

پتروژنز، ژئوشیمی، مطالعه میانبارهای سیال و نقش توده‌های نیمه آتشفشانی در زایش مس محدوده چاه‌مورا، شمال تروند

مینا بهرام‌پور^۱، محمد لطفی^۲، افشین اکبرپور^۳ و الهه بهرام‌پور^۱

^۱ کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۲ دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۳ دکترا، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۴

چکیده

کانسار مس چاه‌مورا در جنوب باختری شاهرود و در بخش مرکزی کمان ماگمایی تروند- چاه شیرین قرار دارد. کانی‌سازی در منطقه چاه‌مورا درون واحد آتشفشانی به سن ائوسن رخ داده است. سنگ‌های آتشفشانی یاد شده بر پایه مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی قابل تفکیک به آندزیت، آندزیت-بازالت، تراکی آندزیت، تراکی آندزیت-بازالت و رخنمون‌های کوچکی از آذرآواری‌ها به صورت آگلومرا هستند. توده‌های نیمه آتشفشانی با ترکیب حدواسط توالی‌های آتشفشانی آذرآواری را قطع کرده‌اند. ماهیت این سنگ‌ها، کالک‌آلکان غنی از پتاسیم تا شوشونیتی است که از دید جایگاه زمین‌ساختی، در موقعیت کمان ماگمایی مرتبط با پهنه فرورانش قرار می‌گیرند. دگرسانی سیلیسی، کربناتی، سریستی و کلریتی در سنگ‌های میزبان قابل تشخیص است. ساخت و بافت ماده معدنی به صورت رگه- رگچه‌ای، جانثینی، دانه پراکنده و پرکننده فضای خالی است. بر پایه مطالعات کانه‌نگاری کانی‌های اصلی مس شامل کالکوسیت، کالکوپیریت، کوولیت، دیژنیت، کوپریت، مالاکیت و کمتر مس طبیعی است که با هماتیت همراهی می‌شوند. از میان این کانی‌ها، کالکوسیت و مالاکیت بیشترین فراوانی را دارند. مطالعات ژئوشیمی نشان از آن دارد که عنصر مس بیشترین همبستگی را با عناصر نقره ($R = 0.894$) و آرسنیک ($R = 0.520$) دارد. این در حالی است که با این عناصر کانی مستقلی تشکیل نداده است و احتمال دارد که این عناصر در شبکه کانی‌های مس دار، جایگزین مس شده باشند. مطالعه میانبارهای سیال روی سیال‌های به دام افتاده در کانی‌های کوارتز و کلسیت انجام شده است. دمای همگن‌شدگی در میانبارهای سیال، به‌طور میانگین ۲۰۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد است. درجه شوری به دست آمده در این سیال‌ها، در محدوده‌های ۰/۹۷-۱/۳۷ و ۳/۶۷-۴/۰۷ درصد وزنی نمک طعام است. این کانسار همانندی‌های فراوانی از دید کانی‌شناسی، سنگ میزبان، ساخت و بافت و ژئومتری با کانسارهای نوع ماتو و مس در طبقات سرخ آتشفشانی دارد.

کلیدواژه‌ها: چاه‌مورا، توده‌های نیمه آتشفشانی، مس نوع ماتو، تروند- چاه شیرین.

***نویسنده مسئول:** مینا بهرام‌پور

E-mail: Minabahrapour@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

منطقه معدنی چاه‌مورا از دیدگاه تقسیمات کشوری در استان سمنان و در ۱۳۰ کیلومتری جنوب باختری شهرستان شاهرود میان طول‌های جغرافیایی $35^{\circ}37'21''$ تا $35^{\circ}36'00''$ و عرض‌های جغرافیایی $55^{\circ}12'20''$ تا $54^{\circ}58'14''$ شمالی قرار دارد. مهم‌ترین راه دسترسی به محدوده مورد مطالعه، جاده آسفالت شاهرود- تروند است که از تروند تا محدوده مورد مطالعه حدود ۲۰ کیلومتر راه خاکی جیب‌رو وجود دارد و دسترسی به دیگر نقاط مطالعاتی از راه آبراه‌ها صورت می‌پذیرد (شکل ۱). گستره مورد پژوهش، از دیدگاه پهنه‌های ساختاری- رسوبی اصلی ایران (آق‌ناباتی، ۱۳۸۳) در حاشیه شمالی پهنه ایران مرکزی و در بخش مرکزی کمان آتشفشانی- نفوذی تروند- چاه شیرین جای گرفته است (شکل ۲- A). حضور کانسارهای فراوان فلزی مانند سرب و روی، مس، آهن، طلا و فیروزه و کانسارهای غیر فلزی مانند بنتونیت، فلدسپار، خاک‌نسوز و خاک صنعتی تأییدکننده پتانسیل بالای کانی‌سازی در این کمان ماگمایی است. این مجموعه، که از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب چیره آندزیتی و توده‌های نفوذی با ترکیب چیره دیوریتی تشکیل شده، میزبان کانسارهای رگه‌ای بسیار فلزات پایه و گرانیت‌هاست (رشیدنژاد، ۱۳۷۱؛ برنا و عشق‌آبادی، ۱۳۷۶؛ تاج‌الدین، ۱۳۷۷؛ فرد، ۱۳۸۰؛ شمعیان اصفهانی، ۱۳۸۲؛ حقیقی، ۱۳۸۹). مجموعه آتشفشانی- رسوبی ائوسن (Ev_4) در چهارگوش $1:250000$ تروند دارای بی‌هنجاری‌های مس بسیاری در نقاط مختلف است که کانه‌زایی مس در منطقه چاه‌مورا یکی از آنها به شمار می‌آید (شکل ۲- B). برای بررسی ماهیت کانی‌سازی در منطقه چاه‌مورا مطالعات زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، دگرسانی، کانه‌نگاری، ژئوشیمی و میانبارهای سیال انجام شده است.

۲- روش مطالعه

برای انجام این پژوهش، برای انجام مطالعات مختلف از رگه‌های معدنی و ترانسه‌های

اکتشافی در سطح منطقه نمونه برداری صورت گرفته است. ۲۲ نمونه برای تهیه مقاطع نازک- صیقلی و انجام مطالعات سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری مورد استفاده قرار گرفت. ۱۵ نمونه نیز برای تجزیه شیمیایی به روش XRF تهیه شد؛ ۴ نمونه برای تجزیه شیمیایی به روش XRD برای بررسی دگرسانی و انجام مطالعات کانی‌شناسی دگرسانی‌ها و ۲۰ نمونه نیز برای تجزیه شیمیایی به روش ICP-OES. ۵ نمونه نیز برای تهیه مقاطع دوبر صیقلی و انجام مطالعات میانبارهای سیال به آزمایشگاه‌های مربوط در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور فرستاده شد.

۳- زمین‌شناسی منطقه چاه‌مورا

بیشتر منطقه چاه‌مورا شامل واحدهای آتشفشانی- آذرآواری همراه با رخنمون‌های کوچکی از سنگ‌های رسوبی ائوسن- الیگوسن است. همچنین توده‌های نیمه آتشفشانی با سن ائوسن پسین- الیگوسن پیشین (بر پایه شواهد زمین‌شناختی) با رنگ رخنمون خاکستری تا سبز تیره، در واحدهای آتشفشانی یاد شده تزیین شده‌اند (شکل ۳). تزیین توده‌های نیمه آتشفشانی (ساب‌ولکانیک) به درون واحدهای آتشفشانی (ولکانیک) آنها را به شدت خرد و برشی کرده است و واکنش میان سیال‌های بیرون آمده از توده‌های نیمه آتشفشانی و سنگ‌های آتشفشانی سبب گسترش دگرسانی گرمایی شده است و در پایان کانه‌زایی مس محدود به توالی آتشفشانی- آذرآواری به شکل رگه- رگچه‌ای رخ داده است. به همین دلیل برای تفکیک واحدهای سنگی منطقه و ارتباط آنها با کانی‌زایی در محدوده، نقشه $1:2000$ توسط شرکت پارس کانی تهیه شد (شکل ۴). گوناگونی‌های سنگ‌شناسی در اندیس مس چاه‌مورا از دید سن و اهمیت کانی‌سازی، قابل تفکیک به صورت زیر است:

۳-۱. سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری

این مجموعه شامل واحدهای گدازه‌ای آندزیتی تا آندزیت‌بازالت، بازالت- آندزیت،

شدت تخریب و اواسیته شده‌اند و احتمالاً مربوط به واحد زینولیت هستند که درون این واحد به تله افتاده و با آن واکنش داده‌اند (شکل ۸-۸-D).

۳-۳. دایک‌های تراکی‌بازالت - آندزیت پورفیری

دو سامانه دایک به صورت متوالی و قطعه‌قطعه با ستبرایی میان ۱۰ تا ۱۵ متر درون واحدهای پیشین تزریق شده‌اند (شکل ۹). عموماً در شمال و شمال خاور محدوده معدنی گسترش دارند. این دایک‌ها بدون هر گونه کانه‌زایی هستند. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن با ماکل کارلسباد، هورنبلند و بیوتیت و در دایک‌های تراکی‌بازالت، الیون ایدینگریتی شده است. بافت چیره در نمونه‌ها پورفیری با زمینه میکروکریستالین است. مقادیری کلسیت، کلریت و کوارتز بی‌شکل درون حفرات حضور دارد. پلاژیوکلازها دارای ماکل پلی‌سنتیک با تیغه‌های ماکلی متوسط و ترکیب آندزین-لابرادور هستند. هورنبلندهای شش‌وجهی به صورت ادخال درون پلاژیوکلاز جای دارند (شکل ۱۰-۱۰-A). بیوتیت به فرم بلوری صفحه‌ای و سالم است که تا حدودی خمش ماکلی در آنها تشخیص داده می‌شود. این خمش در ماکل و سیستم رخ‌ها می‌تواند نشانه‌ای از رخدادی زمین‌ساختی باشد (شکل ۱۰-۱۰-B).

۴-۴. زمین‌شناسی ساختمانی منطقه چاه‌مورا

ساختمان زمین‌ساختی محدوده از یک سری گسل‌ها و شکستگی‌هایی تأثیر پذیرفته است که در ارتباط با پهنه برشی چپ‌گرد در ناحیه ایجاد شده است که مهم‌ترین کنترل‌کننده رگه‌های کانه‌دار در منطقه است (کی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۷). به منظور تعیین روند کانه‌زایی و روند ساختاری وابسته در ایستگاه‌های بسیار از رگه‌ها، گسل‌های فرعی، سنگ‌میزبان و دایک‌ها اندازه‌گیری و داده‌ها روی نمودار گل‌سرخ‌ی با استفاده از نرم‌افزار Stereonet رسم شد. دایک‌ها با روند $N30-40^{\circ}E$ و شیب $45^{\circ}-80^{\circ}$ به سوی جنوب خاور، واحدهای وابسته به سن ائوسن را با امتداد $N100^{\circ}E$ و شیب $50^{\circ}NE$ قطع کرده‌اند (شکل ۱۱-A). رگچه‌های کلسیتی با روند شمالی-جنوبی به صورت پراکنده در راستای عمود بر توده نیمه‌آتشفشانی رخنمون دارند (شکل ۱۱-B). بر پایه نتایج نمودار گل‌سرخ‌ی، بیشتر رگه‌های مس دارای روند شمال خاور-جنوب باختر (شکل ۱۱-A) هستند و دایک‌ها نیز با روندی مشابه به موازات رگه‌ها و گسل‌های محدوده تزریق شده‌اند (شکل ۱۲-B)، دو دسته گسل اصلی از نوع عادی با روند شمال خاور-جنوب باختر و شمال باختر-جنوب خاور (شکل ۱۲-C)، از دیگر کنترل‌کننده‌های رگه‌های کانه‌دار هستند که از امتداد گسل‌های اصلی ترو-انجیلو پیروی می‌کنند.

۵-۵. دگرسانی‌ها

بر پایه مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی و نتایج پراش پرتو ایکس (XRD)، (جدول ۱)، مشخص شد که در این محدوده در نتیجه بالا آمدگی سیال‌های ماگمایی-گرماپی سنگ‌های میزبان در پیرامون رگه‌ها دستخوش دگرسانی‌های گوناگون شده‌اند. شدت و پراکندگی هر یک از دگرسانی‌ها بسته به شرایط و ترکیب سنگ‌های میزبان متفاوت است. دگرسانی سیلیسی با حضور بلورهای ریزبلور (میکروکریستالین) کوارتز به صورت رگچه، جانیشینی در زمینه و پرکننده فضای باز در کنار کانه‌های مس دیده می‌شود. دگرسانی آرژیلیک به رنگ زرد تا سفید نمایان است و بر پایه شواهد میکروسکوپی (رسی-سریستی شدن بلورهای پلاژیوکلاز) و نتایج XRD، حضور کانی‌های مونت‌موریلونیت این دگرسانی، از نوع آرژیلیک حدواسط است. از دیگر دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی، فرایند اکسایش ثانویه کانی‌های سولفیدی اولیه به ویژه پیریت و کالکوپیریت (با چیرگی کانی هماتیت) است که در زمینه سنگ‌های میزبان آندزیتی و آندزیت بازالتی به صورت منفرد و یا همراه با دیگر پهنه‌های دگرسانی در سطح دده می‌شود؛ اما با افزایش ژرفا به شدت کاهش می‌یابد. در بخش‌هایی از ترانسه‌های اکتشافی به علت حضور اکسیدهای آهن، رگچه‌های کوارتز به دلیل آغشتگی به آن با رنگ سرخ نمایان است. دگرسانی کلریتی به رنگ سبز با چیرگی کلریت (در بلورهای فرومنیزین) دیده می‌شود و

تراکی‌آندزیت تا تراکی‌آندزیت بازالتی به همراه توف و آگلومراست که توسط توده‌های نیمه‌آتشفشانی و دایک‌ها مورد هجوم قرار گرفته‌اند (شکل ۴-۴-A). در مشاهدات صحرایی ستون‌های گدازه‌ای آندزیت-بازالت با ساخت منشوری رخنمون دارند (شکل ۴-۴-B). در سنگ‌های میزبان حفرات بزرگی (آمیگدالوئیدال) توسط بلورهای زینولیت ناشی از رخدادهای ثانویه پر شده‌اند (شکل‌های ۴-۴-C و D). سنگ‌های میزبان آندزیت-بازالت دارای بافت پورفیریک تا مگاپورفیریک (شکل ۵-۵-A)، با زمینه هیالومیکرولیتیک-جرانی و واحدهای تراکی‌آندزیت-تراکی‌آندزیت بازالت دارای بافت گلوپورفیریک (شکل ۵-۵-B) در زمینه هیالومیکرولیتیک-تراکیتی هستند. کانی‌های اصلی که تقریباً در همه مقاطع دیده می‌شوند، پلاژیوکلاز، کانی‌های فرومنیزین (کلینوپیروکسن، هورنبلند) به همراه فلدسپار پتاسیم هستند. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز بیشتر تا ابعاد ۴ میلی‌متر و گاه ۱ سانتی‌متر است. بافت غربالی در پلاژیوکلاز و خوردگی حواشی، دلالت بر آرایش پوسته‌ای دارد. در زمینه گاه مقادیر ناچیزی آپاتیت خودشکل، بسیار ریز دیده می‌شود. در سنگ‌های میزبان، کلینوپیروکسن مگاپورفیر دارای دو سیستم رخ کاملاً آشکار است و گاه ادخال‌هایی از الیون ریزبلور، درون آن دیده می‌شود (شکل ۵-۵-C). الیون در نمونه‌ها بیشتر ایدینگریتی شده است (شکل ۵-۵-E). کانی‌های کدر (هماتیت و پیریت) موجود در این واحدهای میزبان، یا به صورت اولیه و بسیار ریزدانه با بافت دانه‌پراکنده همراه با زمینه سنگ شکل گرفته‌اند. یا اینکه به صورت ثانویه با ابعادی متوسط دانه روی بلورهای اولیه سنگ، همچون پلاژیوکلاز و بلورهای فرومنیزین شکل گرفته‌اند و دارای حاشیه اکسیده شده هستند. زینولیت به رنگ سفید و در بیشتر مواقع با بافت شعاعی دیده می‌شود. به گونه‌ای که در بخش‌های گسترده‌ای از سنگ‌های میزبان کانه‌زایی، زینولیتی شدن رخ داده است. زینولیت افزون بر اینکه در سنگ‌های دگرگونی تشکیل می‌شود، در سنگ‌های آتشفشانی نیز در مراحل پایانی فعالیت‌های گرمایی درون حفرات و شکاف‌های سنگ‌های آتشفشانی تشکیل می‌شود (شکل ۵-۵-F). درون میکروگسل‌ها مقادیری سیلیس همراه با کانی کدر دیده می‌شود (شکل ۵-۵-H)، در برخی موارد، کانی‌های کدر در قالب بلورهای فرومنیزین جانشین شده و یا به صورت رگه-رگچه درشت‌بلورها را قطع کرده‌اند (شکل‌های ۵-۵-G و D). واحدهای آگلومرایی با بافت پیروکلاستیکی دارای قطعات فراوان و درشت‌دانه آتشفشانی در زمینه هیالومیکرولیتیک و به شدت حفره‌دار از خاکستر آتشفشانی و دارای ذرات فراوان اکسید-هیدروکسیدی آهن دیده می‌شود (شکل ۵-۵-L).

