

ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمی کانسار مولیبدن پورفیری سیه کمر (باختر میانه، شمال باختر ایران)

فاضل خالقی^{۱*}، قادر حسین زاده^۲، ایرج رسا^۳ و محسن مؤید^۴

^۱دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

^۲استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

^۳استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

^۴دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۸/۲۵

چکیده

کانسار مولیبدن سیه کمر یک سامانه مولیبدن پورفیری است که در تازه‌ترین پژوهش نگارنده در شمال باختر ایران کشف شده، برای اولین بار در این نوشتار گزارش گردیده و سامانه کانسار سازی آن، بر پایه داده‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی، شواهد کانی‌سازی و میانبارهای سیال، توصیف و بحث شده است. استوک کوارتز موزونیت پورفیری که به سری ماگمایی کالک‌آلکالن با پتاسیم بالا تعلق دارد و بر پایه داده‌های ژئوشیمی و از دید محیط زمین‌ساختی، از نوع گرانیتهای پس از برخوردی است، سنگ مادر کانی‌سازی این سامانه به‌شمار می‌آید. با توجه به جایگیری توده‌های نفوذی مولد در منطقه، کانی‌سازی مولیبدن پس از ائوسن، در حدود دوره الیگوسن رخ داده و احتمالاً فرایند کانی‌سازی در مرحله آخر جایگزینی ماگما صورت گرفته است. محلول گرمابی فلزهای آهن، بر پایه داده‌های دماسنجی و شوری میانبارهای سیال، شوری کم و دمای همگن‌شدگی متوسط داشته است. همچنین، با توجه به نوع سنگ میزبان، دگرسانی‌های همراه و دیگر شواهد، ویژگی‌های کانی‌سازی کانسار مولیبدن سیه کمر قابل مقایسه با کانسارهای مولیبدن نوع کوارتز موزونیتی است. در مدت فرایندهای زمین‌ساختی، سیال گرمابی کانه‌دار در امتداد پهنه‌های ضعف و ساختارهای گسلی مناسب بالا آمده، به درون درز و شکاف سنگ‌های پیرامون نفوذ کرده و با تغییر یافتن شرایط فیزیکی-شیمیایی محیط و تأثیر عوامل دیگر، در پایان کانسار مولیبدن سیه کمر تشکیل شده است.

کلیدواژه‌ها: کانسار مولیبدن، پورفیری، کوارتز موزونیت، ژئوشیمی، سیه کمر، میانه.

*نویسنده مسئول: فاضل خالقی

E-mail: fazel_khaleghi@yahoo.com

۱- مقدمه

پیرامون روستای قباق‌تپه- خاتون‌آباد نیز دنبال شده است. این موضوع می‌تواند با رویدادهای زمین‌ساختی مهمی در کمربند میانه-هشترود مرتبط باشد. با توجه به جایگیری توده‌های نفوذی پورفیری، سن کانی‌سازی جوان‌تر از ائوسن-حدود الیگوسن- است که شدیدترین و مهم‌ترین رویداد ماگمایی و فلزایی در کمربند یادشده به‌شمار می‌آید. هر چند پورفیری‌های مرتبط با کانی‌سازی یادشده، از نظر حجم بزرگ نیستند ولی ارزش علمی آنها مهم‌تر است. این پورفیری‌ها نه تنها پیوند مکانی با کانی‌سازی مولیبدن دارند بلکه احتمال دارد وابستگی نزدیکی با تبدیل و تحول محیط زمین‌ساختی این بخش از آذربایجان نیز داشته باشند. بنابراین درک ژرف منشأ (ژنز) آنها برای متمایز کردن ویژگی‌های فلزایی کمربند کوهزایی میانه-هشترود مفید خواهد بود و می‌تواند در آینده به منظور پی‌جویی مولیبدن و دیگر فلزات همراه مورد استفاده قرار گیرد.

در گذشته در متون کلاسیک زمین‌شناسی اقتصادی جهان، کانسارهای مولیبدن پورفیری، پدیده‌ای کاملاً آمریکایی به‌شمار می‌آمدند؛ چون ایالات متحده خاستگاه حدود ۱۶ کانسار عظیم مولیبدن بوده است و میلیون‌ها تن از منابع این فلز ارزشمند را دارد که مشهورترین آنها نوع کلیماکس در کوه‌های راکر کلرادو است. ولی به تازگی با کشف و گسترش ذخایر مولیبدن بسیار بزرگ در چین، حالت انحصاری این ذخایر شکسته شده است (Westra & Keith, 1981; Laznica, 2006; Huang et al., 1989; Zhu et al., 2010). با توجه به انتشار تازه‌ترین مقالات در زمینه ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی این ذخایر، کانسار مولیبدن سیه کمر نوع شاخصی است که ویژگی‌های زمین‌شناسی مشابهی با سامانه‌های مولیبدن پورفیری (نوع کوارتز موزونیتی) نشان می‌دهد. در این نوشتار افزون بر معرفی زمین‌شناسی و دگرسانی کانسار پورفیری سیه کمر، نتایج حاصل از بررسی داده‌های ژئوشیمی، تجزیه طیف‌سنجی رامان و میانبارهای سیال توده پورفیری نیز ارائه شده است.

کانسارهای نوع پورفیری به عنوان یکی از مهم‌ترین ذخایر مس-مولیبدن و مس-طلا بیش از ۵۰ درصد منابع مس و مولیبدن جهان را فراهم می‌کنند (Kirkham & Sinclair, 1995). در کمربند مس ایران مرکزی، کانسارهای پورفیری بسیاری وجود دارند که بیشتر روی پهنه آتشفشانی-نفوذی ارومیه-دختر متمرکز هستند. در سال‌های اخیر در منطقه آذربایجان، در پهنه اهر-جلفا (ارسباران)، چندین کانسار پورفیری کشف شده است که بخشی از ذخایر مس-مولیبدن شمال باختر ایران به‌شمار می‌آیند. کمربند میانه-هشترود در میان دو منطقه فلزایی طارم-هشجین و اهر-جلفا (قربانی، ۱۳۸۶) (شکل ۱- c) قرار دارد و به عنوان بخشی از پهنه البرز باختری-آذربایجان، نوار ماگمایی مجزایی به‌شمار می‌آید (شکل ۱- b) (Azizi & Moinevaziri, 2009; Eftekhari Nazhad, 1975; Rolland et al., 2009). هر چند نشانه‌های معدنی گوناگونی از جمله مس (شیخ‌درآباد، زرشلو)، منگنز (چای‌تلوار، زرشلو)، کائولن (ابک) و طلا (آقورن) در کمربند میانه-هشترود وجود دارد (امینی‌آذر و قدیرزاده، ۱۳۸۲) و حاج‌علیلو، (۱۳۷۶)، ولی تراکم کانی‌سازی در آن شدید نیست. بنابراین برخلاف پهنه ارسباران، چندان مورد توجه جدی زمین‌شناسان قرار نگرفته و عملیات اکتشافی کمی در آن اجرا شده است. با این حال شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد رویدادهای مشابه با محور اهر-جلفا و یا طارم-هشجین در آن رخ داده است. روند عمومی دگرسانی، ارتباط آنها با ساختارها، جایگیری توده‌های نفوذی مشابه، دگرسانی‌های مرتبط با توده‌های نفوذی و رخداد کانی‌سازی مولیبدن و مس از جمله این شواهد هستند. در طی مطالعات تفصیلی در قالب رساله دکتری روی مجموعه آتشفشانی-نفوذی باختر میانه شواهدی از حضور سامانه پورفیری در دو ناحیه یافت شد که یکی از آنها، کانسار مولیبدن پورفیری سیه کمر است. فازهایی از فعالیت ماگمایی گرانیتوئیدی و کانی‌سازی مولیبدن در این نواحی شناسایی شده که تا فاصله حدود ۱۵ کیلومتری از سیه کمر و در گمانه‌های اکتشافی

۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

پژوهش‌های معدنی LabWest استرالیا انجام شد. اکسیدهای اصلی به روش XRF و عناصر کمیاب به روش ICP-MS تجزیه شدند. تجزیه شیمیایی نمونه‌های سنگی مربوط به سطح کانسار برای عناصر مولیبدن و مس در آزمایشگاه مجتمع مس سرچشمه با روش جذب اتمی انجام شده است.

نمونه‌های مربوط به میانبارهای سیال از رگه‌های سیلیسی و رگچه‌های کوارتز-مولیبدنیت سطحی کانسار برداشت و در آزمایشگاه پژوهش‌های زمین‌شناسی اقتصادی و کانی‌شناسی دانشگاه Leobon اتریش با روش‌های گرمایش و انجماد (تجزیه مخرب) بررسی شده‌اند. افزون بر این، با توجه به ابعاد بسیار کوچک و آبگین بودن میانبارهای سیال (Aqueous) از تجزیه طیف‌سنجی رامان با استفاده از منبع لیزر سبز رنگ با طول موج $532/02$ نانومتر و لیزر رامان مدل ND-YAG (100mW Frequency-doubled) استفاده شده است. این نوع تجزیه یکی از پیشرفته‌ترین روش‌های غیر مخرب برای شناسایی فازهای مایع و گاز درون میانبارهای سیال است. در این روش، محتویات درون سیال بدون تخریب و باز کردن میانبار و با تابش لیزر با انرژی زیاد به صورت نیمه کیفی تجزیه می‌شود. در اثر تحریک لیزر، تابش‌هایی با بسامدهای مشخص به وجود می‌آید که مربوط به یون‌های موجود در محلول آبگین درون میانبار سیال است. از طیف بسامدی این تابش‌ها برای شناسایی فازهای موجود، و از مقایسه ارتفاع پیک‌ها برای تعیین نسبت‌های اجزای تشکیل‌دهنده استفاده می‌شود (Shepherd et al., 1985).

