و گدازه آندزیتی را پر کرده‌اند.

کارهای استخراجی قدیمی انجام شده در کانسار نارباغی شرقی، همه محدود به یک افق خاص است و در امتداد لایه‌بندی سنگ میزبان صورت می‌گیرد (شکل ۹-الف). رخداد هوازدگی و فرآیندهای سوپرژن باعث شده آثار کانه‌زایی سولفیدی در سطح گستره بسیار اندک دیده شود (شکل ۹-چ). در حال حاضر، بخش عمده کانسنگ به صورت ثانویه قابل مشاهده است. از لحاظ ژئومتری و سنگ میزبان کانه‌زایی مس، کانسار نارباغی شرقی، با کانسارهای مس تیپ مانتو در شیلی مشابهت دارد. در شیلی برخی کانسارهای مس تیپ مانتو شامل ال‌سولدادو و کانسارهای منطقه لاسرنا دارای سنگ میزبان گدازه‌ای-آذرآواری می‌باشند (Rieger et al., 2008; Cisternas and Hermosilla, 2006; Wilson and Zentilli, 2006).

دگرسانی‌های مهم در ارتباط با فرآیند کانه‌زایی مس در کانسار نارباغی شرقی شامل دگرسانی‌های کربناتی، سیلیسی و هماتیتی است. دگرسانی‌های هماتیتی و سیلیسی تنها در کمربین قابل مشاهده هستند (شکل ۸-ب). رخداد دگرسانی هماتیتی با کانه‌زایی مس هم‌زمان می‌باشد. این دگرسانی تحت تأثیر سیالات مس‌دار اکسیدان بر روی پیریت‌های موجود در زمینه سنگ توف سیلنتی با میان‌لایه‌های آندزیتی میزبان تشکیل شده است؛ به طوری که جاننشینی سولفیدهای مس به جای کانی پیریت، باعث خروج آهن از ساختار پیریت و تهنشست آن به صورت هماتیت اولیه در رگه-رگچه‌های کانه‌دار شده است. رخداد دگرسانی هماتیتی تحت تأثیر فرآیندهای کانه‌ساز یکی از مشخصه‌های بارز کانسارهای مس تیپ مانتو است (Wilson et al., 2003). کانی ژئولیت نیز در مطالعات میکروسکوپی تشخیص داده شد. این کانی هم به صورت پرکننده حفرات سنگ میزبان (شکل ۹-خ) و هم به همراه کانه‌های سولفیدی به صورت پرکننده فضای خالی (شکل ۹-د) تشکیل شده است. حضور کانی ژئولیت در این کانسارها، نشان از رخداد دیاژنز تدفینی در حین کانه‌زایی سولفیدی مس است (Wilson and Zentilli, 2006; Wilson et al., 2003).

1. El Soldado

2. La Serena

and Hermosilla, 2006; Kaplan and Rittenberg, 1964). در کانسار نارباغی شرقی، مقادیر منفی ($-10/2$) نسبت ایزوتوپی گوگرد کانی پیریت، نشان‌دهنده نقش فرآیندهای باکتریایی در احیای سولفات آب دریا است. داده‌های آنالیز ایزوتوپی گوگرد کانی کالکوسیت در کانسار نارباغی شرقی، حاکی از شباهت مقادیر با کانی پیریت است. با توجه به شواهد جاننشینی پیریت به‌وسیله کانی کالکوسیت و همچنین نبود رخداد فرآیند احیای باکتریایی سولفات آب دریا در دماهای بالا (Southam and Saunders, 2005)، به‌نظر می‌رسد منشاء احتمالی گوگرد کانی کالکوسیت، از کانی پیریت اولیه تشکیل شده در مرحله دیاژنز آغازین طی فرآیند احیای باکتریایی سولفات آب دریا باشد.

جدول ۱. نتایج آنالیز نسبت ایزوتوپی گوگرد در کانی‌های سولفیدی (کالکوسیت و پیریت) کانسار نارباغی شرقی