۳-۲. توده‌های نیمه‌آتشفشانی گابرو - دیوریت پورفیری

به علت ژرفای کم جایگزینی، این سنگ‌ها با سنگ‌های آتشفشانی همانندی بافتی دارند؛ مرز این توده‌ها معمولاً توسط گسل کنترل می‌شود. حضور حفرات مدور در آنها می‌تواند نشان از جایگیری توده نیمه‌آتشفشانی در شرایط نزدیک به سطح زمین داشته باشد (شکل ۷). پورفروئید با زمینه میکرواینترگرانولار از بافت‌های شاخص در آنهاست (شکل ۸-۸-A). کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، فلدسپار پتاسیم، آمفیبول نوع هورنبلند سبز و کوارتز نیز به صورت کم در توده‌های دیوریتی دیده می‌شود. در این واحدها زینولیت‌های فراوانی قابل تشخیص است که بیشتر ترکیبی مشابه با واحد میزبان ولی بافت ریزبلورتری دارند که این امر نشان‌دهنده آلودگی پوسته‌ای است. بر اثر افتادن و تحلیل رفتن این قطعات بیگانه به درون مذاب اولیه، تغییرات شیمیایی و احتمالاً دمایی در این مذاب رخ داده و این تغییرات، سبب واکنش مذاب باقیمانده و تغییر ترکیب یافته با بلورهای اولیه شده است. بلورهای پلاژیوکلاز، کمی آلبدیتی شده‌اند. کانی‌های کدر (پیریت) به صورت ادخال‌های ریز تا متوسط بلور روی کلینوپیروکسن‌ها و درون هورنبلندها جای دارند (شکل‌های ۸-B و C). این کانی‌های کدر گاه ساختار شبه اسکلتی نیز نشان می‌دهند. نکته جالب توجه وجود دو نوع کلینوپیروکسن در توده‌ها است؛ نوع اول دارای فرم بلوری خودشکل هستند و دگرسانی بر آنها اثری نگذاشته است که به نظر می‌رسد از واحد نیمه‌آتشفشانی اصلی و بیشتر از نوع اوژیت تیتانیم‌دار باشند. اما نوع دوم به

بیانگر فاز تأخیری است. کوارتز، کلسیت، هماتیت (به مقدار فراوان در همراهی با سولفیدهای مس) و زئولیت از مهم‌ترین کانی‌های باطله هستند. ترتیب شکل‌گیری کانی‌ها در جدول ۲ به‌صورت توالی پاراژنزی ساده‌ای است از فازهایی که درون‌زاد بودند و در دمای بالا شکل گرفته‌اند تا کانی‌هایی که در مرحله اکسیدان-برونزاد در محدوده معدنی حاصل شده‌اند.

۷- ژئوشیمی

۷-۱. نام‌گذاری و رده‌بندی سنگ‌های میزبان

بحث ژئوشیمی در دو بخش ژئوشیمی سنگ‌های میزبان و ژئوشیمی عناصر کانساری در پهنه کانه‌زایی مطالعه شده است. نتایج تجزیه نمونه‌های مورد نظر در جدول ۳ آورده شده است. برای نام‌گذاری شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی از نمودار Le Base et al. (1986) استفاده شد که بر پایه مجموع آلکالی ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) در برابر SiO_2 است؛ در این نمودار، نمونه‌ها در قلمرو ترکیبی بازالت، تراکی‌آندزیت، تراکی‌آندزیت‌بازالت، آندزیت و بازالت-آندزیت و دایک‌ها نیز در قلمرو آندزیت، تراکی‌بازالت قرار می‌گیرند (شکل ۱۶- A). توده‌های نیمه‌آتشفشانی بر پایه نمودار Cox et al. (1979) در قلمرو گابرویدیوریت تا کوارتزیدیوریت قرار می‌گیرند (شکل ۱۶- B). در نمودار شکل ۱۶- C سنگ‌ها از دید شاخص اشباع‌شدگی آلومینیم در محدوده متا-پروآلومینوس قرار دارد.

۷-۲. تعیین سری ماگمایی و موقعیت زمین‌ساختی

افزون بر اهمیت شناسایی سری ماگمایی در شناخت سرگذشت ماگمای ایجاد کننده، درم مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی، تعیین سری ماگمایی سنگ میزبان کانی‌سازی کمک شایانی به مقایسه کانه‌زایی مورد بررسی با انواع دیگر و پیدا کردن نوع و منشأ کانی‌سازی می‌کند. برای تعیین سری ماگمایی از نمودارهای AFM (Irvine and Baragar, 1971) و نمودار K_2O در برابر SiO_2 (Peccerillo and Taylor, 1976) استفاده شد. با توجه به شکل‌های ۱۷- A و B سنگ‌های منطقه در محدوده سری کالک‌آلکان تا شوشونیتی غنی از پتاسیم قرار می‌گیرند.

استفاده از عناصر فرعی (Trace) و اصلی (Major) در تشخیص محیط‌های زمین‌ساختی توسط پژوهشگران زیادی استفاده می‌شوند که در این میان عناصر Y، Nb و نسبت عناصر Ta/Yb و Th/Yb به علت تحرک پایین آنها در طی فرایندهای تشکیل سنگ‌های ماگمایی همانند پدیده فرورانش، اهمیت بیشتری دارند (Zarasvandi, 2004; Pearce, 2005; Maanijou et al., 2013). با توجه به نمودار تعیین محیط زمین‌ساختی بر پایه Rb در برابر Y+Nb (Pearce et al., 1984)، تقریباً همه نمونه‌ها در محدوده حواشی فعال قاره‌ای (VAG) قرار گرفته‌اند که مرتبط با مناطق فرورانش است (شکل ۱۷- C) (Shamania et al., 2004). ترکیب شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی رشته کوه تروند-چاه شیرین را نشان‌دهنده یک کمان تیپیک و مطابق با باور (Hassanzadeh et al., 2002) دانسته است.

۷-۳. بررسی الگوهای عناصر کمیاب و خاکی کمیاب

الگوی عناصر کمیاب بهنجار شده با مقادیر گوشته در سنگ‌های محدوده دارای غنی‌شدگی LILE نسبت به HFSE است. عناصری مانند Zr، Nb، Ta و Ti در نمونه‌ها تهی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۱۸- A) که مشابه با ویژگی‌های سنگ‌های کمان ماگمایی است (Gioncade et al., 2003) و یا ممکن است در نتیجه مشارکت پوسته قاره‌ای در فرایندهای ماگمایی باشد (Tchameni et al., 2006). عناصر Rb، Th، K و Ba غنی‌شدگی در حدود ۱۰۰ تا ۵۰۰ برابر را در سنگ‌های منطقه نشان می‌دهند و بقیه عناصر تا حدود ۳۰ تا ۹۰ برابر غنی‌شدگی نسبت به کندریت نشان می‌دهند. در نمودارهای بهنجار شده، شیب عناصر خاکی کمیاب (REE) از LREE به سوی MREE‌ها رو به پایین است (نسبت بالای $\text{La/Yb}_n = 3.71-15.79$ و $[\text{La/Sm}]_n = 1.52-4.42$) اما سپس در میان MREE‌ها تا حدی مسطح می‌شود و ممکن است حتی به سوی HREE‌ها شیب تا حدودی رو به بالا شود؛ یعنی سبب تعقر رو به بالا در آنها خواهد شد و این نشان‌دهنده

دگرسانی کربناتی با چیرگی کلسیت به‌صورت رگه‌هایی با سترای ۱ سانتی‌متر و یا پرکننده حفرات در سنگ‌های میزبان به‌عنوان باطله همراه با سولفیدهای مس مشخص است. دگرسانی‌های سریستی، اسفن، زئولیتی و اکتینولیتی از دگرسانی‌های دیگر در سنگ‌های میزبان است و عموماً شدت دگرسانی‌ها (به‌ویژه هماتیتی شدن) در کنار پهنه کانی‌سازی افزایش یافته است (شکل ۱۳- A). به‌گونه‌ای که مجموعه سنگ‌های دارای کانه‌زایی میزان بالایی از هماتیت دارند و این می‌تواند به عنوان کلید اکتشافی در پی جویی دیگر پهنه‌های کانه‌دار مس در محدوده باشد. مطالعات XRD، نشانگر حضور کانی‌های کوارتز، کلسیت، کلینوکلر، مونت‌موریلونیت، ایلیت و هماتیت در نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های کانه‌دار و دگرسان است. از ویژگی‌های دیگر، نسبت بالای LOI است که نشان از حضور ترکیبات گازی فرار فراوان مانند CO_2 و H_2O است. افزایش LOI به‌صورت هم‌روند با CaO نشانه گسترش دگرسانی سریستی و کربناتی در سنگ‌هاست (Christie and Brahtwaite, 2004)؛ (شکل ۱۳- B). کانه‌زایی ارتباطی نزدیک و تنگاتنگ با دگرسانی‌های یاد شده دارد و هر جا دگرسانی به میزان بالایی روی داده است، کانه‌زایی نیز به فراوانی یافت می‌شود.

۶- کانه‌نگاری و توالی پاراژنزی

عملیات استخراج و کنده‌کاری کهن فراوانی در منطقه صورت گرفته است که محدود به واحدهای میزبان کانه‌زایی است (شکل ۱۴). بر پایه مشاهدات صحرایی و مطالعات کانی‌شناسی، بیشتر کانی‌های سولفیدی در کانسار مس چاه‌مورا، کالکوسیت و کوولیت هستند. در بررسی مقاطع نازک-صیقلی از کانسنگ مس در واحدهای آندزیت، آندزیت‌بازالتی و تراکی‌آندزیتی نمایان شد که افزون بر حضور این کانی‌ها، کانی‌های کالکوپیریت به میزان کمتر، دیژنیت، کوولیت، کوپریت و تنوریت نیز کانه‌زایی را همراهی می‌کنند. از میان این کانی‌ها کالکوسیت بیشترین فراوانی را دارد. ساخت و بافت ماده معدنی به‌صورت پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه-رگچه‌ای و جانیشینی است. ژئومتری رگه-رگچه گسترش فراوانی دارد و بیشتر کانه‌زایی را شامل می‌شود. قطر این رگه-رگچه‌ها کم (کمتر از یک میلی‌متر تا چند سانتی‌متر) بوده است. در مقاطع مورد بررسی کالکوپیریت بیشتر به شکل باقیمانده و رگچه‌ای دیده می‌شود و کالکوپیریت از حاشیه در حال جانیشینی به کالکوسیت، کوولیت و هماتیت است (شکل‌های ۱۵- A و B). کالکوسیت بخش مهمی از کانه‌زایی سولفیدی در این کانسار را تشکیل می‌دهد و بیشتر کالکوسیت موجود در منطقه اولیه بوده و تحت تأثیر فرایندهای کانه‌ساز ایجاد شده است. این نوع کالکوسیت در رگه‌ها حضور دارد و به‌صورت کانی مجزادیده می‌شود (شکل ۱۵- C). بخشی از کالکوسیت اولیه به‌صورت پرکننده فضای خالی، رگه-رگچه دیده می‌شود که از پیرامون توسط سولفیدهای ثانویه از جمله کوولیت و دیژنیت جانشین شده است (شکل ۱۵- D). تحت تأثیر فرایندهای برونزاد در حاشیه کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت و هماتیت تشکیل شده است. کوولیت و دیژنیت با رنگ متفاوت آبی کم‌رنگ تا آبی سیر پیرامون کالکوسیت را در بر گرفته‌اند (شکل ۱۵- E). با توجه به فراوانی در همه نمونه‌های کانه‌دار، به نظر می‌رسد که کالکوسیت کانه اصلی در رگه‌ها باشد. بلورهای خودشکل و نیمه‌خودشکل پیریت به تعداد انگشت شمار در ابعاد ۱۰۰ تا ۳۰۰ میکرون، در زمینه سنگ میزبان و توده‌ها پراکنده‌اند و بیشتر از حواشی در حال جانیشینی توسط هماتیت و مگنتیت هستند (شکل ۱۵- F) و در برخی موارد به شکل ادخال درون کانی مگنتیت دیده می‌شوند (شکل ۱۵- G). مگنتیت بیشتر به شکل بلورهای خودشکل تا نیمه‌خودشکل در متن سنگ دیده می‌شود و از حاشیه گاه در حال تبدیل به هماتیت است. پدیده مارتیتی در مگنتیت‌ها معمول است. مس طبیعی به‌صورت منفرد و دانه‌پراکنده و در مواردی نیز در حال جانیشینی به کوپریت در نمونه‌های کانه‌دار دیده می‌شود که نشان‌دهنده حضور سولفور و PH نزدیک به خنثی در محیط است (شکل ۱۵- H). مالاکیت به فرم‌های جانیشینی، پرکننده فضای خالی و همراه با کالکوسیت و کوولیت رگه‌ها را پر کرده است که

این نوع متغیر است و میان کمتر از ۱ تا بیش از ۷ درصد وزنی نمک طعام (NaCl%) نوسان دارد. فاز جامد (نمک) در این میانبارها حضور ندارد.

– نوع B) دوفازی شامل مایع دارای CO₂-H₂O: این نوع از میانبارها دارای CO₂-H₂O هستند. حضور CO₂ کم محلول در آب سبب می‌شود که در طی فرایند انجماد و اندازه‌گیری آخرین درجه ذوب یخ (Tm ice) CO₂ محلول در آب به صورت تشکیل کلاتریت دیده شده و سبب اندازه‌گیری مقادیر مثبت برای Tm شود.

– نوع C) تک‌فازی مایع (Liquid): در این نوع از میانبارهای سیال، فاز مایع همه حجم میانبار سیال را دربر می‌گیرد و فاز گازی دیده نمی‌شود. از این نوع میانبارها در نمونه‌ها به فراوانی دیده می‌شود.

– نوع D) تک‌فازی گاز (Vapour): در این نوع از میانبارهای سیال، فاز گاز همه حجم میانبار سیال را در بر می‌گیرد و فاز مایع دیده نمی‌شود. سیال‌های تک‌فازی گاز و تک‌فازی مایع کنار هم دیده شدند.

از دید منشأ، میانبارهای سیال مطالعه شده در مقاطع به ۲ گروه تقسیم می‌شوند (Yermakov and Wilson, 1965): میانبارهای سیال اولیه (Primary inclusion) و میانبارهای سیال ثانویه (Secondary inclusion) (شکل‌های ۲۳- A و B). اندازه میانبارهای سیال مطالعه شده در بلورهای موجود متفاوت و از ۱۰ تا ۴۵ میکرون متغیر (بیشتر ۱۰ تا ۱۵ میکرون) است و بیشتر به صورت بی‌شکل یا گرد و برخی نیز کشیده و یا میله‌ای دیده شده‌اند.