۴- زمین‌شناسی کانسار و توده پورفیری سیه کمر

بر پایه مطالعات سنگ‌شناختی، در منطقه سیه کمر دست کم دو مجموعه توده نفوذی رخنمون دارند (شکل ۲). استوک اصلی کوارتز موزونیت متوسط‌دانه (qms) با بافت پورفیری است که مقدار میانگین SiO_2 ، K_2O و $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ به ترتیب ۶۵ درصد، ۵/۳ درصد و ۹/۱ درصد و مقادیر K_2O در آن بیشتر از Na_2O است. استوک کوچک‌تر بیشتر موزونیت پورفیری ریزدانه (mmd) است که مقدار متوسط SiO_2 ، K_2O و $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ به ترتیب ۵۵/۵ درصد، ۳/۸ درصد و ۶ درصد است. هر دو مجموعه وابسته به سری ماگمایی کالک آلکالن با پتاسیم بالا هستند. بررسی مقاطع میکروسکوپی نشان می‌دهد که بافت استوک اصلی از پورفیریک با خمیره ریز تا درشت‌بلور و نیز میکروولیتی پورفیریک تا میکروولیتیک در نوسان است و درشت‌بلور اصلی در آن پلاژیو کلاز است. همچنین فلدسپار پتاسیم به عنوان سازنده اصلی در خمیره ریزبلور تا درشت‌بلور حضور دارد که گاه با کوارتز همراه است. توده یادشده شامل پلاژیو کلاز (۲۵ تا ۳۵ درصد)، فلدسپار پتاسیم (۲۰ تا ۴۰ درصد)، پلاژیو کلاز دارای ۵ تا ۲۰ درصد آنورتیت (An:5-20)، کوارتز (۱۵ تا ۲۵ درصد) و آمفیبول یا بیوتیت قهوه‌ای (کمتر از ۱۰ درصد) است. مگنتیت و آپاتیت کانی‌های فرعی به‌شمار می‌آیند. کانی‌سازی مولیبدن بیشتر در استوک اصلی سیه کمر صورت گرفته است. هرچند با توجه به شواهد سطحی، استوک کوچک‌تر نیز در کنترل کانی‌سازی نقش دارد. توده پورفیری سیه کمر توسط رودخانه قرانقو به دو بخش نامساوی تقسیم شده و با توجه به راستای ENE-WSW رودخانه، می‌توان این توده را به دو بخش SSE و NNW تقسیم کرد که گسترش بخش شمالی بیشتر از قطعه جنوبی است. البته احتمالاً قطعه جنوبی در زیر رسوبات کواترنو و بخش‌های لغزش یافته نیز ادامه دارد. کانی‌سازی در بیرون از توده نیز در پهنه همبری بیرونی آن تا شعاع ۳۰۰ متر در شمال توده منطبق بر واحدهای آتشفشانی (Eta) رخ داده است. با توجه به نتایج تجزیه ۸۷ نمونه سطحی که به صورت نمرخی از توده پورفیری و سنگ دیواره دگرسان برداشت شده‌اند، متوسط عیار مولیبدن به بیش از ۰/۰۲ درصد می‌رسد و بیشترین مقدار آن حدود ۰/۲۵ درصد است (شکل ۲ و جدول ۱). استوک کوارتز موزونیتی کانه‌دار حدود ۱۰۰ متر طول و حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر عرض دارد که با روند تقریباً SSW-NNE قرار

ناحیه مورد مطالعه در موقعیت طول‌های جغرافیایی $47^{\circ} 29' 59''$ تا $47^{\circ} 38' 39''$ و عرض‌های جغرافیایی $37^{\circ} 21' 46''$ تا $37^{\circ} 26' 05''$ شمالی در حدود ۶ کیلومتری باختر شهرستان میانه، در استان آذربایجان شرقی قرار دارد (شکل ۱-a). محدوده از دید زمین‌ساختی بخشی از پهنه آذربایجان است که مرز شمالی آن را گسل بزقوش مشخص می‌کند (Eftekhari Nazhad, 1975). این گسل از سمت باختر به گسل معروف تبریز که یک گسل امتدادلغز است، می‌پیوندد. مرز جنوبی آن نیز گسل سراسکند است که با روند شمال باختر جنوب خاور در امتداد گسل تبریز قرار گرفته است. این محدوده در تقاطع مجموعه گسل‌های اردبیل-میانه و تبریز-میانه قرار گرفته است (شکل‌های ۱-c و d). دو ساختار اصلی در ناحیه معدنی سیه کمر شناسایی شده که یکی با روند NW-SE مشابه با روند گسل تبریز است و به نظر می‌رسد ناشی از سازوکار آن باشد. این گسل‌ها توسط گسل‌های دسته دوم با روند تقریبی NE-SW قطع و جابه‌جا شده‌اند. دسته اخیر معمولاً طول بیشتری دارند. تعامل این دو گسل، پهنه‌های مساعدی را برای جایگیری توده‌های نفوذی و فعالیت محلول‌های گرمایی رهاشده از نفوذی‌ها فراهم کرده است. محلول‌های ماگمایی مرتبط با توده‌های نفوذی، نقش مهمی در تشکیل پهنه‌های دگرسانی داشته‌اند (مهندسین مشاور زرناب اکتشاف، ۱۳۸۸).

بیشتر سنگ‌های کهن‌تر از کرتاسه موجود در منطقه، توسط سنگ‌های آتشفشانی تشریری و رسوبات سنوزویک پوشیده شده‌اند. بیشتر برنزدهای این منطقه را سنگ‌های آتشفشانی تشریری تشکیل داده‌اند (خدابنده و همکاران، ۱۳۷۷ و امینی‌آذر و قدیرزاده، ۱۳۸۲). فعالیت‌های ماگمایی تشریری در منطقه سبب تشکیل توف‌ها، گدازه و توده‌های نفوذی گرانیتی-کوارتز موزونیتی شده است. مهم‌ترین واحدهای آتشفشانی و آذرآوری در منطقه تراکی‌آندزیت، آندزیت بازالتی، داسیت، ریولیت، توف و آگلومرا هستند (شکل ۱-e) که به فاز ماگمایی ائوسن مربوط می‌شوند. فعالیت ماگمایی پس از ائوسن با نفوذ کوارتز موزونیت و گرانیت پورفیری به درون سنگ‌های آتشفشانی و آذرآوری ائوسن مشخص می‌شود. در ناحیه مورد مطالعه، اثری از فازهای آتشفشانی کرتاسه بالایی و پلیوکواترنی، مشابه با آنچه در پهنه اهر-ارسیاران وجود دارد، مشاهده نشده است (مهندسین مشاور زرناب اکتشاف، ۱۳۸۸). مهم‌ترین توده نفوذی پورفیری، در جنوب باختر روستای سیه کمر رخنمون دارد. افزون بر آن، توده‌های کوچک‌تری نیز از مرکز به سوی باختر محدوده پراکنده هستند که واحدهای آتشفشانی رسوبی ائوسن را قطع کرده‌اند. ترکیب این توده‌ها کوارتز موزونیت تا گرانیت پورفیری است. این سنگ‌ها بافت پورفیری با خمیره میکروگرانولار دارند و از پلاژیو کلاز، فلدسپار پتاسیم، بیوتیت و کوارتز تشکیل شده‌اند. همچنین در گمانه‌های حفاری شده در منطقه قباق‌تپه-خاتون‌آباد در باختر محدوده کنونی، استوک گرانیتی گرانولار شناسایی شده که همراه با کانی‌سازی مولیبدن و مس است.

۳- روش پژوهش

۳-۱. نمونه‌برداری و روش تجزیه

نمونه‌های توده پورفیری از بخش‌های مختلف شامل رخنمون‌های منطقه معدنی و حفاریات سطحی برداشته شده است. به منظور تعیین ترکیب شیمیایی توده از نمونه‌های تازه و سالم با کمترین دگرسانی (L.O.I. کمتر از ۲/۵ درصد) استفاده شد. از آنجا که بیشتر سنگ‌های رخنمون‌یافته در سامانه‌های پورفیری، درجات متغیری از دگرسانی را متحمل شده‌اند و این امر روی ترکیب عناصر تأثیر می‌گذارد، از نمودارهای فیلتر دگرسانی پیشنهادشده توسط Stanley & Madeisky (1995) و McLemore et al. (1999) (شامل نمودارهای Alteration Index، A/CNK و Potassic Index در برابر SiO_2) برای تشخیص نمونه‌های سالم در برابر نمونه‌های دگرسان استفاده شد. تجزیه عناصر اصلی، فرعی و خاکی کمیاب در آزمایشگاه

پولک‌های بیوتیت نوظهور در سنگ چشمگیر است (شکل ۳-۳). بدین ترتیب همراهی اپیدوتی شدن شدید همراه با بیوتیتی شدن در پیرامون استوک مشابه ذخایر مولیبدن پورفیری است.