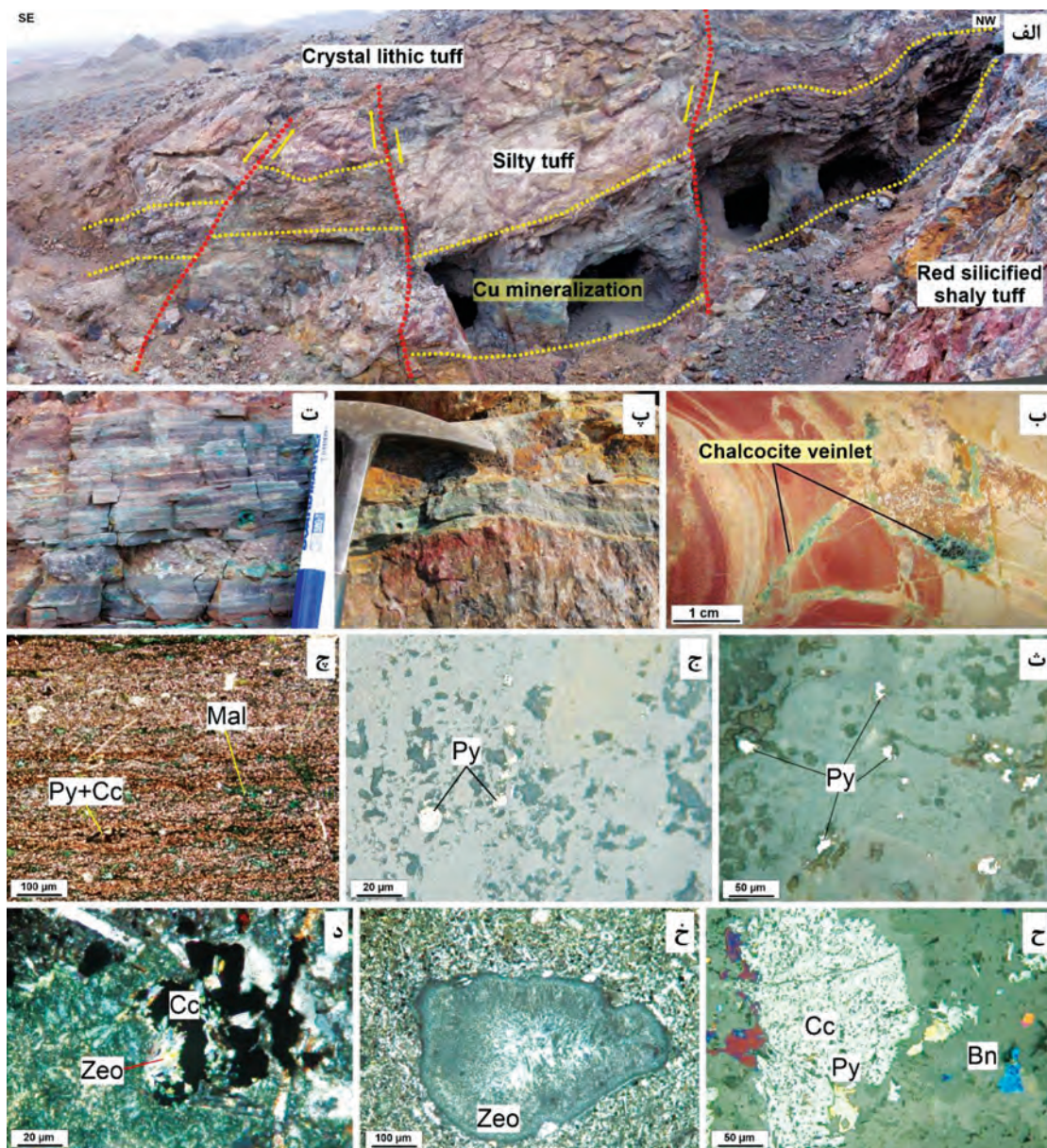
شماره نمونه	کانی‌شناسی	$\delta^{34}\text{S}$ در هزار
۱	E-NB-C-1 کالکوسیت	-۵/۷
۲	E-NB-C-2 کالکوسیت	-۷/۷
۳	E-NB-C-3 کالکوسیت	-۶/۳
۴	E-NB-C-4 کالکوسیت	-۵/۳
۵	E-NB-C-5 کالکوسیت	-۸/۱
۶	E-NB-C-6 کالکوسیت	-۴/۴
۷	E-NB-C-7 کالکوسیت	-۶/۵
۸	E-NB-P-1 پیریت	-۱۰/۲

مقایسه ویژگی‌های کانه‌زائی مس نارباغی با کانه‌زائی‌های مس تپ ماننتو در ایران و جهان

بررسی‌های صورت گرفته بر روی کانسارهای تپ ماننتو در جهان، نشان‌دهنده تشکیل آنها در محیط‌های تکتونیکی حوضه‌های کششی پشت کمانی حواشی همگرا (Shen et al., 2020; Carrillo-Rosúa et al., 2014; Cabral and Oliveros, 2007) و حوضه‌های درون کمانی (Beaudoin, 2007) است. با توجه به آنالیزهای ژئوشیمیایی بر روی نمونه‌های غیردگرسان و غیرهوازه توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن در ناحیه قم-ساوه (کبودی و همکاران، ۱۳۹۸؛ فضلی، ۱۳۹۴؛ عسکری، ۱۳۸۷؛ فاضلی، ۱۳۸۱)، موقعیت ژئودینامیکی تشکیل این واحدها، منطبق بر کمان ماگمایی است. کانسارهای تپ

$10/2$ - در هزار است (شکل ۱۰-الف و جدول ۱). نسبت ایزوتوپی گوگرد در کانسارهای مختلف مس تپ ماننتو با سنگ میزبان به سن ائوسن در ایران در شکل ۱۰ ب نشان داده شده است. در کانسارهای پهنه معدنی کشکوئیه (کمان ماگمایی ارومیه-دختر)، نسبت ایزوتوپی گوگرد برای کانی‌های سولفیدی مس (بورنیت، کالکوسیت و کالکوپیریت) دامنه‌ای از $7/8$ تا $2/6$ - در هزار را پوشش می‌دهد (ابولی‌پور، ۱۳۹۱). در کانسارهای گستره عباس‌آباد (پهنه سبزوار)، مقادیر برای کانی کالکوسیت، از 33 - تا 9 در هزار بوده (صالحی و رسا، ۱۳۹۴) و در کانسار ماری (پهنه طارم) نیز مقادیر $\delta^{34}\text{S}$ برای کانی بورنیت، از $2/7$ تا $3/4$ - در هزار اندازه‌گیری شده است (Maghfouri et al., 2017). در کانسارهای مس تپ ماننتو شیلی، تغییرات بسیار گسترده بوده و بازه‌ای از 38 - تا 28 در هزار را شامل می‌شود (Saric et al., 2003; Wilson et al., 2003; Vivallo and Henríquez, 1998; Munizaga and Zentilli, 1994; Munizaga et al., 1994; Spiro and Puig, 1988; Sasaki et al., 1984).