۸-۱. مطالعات سرمایش

اندازه‌گیری‌های دمافشارسنجی روی ۴۴ میانبار سیال دوفازی انجام شده است که ویژگی‌های آنها در جدول ۵ آورده شده است. در میانبارهای سیال تک‌فازی امکان اندازه‌گیری نبود. با اندازه‌گیری تغییرات درجه انجماد می‌توان میزان شوری (Salinity) و چگالی را در میانبارهای سیال اندازه‌گیری کرد.

اولین دمای ثبت شده در طی تشکیل اولین قطره ذوب «Te» یا دمای نقطه اوتکتیک است. نقطه اوتکتیک برای سامانه NaCl + H₂O تقریباً ۲۰.۸C^o-Te است. حال آنکه نقطه اوتکتیک Te در شماری از نمونه‌های مورد مطالعه پایین‌تر از ۲۰.۸C^o- است که بیانگر حضور نمک‌های دیگر افزون بر NaCl در سیال کانه‌ساز است. با کامل شدن ذوب تدریجی یخ، آخرین دمای ثبت شده یا دمای ذوب (Tm) اندازه‌گیری می‌شود که با استفاده از آن می‌توان به میزان شوری (Salinity) سیال پی برد. بر پایه بررسی‌های انجام شده روی نمونه‌ها میزان Tm از دمای +۶ تا ۴/۲۰- درجه سانتی‌گراد متغیر است و بیشترین تعداد Tm اندازه‌گیری شده مربوط به گستره دمایی ۲- تا ۲/۲۰- درجه سانتی‌گراد در میزان کلسیت و ۲/۲۰- تا ۲/۶۰- درجه سانتی‌گراد در میزان کوارتز است. بنابراین در نمونه‌های مطالعه شده، درجه شوری میانبارهای سیال از ۰/۹۷ تا ۷/۰۷ درصد وزنی معادل نمک طعام متغیر و به‌طور میانگین بیشترین میزان شوری در محدوده‌های ۰/۹۷ تا ۱/۳۷ و ۳/۶۷ تا ۴/۰۷ درصد وزنی نمک طعام در میزان کوارتز و کلسیت است که به صورت نمودار ستونی در شکل ۲۴ آمده است که این نشان‌دهنده سیال‌هایی با شوری به نسبت پایین هستند.

۸-۲. مطالعات گرمایش

به کمک روش ریزدماسنجی می‌توان کمینه دمای تشکیل کانی‌ها را تعیین کرد؛ به‌طوری‌که اگر سیال گرما داده شود، همه فازهای آن که در برگیرنده فاز جامد، مایع و گاز است، همگن می‌شود که این امر گویای کمینه دمای تشکیل میانبار سیال و به‌عبارت دیگر کمینه دمای تشکیل کانی است. در نمونه‌های مطالعه شده دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال دوفازی با تبدیل بخار به مایع و در نمونه‌های دارای بخار بالا با تبدیل مایع به بخار اندازه‌گیری شده است. دمای همگن‌شدگی از ۱۴۳ تا ۳۳۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است (شکل ۲۵). بیشترین فراوانی دمای همگن‌شدگی در گستره دمایی ۲۰۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است. دمای بالای میانبارهای سیال (۳۳۰ درجه سانتی‌گراد) در کانسار چاه‌مورا، با حضور توده‌های نیمه‌آتشفشانی در ارتباط است که در منطقه وجود دارد. با توجه به دمای همگن‌شدگی، می‌توان فشار و ژرفای تشکیل سیال‌ها را مشخص کرد (شکل ۲۶).

جدایش MREE و HREE نسبت به LREE است (Prowatke and Klemme, 2006). کاهش نسبی شدید در HREE از ویژگی‌های ماگماهای کالک‌آلکال و یا احتمالاً خروج آنها توسط محلول‌های CO₂ دار است (Tatsumi, 1989) که این روند می‌تواند نشانگر محیط زمین‌شناختی و احتمالاً منبع مشابه برای سنگ‌های محدوده باشد. (شکل ۱۸- B). در این الگوها، تهی‌شدگی Eu می‌تواند به دلیل تفریق پلاژیوکلاز و یا فوگاستیته بالای اکسیژن در محیط تبلور ماگما باشد (Rollinson, 1993; Hanson, 1980; Richards et al., 2012). گفتنی است که دگرسانی نیز در تغییرات عنصری (عناصر پرتحرک) نقش مهمی داشته است.

۷-۴. ژئوشیمی عنصر مس و ضریب همبستگی

برای تعیین توزیع و پراکنندگی مس در واحدهای میزبان و توده‌های نیمه‌آتشفشانی به منظور تعیین میزان مس در سنگ‌های مولد مس، نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی انجام شد و با توجه به نتایج حاصل، میزان مس در بخش کانه‌دار واحدهای آندزیت-بازالت (شکل ۱۹) برابر با ۲۱۷۶۰ ppm (نمونه EB-5) و در بخش غیرکانه‌دار برابر با ۶۵ ppm (نمونه EB-2) و نیز در نمونه‌های کانه‌دار از واحد تراکی آندزیتی میزان مس برابر با ۱۳۴۰ ppm (نمونه EB-28) و در سنگ‌های گدازه‌ای برابر با ۷۶ ppm (نمونه EB-41) بوده است (شکل ۲۰). با توجه به نمودار شکل ۱۹- C میزان مس در زمینه توده‌های نیمه‌آتشفشانی برابر با ۷۰۷ ppm (نمونه EB-4) و این نشان‌دهنده آن است که سنگ‌های میزبان و توده‌ها می‌توانند مولد مس برای کانه‌زایی باشند. میانگین نقره بیشتر از ۴ ppm است که معرف بی‌هنجاری بالای نقره در محدوده مورد مطالعه است.

برای تعیین ارتباط ژنتیکی عنصر مس با عناصر همراه، ضرایب همبستگی این عناصر به روش اسپیرمن به دست آمد. با توجه به جدول ۴ ماتریس همبستگی عنصر مس با نقره (R=۰/۸۹۴)، آرسنیک (R=۰/۵۲۰) و گوگرد (R=۰/۶۸۷) در سطح اعتماد (۰/۰۱-۰/۰۵) است. گفتنی است که حضور کانی‌های سولفیدی مس از جمله کالکوپریت، کالکوسیت، دیژنیت به‌همراه پیریت در طی مطالعات کانه‌نگاری ارتباط ژنتیکی میان عنصر مس و گوگرد را تأیید می‌کنند. کانی خاصی برای حضور نقره و مس در مطالعه مقاطع میکروسکوپی یافت نشد. باید به این نکته توجه داشت که عناصری مانند نقره و آرسنیک ممکن است که در شبکه کانی‌های دیگر از جمله کالکوپریت یا کالکوسیت قرار بگیرند. با توجه به این موضوع که امکان تجزیه مایکروپروب نبود، تصمیم گرفته شد به منظور شناسایی کانی‌های احتمالی، از نتایج آزمایشگاه پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده شود. بر پایه نتایج عنصر آرسنیک در کنار مس در ساختمان یک کانی مس آرسنیک‌دار با فرمول شیمیایی Cu₃AsSe₄ این ارتباط تأیید شد. در این رخداد کانه‌زایی مس بدون همراهی فلزات پایه دیده شده و مقدار فلزات پایه دیگر (سرب و روی) پایین بوده است. ارتباط ژنتیکی بالای مس با نقره در یافتن نوع احتمالی کانسار به دنبال کانسارهای مشابه سوق می‌دهد.

۸-۱. مطالعات میانبارهای سیال

به منظور مطالعات دماسنجی روی میانبارهای سیال در کانسار چاه‌مورا از کانی‌های کوارتز و کلسیت موجود در رگه‌های معدنی مس استفاده شد که خود دارای کانه بودند (شکل‌های ۲۱- A و B). برای انجام این پژوهش ۵ مقطع دوبرصیق، مورد استفاده قرار گرفت. اندازه‌گیری‌های دماسنجی به وسیله استیج گرم و سردکننده مدل MDS600 ساخت شرکت Linkam با تغییرات دمایی ۱۹۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد انجام شد. برای تعیین درصد شوری سیال‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزار مدلینگ (Software Modelling for Fluid Inclusion V 2.6) PVTX استفاده شد. در نمونه‌های مورد پژوهش، ۴ نوع میانبار سیال تشخیص داده شد (شکل‌های ۲۲- A و B).

– نوع A) دوفازی مایع-گاز (Liquid rich (L+V): بیشترین نوع میانبار سیال مطالعه شده نوع A است. بیشترین حجم میانبار سیال را فاز مایع در برمی‌گیرد و فاز گازی تنها ۱۰ تا ۳۵ درصد حجم میانبار سیال مطالعه شده را شامل می‌شود. میزان شوری در

این شکل روند تشکیل سیال‌ها از ژرفای ۵۰۰ متری و فشاری در حدود ۱۲۰ بار تا سطح زمین را نشان می‌دهد.

بر پایه مطالعه مینارهای سیال، سیال مسئول کانی‌سازی در کانسار چاه‌مورا، دما و شوری پایین تا متوسط دارد که این امر سازگار با کانی‌شناسی کانسنگ است. بر پایه (شکل ۲۷) عامل اصلی ناپایداری کمپلکس‌های حامل مس و ته‌نشست ماده معدنی در کانسار چاه‌مورا، آمیختگی سیال کانه‌ساز با آب‌های جوی است.

۹- تعیین نوع کانه‌زایی

کانه‌زایی محدوده معدنی چاه‌مورا به‌عنوان بخشی از حوزه فلززایی عباس‌آباد-تروند است که در مرکز رشته‌کوه‌های تروند-چاه‌شیرین مربوط به زمان ترشیری با روند تقریبی باختری-خاوری گسترش دارد و آنچه که از شواهد پیداست، این است که کانه‌زایی ارتباط تنگاتنگی با سامانه‌های ماگمایی (واحد‌های آتشفشانی نفوذی) دارد. سامانی (۱۳۸۱) بسیاری از کانسارهای مس در کمربند فلززایی تروند-عباس‌آباد را جزو کانسارهای مس مانو نامیده است؛ از جمله معدن بزرگ، دامن‌جلا، چاه‌موسی و غیره که محدوده چاه‌مورا با توجه به ویژگی‌های بررسی شده از این امر مستثنی نیست. همچنین حضور توده‌های نیمه‌آتشفشانی نیز با توجه به عوامل زیر دارای اهمیت و کنترل‌کننده است. در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از شواهد صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی (سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری) و نتایج تجزیه‌های مختلف روی نمونه‌ها در این محدوده معدنی به مقایسه کانه‌زایی مس چاه‌مورا با نوع‌های کانه‌زایی مشابه در دنیا و ایران پرداخته و در پایان نوع احتمالی برای کانه‌زایی مس ارائه شود (جدول‌های ۶ و ۷). همه ویژگی‌هایی که در مورد کانه‌زایی مس در بخش‌های پیشین ارائه شده است، موجب شد که به منظور مقایسه و تعیین نوع کانه‌زایی و مدل زایشی ذخیره مس چاه‌مورا، به مطالعه و مقایسه کانسارهایی پرداخته شود که در سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند. از مقایسه با ذخایر سولفید توده‌ای پرهیز می‌شود، چون نه از دید پاراژن کانیایی و نه از دید بافت‌شناسی نقاط مشترک میان ذخیره چاه‌مورا و کانسارهای سولفید توده‌ای دیده نمی‌شود. بدین منظور، با توجه به شواهد بیان شده در مورد کانسار چاه‌مورا، کانی‌سازی در این کانسار با سه نوع کانسار مقایسه می‌شود:

- کانسارهای مس نوع میشیگان

- کانسارهای مس در طبقات سرخ آتشفشانی

- کانسارهای مس نوع مانو

برای مشخص شدن نوع کانه‌زایی چاه‌مورا برخی از ویژگی‌های شاخص در کانسارهای بالا با آن مقایسه شده است:

- **محیط زمین‌ساختی:** کانسارهای مس مانو و یا کانسارهای چینه‌کران مس در کشور شیلی به نسبت فراوان هستند که در سکانس‌های آتشفشانی-رسوبی رخ داده‌اند که آشکارا در ارتباط با سامانه‌های کمان ماگمایی و مربوط به ژوراسیک، کرتاسه و حتی اوائل ائوسن هستند (Ruiz et al., 1965). کانسارهای مس در لایه‌های سرخ آتشفشانی (VRB) به‌طور معمول در جایگاه‌های زمین‌ساختی کافت‌های درون قاره‌ای همراه با توالی‌های بازالت سیلابی سطحی (در تماس با هوای آزاد) و نزدیک حاشیه صفحات به همراه جزایر و آتشفشان‌های کمان قاره‌ای یافت می‌شوند (Cabral and Beaudoin, 2007). بررسی‌های ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و اصلی، محیط زمین‌ساختی کشتی با منشأ گوشته‌ای و آلودگی کم پسته‌ای را برای محیط تشکیل کانسارهای مانو در شیلی تأیید کرده است. منطقه معدنی چاه‌مورا، بر پایه مطالعات زمین‌شیمیایی در محیط زمین‌ساختی، کمان ماگمایی مرتبط با فروروانش در زیر پهنه نفوذی-آتشفشانی تروند-چاه‌شیرین تشکیل شده است. بررسی‌های انجام شده روی دایک‌ها و شکستگی‌های محدوده نشان‌دهنده تمرکز آنها با نواحی تحت کشش بوده است. در منطقه چاه‌مورا، ماهیت سنگ‌های میزبان و همراه شامل آندزیت و آندزیت‌بازالت، تراکی آندزیت تا تراکی آندزیت-بازالت کالک آلکالین با میزان پتاسیم بالا و شوشونیتی است. بی‌هنجاری منفی عنصر Eu در نمودارهای

ترسیمی محدوده مورد مطالعه در بیشتر کانسارهای نوع VRB و مانو مانند (Boris Angelo) معمول است.

- **سن کانه‌زایی:** در شمال شیلی، ذخایر مس مانو بیشتر در واحدهای آتشفشانی ژوراسیک گسترش یافته در رشته ساحلی (Costal range) میزبانی می‌شوند که از جمله آنها می‌توان کانسارهای Mantos Blanco و Michilla را نام برد و نیز شماری از این نوع کانسارها در سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی کرتاسه آغازین رخ داده‌اند و حتی شماری کانسارهای جوان‌تر از این نوع در کرتاسه پسین مشابه کانسار Cerro Negro و شماری نیز مانند BorisAngelo در ائوسن تشکیل شده‌اند (Cornwal, 1956). کانی‌سازی مس در لایه‌های سرخ آتشفشانی (VRB) به‌طور معمول از زمان پروتروزوییک تا ترشیری رخ داده است. کانه‌زایی مس چاه‌مورا در توالی آتشفشانی-رسوبی در زمان ائوسن (همزمان با گسلش جوان و تزریق توده‌ها) رخ داده است.

- **سنگ میزبان:** معمول‌ترین سنگ میزبان این کانسارها (مانو و لایه‌های سرخ آتشفشانی) را سنگ‌های آذرآواری (Pyroclastic) و گدازه‌های آندزیتی آمیگدالوئیدال در توالی آتشفشانی آندزیتی-بازالتی کالک آلکالین تا آندزیتی-داسیتی می‌دانند (Ruiz et al., 1965; Tosdal and Munizaga, 2003; Tristá-Aguilera et al., 2006). سنگ‌های آندزیت-آندزیت‌بازالت و تراکی آندزیت رخنمون یافته در منطقه چاه‌مورا، منسوب به سن ائوسن، میزبان رگه‌های بسیار دارای کانی‌سازی‌های مس هستند. نکته قابل توجه در این واحدها حضور مگاپورفیرهای پیروکسن در آنهاست. در مقاطع بافت حفره‌ای (آمیگدالوئیدال) دیده می‌شود که آمیگدال‌ها با زئولیت، کلسیت و کوارتز پر شده‌اند.