۶- کانی‌سازی

کانی‌سازی مولیبدن بیشتر همراه با توده کوارتز مونوزونیت پورفیری و سنگ دیواره تراکی آندزیت بوده و در پهنه دگرسانی پتاسیک و پتاسیک-فیلیک رخ داده است. رخداد کانی‌سازی معمولاً به صورت استوک و رک و رگچه‌های کوارتز-مولیبدنیت با ستبرای در حد میلی‌متر یا سانتی‌متر است و کمتر به صورت پراکنده دیده می‌شود. در رخنمون‌های استوک اصلی، مولیبدنیت به صورت پراکنده سطوح درزه معمول است (شکل ۴-۴ و b). در مطالعه مقاطع صیقلی به وسیله میکروسکوپ نور بازتابی، بلورهای الواری شکل مولیبدنیت به همراه آثار رخ و دگرشکلی به روشی دیده می‌شود (شکل ۴-۴). گاه بلورهای شکل دار پیریت نیز به همراه مقدار جزئی کالکوپیریت وجود دارد (شکل ۴-۴). همچنین در مقاطع صیقلی، کانی‌های پوریت، کولیت، دژنیت، کالکوسیت، مگنتیت و هماتیت به صورت جزئی دیده شده است. با توجه به مشاهده نشدن بلور نوزاد مولیبدنیت در سنگ‌نگاری میانبارهای سیال، نمونه‌ای از رگچه کوارتز-مولیبدنیت وابسته به بخش‌های ژرف استوک اصلی کوارتز مونوزونیتی (در رخنمون تونل راه آهن) با دگرسانی پتاسیک برداشته و به منظور شناسایی فازهای موجود در محلول‌های آبی درون آن با استفاده از روش طیف‌سنجی لیزر رامان (RS) تجزیه شد. در این روش هر فاز آبگین درون سیال، نسبت به تابش لیزر، طیف رامان ویژه‌ای را ساطع می‌کند که پیک مشخصی دارد. فراوانی آن نیز برحسب شدت (Intensity) طیف رامان تعیین می‌شود. یعنی غلظت متناسب با ارتفاع پیک است (Shepherd et al., 1985). بر پایه نتایج تجزیه، کانی‌سازی پهنه درون‌زاد بیشتر از مولیبدنیت خالص با کمی پیریت استنباط می‌شود. اصلی‌ترین فاز موجود در طیف لیزر که پیک 405 cm^{-1} تا 410 cm^{-1} را نشان می‌دهد، مولیبدنیت است و شدت نسبی آن نیز بسیار بالاست (شکل ۴-۴). همچنین در طیف لیزر رامان، پیریت با پیک 395 cm^{-1} به عنوان کانی همراه وجود دارد (شکل ۴-۴).

همبود مجموعه‌های کانیایی به سه مرحله (گامه) شامل پیشین (Early)، میانی (Middle) و پسین (Late) قابل تقسیم‌بندی است. مجموعه کانی‌های مرحله پیشین با رگه‌های کوارتز-فلدسپار پتاسیم نابارور با کمی سولفید مشخص می‌شود. گامه میانی که مرحله اصلی کانه‌سازی است، با رگه‌های کوارتز-سولفید و رگه‌های سولفید-فلدسپار پتاسیم-کوارتز همراه است. گامه پسین نیز با تشکیل رگه‌های سولفید-کلسیت-کوارتز و رگه‌های پیریت کوارتز مشخص می‌شود.

۷- ژئوشیمی توده پورفیری سیه‌کمر

۷-۱. عناصر اصلی

نتایج تجزیه عناصر اصلی و کمیاب در نمونه‌های شاخص پورفیری سیه‌کمر در جدول ۲ آورده شده است. توده پورفیری سیه‌کمر با محتوای به نسبت بالای SiO_2 (۶۰/۶ تا ۷۳/۳ درصد، میانگین ۶۵/۷ درصد وزنی)، مقادیر بالای $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ (۷/۴ تا ۱۱/۵ درصد، میانگین ۹/۱ درصد وزنی) و Al_2O_3 (۱۴/۲ تا ۱۹/۷۹ درصد، میانگین ۱۷/۲ درصد وزنی)، فقیر از Ti (درصد وزنی TiO_2 از ۰/۲۸ تا ۰/۰۶ درصد، میانگین ۰/۴۸ درصد) و مقادیر پایین MgO و CaO (به ترتیب ۰/۱ تا ۱/۲۷ درصد وزنی MgO، میانگین ۰/۵۴ درصد و درصد وزنی CaO از ۰/۳۷ تا ۲/۳۰ درصد، میانگین ۱/۶۲ درصد) مشخص می‌شود. اندیس شانند A/CNK یا نسبت مولار Al_2O_3 به مجموع $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}$ (Maniar & Piccoli, 1989) در توده پورفیری سیه‌کمر از ۰/۹۸ تا ۱/۳۸ (میانگین ۱/۱۴) تغییر می‌کند. مقدار ویژه $\text{Mg}^\#$ [$\text{Mg}^\# = 100 \times \text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Fe})$] پایین و برابر ۴/۵ تا ۴۰/۴، میانگین ۲۳/۹ است.

گرفته است. سنگ دیواره تراکی آندزیت کانه‌دار (Eta) نیز که بی‌فاصله در همسایگی استوک یادشده قرار گرفته است، حدود ۵۰۰ متر طول و ۲۵۰ متر عرض دارد. عنصر دما بالای تنگستن در پهنه پتاسیک با مولیبدن همراه است ولی مقدار مس و طلا بسیار ناچیز است. احتمالاً ذخیره معدنی مشابه کانسارهای مولیبدن نوع کوارتز مونوزونیتی به شکل چتری و یا صفحه‌ای در بالای توده نفوذی قرار گرفته است.

بر پایه مطالعات اکتشافی، ۵ حلقه گمانه در توده پورفیری و همبری بیرونی آن با سنگ دیواره آندزیتی مکان‌یابی و حفاری شده است که در پهنه کانه‌دار شمالی قرار دارند. نتایج اولیه عیارسنجی گمانه‌ها با داده‌های سطحی همخوانی دارد.

۵- دگرسانی در کانسار

فرایند دگرسانی در منطقه سیه‌کمر به شدت گسترش یافته و انواع دگرسانی‌های موجود بر پایه مطالعات میکروسکوپی و تجزیه کانی‌شناسی به روش XRD تعیین شده‌اند. پهنه‌های دگرسانی منطقه‌بندی به نسبت منظمی دارند و از مرکز توده پورفیری به سمت کناره به ترتیب شامل پتاسیک، فیلیک، سیلیسی شدن، آرژیلیک و پروپیلیتیک هستند (شکل‌های ۲ و ۳).

۵-۱. دگرسانی پتاسیک (بیوتیت±توز±مگنتیت)

دگرسانی پتاسیک با تجمع بیوتیت‌های ریز نوظهور (Neoformed)، رگه-رگچه‌های بیوتیت و فلدسپار پتاسیمی مشخص می‌شود. بیوتیت‌های نوظهور، فلدسپار پتاسیم و مگنتیت از کانی‌های تشکیل‌دهنده این دگرسانی هستند. این دگرسانی به استوک نفوذی محدود و توسط دگرسانی فیلیک دربر گرفته می‌شود. پدیده بیوتیت‌زایی و مگنتیت همراه آن سبب تیره شدن ظاهر سنگ شده است، به گونه‌ای که گاه تجمعات کاملاً سیاه بیوتیت در نمونه دستی سنگ دیده می‌شود که به سنگ ظاهر لکه‌دار می‌دهد (شکل‌های ۳-۳ و b).

۵-۲. دگرسانی فیلیک-پتاسیک (بیوتیت+سریسیت+کوارتز+پیریت)

این نوع دگرسانی با گسترش کم در استوک‌های نفوذی و در کنار پهنه پتاسیک در مرکز محدوده مورد مطالعه مشاهده شده است. در بیشتر نمونه‌های سطحی، همپوشانی پهنه پتاسیک توسط فیلیک قابل مشاهده است. بقایای پهنه پتاسیک با حضور کمی بیوتیت ثانویه در مقاطع نازک مشاهده می‌شود (شکل ۳-۳). سنگ بیشتر از بلورهای فلسی سریسیت به همراه کانی کوارتز تشکیل شده است. رگچه‌های کوارتز، آلپیت، اکسید آهن و پیریت نیز در سنگ دیده می‌شوند (شکل ۳-۳).

۵-۳. دگرسانی سیلیسی

این دگرسانی به صورت رگه و رگچه‌های سیلیسی بیشتر در بخش مرکزی منطقه، در واحدهای آتشفشانی و به طور پراکنده در استوک اصلی کوارتز مونوزونیت پورفیری مشاهده می‌شود. سیلیسی شدن شدید با دگرسانی پتاسیک همراهی می‌شود.

۵-۴. دگرسانی آرژیلیک

این دگرسانی با شدت ضعیف و متوسط در نیمه شمالی محدوده، از مرکز به سمت باختر و شمال باختر پراکنده است و واحدهای آتشفشانی و توف‌ها را تحت تأثیر قرار داده است که گاه به همراه رگه‌های سیلیسی مشاهده می‌شود. کانی‌های مونت‌موریلونیت، کائولینیت، کوارتز و سریسیت از کانی‌های تشکیل‌دهنده این دگرسانی هستند (شکل ۳-۳).