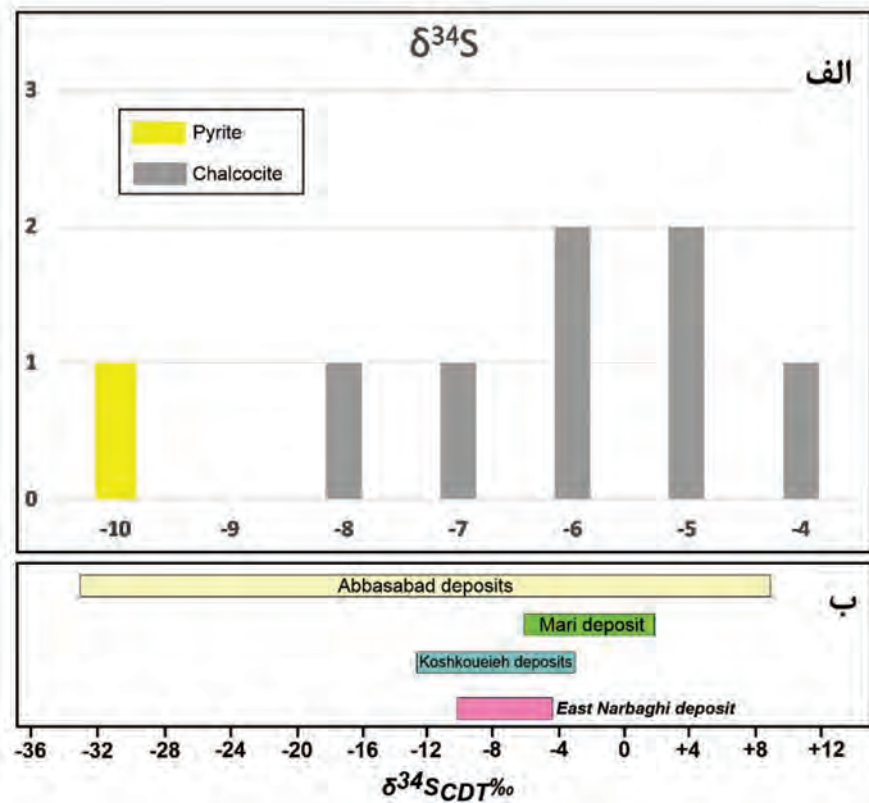
مطالعات انجام شده بر روی منشاء گوگرد کانی‌های سولفیدی در کانسارهای مس تپ ماننتو در جهان، نشانگر منشاء احتمالی گوگرد از پیریت‌های اولیه سنگ میزبان است (Saric et al., 2003; Wilson et al., 2003). در اغلب کانسارهای مس تپ ماننتو، تغییرات ایزوتوپی گوگرد کانی‌های سولفیدی مس، مشابه مقادیر مربوط به کانی پیریت است. با توجه به وجود شکل‌های کلوفرم و فراموئیدال پیریت در زمینه سنگ میزبان کانسارهای مس تپ ماننتو شیلی (به‌ویژه کانسار ال‌سالدادو)، که حاکی از تشکیل این پیریت‌ها در مرحله رسوب‌گذاری و دیاژنز آغازین است، سولفات آب دریا طی فرآیند احیای باکتریایی به H_2S تبدیل شده و پس از ترکیب با آهن آزاد موجود در حوضه آتشفشانی-رسوبی، کانی پیریت را تشکیل داده است (Carrillo-Rosúa et al., 2006; Wilson et al., 2003). احیای باکتری سولفات آب دریا، موجب غنی‌شدگی گوگرد 32 و فقیرشدگی گوگرد 34 شده و مقادیر $\delta^{34}\text{S}$ به سمت منفی متمایل می‌شوند (Hoefs, 2009; Cisternas



شکل ۹. الف) دورنمایی از رخداد کان‌زایی مس چین‌کران در واحد توف سیلتی و فعالیت‌های معدنی شش‌دای صورت گرفته در آن، ب) تصویر نمونه دستی بافت رگه-رگچه‌ای کالکوسیت که لایه‌بندی سنگ میزبان را قطع کرده است، پ و ت) کان‌زایی مس که به صورت هم‌رند با لامیناسیون سنگ میزبان رخ داده است، ث) تصویر میکروسکوپی از پیریت دانه‌پراکنده در متن سنگ میزبان توف سیلتی، ج) تصویر میکروسکوپی از پیریت‌های فرامیوئیدال، چ) تصویر میکروسکوپی (نور عبوری) توف سیلتی و بافت دانه‌پراکنده پیریت و سولفیدهای مس در آن، ح) تصویر میکروسکوپی کانسنگ رگه-رگچه‌ای که در آن کالکوسیت در حال جانشینی پیریت است، خ) تصویر میکروسکوپی حفرات پر شده سنگ میزبان از کانی زئولیت، د) تشکیل زئولیت و کالکوسیت به صورت پرکننده فضای خالی در متن سنگ میزبان (کالکوسیت: Cc، بورنیت: Bn، پیریت: Py، مالاکیت: Mal، زئولیت: Zeo) (نشانه‌ها برگرفته از Whitney and Evans, 2010)

مانتو در شیلی، بیشتر دارای سنگ میزبان و سنگ‌های همراه با ترکیب آندزیتی هستند. البته در برخی نواحی، واحدهای سنگی فلسیک و حتی رسوبی، میزبان کان‌زایی می‌باشند (Wilson and Zentilli, 2006; Haggan et al., 1998; Oyarzum et al., 2003). همچنین کان‌زایی تیپ مانتو در شیلی بیشتر توسط رگه-رگچه‌ها کنترل می‌شود (Shen et al., 2020). کانسارهای تیپ مانتو اواخر سیلورین-اوایل دونین در کمربند کوهزایی آسیای مرکزی با

بیشتر دارای سنگ میزبان و سنگ‌های همراه با ترکیب آندزیتی هستند. البته در برخی نواحی، واحدهای سنگی فلسیک و حتی رسوبی، میزبان کان‌زایی می‌باشند (Wilson and Zentilli, 2006; Haggan et al., 1998; Oyarzum et al., 2003). همچنین کان‌زایی تیپ مانتو در شیلی بیشتر توسط رگه-رگچه‌ها کنترل می‌شود (Shen et al., 2020). کانسارهای تیپ مانتو اواخر سیلورین-اوایل دونین در کمربند کوهزایی آسیای مرکزی با



شکل ۱۰. الف) نمودار ستونی نسبت ایزوتوپی گوگرد در نمونه‌های سولفیدی کانسار نارباغی شرقی، ب) نمودار مقایسه‌ای مقادیر δ³⁴S در کانسارهای مس مانتو با سن سنگ میزبان ائوسن در ایران (صالحی و رسا، ۱۳۹۴؛ ابولی‌پور، ۱۳۹۱؛ Maghfouri et al., 2017).