- **پاراژن کانیایی:** از دید کانی‌شناسی کانسارهای مس مانو بیشتر شامل کالکوپیریت، بورنیت (Wilson and Zentilli, 2006)، پیریت، دارای مقادیری کانی‌های کالکوسیت، کولیت و اسپکولاریت و از دید شکل توده بیشتر چینه‌سان هستند و یا از توده‌های نامنظم شکل گرفته‌اند که به واحدهای چینه‌ای آتشفشانی یا رسوبی محدود شده‌اند (Ruiz et al., 1965; Espinoza et al., 1996; Ramirez et al., 2006). در برخی کانسارها مقدار کالکوسیت از بورنیت بیشتر است و در برخی کانسارها مقادیری تترایدیریت، گالن و اسفالریت هم دیده می‌شود (Maksaev and Zentilli, 2002). کانی‌های اصلی مس در کانسارهای مس در لایه‌های سرخ آتشفشانی نیز شامل کالکوسیت، بورنیت و مس طبیعی است (Cabral and Beaudoin, 2007). محصول فرعی همراه مس در این نوع ذخایر، نقره است. در کانسار چاه‌مورا، رگه‌ها بیشتر کانی‌شناسی ساده داشته است. بیشتر کالکوسیت اولیه و پس از آن کولیت کانی‌های سولفیدی چیره به شمار می‌آیند و مقادیری دیژنیت، کالکوپیریت و پیریت نیز حضور دارند. میزان نقره در کانسار چاه‌مورا ۰/۱ تا ۴ پی‌پی‌ام متغیر است.

- **بافت و ساخت ماده معدنی:** کانی‌سازی به‌صورت پراکنده، رگه‌ای، پراکنده بادامک‌ها و شکستگی‌ها رخ داده است. در کانسار چاه‌مورا، کانه‌زایی با ژئومتری رگه و رگچه، پراکنده فضای خالی و پراکنده در واحدهای آتشفشانی-آذرآواری رخ داده است.

- **دگرسانی و باطله:** در کانسارهای مس مانو مهم‌ترین دگرسانی‌ها عبارتند از هماتی، کلریتی، اپیدوتی، آلپیتی، سیلیسی، کلسیتی، اسفنی و زئولیتی شدن (e.g. Espinoza et al., 1996; Trista-Aguilera et al., 2006). دگرسانی‌های رخ داده در کانسار چاه‌مورا بیشتر سیلیسی، کلسیتی، کلریتی، رسی، زئولیتی و اکسیدی (هماتی) است. دگرسانی هماتی دگرسانی اصلی است که در سنگ میزبان کانه‌زایی دیده می‌شود و مرتبط با فرایندهای کانه‌ساز است. این دگرسانی در همه بخش‌های میزبان کانه‌زایی دیده می‌شود. رخداد دگرسانی هماتی با کانه‌زایی مس همزمان بوده و در همراهی با سولفیدهای مس تشکیل شده است. رخداد دگرسانی هماتی تحت تأثیر فرایندهای کانه‌ساز یکی از ویژگی‌های آشکار کانسارهای مس نوع مانو است (Wilson et al., 2003). در کانسار چاه‌مورا باطله اصلی کربنات

۱۰- نتیجه‌گیری

با توجه به داده‌های ارائه شده در این پژوهش، کانسار مس چاه‌مورا همانندی‌های فراوانی با کانسارهای نوع مانتو و لایه‌های سرخ آتشفشانی (VRB) نشان می‌دهند. در کانسار مس چاه‌مورا توالی چینه‌ای میزان بیشتر از نوع گدازه‌ای و آذرآواری و همچنین رخداد کانه‌زایی بیشتر به صورت رگه-رگچه و پرکننده فضای خالی محدود به واحدهای آندزیتی، آندزیت-بازالت و تراکی آندزیت است. در این کانسار به‌طور چیره کانی‌سازی در دو مرحله درون‌زاد (سولفیدهای اولیه) و برون‌زاد (سولفیدهای ثانویه) وجود دارد. کانی‌های سولفیدی در مقاطع صیقلی و همچنین در نمونه‌های دستی شامل پیریت، کالکوپیریت و کالکوسیت به صورت کانه‌های اولیه و کولیت، دیژنیت، کوپریت و مالاکیت به عنوان کانه‌های ثانویه است. در طی رخداد فرایند برون‌زاد نیز هماتیت با کانی‌های سولفیدی و اکسیدی تشکیل شده است. ساخت و بافت در کانسار چاه‌مورا شامل پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه-رگچه‌ای و جانیشینی است. گسل‌ها، درزه‌ها، شکستگی‌ها و توده‌های نیمه‌آتشفشانی، مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده مواد معدنی هستند که معبری مناسب برای حرکت و چرخه سیال‌های گرمایی کانه‌دار ایجاد کرده و افزون بر این سبب تمرکز رگه‌های کانه‌دار و افزایش عیار اقتصادی مس در محدوده شده‌اند. به نظر می‌آید، بر پایه مشاهدات صحرایی، بیشتر رگه‌های کانه‌دار در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌های عادی با راستای شمال‌خاور-جنوب‌باختر و بیشتر در همبری توده‌های نیمه‌ژرف با واحدهای آتشفشانی پراکنده شده‌اند. با توجه به گسترده‌گی رویداد دگرسانی‌های سیلیسی، کلریتی، هماتی، کلسیتی، زئولیتی و سریستی در کانسار چاه‌مورا، می‌توان چنین در نظر گرفت که سیال‌های گرمایی فعال شده، در طی تزریق توده‌های نیمه‌آتشفشانی به درون واحدهای میزان فلز مس را از واحدهای میزان شسته و پس از چرخش در واحدهای سنگی و حرکت به سوی بالا، در درز و شکستگی‌های سنگ میزان نهشت داده است. اما فرایند هماتی شدن در کانسار چاه‌مورا اهمیت زیادی دارد؛ به گونه‌ای که مجموعه سنگ‌های دارای کانه‌زایی دارای میزان بالایی از هماتیت هستند. بررسی میانبارهای سیال در این کانسار نشانگر رخداد کانه‌زایی مس در نتیجه آمیختگی سیال‌های گرمایی وابسته با سیال‌های جوی است. همچنین ارتباط ژنتیکی بالای مس با نقره طی مطالعات ژئوشیمی در یافتن نوع احتمالی کانسار همچون دیگر کانسارهای مشابه کمک می‌کند. تفاوت آشکار آن با نوع میشگان از دید سنگ میزان کانه‌زایی و کانه اصلی است. در نوع میشگان مس طبیعی به عنوان کانه اصلی است؛ در حالی که در محدوده چاه‌مورا کانی‌های سولفیدی کانه اصلی هستند. در نوع میشگان سنگ میزان در حد رخساره پرهینت-پومپله‌ایت دگرگون شده است اما در محدوده چاه‌مورا در سنگ میزان آثار دگرگونی دیده نمی‌شود. بنابراین بر پایه ویژگی‌های شناسایی شده، کانسار چاه‌مورا قابل مقایسه با کانسارهای مس نوع مانتو و کانسارهای مس نوع Volcanic red bed است؛ البته باید مطالعات بیشتر در منطقه انجام شود.

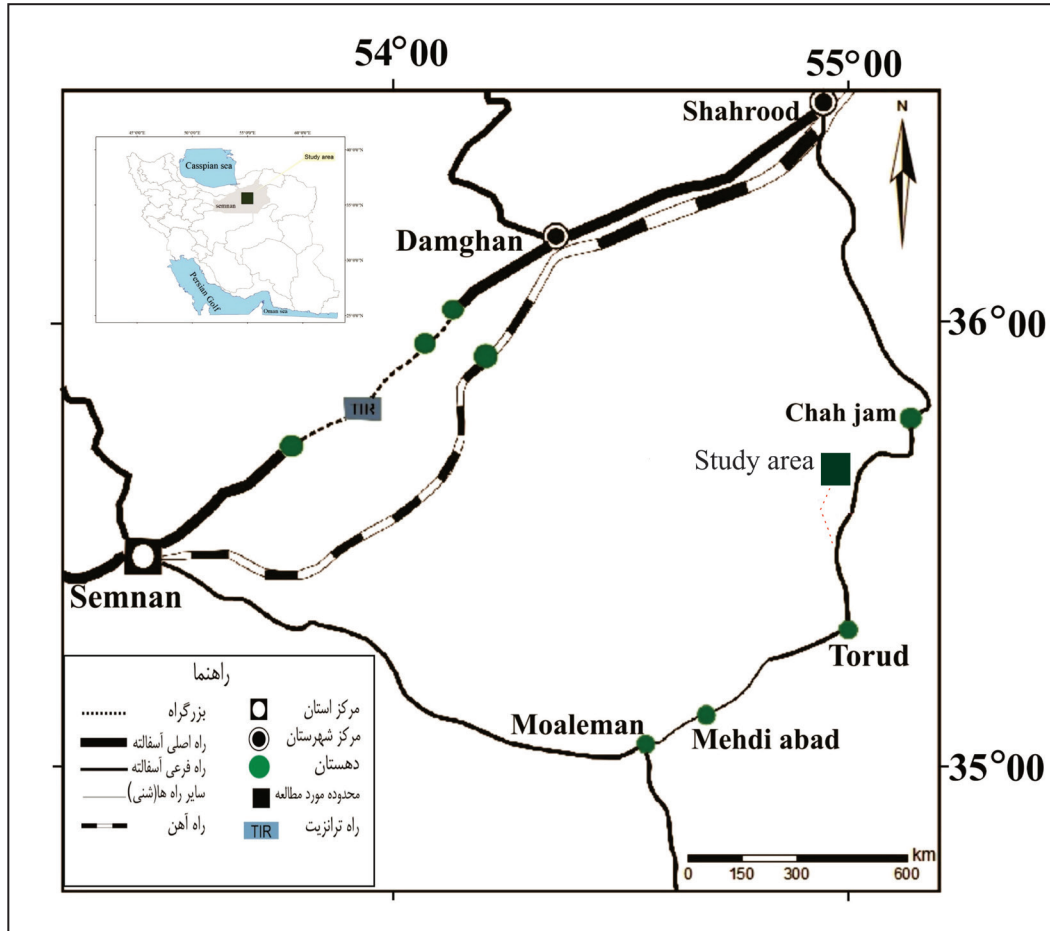
سپاسگزاری

در پایان از اساتید راهنما و مشاور و همچنین مسئولان محترم سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و شرکت پارس کانی به پاس همه یاری‌هایشان در انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

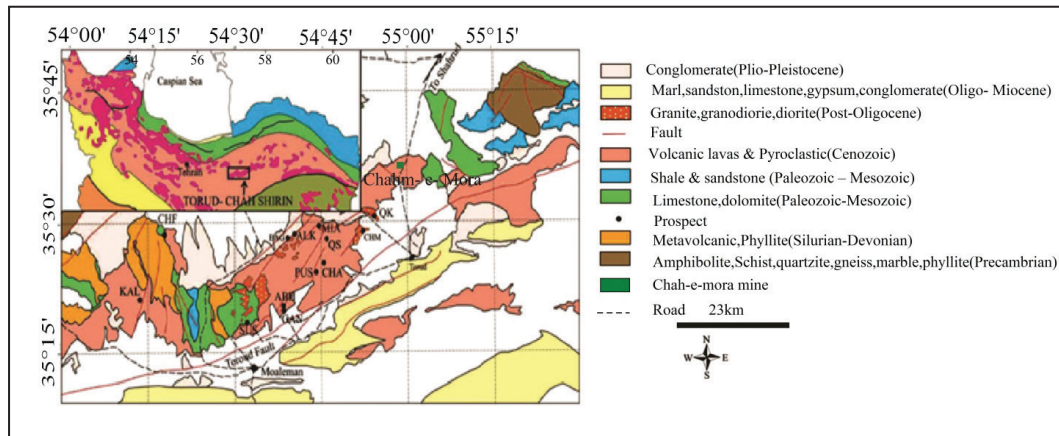
است که با مقادیری سیلیس، هماتیت، کلریت و زئولیت همراهی می‌شود. همراهی این کانی‌ها در یک رگه و در مجاورت یکدیگر بسیار جالب توجه بوده و تنها در برخی کانسارهای مس نوع مانتوی شیلی گزارش شده است (Wilson et al., 2003; Kojima et al., 2009).

منبع تأمین‌کننده احتمالی فلز مس؛ منبع تأمین مس در کانسارهای نوع مانتو متفاوت است. به‌طور چیره منبع تأمین مس را از واحدهای آتشفشانی غنی از مس می‌دانند. در برخی کانسارهای مس نوع لایه‌های سرخ آتشفشانی (Volcanic red bed) کانادا منبع مس را حاصل شست‌وشوی واحدهای سنگی تشکیل شده در محیط‌های ساحلی می‌دانند (Kirkham, 1996). در بسیاری از کانسارهای مختلف دنیا منبع مس را از واحدهای سنگی می‌دانند که وضعیت اکسیدان شدید دارند (Kirkham, 1996). تشکیل واحدهای سنگی در محیط ساحلی همراه با از هم پاشی و تخریب بلورها می‌تواند موجب آزاد شدن فلزات مختلف از جمله مس شود. فلز آهن نیز در این زمان به همین صورت آزاد می‌شود. بنابراین این نوع واحدهای سنگی به عنوان منابع غنی فلزات در نظر گرفته می‌شوند. در کانسار چاه‌مورا، میزان مس با توجه به نتایج تجزیه ICP، در سنگ‌های میزان (۶۵ تا ۸۰۰ پی‌پی‌ام) و در توده‌های نیمه‌آتشفشانی (۸۱ تا ۷۰۷ پی‌پی‌ام) نسبت به میزان معمول آن غنی شدگی نشان می‌دهند؛ اما توده نیمه‌آتشفشانی و دایک‌های مرتبط با آن بدون هر گونه کانه‌زایی هستند. بنابراین چنین نتیجه‌گیری می‌شود که عنصر مس افزون بر سنگ‌های میزان می‌تواند از توده‌ها نیز منشأ گرفته باشد. در نتیجه هجوم این سنگ‌های غنی از مس به درون سنگ‌های میزان، درز و شکستگی فراوانی ایجاد شده است. به وجود آمدن شکستگی‌ها در سنگ‌های درونگیر بر اثر جایگیری بر پایه مطالعات Sato (1984) یکی از عوامل مهم برای تشکیل کانسارهاست.

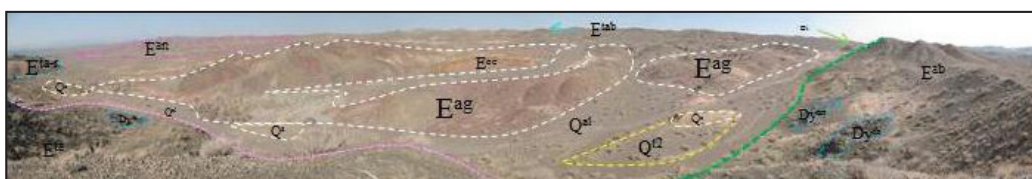
بر پایه مطالعات کانه‌نگاری، ژئوشیمی و میانبارهای سیال، حضور توده‌ها به همراه دایک‌ها به عنوان تغذیه‌کننده در سنگ‌های مولد مس بوده و از سویی سبب انتقال سیال‌های وابسته و غنی‌سازی محلول‌های گرمایی و آمیختگی با آب‌های جوی شده است و در زمان تزریق به درون واحد میزان، فلز مس را از واحدهای میزان شسته، با خود حمل و در هنگام حرکت به سوی بالا در درز و شکستگی‌های سنگ میزان نهشت داده است. همچنین واکنش میان سیال‌های خارج شده از توده‌های نیمه‌آتشفشانی و سنگ‌های آتشفشانی سبب گسترش دگرسانی گرمایی شده است. میانبارهای سیال: میزان دما و شوری اندازه‌گیری شده برای کانسارهای مختلف نوع مانتو متفاوت بوده است. تغییرات دماهای اندازه‌گیری شده از ۶۴ (در کانسار Buena Esperanza) تا ۶۰۱ (در کانسار Mantos Blancos) درجه سانتی‌گراد و درجه شوری از ۱/۵ (در کانسار Lo Aguirre) تا ۶۲ درصد وزنی نمک طعام (در کانسار Mantos Blancos) متغیر است (Ramirez et al., 2006; Kojima et al., 2009). دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال، در بیشتر کانسارهای نوع مانتو شیلی در حد متوسط (۱۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد) است. درجه شوری در این کانسارها نیز مقادیر متوسط در محدوده ۱۵ تا ۳۰ درصد وزنی نمک طعام نشان می‌دهد. دمای همگن‌شدگی میانبارها در کانسار چاه‌مورا میان ۱۴۵ تا ۳۳۰ درجه سانتی‌گراد و درجه شوری سیال آن میان ۰/۹۷ تا ۷/۰۷ درصد وزنی نمک طعام متغیر است که این دما و شوری نیز منشأ احتمالی گرمایی را برای این سیال‌ها نشان می‌دهد.