۵-۵. دگرسانی پروپیلیتیک (کلسیت+اپیدوت+پیریت)

بیشترین حجم دگرسانی در محدوده سیه‌کمر مربوط به رخداد پروپیلیتی شدن است که در بیشتر نیمه خاوری محدوده مشاهده می‌شود. این دگرسانی بیشتر در واحدهای آتشفشانی و آذرآواری اتوسن و پیرامون استوک‌های نفوذی قابل مشاهده است. این دگرسانی (به ویژه نوع اپیدوتی)، در ذخایر مولیبدن پورفیری نوع کوارتز مونوزونیتی از درون در بخش زیرین با پهنه پتاسیک در تماس است و گاه در استوک نفوذی، در کنار دگرسانی بیوتیتی دیده می‌شود. در این صورت، افزون بر اپیدوتی شدن، حضور

۸- شرایط فیزیکی شیمیایی سیال‌های کانی‌ساز

۸-۱. تجزیه دماسنجی میانبارهای سیال

در این روش با استفاده از میانبارهای سیال، شرایط فیزیکی- شیمیایی محلول‌های گرمایی عامل تکوین کانسار مولیبدن سیه‌کمر مورد بررسی قرار گرفته است. بر پایه مطالعه و سنگ‌نگاری نمونه‌های سطحی، میانبارهای سیال کانسار دارای این ویژگی‌ها هستند: (۱) اندازه آنها از ۲ تا ۱۲ میکرون متغیر است (جدول ۳). ادخال‌های غنی از مایع (LV) و غنی از بخار (VL) هر دو مشاهده می‌شود ولی انواع غنی از مایع بسیار معمول هستند (شکل ۸- a و b). هر چند تعدادی ادخال چندفازی دارای فاز نوزاد هالیت و سیلویت (LVH) هم وجود دارد (شکل‌های ۸- a تا f). حدود تغییرات دمای همگن‌شدگی از ۲۱۱ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است (جدول ۳) که مقدار میانگین حدود ۲۵۵ درجه سانتی‌گراد است. (۲) از نظر دماهای همگن‌شدگی، نوع چند فازی (LVH) دارای تغییرات گسترده‌تری است و تا حدودی از دیگر سیال‌ها جدا می‌شود. دمای همگن‌شدگی آنها به حدود ۳۰۰ درجه و گاه بیشتر از آن می‌رسد.

در شرایط دماسنجی روی استیج گرمایش، ادخال‌های مایع- بخار به فاز مایع همگن می‌شوند که نشان می‌دهد کانی‌سازی در شرایط فاز مایع کامل شده است. با در نظر گرفتن این که دمای همگن‌شدگی به عنوان کمترین درجه حرارت کانی‌سازی فرض می‌شود (Zicheng et al., 2011)، بنابراین کانسار از نظر درجه حرارت تشکیل، مزوترمال به‌شمار می‌آید.

۸-۲. تعیین شوری (Salinity) میانبارهای سیال

بر پایه اندازه‌گیری ۱۲ نمونه میانبار سیال موجود در رگه‌های کوارتز- مولیبدنیت (جدول ۳)، مقدار شوری میانبارهای نوع LV از ۲/۶۳ تا ۳/۲۸ درصد معادل وزنی نمک طعام به‌دست آمده است. با این حال با توجه به شناسایی ادخال‌های چند فازی دارای بلور نوزاد (Daughter Mineral)، مشخص شد که شوری میانبارها به حدود ۲۶ درصد معادل وزنی نمک طعام نیز می‌رسد. مواردی مانند همزیستی میانبار سیال نوع LVH با نوع VL، همگن‌شدگی مایع در درجه حرارت میان ۲۱۱ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و حرارت به دام انداختن > 400 درجه سانتی‌گراد، نشان‌دهنده فشار به دام انداختن ۴۰۰ بار هستند که به ژرفای ۱۵۰۰ متر برآورد شده است. بدین ترتیب، شرایط مورد انتظار (شوری کم، فشار لیتواستاتیکی متوسط حدود ۴۰۰ بار و فشار هیدروستاتیکی مناسب (حدود ۱۵۰ بار)) برای کانی‌زایی مولیبدن در سامانه پورفیری سیه‌کمر دیده می‌شود. محدوده دمایی و شوری میانبارهای سیال سیه‌کمر با دما و شوری میانبارهای موجود در کانسارهای مولیبدن پورفیری که به تازگی کشف شده در چین کشف شده‌اند (Huang et al., 1989; Chen & Wang, 2011; Zicheng et al., 2011) شباهت دارد. هر چند داده‌های ریزدماسنجی با بررسی نمونه‌های سطحی محاسبه شده است. بیشترین دمای همگن‌شدگی و شوری در دو کانسار Wenquan و Tangjiaping برای میانبارهای نوع LVH به ترتیب ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد و ۲۶/۳ درصد وزنی معادل نمک طعام گزارش شده است.

۹- نتیجه‌گیری

- استوک کوارتز موزونیت پورفیری سیه‌کمر وابسته به سری سنگ‌های کالک‌آلکان با پتاسیم بالاست که سنگ مادر کانی‌سازی به‌شمار می‌آید. مجموعه سنگی نفوذی وابسته به دسته گرانیت‌های فوق آلومینوم و اشباع از سیلیس است.
- شکل و پراکندگی کانسارسازی با ساختارهای گسلی مرتبط است و گوناگونی و ویژگی‌های کانی‌سازی با سطوح درزه و شکاف سنگ‌های میزبان کنترل می‌شود.
- از دید محیط زمین‌ساختی، نمونه‌های توده پورفیری سیه‌کمر در موقعیت کمان‌های آتشفشانی پس از برخورد قرار می‌گیرند.
- بررسی دماسنجی و میزان شوری میانبارهای سیال نشان می‌دهد که محلول‌های گرمایی فلززایی بیشتر از منشأ سیال‌های ماگمایی- گرمایی هستند. از نظر مقایسه دما، فشار و شوری سیال‌ها با دیگر سامانه‌های مولیبدن پورفیری، شرایط مورد انتظار برای کانسارسازی مولیبدن در توده سیه‌کمر وجود دارد.

در نمودار $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ (Peccerillo & Taylor, 1976) (شکل ۵- a) بیشتر نمونه‌ها در قلمرو کالک‌آلکان با پتاسیم بالا و شوشونیتی قرار گرفته‌اند. این سری ماگمایی، سنگ‌های مادر مناسبی برای کانی‌سازی مولیبدن نوع پورفیری به‌شمار می‌آید (Zhu et al., 2010; Zicheng et al., 2011). همچنین از دید پتروشیمی، نمونه‌های توده پورفیری ماهیت فوق آلومینیم و اشباع از سیلیس دارند (شکل ۵- b). هر چند تشکیل کانی‌های ناشی از دگرسانی همچون بیوتیت ثانویه، فلدسپار پتاسیم و سریسیت نیز می‌تواند سبب افزایش مقادیر پتاسیم در توده پورفیری شود ولی با استفاده از نمودارهای فیلتر دگرسانی احتیاط لازم صورت گرفته است. ویژگی پتاسیم بالا در این نمونه‌ها با الگوی فعالیت ماگمایی محیط‌های کشتی در مرحله کوهزایی پس از برخورد در دیگر کمرندهای کوهزایی جهان همخوانی دارد (Bloomer et al., 1989).

۷-۲. عناصر کمیاب و خاکی کمیاب (REE)

با توجه به نتایج مطالعات ژئوشیمی آبراه‌های (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۷)، بی‌هنجاری‌های گسترده‌ای از عناصر Mo, W, Cu, Pb و Zn در محدوده شناسایی شده که با هاله‌های ژئوشیمیایی موجود در ذخایر مولیبدن پورفیری نوع کوارتز موزونیتی متناسب است. غنی‌شدگی مولیبدن و مس نیز با قوانین معمول ژنر Mo پورفیری نوع کوارتز موزونیتی مطابقت دارد و در نمونه‌های سنگی نسبت Mo به Cu میان ۳۰ به ۱ تا ۱ است (جدول ۱).

الگوی پراکندگی عناصر REE بهنجار شده نسبت به کندریت و نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989) نشان می‌دهد که در توده کوارتز موزونیت پورفیری سیه‌کمر عناصر سنگ‌دوست (Lithophyl) درشت‌یون (U و Rb) به نسبت غنی شده هستند. عناصر با قدرت میدان بالا HFSE (Ti و Nb) و همچنین عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREE) از جمله Yb تهی‌شدگی دارند (جدول ۲) (شکل ۶- a و b).

همچنین، تغییرات زیاد در ΣREE ، غنی‌شدگی از LREE و جدایش آشکار میان LREE و HREE وجود دارد. بی‌هنجاری منفی Eu چندان محسوس نیست و غیر از دو نمونه، بقیه نمونه‌ها بی‌هنجاری منفی نشان نمی‌دهند ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.77-0.99$). ترکیب توده نفوذی سیه‌کمر در حد کوارتز موزونیت و دیوریت است و میزان مودال اولیه پلاژیوکلاز بیشتر از فلدسپار پتاسیم است. بنابراین بی‌هنجاری منفی مشخصی از Eu نشان نمی‌دهند. البته احتمال دارد این موضوع به مشارکت پلاژیوکلاز در پدیده ذوب بخشی مواد منشأ هم مربوط باشد.