خالی است (Kojima et al., 2009). در کانسارهای ناحیه قم-ساوه نیز شکل ماده معدنی و سولفیدهای مس بیشتر به صورت رگه-رگچه‌ای است که در بخش‌هایی فضاهای خالی سنگ را نیز پر کرده‌اند. مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی موجود در کانسارهای تپ مانتو در دنیا و شیلی شامل بورنیت، کالکوسیت و کالکوپیریت به همراه پیریت هستند (Kojima et al., 2009; Wilson and Zentilli, 2006; Wilson et al., 2003). کانسارهای مورد مطالعه نیز دارای کانی‌شناسی بسیار مشابهی با دیگر کانسارهای تپ مانتو در دنیا می‌باشند. گسترش دگرسانی‌های هماتیتی، کربناته، ژئولیتی و سیلیسی در کانسارهای ناحیه قم-ساوه نیز شباهت فراوانی با دیگر کانسارهای مانتو در جهان دارد.

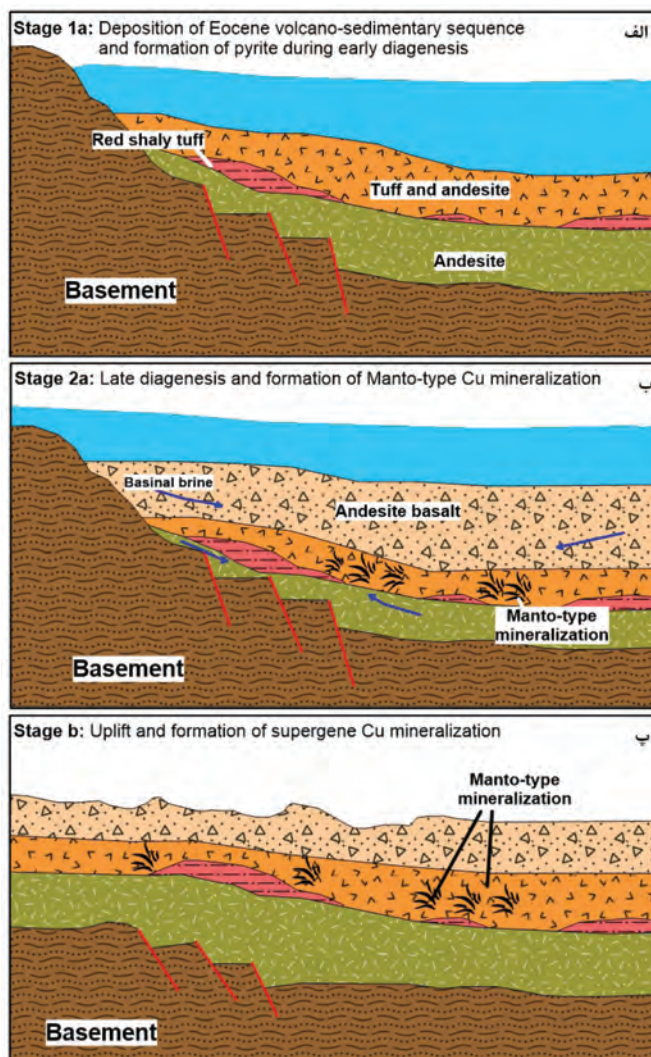
میزبان توالی‌های آشفشانی-رسوبی، برش‌های ولکانیکی آندزیت، آندزیت و بازالت با کانه‌زایی کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت با بافت دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، برشی و جانیشینی شناخته می‌شوند (Shen et al., 2020; Zhao et al., 2020). میزبان کانه‌زایی در کانسارهای ناحیه قم-ساوه بیشتر دارای ترکیب آندزیتی هستند و شامل توف سیلتی، توف برش، آندزیت، لیتیک کریستال توف و آندزیت بازالت آمیگدالوئیدال است.

ویژگی بارز کانسارهای تپ مانتو در دنیا، محدود بودن کانه‌زایی به واحد چینه‌ای خاص و چینه‌کران بودن این کانسارها است (Kojima et al., 2009; Tristá-Aguilera et al., 2006). در کانسارهای مورد مطالعه نیز کانه‌زایی اولیه مس، چینه‌کران هستند و محدود به یک واحد سنگی می‌باشند. شکل ماده معدنی در کانسارهای تپ مانتو به‌طور عمده رگه-رگچه‌ای و پراکنده فضای

الگوی تشکیل کانسار

مطالعات میکروسکوپی حاکی از تنشست این پیریت‌ها بعد از تنشست و قبل از سنگ‌شدگی سنگ میزبان است. در مرحله اول کانه‌زایی، دگرسانی هماتیته در واحدهای سنگی کمربین گسترش یافته است. تشکیل هماتیت، در اثر تخریب کانی‌های ناپایدار غنی از آهن، مثل پیروکسن و آمفیبول است (Walker et al., 1978). این رویداد می‌تواند نشانگر تغییرات شیمی آب-شورابه در حوضه باشد و موجب آغاز شستشوی مس از سنگ میزبان شود.

با در نظر گرفتن شواهد موجود و مطالعات انجام شده و با استفاده از مشابهت کانسار نارباغی شرقی با کانسارهای مس تیپ مانتو شییلی، دو مرحله عمده را می‌توان برای رخداد کانه‌زایی اولیه مس در این کانسار در نظر گرفت (شکل ۱۱). در مرحله نخست (شکل ۱۱-الف)، طی تنشست و دیاژنز آغازین سنگ میزبان کانه‌زایی، پیریت‌های دانه‌پراکنده در اثر احیاء باکتریایی سولفات آب دریا تشکیل شده‌اند.