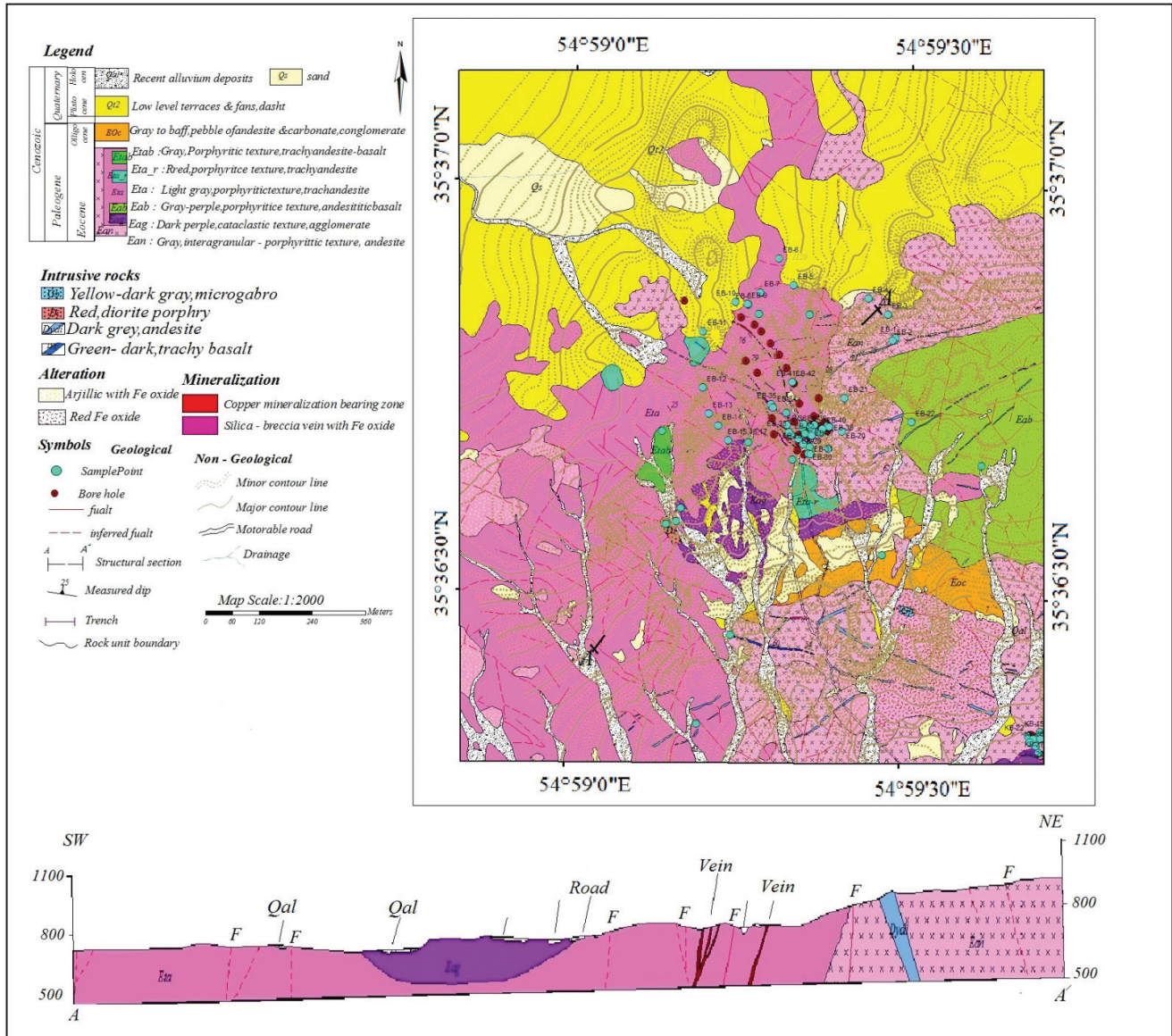
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده چاه مورا و راه های دسترسی به آن.



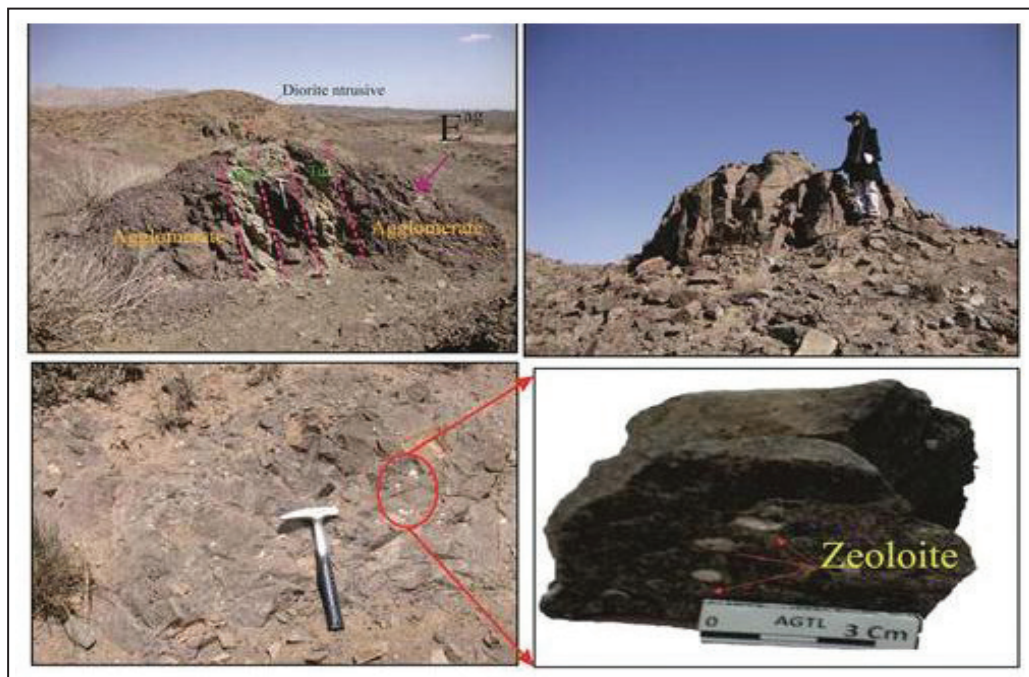
شکل ۲- A و B) موقعیت برخی از کانسارها و محدوده چاه مورا در کمان ترود- چاه شیرین (برگرفته از حقیقی، ۱۳۸۹). ABH: سرب- روی ابوالحسینی؛ ALK: مس علیخان؛ BAG: طلای باغو؛ CHA: مس - سرب چشمه حافظ؛ CHM: مس چاه موسی؛ CHF: مس چاه فراخ؛ GAN: مس - طلا- سرب - روی گندی؛ KAL: مس کلاته؛ LAR: سرب لارستان؛ MIA: مس - طلای میرعلی؛ PUS: مس - سرب پوسیده؛ QK: سرب - روی قله کفران؛ QS: مس قله سوخته؛ SUS: سرب - روی سوسنوار.



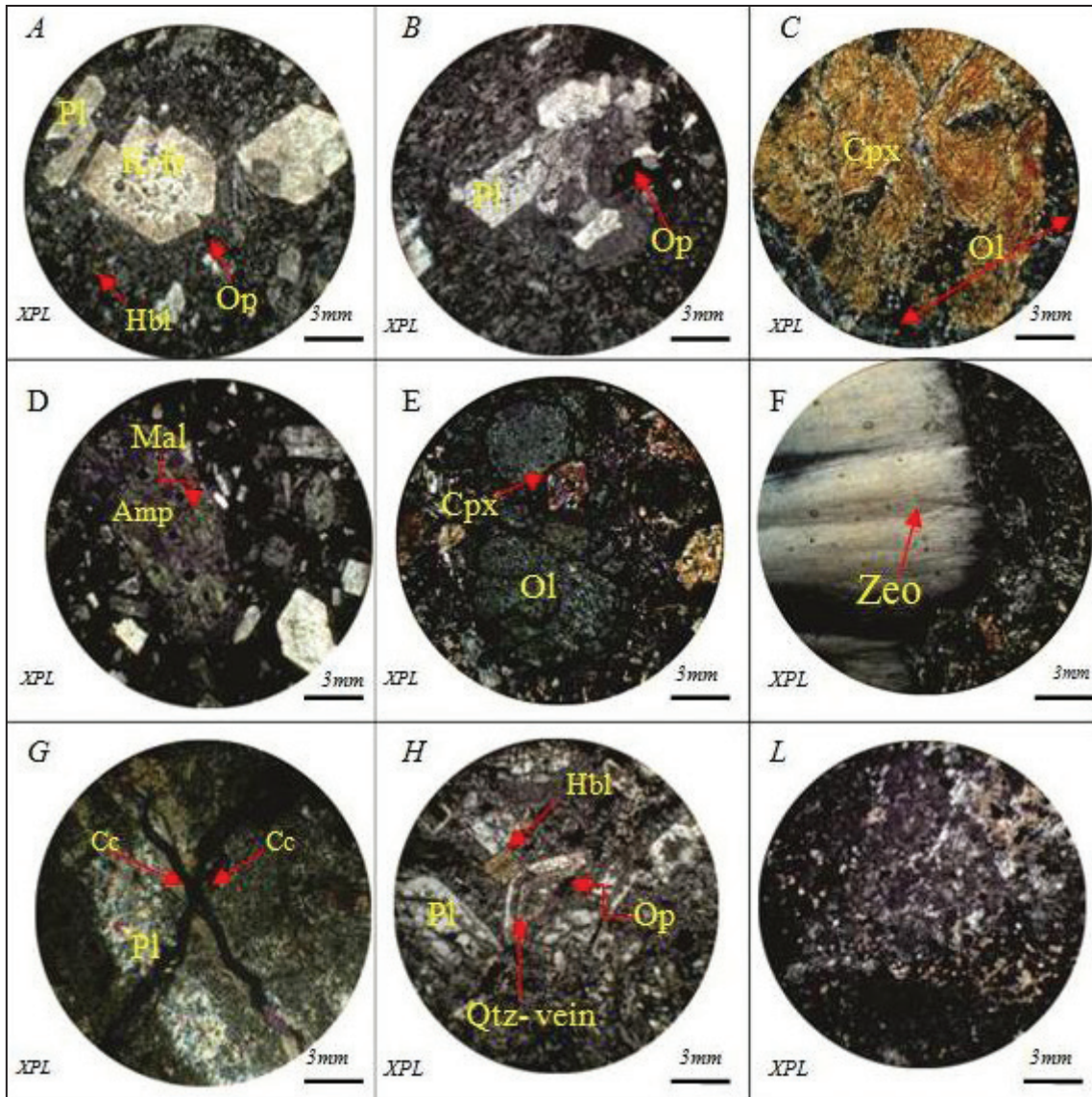
شکل ۳- نمایی پاناراما از واحدهای زمین شناسی به همراه توده های تزریق شده (دید به سوی شمال خاور تا شمال باختر).



شکل ۴- نقشه زمین شناسی - معدنی محدوده چاه‌مورا (بداخشان، ۱۳۹۰).



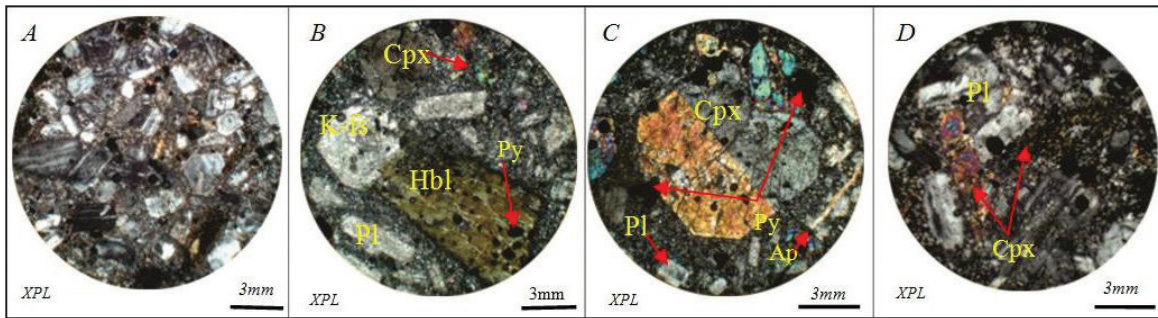
شکل ۵- نمایی از (A) تناوب توف و آگلومرا؛ (B) گدازه‌های آندزیت بازال؛ (C) و (D) بادامک‌های پرشده از زئولیت در واحد آندزیت.



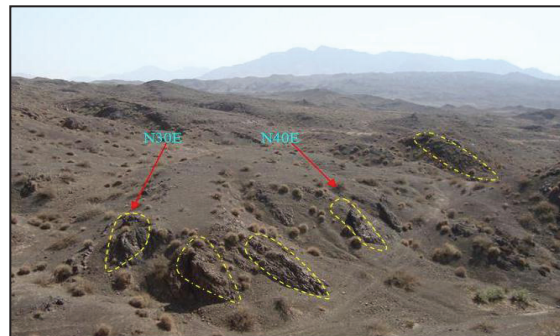
شکل ۶- نمایشی از (A) بافت پورفیریک متشکل از پلاژیوکلاز (Pl)، فلدسپار پتاسیم (K-fs)، هورنبلند (Hbl) در زمینه هیالومیکرولیتیک (آندزیت بازال)؛ (B) بافت گلو مری و پورفیریک حاصل از اجتماع بلورهای پلاژیوکلاز (Pl) غربالی شده در زمینه جریان تراکتی. برخی کانی‌های کدر (Op) درون فضاهای تأخیری دیده می‌شود (تراکی آندزیت)؛ (C) یک مگاپورفیر کلینوپیروکسن (Cpx) که دارای دو سیستم رخ کاملاً آشکار است (آندزیت بازال)؛ (D) درشت بلور احتمالی آمفیبول (Amp) که توسط اورالیت و مالاکیت (Mal) جایگزین شده است (تراکی آندزیت بازال)؛ (E) بلورهای کاملاً خود شکل الومین اولیه (Ol)، که به کلریت-سریانتین تبدیل شده‌اند. دیواره‌های بلور و درون شکستگی‌ها توسط مجموعه ایدینگزیتی شده پر شده است (آندزیت بازال)؛ (F) حاشیه یک آمیگدال پر شده از زئولیت (Zeo) میکروگسلش همراه با شکل‌گیری رگچه کوآرتز (Qtz) دارای کانه که موجب جابه‌جایی در دو سوی خود شده است (آندزیت بازال)؛ (H) دو رگچه کالکوسیت‌دار (Cc) متقاطع که درشت بلور پلاژیوکلاز (Pl) را در سنگ میزبان قطع کرده است و بیان از تأخیری بودن رگه دارد (آندزیت بازال)؛ (L) بافت پیرو کلاستیکی دارای قطعات فراوان آتشفشانی در زمینه هیالومیکرولیتیک.