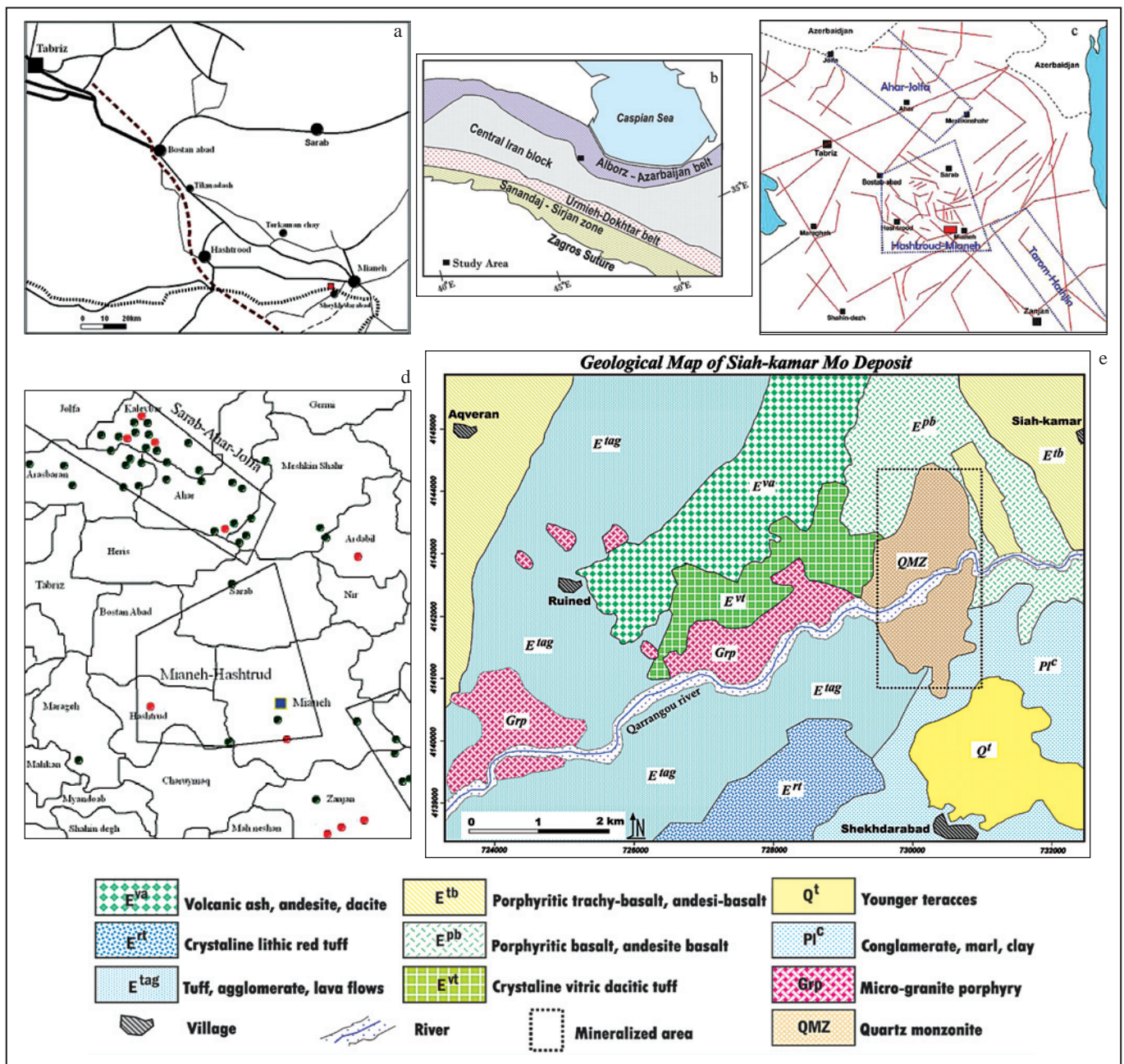
غنی‌شدگی Rb و U و تهی‌شدگی Ti در توده پورفیری سیه‌کمر که در بالا اشاره شد، نشان می‌دهد که نمونه‌ها ویژگی‌های مشابهی با گرانیت‌های پس از کوهزایی (Chen & Wang, 2011; Harris et al., 1986) دارند. در نمودارهای متمایزکننده محیط‌های زمین‌ساختی Rb-Y+Nb (Pearce, 1996) و Rb/30-Hf-Ta (Harris et al., 1986) بیشتر نمونه‌ها درون موقعیت انتقالی میان گستره گرانیت‌های همزمان با برخورد و گرانیت‌های پس از برخورد قرار گرفته‌اند (شکل ۷- a و b). توده پورفیری، مقادیر CaO به نسبت پایینی دارد، در حالی که مقدار K_2O در آن بالاست (معمولاً بیشتر از ۵ درصد). بدین ترتیب به صورت گرانیتوئیدهای کالک‌آلکان با پتاسیم بالا (KCG) نیز قابل رده‌بندی است. به باور (Barbarin 1999) و Bonin (2004) در منشأ این نوع گرانیتوئیدها، مخلوطی از هر دو مؤلفه گوشته‌ای و پوسته‌ای درگیر بوده است. گرانیتوئیدهای نوع KCG هم در طی گذار از یک رژیم فشارشی به رژیم کششی و هم در طول فرایندهای آزادسازی در اوج رویداد برخورد به وجود می‌آیند و معمولاً گرانیت‌های پس از کوهزایی در نظر گرفته می‌شوند. ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های آذرین درونی این نوع گرانیتوئیدها، از پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم، هوربلند و بیوتیت قهوه‌ای تشکیل شده است (Barbarin, 1999). الگوی توزیع عناصر یادشده در منطقه سیه‌کمر، بالا آمدگی پوسته‌ای، فرایندهای پس از آن و تاریخچه تکاملی کمر بند میانه- هشترود را بازتاب می‌سازد.

سپاسگزاری

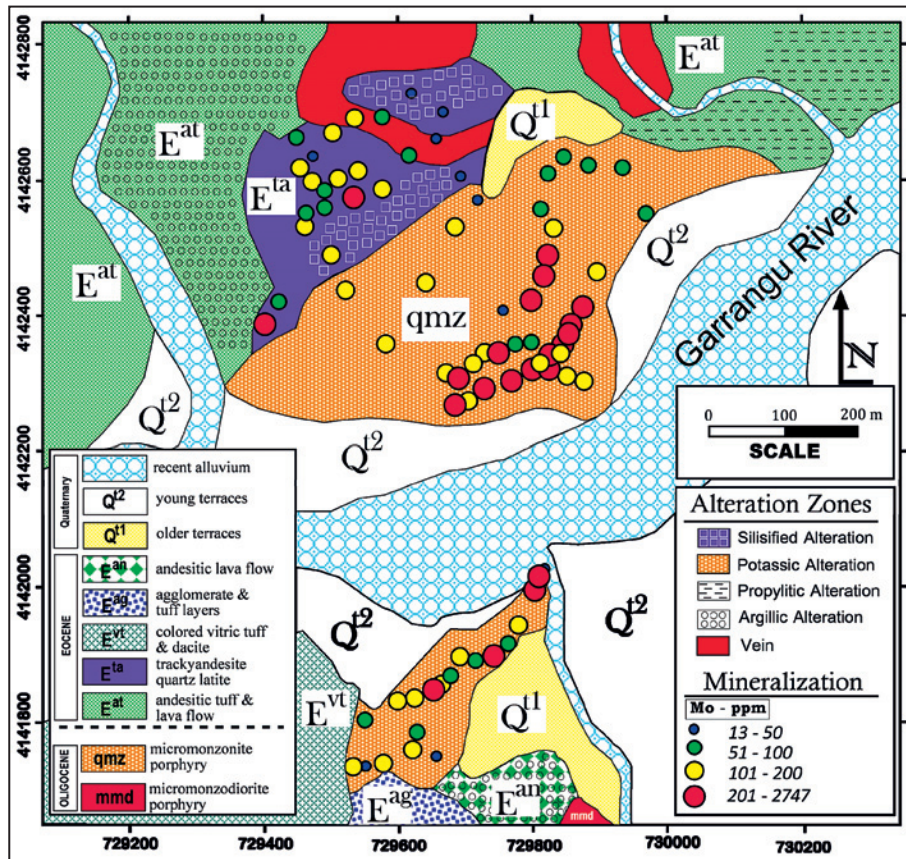
نویسندگان این مقاله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران و مدیریت محترم امور اکتشافات و امور تحقیق و توسعه شرکت ملی صنایع مس ایران به خاطر حمایت مالی از این پروژه و همچنین از آقای دکتر امیر مرتضی عظیم‌زاده به خاطر تجزیه طیف سنجی رامان و اندازه‌گیری دما و شوری میانبرهای سیال در دانشگاه لئون اتریش سپاسگزاری می‌کنند. از سردبیر و داوران محترم فصلنامه علوم زمین نیز به خاطر پیشنهادهای ارزنده‌شان، سپاسگزاری می‌شود.

– کانی‌سازی مولیدن بیشتر در مرحله سنگ‌زایی ماگمای مادر و مرتبط با جایگزینی در ژرفای به‌نسبت کم توده نفوذی رخ داده است.