شکل ۱۱. مدل تشکیل کانسار مس تیپ مانتو نارباغی شرقی، الف) فعالیت آتشفشانی و رسوب‌گذاری در حوضه آتشفشانی-رسوبی اتوسن و تشکیل پیریت‌های فرامیوئیدال و دانه‌پراکنده در متن سنگ میزبان در اثر احیاء باکتریایی سولفات آب دریا، ب) ادامه فعالیت آتشفشانی و رسوب‌گذاری موجب افزایش ضخامت واحدهای سنگی، فرونشست حوضه و افزایش فشار لیتوستاتیک شده و با توجه به حرارت ناشی از فرآیندهای آتشفشانی در منطقه، دیاژنز تدفیتی رخ می‌دهد و سیالات اکسیدی، مس را از واحدهای آتشفشانی شسته و در اثر برخورد با پیریت‌های تشکیل شده در مرحله نخست، کانی‌های سولفیدی مس (کالکوسیت و بورنیت) تشکیل می‌شوند، پ) در این مرحله در اثر فشارهای تکتونیکی، واحدهای سنگی میزبان دچار بالآمدگی، چین‌خوردگی و گسلش شده و کانه‌زایی ثانویه برونزاد مس (مالاکیت) تشکیل می‌شود

مطالعه، کانه‌زایی چینه‌کران است و از شکل واحد سنگی میزبان تبعیت می‌کند. گسترش پهنه‌های دگرسانی بسیار محدود می‌باشد و کانی‌شناسی کانسنگ ساده و شامل کالکوسیت و بورنیت است. اما در دیگر کانسارهای مس همانند نارباغی شمالی و کوه‌پنگ، کانه‌زایی رگه‌ای مس در ارتباط با عملکرد توده‌های نفوذی بعد از ائوسن (الیگومیوسن) است و کانه‌زایی رگه‌ای مس در سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن و همچنین در بخش‌هایی در داخل توده‌های نفوذی رخ داده و قابل مقایسه با کانسارهای اپی‌ترمال هستند. از لحاظ زمانی، رخداد کانه‌زایی‌های مس تیپ اپی‌ترمال در ناحیه مورد مطالعه، بعد از تشکیل کانسارهای تیپ مانتو می‌باشد. وضعیت مشابهی نیز در ناحیه کرمان و در شیلی مشاهده می‌شود. بررسی ارتباط میان رخداد کانه‌زایی مس چینه‌کران تیپ مانتو و کانه‌زایی مس اپی‌ترمال در ناحیه قم-ساره یکی از موضوع‌های مهم و اساسی است و می‌بایستی در پژوهش‌های دانشگاهی و علمی آینده مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان مراتب سپاس خود را از آقای لین ویگو (Lin Weiguo) از شرکت Linyi Zhenhua Carbon Technology چین بابت همکاری در انجام آنالیزهای ایزوتوپی گوگرد ابراز می‌دارند. همچنین از مسئولان محترم شرکت‌های زاگرس مس‌سازان، حدیدگستر سیرجان و مس‌پویان البرز به‌ویژه آقایان دکتر تهامی و مهندس صالح‌نیا که در انجام بازدیدهای صحرائی و نمونه‌گیری مغزه‌ها، ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین لازم است از نقطه‌نظرات ارزشمند داوران محترم که موجب غنای بیشتر مطالب شد، سپاسگزاری شود.

منابع

- آقانباتی، س.ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۴۰.
- ابولی‌پور، م.، راستاد، ا. و رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۹۴. کانه‌زایی مس چینه‌کران نوع مانتو (Manto-type) در آندزیت پورفیر پیروویتومن‌دار کشکوییه رفسنجان، زیرپهنه دهج-ساردوییه. فصلنامه علوم زمین، ۲۴، ۹۵، ۱۴۴-۱۲۳.

با توجه به فعالیت آتشفشانی و حجم قابل توجهی از توالی آتشفشانی-رسوبی، توالی میزبان کانه‌زایی در پهنه مورد مطالعه می‌تواند حرارت بالایی را در خود حفظ نماید (Kirkham, 1996) که موجب تحرک سیالات و شورابه‌های اکسیدان بین‌منغذی شده (Boric et al., 2002) و این سیالات به دلیل دمای بالای محیط و تحت تأثیر گردش در میان واحدهای آتشفشانی، غنی از مس شوند (شکل ۱۱-ب). این سیالات غنی از مس به سمت نقاط کم‌فشار حرکت کرده و با ورود به واحدهای غنی از پیریت، موجب آزاد شدن آهن از ساختار پیریت و جانشینی مس به جای آن می‌شود. در برخی از کانسارهای مس مانتو همانند کانسار نارباغی شرقی و کانسار کهک، آهن آزاد شده از شبکه پیریت، به شکل هماتیت در اطراف سولفیدهای مس حضور دارد (Tristá-Aguilera et al., 2006; Wilson and Zentilli, 2003; Haggan et al., 2003; Wilson et al., 2006). مطالعات ایزوتوپی گوگرد انجام گرفته بر روی کانی‌های پیریت و کالکوسیت در کانسار نارباغی شرقی نیز منشاء یکسان گوگرد در شکل‌های دانه‌پراکنده پیریت (تشکیل شده در دیاژنز آغازین) و کالکوسیت رگه-رگچه‌ای (تشکیل شده در مرحله دیاژنز تدفینی) را تأیید می‌کند. پس از تشکیل کانسنگ اولیه مس، با رخداد فازهای کوهزایی و بالآمدگی، توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن دچار چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی شده و تحت تأثیر سیالات جوی، کانسنگ ثانویه برونزاد مس (مالاکیت و آزوریت) تشکیل شده است (شکل ۱۱-پ).