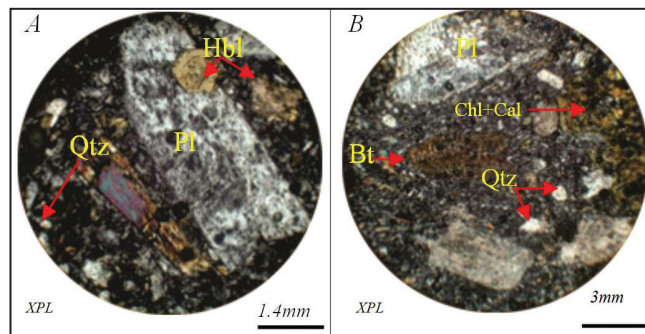
شکل ۷- نمایشی از توده‌های نیمه‌آتشفشانی گابرو دیوریتی گنبدی شکل (دید به سوی خاور).



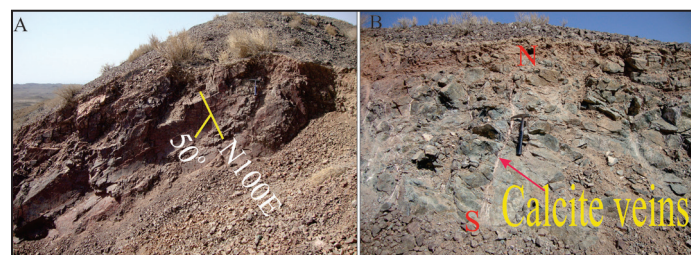
شکل ۸- نمایشی از: (A) بافت پورفیروئید در زمینه میکروگرانولار؛ (B) بلورهای پلاژیوکلاز (Pl)، کلینوپیروکسن (Cpx) و هورنبلند سبز (Hbl) دارای ادخال‌های کانی کدر (Op)؛ (C) بلور کلینوپیروکسن (Cpx) کاملاً خودشکل دارای ماکل نیمه‌ای و ادخال‌های فراوانی از کانی کدر پیریت (Py) و یک بلور آپاتیت (Ap).



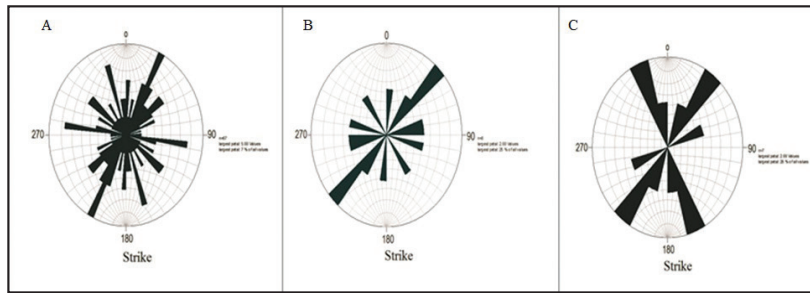
شکل ۹- نمایشی از تزریق دو سیستم دایک تراکی‌بازالت و آندزیتی (دید به سوی جنوب).



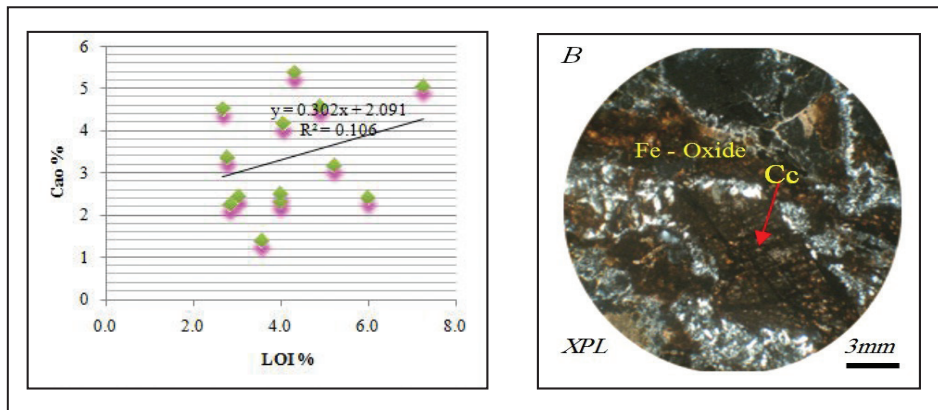
شکل ۱۰- نمایشی از: (A) پیروکسن نوع اوژیت تیتانیم‌دار سالم مربوط به واحد میزبان در مجاورت یک پیروکسن کاملاً تخریب شده که احتمالاً مربوط به واحد زینولیت هستند؛ (B) ادخال هورنبلند درون درشت‌بلور پلاژیوکلاز و کربناتی شدن در قالب یک بلور فرم‌میزین اولیه؛ (C) یک درشت‌بلور بیوتیت به فرم بلوری صفحه‌ای، بیشتر سالم و تا حدودی خمش ماکلی در آنها قابل تشخیص است.



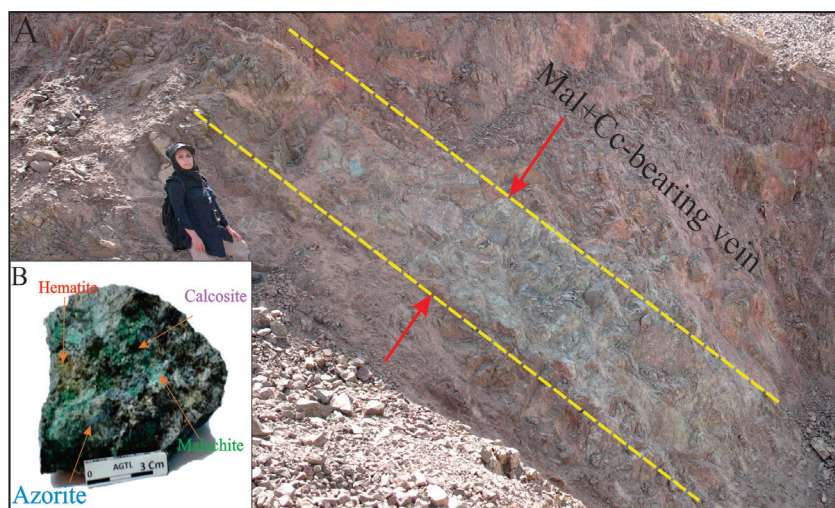
شکل ۱۱- نمایشی از: (A) روند واحد آتشفشانی ارغوانی رنگ Ean (دید به سوی شمال خاور)؛ (B) رگچه‌های کلسیتی با امتداد شمالی- جنوبی در سوی عمود بر توده نفوذی نیمه‌ژرف دیوریتی (دید به سوی شمال).



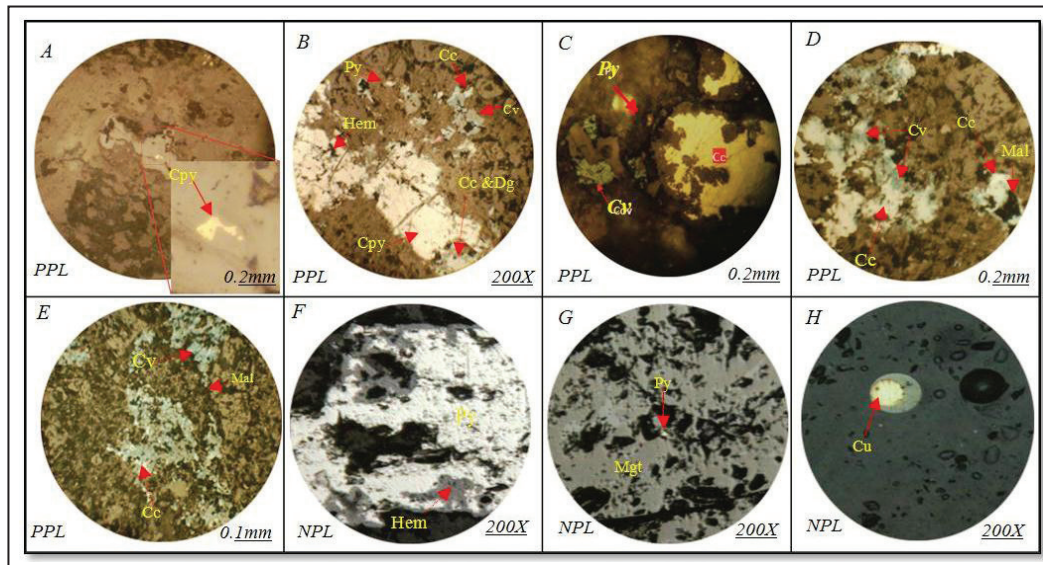
شکل ۱۲- نمودار گل‌سرخ‌ی در ارتباط با روندهای اندازه‌گیری شده: (A) رگه‌های معدنی؛ (B) سنگ میزبان کانه‌زایی و دایک‌ها؛ (C) گسل‌ها.



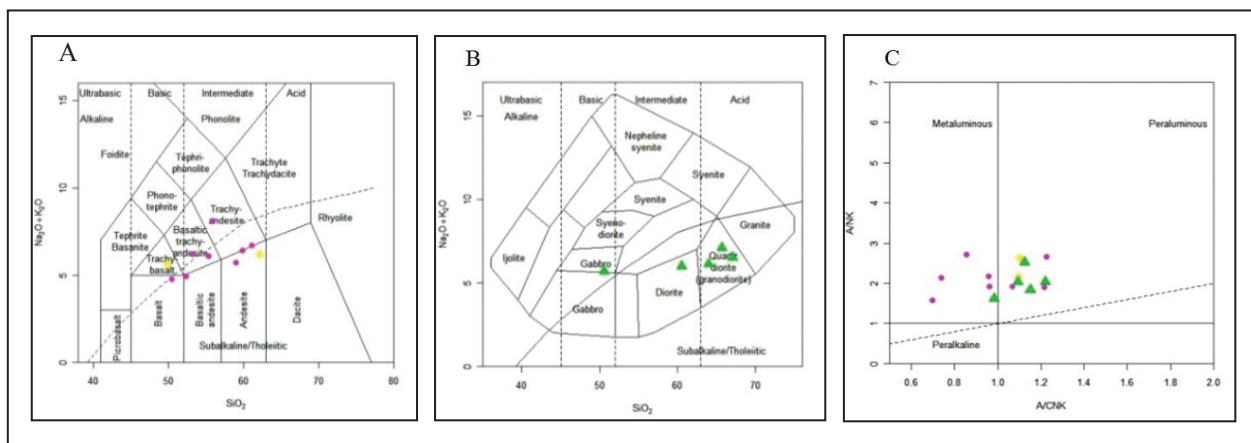
شکل ۱۳- (A) نمودار تغییرات کلسیم (Ca) در برابر درصد مواد فرار (LOI)؛ (B) آغشتگی رگچه متقاطع کالکوسیت (Cc) با اکسید آهن (Fe-oxide).



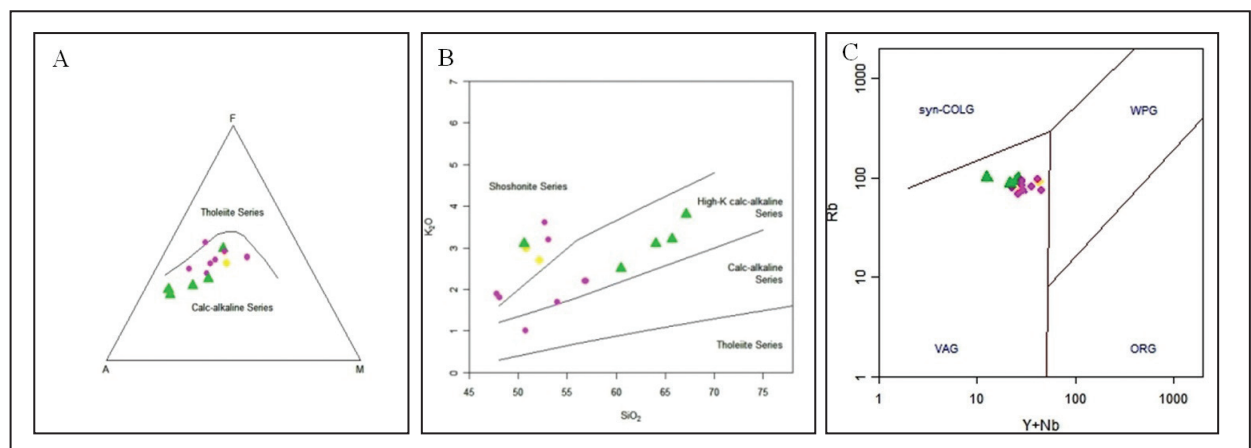
شکل ۱۴- نمایی از: (A) یک رگه مس با راستای شمال‌خاور- جنوب‌باختر (دید به سوی شمال‌خاور- جنوب‌باختر)؛ (B) نمونه دستی دارای کانی‌های ثانویه مس.



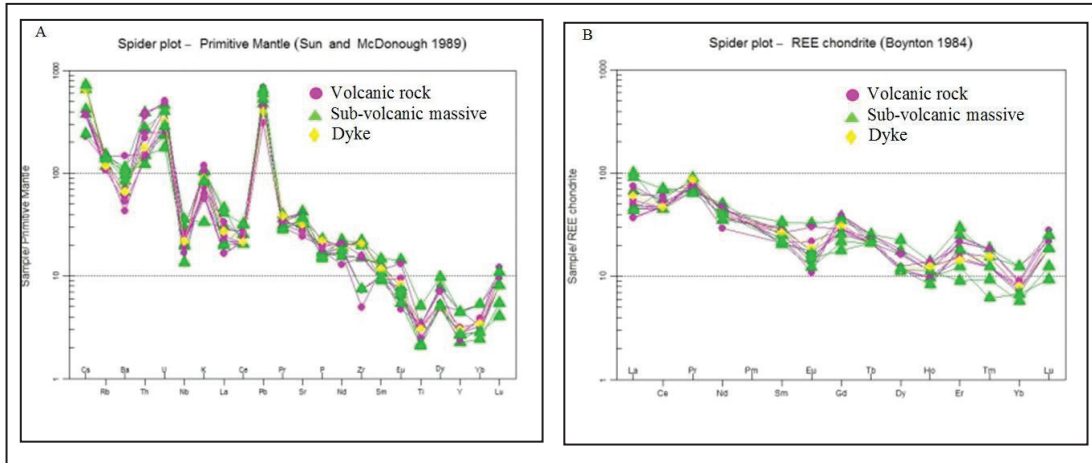
شکل ۱۵- نمایی از: (A) بلورهای درشت کالکوپیریت (Cpy) با بافت باقیمانده؛ (B) رگه متشکل از کالکوپیریت (Cpy) اولیه که در حال تبدیل به کانی‌های کوولیت (Cv) دیژنیت (Dg) همراه با تیغه‌های هماتیت (Hem) است؛ (C) نمایی از کالکوسیت اولیه (Cc) در همراهی با کانی پیریت (Py)؛ (D) بافت رگه-رگه‌ای متشکل از کانی کالکوسیت اولیه (Cc) که در حاشیه با کانی کوولیت (Cv) جانشین شده است؛ (E) رگه پرشده با کالکوسیت (Cc)، کوولیت (Cv) و مالاکیت (Mal)؛ (F) بلور پیریت (Py) که در اثر فرایندهای پروژاد به شدت در حال جایگزینی توسط هماتیت (Hem) است؛ (G) ادخال پیریت (Py) درون مگنتیت (Mgt)؛ (H) بلورهای مس آزاد (Cu).



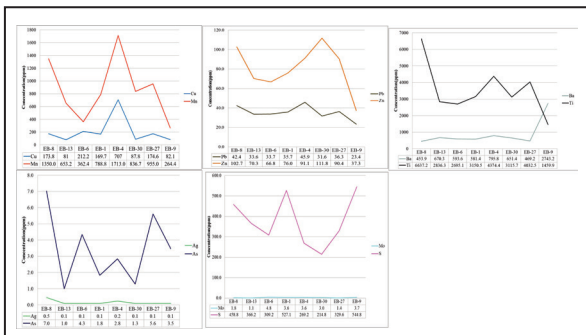
شکل ۱۶- (A) موقعیت سنگ‌های آتشفشانی و دایک‌ها روی نمودار TAS، $Na_2O + K_2O$ در برابر SiO_2 (Le Base et al., 1986)؛ (B) موقعیت توده‌های نفوذی نیمه‌ژرف روی نمودار TAS، $Na_2O + K_2O$ در برابر SiO_2 (Cox et al., 1979)؛ (C) نمودار تعیین شاخص آلومینیم (Shand, 1943).