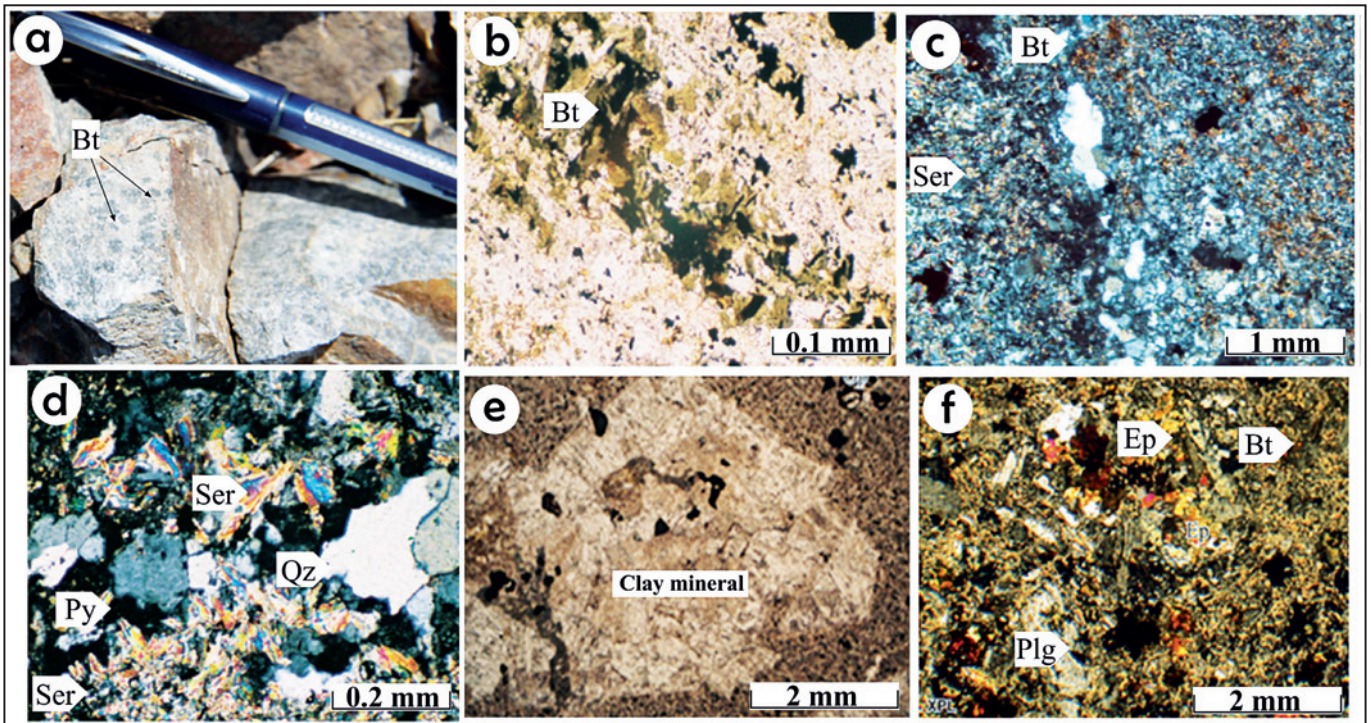
– وجود هاله‌های ژئوشیمیایی عناصر دما بالای مولیدن و تنگستن در منطقه سیه‌کمر به همراه مقادیر بسیار ناچیز مس و طلا، نوع سنگ میزبان و دگرسانی‌های همراه آن و نبود بقایایی از کانی‌سازی اپی‌ترمال مس و طلا دار، مشابه سامانه مولیدن پورفیری نوع کوارتزمونزونیتی کم‌فلوئور است که با شواهد کانی‌سازی، ژئوشیمی، میانبرهای سیال و موقعیت زمین‌ساختی ناحیه تأیید می‌شود.



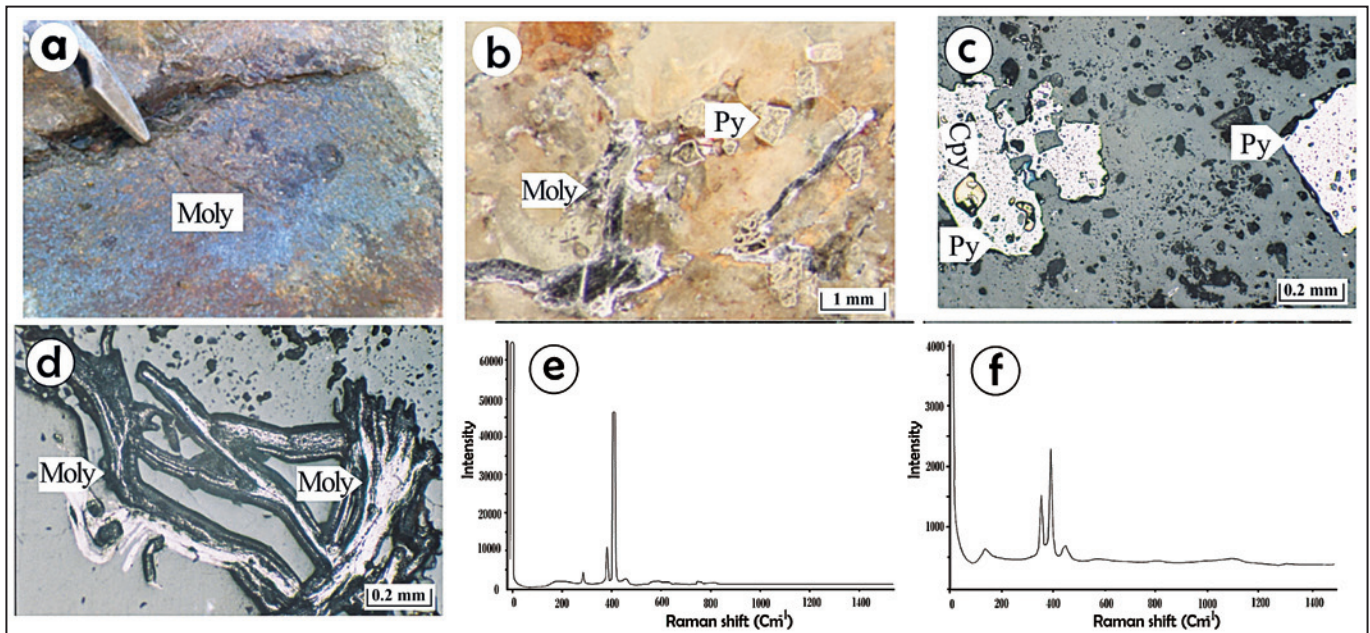
شکل ۱-۱. نقشه راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه؛ (b) پهنه‌های ساختاری مهم ایران (برگرفته از Rolland et al. (2009) با تغییرات) و موقعیت منطقه سیه‌کمر روی نوار ماگمایی البرز باختری- آذربایجان؛ (c) نقشه گسل‌های اصلی و خط‌واره‌های فرعی در منطقه آذربایجان و موقعیت محدوده در آن (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۰)؛ (d) پهنه‌های فلززایی آذربایجان و موقعیت کمر بند میانه- هشتروند (قربانی، ۱۳۸۶ و مهندسین مشاور زرناب اکتشاف، ۱۳۸۸) و (e) نقشه ساده‌شده واحدهای سنگی در مقیاس ناحیه‌ای و موقعیت توده پورفیری کانه‌دار.



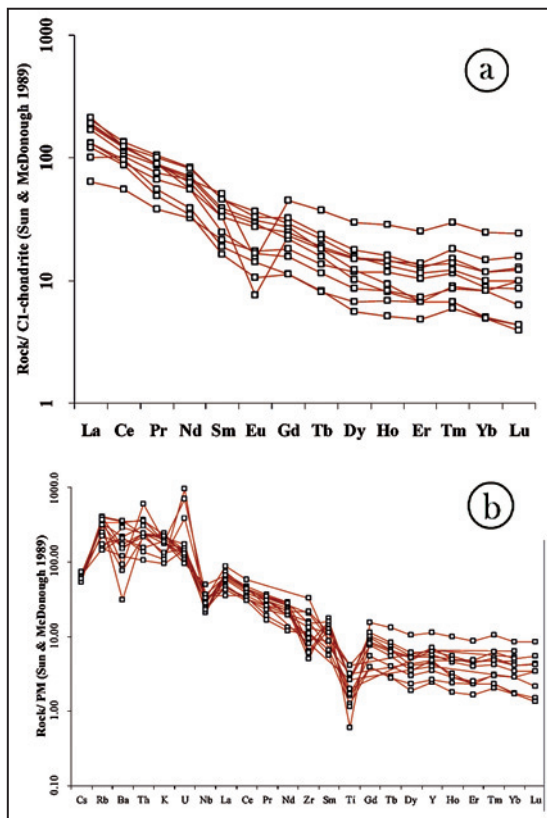
شکل ۲ - نقشه زمین‌شناسی - دگرسانی کانسار مولیبدن سیه‌کمر به همراه پراکنندگی نمادین عیار نمونه‌ها.



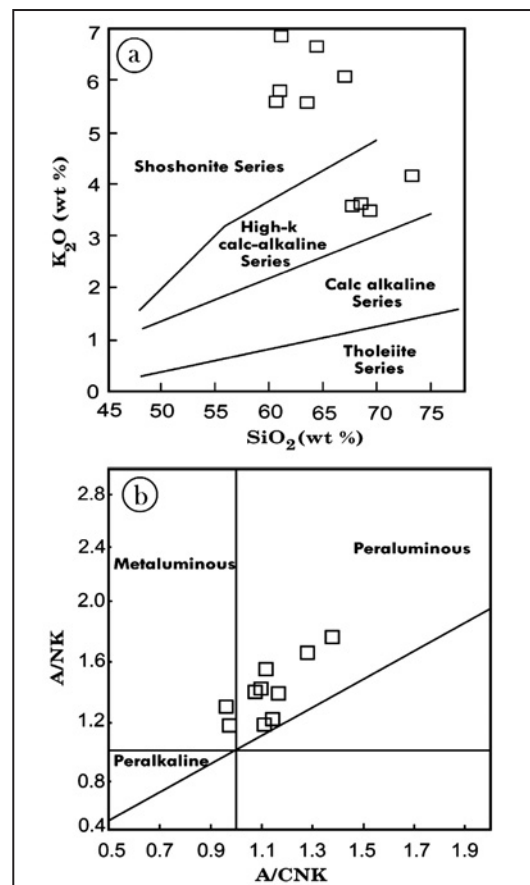
شکل ۳ - انواع دگرسانی در کانسار پورفیری سیه‌کمر؛ (a) تجمع بیوتیت‌های نوظهور (Neoformed) و ظاهر لکه‌دار در توده پورفیری؛ (b) بیوتیتی شدن در توده کوآرتزومونزونیت (نور PPL)، (c) همپوشانی دگرسانی پتاسیک (Bt) توسط دگرسانی فیلیک (Ser) (نور XPL)؛ (d) رگچه کوآرتز-پیریت - اکسید آهن در پهنه سریسیتی (نور XPL)؛ (e) دگرسانی آرژیلیک در سنگ دیواره آتشفشانی (نور PPL) و (f) دگرسانی پروپیلیتی؛ افزون بر تبدیل شدگی به اپیدوت، بیوتیتی شدن (Bt) نیز در زمینه استوک پورفیری دیده می‌شود (نور XPL).