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات انجام شده توسط پژوهشگرهای قبلی و نوشتار حاضر، کانسارهای مس ناحیه قم-ساره قابل مقایسه با کانسارهای تیپ مانتو می‌باشند. این کانسارها دارای گسترش زیادی هستند؛ اما باید توجه داشت نحوه تشکیل کانه‌زایی مس در کانسارهای مورد مطالعه در این پژوهش، با سایر کانسارهای مس شناخته شده در این ناحیه (کانسارهای ماگمایی-هیدروترمال وابسته به توده‌های نفوذی) متفاوت است. در کانسارهای تیپ مانتو مورد

- ابولی‌پور، م.، ۱۳۹۱. زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی چینه‌کران مس در توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن کشکوئیه، رفسنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۸۰.
- احمدی، ر.، ۱۳۹۹. مقایسه نتایج روش‌های زمین‌آماری خطی و غیرخطی در مدلسازی و ارزیابی ذخیره کانسار مس نارباغی شمالی ساوه. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۴، ۵۶، ۵۹-۴۳.
- امامی، م.، ۱۳۷۹. ماگماتیسم در ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۱، ۶۲۲.
- امامی، م.، ه. و حاجیان، ج.، ۱۳۷۰. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰/۰۰۰ قم. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بویری کناری، م.، ۱۳۸۹. زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، ژئوشیمی، ژنز و تپ کانسار مس کشت‌مهکی، شمال غرب صفاشهر (استان فارس)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۲۴.
- حسین‌زاده، م.، مغفوری، س.، مؤید، م. و فرید اصل، و.، ۱۳۹۵. معرفی کانسار مس ماری به‌عنوان یک ذخیره چینه‌کران نوع مانتو در پهنه طارم، شمال غرب ایران. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۰، ۳۸، ۳۸-۱۷.
- صالحی، ل. و رسا، ا.، ۱۳۹۴. ویژگی‌های ایزوتوپی گوگرد کالکوسیت در کانسار مس معدن بزرگ، عباس‌آباد، شمال‌خاور ایران. سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰.
- عسکری، ن.، ۱۳۸۷. بررسی سنگ‌های آتشفشانی جنوب‌شرق کهک (دستجرد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- علی‌زاده، و.، مؤمن‌زاده، م. و امامی، م.، ۱۳۹۱. سنگ‌نگاری، ژئوشیمی، مطالعه میانبارهای سیال و تعیین نوع کانه‌زایی کانسار مس ورزگ-قاین. فصلنامه علوم زمین، ۲۲، ۸۶، ۵۸-۴۷.
- عمیدی، س.م.، شهرابی، م. و نوایی، ا.، ۱۳۸۴. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰/۰۰۰ ساوه. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- فاضلی، آ.، ۱۳۸۱. بررسی تپ کانی‌سازی مس در کانسار وشنوه (جنوب استان قم). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۷۰.
- فردوست، ف.، ۱۳۷۰. مطالعه کانی‌شناسی و تعیین ژنز کانسار منگنز و نارچ قم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۸۰.
- فاضلی، ن.، قادری، م.، لنتز، د. و لی، ج.و.، ۱۳۹۸. زمین‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی و ژئوشیمی کانسار اپی‌ترمال نقره-مس نارباغی شمالی، شمال‌خاور ساوه. فصلنامه علوم زمین، ۲۸، ۱۱۲، ۲۲-۱۳.
- فاضلی، ن.، ۱۳۹۴. زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار اپی‌ترمال نارباغی شمالی، شمال‌شرق ساوه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۲۰.
- فاضلی، ن.، قادری، م. و مغفوری، س.، ۱۳۹۳. کانه‌زایی مس چینه‌کران تپ مانتو نارباغی شرقی در توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن، شمال‌شرق ساوه، سی و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قلمقاش، ج.، ۱۳۷۴. مطالعه پلوتونیسیم ترشیری جنوب قم (محدود به ورقه ۱:۱۰۰/۰۰۰ کهک)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۴۰.
- کبودی، ز.، ۱۳۹۶. زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس کهک، جنوب قم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- کبودی، ز.، قادری، م. و راستاد، ا.، ۱۳۹۸. کانی‌شناسی، ساخت و بافت و الگوی تشکیل کانسار مس تپ مانتو کهک در توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن، جنوب قم. فصلنامه علوم زمین، ۲۹، ۱۱۳، ۱۵۴-۱۴۵.
- لطفی، م.، آربین، م.ع. و مردی‌طرشستی، ع.ج.، ۱۳۸۱. معرفی کانسار منگنز قلعه محمدعلی‌خان. ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۱۰.
- محبوبیان فرد، م.، احیاء، ف. و جاوریانی، ا.، ۱۳۹۶. زمین‌شیمی و خاستگاه کانسار سنگ‌آهن-خاک سرخ مأمونیه، استان مرکزی. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، ۹، ۴۳۸-۴۱۹.
- معانی‌جو، م.، نصیری، ع.، آلیانی، ف.، مستقیمی، م.، قلی‌پور، م. و مقصودی، ع.، ۱۳۹۴. مطالعه زمین‌شیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی در کانسار منگنز شهرستانک، رهیافتی در تعیین شرایط تشکیل کانسار. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، ۷، ۲۱-۱.