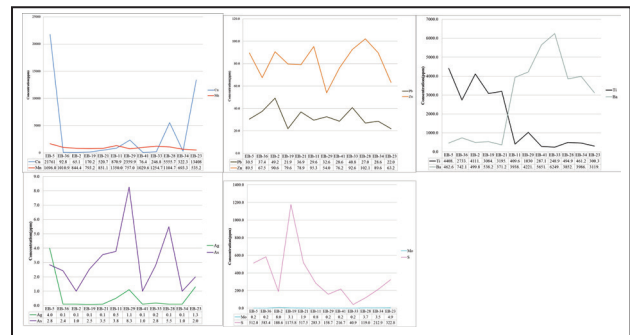
شکل ۱۷- (A) نمودار تعیین سری ماگمایی (Irvine and Baragar, 1971) AFM ($FeO-MgO-Na_2O+K_2O$)؛ (B) نمودار تعیین سری ماگمایی (Pearce et al., 1984) $Y+Nb$ در برابر Rb ؛ (C) نمودار تعیین موقعیت زمین‌ساختی بر پایه SiO_2 (Peccerillo and Taylor, 1976).



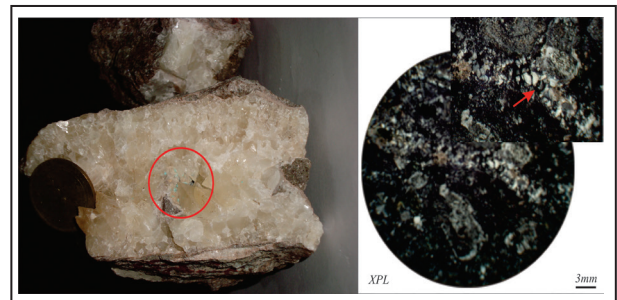
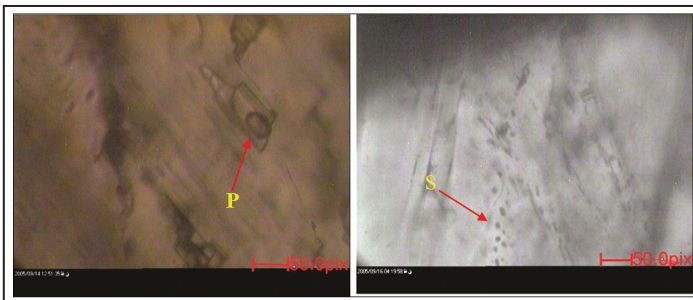
شکل ۱۸- A) نمودار بهنجار شده عناصر فرعی سنگ‌های منطقه در برابر گوشته اولیه؛ داده‌های بهنجار شده از (Sun and McDonough 1989)؛ B) نمودار بهنجار شده (REE) سنگ‌های منطقه در برابر کندریت؛ داده‌های بهنجار شده از (Boynton 1984).



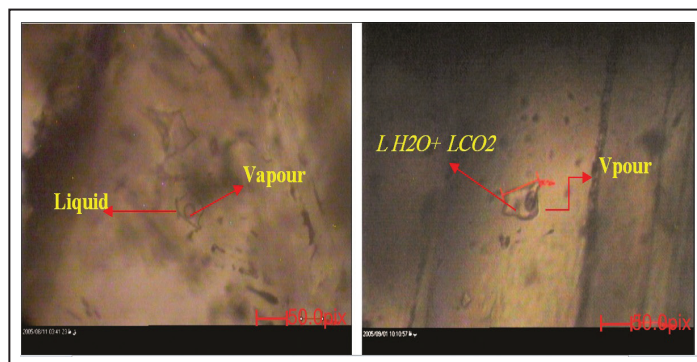
شکل ۲۰- نمودارهای تغییرات مس با عناصر همراه آن در توده‌های نفوذی نیمه‌زرف.



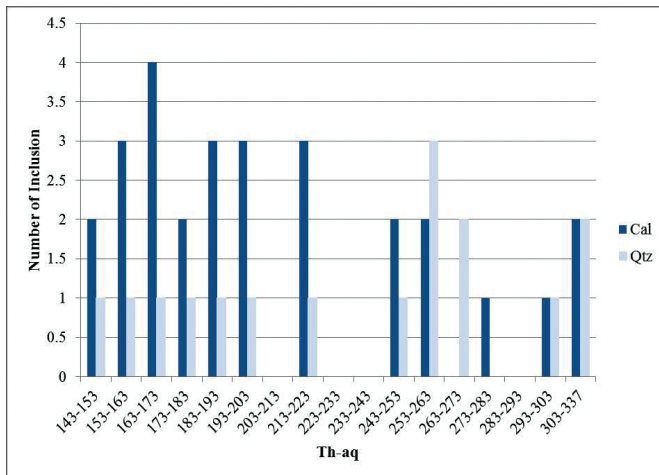
شکل ۱۹- نمودارهای تغییرات توزیع عناصر مس و عناصر همراه آن در واحدهای میزبان.



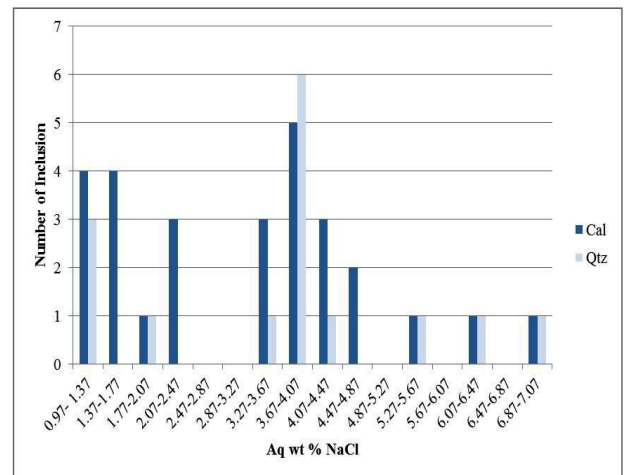
شکل ۲۱- نمایی از (A) همراهی کانه‌های مس دار با کانی باطله کلسیت؛ (B) میانبارهای سیال ثانویه با نشانه S؛ (C) میانبارهای سیال اولیه با نشانه P. (B) رگچه کوآرتزی دارای کانه مس که متن سنگ میزبان را قطع کرده است.



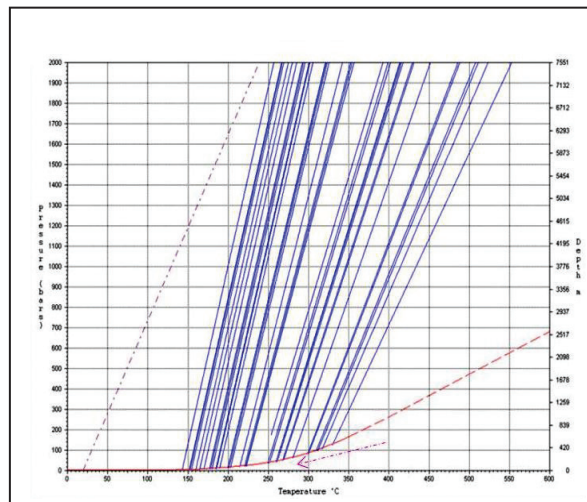
شکل ۲۳- نمایی از میانبارهای سیال نوع A؛ نمایی از میانبارهای سیال نوع B.



شکل ۲۵- نمودار ستونی اندازه گیری تغییرات میزان دمای همگن شدگی (Th).

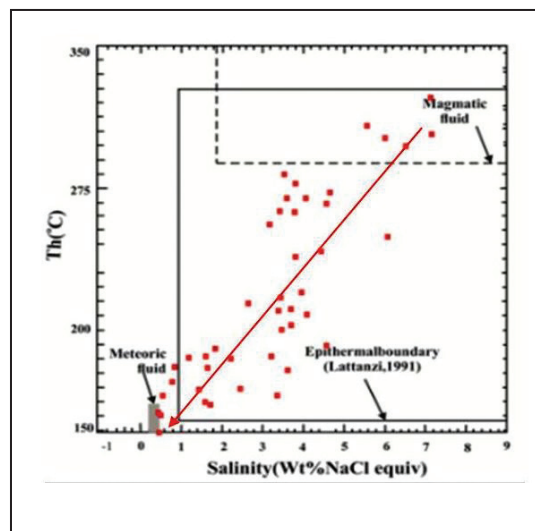


شکل ۲۴- نمودار ستونی اندازه گیری تغییرات میزان شوری (Aq wt % NaCl).



شکل ۲۶- نمودار دما- شوری برای تعیین مقدار فشار و ژرفا (Yermakov and Wilson, 1965).

(Potter, 1977; Kennedy, 1950).



شکل ۲۷- موقعیت سیال‌های منطقه چاه‌مورا در نمودار برگرفته از Hedenquist et al. (2000) بر پایه این نمودار عامل اصلی ناپایداری کمپلکس‌های حامل مس و تن‌نشست ماده معدنی، آمیختگی سیال کانه‌ساز با آب‌های جوی است.

جدول ۱- نتایج پراش پرتو ایکس کانه‌های مس و کانی‌های دگرسانی در کانسار چاه‌مورا.

Sample number	Analysis method	Results
EB-26	XRD	Anortite, Montmoriionite, Calcite, Cometite
EB - 41	XRD	Albite, Diopside, Clinochlore
KB-25	XRD	Quartz, Albite, Ortoclase, Hematite, Chalcocite, Tenorite, Ruquesite (Cu In S ₂), Mgrite (Cu ₃ As Se ₄), Ferrokesterite (Cu ₄ Fe Zn ₃), Montmoriionite
KB-28	XRD	Malachite, Atachamite, Hematite

جدول ۲- توالی پاراژنزی از کانی‌های تشکیل دهنده مس در محدوده معدنی چاه‌مورا.

Minerals	Hypogen	Supergen	
		Sulfide	Oxide
Magnetite			
Hematite			
Pyrite			
Chalcopyrite			
Chalcosite			
Degenite			
Covelite			
Chalcopyrite-Tenorite			
Native-copper			
Malachite			
Azurite			
Atachamite			
Zeolite			
Quartz			
Calcite			
Hydroxide			

جدول ۴- ضرایب همبستگی اسپیرمن عناصر Cu, Mo, Pb, Zn, Ba, S, Ag در واحدهای کانه‌زا در منطقه چاه‌مورا.

Cu	1								
Mn	.143	1							
Pb	-.543	.143	1						
Zn	.029	.714	-.314	1					
Ag	.754**	.058	-.203	-.406	1				
As	.529*	.029	.314	.086	-.493	1			
Mo	.000	-.493	-.638	.174	-.353	-.377	1		
S	.686*	.086	.429	-.257	.232	-.714	-.058	1	
Ba	.086	.257	.257	.086	-.058	.829*	-.609	-.657	1
	Cu	Mn	Pb	Zn	Ag	As	Mo	S	Ba

جدول ۵- داده‌های ریزدماسنجی سیال درگیر محدوده چاه‌مورا.

Sample no.	Mineral	Position	Type	Origin	Size	n	Th total (°C)	Tm ice (°C)	Salinity Aqwt%NaCl
KB-20	Qtz	Cc-bearing Qtz vein	L+V	P	14*5	1	160	-0.8	1.89
KB-29	Cal	Cc-Mal-bearing Cal vein	L+V	P	10*6 to 48*16	15	165 to 299	-4.20 to -.8	1.37 to 6.39
EB-24	Qtz	Cc-Mal-bearing Qtz vein	L+V	P	9*3 to 48*10	15	165 to 317	-4 to 5.8	0.99 to 7.07
EB-25	Cal	Cc-bearing Cal vein	L+V	P	11*9 to 80*35	8	221 to 330	-4.2 to 5.6	3.39 to 7.07
EB-38	Cal	Mal-bearing Cal vein	L+V	P	10*4 to 25*24	5	143 to 170	-2.6 to 4.9	0.97 to 3.98

جدول ۶- نتایج مقایسه کانه‌زایی چاه‌مورا با کانسارهای مشابه خارجی.

ویژگی / کانسار	چاه مورا	Manto type	Volcanic Red- Bed	Michigan type
موقعیت	ایران (کانسار چاه‌مورا)	شیلی (مرکز شیلی) و آمریکای لاتین	آلمان- کانادا (کانسار مانت الکساندرا)	جزیره کویناو، ایالات متحده (کانسار میشیگان)
سنگ میزبان	آندزیت تا آندزیت بازالت پورفیری	گدازه‌های بازالتی و آندزیتی	گدازه‌های آتشفشانی مافیک تا فلسیک، توف و سنگ‌های رسوبی وابسته	بازالت‌های آمیگدالویدال با میان‌لا‌به‌های کنگلومرایی
سری ماگمایی	سری کالک آلکالن و شوشونیتی پتاسیم بالا	سری کالک آلکالن	سری کالک آلکالن	سری توله‌ای (ساب آلکالن)
جایگاه زمین‌شناختی	آتشفشانی قاره‌ای تا زیردریایی کم‌ژرفا	آتشفشانی نیمه‌قاره‌ای	آتشفشانی قاره‌ای تا زیردریایی کم‌ژرفا	.....
جایگاه زمین‌ساختی	کمان مرتبط با فروانش	کمان ماگمایی	کافت درون قاره‌ای و نزدیک به حواشی صفحات	.....
پاراژنز کانیایی	کالکوپیریت، کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت، کوپریت، مس طبیعی، مالاکیت و تنوریت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، کوپریت، مس طبیعی، مالاکیت و کریزو کلا	کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی، دیژنیت و کوولیت	مس طبیعی، کوپریت، مالاکیت، آزوریت، کریزو کلا، نقره طبیعی، کالکوسیت، دیژنیت
محصول فرعی	نقره؟	نقره	نقره	نقره
بافت ماده معدنی	رگه- رگچه‌ای، پراکنده، توده‌ای، پراکنده فضای باز	رگه‌ای و پراکنده فضای باز	پراکنده، پراکنده فضای باز، رگه- رگچه‌ای	افشان و پراکنده فضای باز
محصولات دگرسانی	کلسیت، کوارتز، کلریت، آلپیت، اسفن ژئولیت، سرسیت، ترمولیت- اکتینولیت	کلریت، آلپیت، کوارتز، اپیدوت	کلسیت، ژئولیت، اپیدوت، کلریت، آلپیت	کلسیت، کلریت، اپیدوت، کوارتز، پامپلیات و ژئولیت
سن کانه‌زایی	ترشیری	ژوراسیک	پروتروزویک تا ترشیری	پالتوزویک
منابع	بهرام‌پور (۱۳۹۳)	Sillitoe (1997)	Lefebure and Church (1996) Cabral and Beaudoin (2007)	Cornwall (1956)

جدول ۷- نتایج مقایسه کانه‌زایی مس چاه‌مورا با چند کانسار مشابه داخلی.