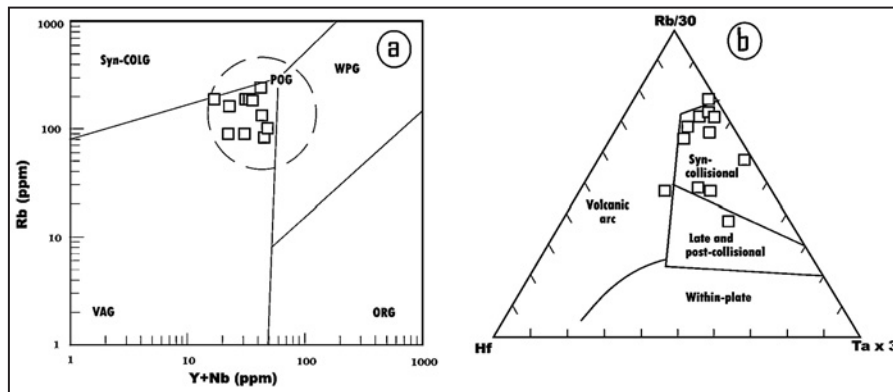
شکل ۴- (a) کانی سازی مولیبدنیت به شکل پرکننده سطوح درزه در سطح سنگ؛ (b) تصویر میکروسکوپ رمان؛ کانی های نقره ای رنگ مولیبدنیت (Moly) بیشتر به شکل رگچه ای به همراه بلورهای نیمه شکل دار و طلایی رنگ پیریت (Py) مشاهده می شود؛ (c و d) تصاویر مقاطع صیقلی در نور بازتابی به ترتیب مربوط به بلورهای شکل دار پیریت به همراه مقادیر جزئی کالکوپیریت (Cpy) و بلورهای الواری شکل مولیبدنیت؛ (e و f) نمودارهای اسپکتروسکوپی طیف رمان مربوط به فازهای مولیبدنیت و پیریت درون میانبارهای سیال رگچه کوارتز - مولیبدنیت توده سیه کمر.



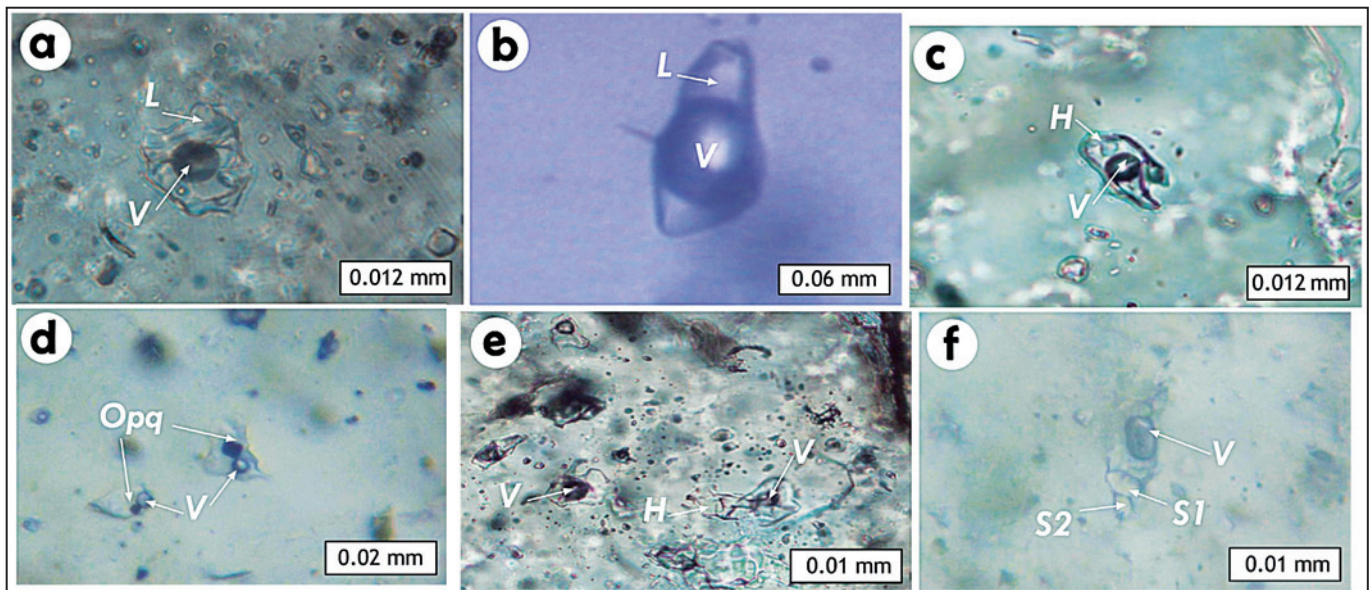
شکل ۶- نمودار عنکبوتی عناصر توده پورفیری سیه کمر؛ (a) الگوی عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت و (b) الگوی عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه. داده های مربوط به کندریت و گوشته اولیه از Sun & McDonough (1989) برگرفته شده است.



شکل ۵- (a) موقعیت نمونه های توده نفوذی سیه کمر در نمودار K_2O-SiO_2 (Maniar & Piccoli, 1989) برای نمونه های توده پورفیری سیه کمر. (b) نمودار A/CNK-ANK (Peccerillo & Taylor, 1976) و (c) نمودار A/NK-ANK (Maniar & Piccoli, 1989) برای نمونه های توده پورفیری سیه کمر.



شکل ۷- (a) موقعیت نمونه‌های توده سیه‌کمر در نمودار Y+Nb در برابر Rb (Pearce, 1996) و (b) نمودار Rb/30-Hf-Ta (Harris et al., 1986) برای رده‌بندی گرانیتوئیدها (VAG=گرانیت‌های کمان آتشفشانی؛ Syn-COLG=گرانیت‌های همزمان با برخورد و POG=گرانیت‌های پس از برخورد).



شکل ۸- تصاویر مربوط به میانبرهای سیال کانسار مولیبدن سیه‌کمر؛ (a و b) میانبر سیال نوع LV؛ (c) میانبر سیال نوع سه‌فازی LVH (دارای نوزاد حالت)؛ (d) میانبر سیال نوع LV به همراه کانی کدِر (احتمالاً پیریت)؛ (e) میانبر سیال سه‌فازی دارای بلور حالت و (f) میانبر سیال چندفازی دارای دو بلور نوزاد (حالت و سیلوت). نمونه‌ها مربوط به رگچه‌های کوارتز-مولیبدنیت موجود در استوک اصلی هستند.

جدول ۱- مقادیر مس و مولیبدن و نسبت Mo به Cu در نمونه‌های سطحی توده پورفیری سیه‌کمر.

شماره نمونه	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Mo/Cu	شماره نمونه	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Mo/Cu	شماره نمونه	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Mo/Cu
SK_1	80	442	6	SK_15	118	244	2	SK_29	351	594	2
SK_2	52	189	4	SK_16	50	196	4	SK_30	98	150	2
SK_3	50	237	5	SK_17	50	73	1	SK_31	51	54	1
SK_4	162	297	2	SK_18	50	136	3	SK_32	99	75	1
SK_5	117	507	4	SK_19	93	179	2	SK_33	63	96	1
SK_6	101	108	1	SK_20	50	780	16	SK_34	50	84	2
SK_7	67	835	12	SK_21	98	177	2	SK_35	50	97	2
SK_8	229	522	2	SK_22	103	125	1	SK_36	406	443	1
SK_9	202	249	1	SK_23	56	368	7	SK_37	50	115	2
SK_10	73	176	2	SK_24	69	85	1	SK_38	50	171	3
SK_11	95	698	7	SK_25	50	79	2	SK_39	50	49	1
SK_12	267	702	3	SK_26	50	130	2	SK_40	118	259	2
SK_13	162	379	2	SK_27	61	2747	45	SK_41	50	235	5
SK_14	110	2010	18	SK_28	62	1071	17	میانگین	93	446	5

جدول ۲- ترکیب عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب در توده کوارتز موزونیت پورفیری سیه کمر. (عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی و دیگر عناصر بر حسب ppm هستند).