- Ayati, F., Yavuz, F., Asadi, H.H., Richards, J.P. and Jourdan, F., 2013. Petrology and geochemistry of calc-alkaline volcanic and sub-volcanic rocks, Dalli porphyry copper-gold deposit, Markazi province, Iran. *International Geology Review*, 55, 1-27.
- Berberian, F. and Berberian, M., 1981. Tectono-plutonic episodes in Iran. In: H.K. Gupta and F.M. Delany (eds.) *Zagros-Hindu Kush-Himalaya Geodynamic Evolution*, Washington, D.C., American Geophysical Union, 3, 5-32.
- Boric, R., Holmgren, C., Wilson, N.S.F. and Zentilli, M., 2002. The geology of the El Soldado Manto type Cu (Ag) deposit, central Chile. In: Porter, T.M. (ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective*, v. 2, PGC Publishing, Adelaide, Australia, 185-205.
- 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, 901-912.
- Calagari, A.A., 2003. Stable isotope (S, O, H and C) studies of the phyllic and potassic-phyllic alteration zones of the porphyry copper deposit at Sungun, East Azarbaijan, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 7, 767-780.
- Carrillo-Rosúa, J., Boyce, A.J., Morales-Ruano, S., Morata, D., Roberts, S., Munizaga, F. and Moreno-Rodríguez, V., 2014. Extremely negative and inhomogeneous sulfur isotope signatures in Cretaceous Chilean Manto-type Cu-(Ag) deposits, Coastal range of central Chile. *Ore Geology Reviews*, 56, 13-24.
- Carrillo-Rosúa, F.J., Molares-Ruano, S., Morata, D., Boyce, A.J., Fallick, A.E., Belmar, M., Munizaga, F. and Fenoll Hach-Alí, P., 2006. Mineralogía e isótopos estables en depósitos de Cu (Ag) estratoligados tipo manto del cretácico inferior de la cordillera de la costa (área de La Serena - مغفوری، س. و موحدنیا، م.، ۱۳۹۳. زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسارهای مس عباس‌آباد شاهرود و مقایسه آنها با کانسارهای مس تپ مانتو. هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- مهربانی، ب. و فاضلی، آ.، ۱۳۸۰. بررسی تپ کانی‌سازی مس در کانسار و شونوه (جنوب استان قم). بیستمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نجمی، ف.، مظاهری، س.ا.، سعادت، س. و انتظاری هرسینی، ا.، ۱۳۹۶. زمین‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی و مطالعات ژئوشیمیایی در معدن مس، منطقه گل‌چشمه، جنوب نیشابور. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۱، ۴۳، ۱۳۹-۱۲۵.
- نظری، م.، ۱۳۷۳. بررسی کانی‌شناسی و ژنز کانسار باریت دره کاشان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۸۰.
- نوگل‌سادات، م.ع.، هوشمندزاده، ع.، بهروزی، آ. و لطفی، م.، ۱۳۶۴. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰/۰۰۰ ساوه. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- هاشمی، ف.، موسیوند، ف. و رضایی کهخانی، م.، ۱۳۹۶. افق‌های کانه‌دار، رخساره‌های کانسنگ، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد (VMS) باریت-سرب-مس و رندان، جنوب‌غرب قمصر. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، ۹، ۶۱۶-۵۸۷.
- یوسفی، س. و علی‌پور اصل، م.، ۱۳۹۶. کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس زرنديه، شمال‌شرق ساوه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۶۰.
- Ahmadian, J., Haschke, M., McDonald, I., Regelous, M., Ghorbani, M.R., Emami, M.H. and Murata, M., 2009. High magmatic flux during Alpine-Himalayan collision: Constraints from the Kal-e-Kafi complex, central Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 121, 857-868.
- Alavi, M., 1991. Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 103, 983-992.

- y Melipilla), v. 2, Actas XI Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, 199-202.
- Cisternas, M.E. and Hermosilla, J., 2006. The role of bitumen in strata-bound copper deposit formation in the Copiapó area, northern Chile. *Mineralium Deposita*, 41, 339-355.
 - Forster, H., 1978. Mesozoic-Cenozoic Metallogenesis in Iran, Geological Society of London, 135, 443-455.
 - Ghaderi, M., Fazli, N., Yan, S., Lentz, D.R. and Li, J.W., 2016. Fluid inclusion studies on North Narbaghi intermediate sulfidation epithermal Ag-Cu deposit, Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Iran. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2016)*, Prague, Czech Republic, Abstract Collection Book, 141.
 - 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*, 78-79, 631-635.
 - Hoefs, J., 2009. *Stable Isotope Geochemistry*. 6th ed., Berlin, Springer-Verlag, 293.
 - Hosseini, M.R., Ghaderi, M., Alirezaei, S. and Sun, W., 2017. Geological characteristics and geochronology of the Takht-e-Gonbad copper deposit, SE Iran: A variant of porphyry type deposits. *Ore Geology Reviews*, 86, 440-458.
 - Kaplan, I.R. and Rittenberg, S.C., 1964. Microbiological fractionation of sulfur isotopes. *Journal of General and Applied Microbiology*, 34, 195-212.
 - Kirkham R.V., 1996. Volcanic red bed copper, U.S. Geological Survey, *Canadian Mineral Deposit Types*, 8, 241-252.
 - Kojima, S., Trista, D., Guilera, A. 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.
 - Kouhestani, H., Ghaderi, M., Emami, M.H., Meffre, S., Kamenetsky, V., McPhie, J. and Nasiri Bezenjani, R., 2017. Compositional characteristics and geodynamic significance of late Miocene volcanic rocks associated with the Chah Zard epithermal gold-silver deposit, southwest Yazd, Iran. *Island Arc*, 27,1, e12223.
 - Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M.R., Moayyed, M., Movahednia, M. and Choulet, F., 2017. Geology, mineralization and sulfur isotopes geochemistry of the Mari Cu (Ag) Manto-type deposit, northern Zanjan, Iran. *Ore Geology Reviews*, 81, 10-22.
 - Maksaev, V., Townley, B., Palacios, C. and Camus, F., 2007. *Metallic ore deposits*. In Moreno, T. and Gibbons, W. (eds.) *The Geology of Chile*. The Geological Society, 180-199.
 - Mohammaddoost, H., Ghaderi, M., Kumar, T.V., Hassanzadeh, J., Alirezaei, S., Stein, H.J. and Babu, E.V.S.S.K., 2017. Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os geochronology, with S isotopic composition of sulfides from the Chah-Firouzeh porphyry Cu deposit, Kerman Cenozoic arc, SE Iran. *Ore Geology Reviews*, 88, 384-399.
 - Munizaga, F., Reyes, J.C. and Nyström, J.O., 1994. Razones isotópicas de los sulfuros del distrito minero de Cerro Negro: Un posible indicador de los depósitos estratoligados de Cu hospedados en rocas sedimentarias lacustres. *Revista Geology Chile*, 21, 189-195.
 - Munizaga, F. and Zentilli, M., 1994. Sulphur isotope characterization of stratabound copper deposits in Chile. *Comunicaciones, Universidad de Chile, Santiago*, 127-134.
 - Nezafati, N. and Stoellner, T., 2018. Economic geology, mining archaeological and archaeometric investigations at the Veshnaveh ancient copper mine, central Iran. *Metalla Nr 23.2*, 67-90.
 - Nouri, F., Azizi, H., Stern, R.J., Asahara, Y., Khodaparast, S., Madanipour, S. and Yamamoto, K., 2018. Zircon U-Pb dating, geo-