ویژگی / کانسار	کانسار معدنی چاه مورا	کانسار عباس‌آباد	اندیس معدنی دارهند	اندیس معدنی قله بولاغ	کانسار مس مجدر	کانسار مس چاه‌موسی	کانسار ورزنگ
موقعیت	۲۰ کیلومتری شمال تروند	۱۳۰ کیلومتری شمال خاوری شاهرود	۴/۵ کیلومتری نطنز	۶۵ کیلومتری جنوب خاوری زنجان	کوه‌های تالش	۱۵ کیلومتری غرب روستای تروند	۱۵ کیلومتری خاورقائن
سنگ میزبان	آندزیت تا تراکی آندزیت بازالت پورفیری	آندزیت تا آندزیت بازالت پورفیری	گدازه‌های آتشفشانی مافیک تا فلسیک، توف و سنگ‌های رسوبی وابسته	بازالت آمیگدالویدال	آندزیت مگا‌پورفیری	بیوتیت - هورنبلند آندزیت پورفیری	آندزیت تا آندزیت بازالت آمیگدالویدال
سری ماگمایی	کالک آلکالن و شوشونیتی پتاسیم بالا	آلکالن تا ساب‌آلکالن	...	...	-	کالک آلکالن غنی از پتاسیم	قلیایی
جایگاه زمین‌شناختی	آتشفشانی قاره‌ای تا زیردریایی کم‌ژرفا	...	...	...	-	فروانش	دریایی کم‌ژرفا تا قاره‌ای
جایگاه زمین‌ساختی	کمان مرتبط با فروانش	کافت درون قاره‌ای	...	...	-	کمان آتشفشانی	کافت درون قاره‌ای
پاراژنز کانیایی	کالکوپیریت (کم)، کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت، کوپریت، مس طبیعی، تنوریت، پیریت، مالاکیت و آتاکامیت	کالکوسیت، دیژنیت، بورنیت، کوولیت مس طبیعی، مالاکیت و آزوریت	مس طبیعی، کوپریت، تنوریت، مالاکیت و کمی پیریت	مس طبیعی، تنوریت، مالاکیت، آزوریت، کریزو کولا، مگنتیت، هماتیت و پیریت	مس طبیعی، مالاکیت، کالکوسیت، کوولیت و کوپریت	پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، دیژنیت و نئوتوسیت	کوولیت، کالکوسیت، بورنیت، دیژنیت، کوپریت و نوریت
محصول فرعی	نقره؟	نقره	نقره	نقره	نقره	نقره	نقره
بافت ماده معدنی	رگه- رگچه‌ای، پراکنده، پراکنده فضای باز، باقیمانده، جان‌شینی	رگه- رگچه‌ای، پراکنده، پراکنده فضای باز، اکسولشن	رگه‌ای	افشان و پراکنده فضای باز	رگه- رگچه‌ای و پراکنده فضای خالی	رگه‌ای - افشان	رگه، رگچه، پراکنده بادامک، دانه‌پراکنده
محصولات دگرسانی	کلسیت، سیلیس، کلریت، آلپیت، سرسیت، ترمولیت، مونت‌موریلونیت	سیلیسی، کرناتی، اپیدوتی، سرسیتی	...	کلسیت، اپیدوت، کلریت و ...	-	کلریت، کلسیت، سرسیت، کوارتز، اپیدوت	کرنات، اپیدوت، ژئولیت، کلریت، کوارتز
سن کانه‌زایی	ترشیری	تراز پایانی آتشفشانی انوسن	انوسن میانی - بالایی	پروتروزویک تا ترشیری	ترشیری	ترشیری	پالتوسن - انوسن
منابع	بهرام‌پور (۱۳۹۳)	صالحی (۱۳۹۱)	نظافتی (۱۳۷۹)	بهرزادی (۱۳۷۳)	خسته‌بند (۱۳۸۹)	امام‌جمعه (۱۳۸۵)	علیزاده (۱۳۸۹)

کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۸ ص.
- امام جمعه، ا.، ۱۳۸۵- زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژئز کانسار مس چاه‌موسی، شمال غرب تروند، استان سمنان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس. بدخشان، ق.، ۱۳۹۰- نقشه ۱:۲۰۰۰ زمین‌شناسی- معدنی کانسار مس چاه‌مورا، شرکت پارس کانی.
- برنا، ب. و عشق‌آبادی، م.، ۱۳۷۶- گزارش ارزیابی و اکتشافی کانسارها و اندیس‌های سرب- روی استان سمنان، سازمان صنایع و معادن استان سمنان.
- بهرام‌پور، م.، ۱۳۹۳- پتروژنز، ژئوشیمی و نقش توده‌های ساب‌ولکانیک در زایش مس محدوده چاه‌مورا، شمال تروند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بهرادی، م.، ۱۳۷۳- بررسی زمین‌شناسی اقتصادی اندیس مس قبله‌بولاغ واقع در منطقه طارم سفلی، استان زنجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی. تاج‌الدین، ح.، ۱۳۷۷- زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژئز اثر معدنی طلای دارستان (جنوب دامغان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- حقیقی، ا.، ۱۳۸۹- متالورژی فلزهای پایه و طلا در کمر بند آتشفشانی- نفوذی تروند چاه شیرین، پایان‌نامه دکترا، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۶۷ ص.
- خسته‌بند، ن.، ۱۳۸۹- بررسی زمین‌شناسی اقتصادی محدوده اکتشافی مس مجددر (شرق اردبیل)، فصلنامه علمی- پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، سال سوم، شماره دوم.
- رشیدنژاد، ع.، ۱۳۷۱- بررسی تحولات سنگ‌شناسی و ارتباط آن با کانی‌شناسی طلا در منطقه باغو (جنوب- جنوب شرق دامغان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس.
- سامانی، ب.، ۱۳۸۱- متالورژی کانسارهای مس نوع مانتو در ایران، انجمن زمین‌شناسی ایران.
- شمعانیان اصفهانی، غ. ح.، ۱۳۸۲- مطالعه دگرسانی و کانی‌سازی گرمایی فلزات پایه و گرانیها در منطقه معلمان، رساله‌نامه دکترا، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- صالحی، ل.، ۱۳۹۱- کانسارهای مس با سنگ میزبان آتشفشانی در منطقه عباس‌آباد (شمال شرق شاهرود)، انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه بیرجند.
- علیزاده، و.، ۱۳۸۹- ژئوشیمی، پتروژنی، کانی‌شناسی و ژئز مس منطقه جنوب شرق قائن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- فرد، م.، ۱۳۸۰- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژئز کانسار طلا، سرب و روی (مس- باریم) گندی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس.
- کی‌نژاد، آ.، پورکرمانی، م.، آری، م.، سعیدی، ع. و لطفی، م.، ۱۳۸۷- تحلیل دینامیکی شکستگی‌های شمال منطقه تروند معلمان، (ایران مرکزی، جنوب خاور دامغان) فصلنامه علوم زمین، سال بیستم، شماره ۷۸، صص. ۱۶ تا ۳.
- نظافتی، ن.، ۱۳۷۹- زمین‌شناسی اقتصادی پتانسیل‌های فلزی منطقه نظنز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Almeida, M. E. Moacir, J. B. Macambira, E. C. and Oliveira, 2007- Geochemistry and zircon geochronology of the I-type high-K calc-alkaline and S-type granitoid rocks from southeastern Roraima, Brazil: Orosirian collisional magmatism evidence (1.97–1.96 Ga) in central portion of Guyana Shield. *Precambrian Research* 155 (2007) 69–97.
- Boynton, W. V., 1984- geochemistry of the rare earth element: meteorite studies. In: Henderson, P.(ed), rare earth element geochemistry, Elsevier, 63D, 114.
- Cabral, A. R. and Beaudoin, G., 2007- Volcanic red-bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexander, Quebec Appalachina.
- Christie, A. B. and Brathwaite, R. L., 2004- Hydrothermal alteration in metasedimentary rock gold deposits, Reefton goldfield, south island, New Zealand. *Min. Dep.*, 38: 87-107.
- Cornwal, H. R., 1956- A summary of ideas on the origin of native copper deposits.
- Cox, K. G., Bell, J. D. and Pankhurst, R. G., 1979- The interpretation of igneous rocks. George, Allen and Unwin, London.
- Espinoza, R. S., Veliz, G. H., Esquivel, L. J., Arias, F. J. and Moraga, B. A., 1996- The cupriferous province of the coastal ranges, Northern Chile In Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny. *Soc. Econ. Geologists, special publication*, No. 5, Camus, F., Sillitoe, R. H. and Petersen, R., p. 19-32.
- Gioncada, A., Mazzuoli, R., Bisson, M. and Pareschi, M. T., 2003- petrography of volcanic product younger than 42 ka on the Lipari - Volcano complex (Aeolian Islands, Italy): an example of volcanism controlled by tectonics. *Journal of volcanology Geothermal Research*, 122: pp.191-220.
- Hanson, G. N., 1980- Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems: *Annual Review of Earth Planetary Sciences*, Vol. 8, pp. 371-406.
- Hassanzadeh, J., Gazi, A. M., Axen, G., Guest, B., Stockli, D. and Tucker, P., 2002- Oligocene mafic magmatism in north-west of Iran: Evidence for the separation of the Alborz from the Urumieh-Dokhtar magmatic arc [abs]: *Geological Society of America Abstracts with Program*, v. 34, no. 6, p. 331.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A., J. and Gonzalez-Urien, E., 2000- Exploration for epithermal gold deposits: *Reviews in Economic Geology*, 13: 245-277.
- Irvin, T. N. and Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol. 8 (5): 523-548.
- Kennedy, G. C., 1950- Pneumatolysis and the liquid inclusion method of geologic thermometry. *Econ. Geol.*, 45:533-547.
- Kirkham, R. V., 1996- Volcanic redbed copper, In Eckstrand, O. R., Sinclair, W. D. and Thorpe, R. I., (eds.), *Geology of Canadian Mineral Deposit Types: Geological Survey of Canada, Geology of Canada*, No. 8, p. 241-252 (also Geological Society of America, *The Geology of North America*.

- Kojima, S., Trista, D., Guilera, A. and Ken-ichiro ayashi, H., 2009- Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits, *Resource Geology* Vol. 59, No. 1: 87 – 98.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986- A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 27, 745–750.
- Lefebure, D. V. and Church, B. N., 1996- Volcanic Redbed Cu, in selected British Columbia Mineral Deposit Profiles.
- Maanijou, M., Aliani, F., Miri, M. and Lentz, D. R., 2013- Geochemistry and petrology of igneous assemblage in the south of Qorveh area, west Iran. *Chemie der Erde*, Vol. 73, pp. 181- 196.
- 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*, vol. 2. PGC Publishing, Adelaide, pp. 163–184.
- Pearce, J. A., 2005- Mantle preconditioning by melt extraction during flow: theory and petrogenetic implications. *Journal of Petrology*, Vol. 46, pp. 973-997.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. and Thindle, A. G., 1984- Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock. *Journal of petrology* 25: 956-83.
- Peccerillo, A., and Taylor, S. R., 1976- Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contrib Mineral Petrol*, Vol. 58, pp. 63-81.
- Potter, R. W. W., 1977- Pressure corrections for fluid inclusion homogenization temperature based on the volumetric properties of the system NaCl-H₂O. *J. R. Res. US. Geol. Surv.* 5(5):603-7.
- Prowatke, S. and Klemme, S., 2006- Rare earth element partitioning between titanite and silicate melts: Henry's law revisited. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 70, pp. 4997-5012.
- Ramirez, L. E., Parada, M. A., Palacios, C., Wittenbrink, J., Lehmann, B. and Sial, A. N., 2006- Magma sources of Mantos Blancos copper deposit, Coastal range of Northern Chile.
- Richards, J. P., Spell, T., Rameh, E., Raziq, A. and Fletcher, T., 2012- High Sr/Y Magmas Reflect Arc Maturity, High Magmatic Water Content, and Porphyry Cu ± Mo ± Au Potential: Examples from the Tethyan Arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan. *Economic Geology*, Vol. 107, pp. 295-332.
- Rollinson, H. R., 1993- Using geochemical data: evaluation, Presentation, interpretation: Longman, UK., 352p.
- Ruiz, C., Aguirre, L., Corvalan, J., Klohn, E. and Levi, B., 1965- Geology yacimeintos metaliferos de Chile, Instituto de investigacions Geoloicas.
- Sato, T., 1984- Manto type copper deposits in Chile, a review. *Bulletin of the geological survey of Japan*, v. 35, p. 565-582.
- Shamianian, G., Hedenquist, J., Hattori, K. and Hassanzadeh, J., 2004- The Gandy and Abolhassani Epithermal prospects in the Alborz Magmatic Arc, Semnan Province, Northern Iran., *Economic Geology*, Vol. 99, PP. 691-712.
- Shand, S. J., 1943- Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite. New York: John Wiley and Sons.
- Sillitoe, R. H., 1977- Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: a review, pp.99–116 in volcanic processes in ore genesis.
- Sun, S. S. and McDonoug, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematic of oceanic basalt: implications for mantle composition and proceses. In: Saunders, A. D., Norry, M. J., (Eds), *magmatism in the ocean Basins*, Special Publication 42. Geological Society: London, pp. 313-345.
- Tatsumi, Y., 1989- Migration of fluid phases and genesis of basalt magmas in subduction zones. *Journal of Geophysical Research*, 94: pp. 4697-4707. doi :10.1029/JB094iB04p04697.
- Tchameni, R., Pouclet, A. Penaye, J., Ganwa, A. A. and Toteu, S.F., 2006- Petrography and geo- chemistry of the Ngaoundere Pan-African granitoids in Central North Cameroon: Implications for their sources and geological setting. *Journal of African Earth Sciences*, Elsevier, 2006, 44, pp.511-529.
- Tosdal, R. M. and Munizaga, F., 2003- Lead sources in Mesozoic and Cenozoic Andean ore deposits, north-central Chile (30–34-S). *Miner Deposita*, v. 38, p. 234 –250.
- 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 timinand source of copper mineralization in a stratabound copper deposit, Coastal Cordillera of Northern Chile. *Miner Deposita* v. 41, p. 99–105.
- Wilson, N. S. F., Zentilli, M. and Reynolds, P. H., 2003- Age of mineralization by basinal fluids at the El Soldado Manto-type Cu deposit, Chile: 40Ar/39Ar geochronology of K-feldspar. *Chemical Geology* 197: 161–176.
- 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.
- Yermakov, N. P. and Wilson, A. J. C., 1965- Reserch on the nature of mineral-forming solutions, with special reference to data from fluidinclusions. New York Pergamon press. (in Russian).
- Zarasvandi, A., 2004- Magmatic and Structural Controls on Localization of the Darreh- Zerreshk and Ali-Abad Porphyry Copper Deposits, Yazd Province, Iran. PhD thesis, Shiraz University, Iran. 278 p.

Petrogenesis, geochemistry, fluid inclusions and the role of the subvolcanic intrusives in genesis of copper at Chahmora deposit, North of Torud, Semnan

M. Bahrampour^{1*}, M. Lotfi², A. Akbarpour³ and E. Bahrampour⁴

¹M.Sc., Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

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

³Ph.D., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2015 August 10

Accepted: 2016 June 13

Abstract

The Chahmora copper deposit is located at South west of Shahrud, within the Torud-Chahshirin magmatic arc. Mineralization in the Chahmora area occurred within volcanic units of Eocene. Based on field and laboratory investigations, the outcropped rocks in the Chahmora deposit are andesite, andesite – basalt, trachy andesite, trachy andesite basalt and several small exposures of pyroclastic rocks such as agglomerate. Basic to intermediate sub-volcanic bodies intruded Eocene volcanic-pyroclastic sequences. The rocks are high-K, calc-alkaline to shoshonitic in nature, and are formed at a magmatic arc setting in a subduction zone. The host rocks have been affected by silicification, carbonatization, sericitization and chloritization. The textures and structures of mineralization are vein-veinlet, replacement and open space filling. According to the mineralography studies, main minerals of copper are chalcocite, chalcopyrite, covellite, digenite, cuprite, malachite and rare native copper together with hematite. Chalcocite and malachite are the most abundant minerals. Geochemical studies indicate that copper has only relative correlation with silver ($R=0.894$) and arsenic ($R=0.520$). Since silver has not founded as an independent crystalline phase, therefore copper was replaced by silver in chalcocite. Fluid inclusion studies on trapped fluids in quartz and calcite show average homogenization temperature of 200-220°C and fluids salinity degree of 0/97-1/37 and 3/67-4/07 %wt NaCl. Copper mineralization in the Chahmora deposit has similarities in mineralogy, host rock, texture, structure and geometry with manto-type and volcanic red bed copper deposits.

Keywords: Chahmora, Sub-volcanic bodies, Manto type copper, Torud - Chahshirin.

For Persian Version see pages 117 to 136

*Corresponding author: M. Bahrampour; E-mail: Minabahrapour@yahoo.com