- chemistry and evolution of the Late Eocene Saveh magmatic complex, central Iran: Partial melts of sub-continental lithospheric mantle and magmatic differentiation. *Lithos*, 314-315, 274-292.
- Oliveros, V., Feraud, G., Aguirre, L., Ramirez, L., Fornary, M. and Palacios, C., 2008. Detailed $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of geologic events associated with the Mantos Blancos copper deposit, northern Chile. *Mineralium Deposita*, 43, 281-293.
 - Omrani, J., Agard, P., Whitechurch, H., Benoit, M., Prouteau, G. and Jolivet, L., 2008. Arc-magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences, *Lithos*, 106, 380-398.
 - Oyarzum, R., Ortega, L., Sierra, J., Lunar, R. and Oyarzun, J., 1998. Cu, Mn and Ag mineralisation in the Quebrada Marquesa quadrangle, Chile: The Talcuna and Arqueros districts. *Mineralium Deposita*, 33, 547-559.
 - Rajabpour, S., Jiang, S.-Y., Lehmann, B., Abedini, A. and Gregory, D.D., 2018. Fluid inclusion and O-H-C isotopic constraints on the origin and evolution of ore-forming fluids of the Cenozoic volcanic-hosted Kuh-Pang copper deposit, Central Iran. *Ore Geology Reviews*, 94, 277-289.
 - Rieger, A., Schwark, L., Cisternas, M.E. and Miller, H., 2008. Genesis and evolution of bitumen in Lower Cretaceous lavas and implications for strata-bound copper deposits, North Chile. *Economic Geology*, 103, 387-404.
 - Samani, B., 1998. Distribution setting and metallogenesis of copper deposits in Iran. *Exploration Division, AEOI*, 135-157.
 - Saric, N., Kreft, C. and Huete, C., 2003. Geología del yacimiento Lo Aguirre, Chile. *Revista Geología Chile*, 30, 317-331.
 - Sasaki, A., Ulriksen, C.E., Sato, K. and Ishihara, S., 1984. Sulfur isotope reconnaissance of porphyry copper and Manto-type deposits in Chile and the Philippines. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 35, 615-622.
 - Shafiei, B., Haschke, M. and Shahabpour, J., 2009. Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran. *Mineralium Deposita*, 44, 265-283.
 - Shafiei, B. and Shahabpour, J., 2008. Gold distribution in porphyry copper deposits of Kerman region, southeastern Iran. *Journal of Sciences of the Islamic Republic of Iran*, 19, 247-260.
 - Shahabpour, J., 2005. Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24, 405-417.
 - Shen, P., Pan, H., Li, Z., Sun, J., Shen, Y., Li, C., Feng, H. and Cao, C., 2020. A Manto-type Cu deposit in the Central Asian orogenic belt: The Hongguleleng example (Xinjiang, China). *Ore Geology Reviews*, 124, 103656.
 - Southam, G. and Saunders, J.A., 2005. The geomicrobiology of ore deposits. *Economic Geology*, 100, 1067-1084.
 - Spiro, B. and Puig, A., 1988. The source of sulfur in polymetallic deposits in the Cretaceous magmatic arc, Chilean Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 1, 261-266.
 - Tristá-Aguilera, D., Barra, F., Ruiz, J., Morata, D., Talavera-Mendoza, O., Kojima, S. and 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, 99-105.
 - Vivallo, W. and Henríquez, F., 1998. Génesis común de los yacimientos estratoligados y vetiformes de cobre del Jurásico Medio a Superior en la Cordillera de la Costa, Región de Antofagasta, Chile. *Ore Geology Reviews*, 25, 199-228.
 - Walker, T.R., Waugh, B. and Crone, A.,

1978. Diagenesis in first cycle desert alluvium of Cenozoic age, south-western United States and northeastern Mexico. Geological Society of America Bulletin, 89, 19-32.
- Whitney, L.D. and Evans, W.B., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 95, 185-187.
 - Wilson, N.S.F. and Zentilli, M., 2006. Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts, central Chile. International Journal of Coal Geology, 65, 158-169.
 - 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.
 - Yaghubpur, A., 2003. Mineral deposits in metallogenic belt east of Zagros fault. In: Eliopoulos et al. (eds.), Mineral Exploration and Sustainable Development, 1240-1252.
 - Zarasvandi, A., Liaght, S. and Zentilli, M., 2005. Porphyry copper deposits of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Iran. Super Porphyry Copper and Gold deposits: A global perspective. PGC Publishing, Adelaide, 2, 441-452.
 - Zhao, L., Han, J., Lu, W., Liang, P. and Jourdan, F., 2020. The Middle Permian Hongshanliang Manto-type copper deposit in the East Tianshan: Constraints from geology, geochronology, fluid inclusions and H-O-S isotopes. Ore Geology Reviews, 124, 103601.