Number	syk-14	syk-16	syk-10	syk-2	syk-f-14	syk-71	syk-12	syk-45	syk-29	syk-30	syk-25	Min	Max	Mean
SiO ₂	60.62	61.0	63.5	69.4	68.90	68.0	61.2	73.3	68.5	66.9	64.5	60.6	73.3	65.7
Al ₂ O ₃	19.79	19.5	18.1	14.8	16.70	15.9	19.1	14.2	16.0	15.6	16.3	14.2	19.79	17.2
Fe ₂ O ₃ (t)	4.20	3.71	3.49	3.00	1.70	3.50	3.49	1.83	1.88	3.48	4.22	1.70	4.22	3.2
MgO	1.11	1.27	0.72	0.40	0.30	0.56	1.08	0.21	0.13	0.44	0.10	0.10	1.27	0.54
CaO	1.81	2.02	1.52	2.10	2.10	2.30	2.20	0.21	0.46	1.36	0.37	0.37	2.30	1.62
Na ₂ O	3.02	3.23	4.19	4.60	4.80	3.80	3.61	3.74	3.31	4.12	4.15	3.02	4.80	3.8
K ₂ O	5.61	5.75	5.55	3.50	3.60	3.60	6.90	4.11	7.21	6.07	6.65	3.50	7.21	5.3
P ₂ O ₅	0.21	0.17	0.25	0.19	0.14	0.19	0.31	0.05	0.04	0.16	0.11	0.04	0.31	0.18
MnO	0.06	0.08	0.06	0.08	0.03	0.09	0.11	0.01	0.01	0.09	0.03	0.01	0.11	0.05
TiO ₂	0.60	0.57	0.59	0.54	0.43	0.40	0.59	0.28	0.35	0.57	0.37	0.28	0.60	0.48
LOI	2.16	1.76	1.23	0.90	0.90	1.20	0.92	1.72	1.10	0.69	2.06	0.69	2.16	1.28
Total	99.19	99.06	99.2	99.51	99.6	99.54	99.51	99.66	98.99	99.48	98.86	98.86	99.66	99.32
Na ₂ O+K ₂ O	8.63	8.98	9.74	8.1	8.4	7.4	10.51	7.85	10.52	10.19	10.8	7.4	11.5	9.1
K ₂ O/Na ₂ O	1.86	1.78	1.32	0.76	0.75	0.95	1.91	1.1	2.17	1.47	1.6	0.75	2.17	1.42
A/CNK	1.38	1.28	1.16	0.98	1.07	1.11	1.1	1.29	1.14	0.99	1.11	0.98	1.38	1.14
Mg [#]	34.4	40.4	29	20.9	25.9	24.1	38	14	12	20	4.5	4.5	40.4	23.9
Rb	206	210	216	71	97	99	250	165	250	141	199	71	250	173
Ba	1528	1534	2377	1715	1988	898	2400	853	1096	1212	1040	853	2400	1512
Sr	598	800	958	340	399	534	865	212	379	445	373	212	958	536
Pb	16	19	27	10	18	11	29	18	34	14	27	10	34	20.3
Th	25.9	26.4	30.8	16.7	20.2	15.5	30.3	16.3	18.4	20.5	20.5	15.5	30.8	22
U	2.3	2.4	2.6	7.2	8	8	3	3	2.5	2.9	2.7	2.3	8	4.1
Zr	72	67	68	646	368	118	90	150	125	169	104	67	646	182
Hf	0.49	0.38	0.25	0.98	0.1	2.44	1.74	2.25	0.96	1.81	0.85	0.1	2.44	1
Ta	0.82	0.91	0.73	0.4	0.1	2.37	0.91	1.17	0.94	1.3	0.98	0.73	2.37	1.1
Y	20	19	22	27	30	13	26	14	11	29	16	11	30	20.6
Nb	21	21	17	22	23	18	20	15	17	20	16	15	23	19
La	42	43	40	15	45	29	48	36	31	44	50	15	50	38.5
Ce	73	74	67	34	76	53	83	66	59	76	76	34	83	67
Pr	8.9	8.5	8.3	3.6	8.4	4.6	10	5.5	5.2	9.5	8.4	3.6	10	7.9
Nd	35	33	32	15	29	16	39	18	18	38	26	15	39	28
Sm	6.5	6	5.6	3.3	5	2.5	7	2.7	2.9	7	3.8	2.5	7	5
Eu	1.9	1.8	1.7	1.0	0.44	0.61	2.1	0.6	0.82	1.9	0.96	0.44	2.1	1.3
Gd	5.8	5.6	4.5	3.7	4.8	2.3	6	2.2	2.3	6.7	3.2	2.3	6.7	4.7
Tb	0.7	0.67	0.59	0.51	0.67	0.3	0.82	0.3	0.31	0.89	0.43	0.31	0.89	0.6
Dy	3	3.1	2.6	3.0	3.8	1.7	4	1.7	1.4	4.5	2.2	1.4	4.5	2.9
Ho	0.52	0.53	0.46	0.67	0.81	0.39	0.75	0.37	0.29	0.9	0.47	0.29	0.9	0.6
Er	1.1	1.1	1.1	1.7	2.3	1.1	1.9	1.2	0.79	2.2	1.2	0.79	2.3	1.5
Tm	0.17	0.17	0.17	0.29	0.46	0.23	0.31	0.24	0.15	0.35	0.22	0.15	0.46	0.3
Yb	0.84	0.83	0.86	1.5	2.5	1.4	1.7	1.5	0.83	2	1.4	0.83	2.5	1.4
Lu	0.1	0.11	0.11	0.22	0.4	0.25	0.25	0.25	0.1	0.31	0.16	0.1	0.4	0.2
Eu/Eu*	0.945	0.948	1.034	0.874	0.274	0.777	0.99	0.752	0.97	0.847	0.841	0.274	1.034	0.842

جدول ۳- نتایج تجزیه دماسنجی میانبارهای سیال.

نوع	اندازه ابعاد (میکرون)	تعداد تجزیه	دمای همگن‌شدگی (°C) T _n	دمای ذوب شدن (°C) T _m	شوری معادل درصد وزنی NaCl
LV	۴-۱۰	۱۲	۲۱۱-۲۱۳ (L+V → L)	(-۱/۶) تا (-۲)	۲/۶۳-۳/۲۸ (شوری کم)
VL	۲-۱۲	۲۰	۲۳۳-۲۷۰ (V+L → V)	(-۷/۵) تا (-۰/۶)	(شوری کم)
LVS	۶-۱۲	۱۵	۲۲۴-۳۰۰ (L+V+S → L)	(-۴/۰) تا (-۰/۹)	۲۵-۲۶/۲ (شوری کم تا متوسط)

کتابنگاری

- امینی آذر، ر. و قدیرزاده، ا.، ۱۳۸۲- شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ هشت‌رود، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
 حاج‌علیلو، ب.، ۱۳۷۶- گزارش پی‌جویی و پتانسیل‌یابی مواد معدنی در شهرستان میانه، اداره کل معادن و فلزات استان آذربایجان شرقی، ۲۷۶ صفحه.
 خدابنده، ع.، فریدی، م. و امینی آذر، ر.، ۱۳۷۷- شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ میانه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
 سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۰- نقشه خطواره‌های تکتونیکی ایران بر پایه داده‌های سنجش از دور.
 قربانی، م.، ۱۳۸۶- زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران، انتشارات آراین‌زمین، ص ۱۸۳ تا ۱۹۶.
 مقصودی، ع.، سعیدی، ع. و یونسی، س.، ۱۳۸۷- گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی - کانی سنگین در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ میانه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۶ صفحه.
 مهندسین مشاور زرناب اکتشاف، ۱۳۸۸- گزارش اکتشافات محدوده ۱:۲۵۰۰۰ سیه‌کمر، امور اکتشافات و مهندسی توسعه، شرکت ملی صنایع مس ایران، ۸۶ صفحه.

References

- Azizi, H. & Moinevaziri, H., 2009- Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in north-western Iran. *Journal of Geodynamics*. V. 47, pp.167–179.
- Barbarin, B., 1999- A review of the relationship between granitoids types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, V. 46, pp. 605-626.
- Bloomer, S. H., Stern, R. J., Fisk, E. & Geschwind, C. H., 1989- Shoshonitic volcanism in the Northern Mariana arc: Mineralogical and major and trace element characteristics. *J. Geophys. Res.* V.94 (B4), pp. 4469-4496.
- Bonin, B., 2004- Do coeval mafic and felsic magmas in post-collisional to within-plate regimes necessarily imply two contrasting, mantle and crustal, sources? A review. *Lithos*, V. 78 (1/2), pp. 1-24.
- Chen, Y. & Wang, Y., 2011- Fluid inclusion study of the Tangjianping Mo deposit, Dabie Shan, Henan Province: implications for the nature of the porphyry systems of post-collisional tectonic settings. *International Geology Review*, 53: 5, 635-655.
- Eftekhari Nazhad, J., 1975- Brief history and structural development of Azarbaijan. G.S.I., Internal Report. No.8.
- Kirkham, R. V. & Sinclair, W. D., 1995- Porphyry copper, gold, molybdenum, tungsten, tin and silver: Geology of Canadian mineral deposit type. *Geol. N. Am. Journal*, V.1, pp. 421-446.
- Harris, N. B. W., Pearce, J. A. & Tindle, A. G., 1986- Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward, M. P., Ries, A.C. (Eds.), *Collision Tectonics*. Geological Society Special Publication No. 19, Blackwell Scientific Publications, pp. 67–81.
- Huang, D., Dong, Q. & Gan, Zh., 1989- China Molybdenum Deposits. Geol. Pub. House, Beijing. pp.482-538.
- Laznica, P., 2006- Giant Metallic Deposits. Springer publishing, pp. 180-200.
- Maniar, P. D. & Piccoli, P. M., 1989- Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, V. 101, pp. 635-643.
- McLemore, V. T., Munroe, E. A., Heizler, M. T. & McKee, C., 1999- Geochemistry of the Flat porphyry and associated deposits in the Hillsboro mining district, Sierra County, New Mexico, USA, *Journal of geochemical exploration*, V. 67, pp. 167-189.
- Peccerillo, A. & Taylor, S. R., 1976- Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contribut. Mineral. Petrol.*, V. 58, pp. 63-81.
- Rolland, Y., Billo, S., Corsini, M., Sosson, M. & Galoyan, G., 2009- Blueschists of the Amassia-Stepanavan Suture Zone (Armenia): linking Tethys subduction history from E-Turkey to W-Iran. *Int. J Earth Sci.* V.98, pp. 533–550.
- Shepherd, T. J., Rankin, A. H. & Alderton, D. H. M., 1985- A practical Guide to Fluid Inclusion Studies: Blackie, Chapman and Hall, New York. 239p.
- Stanley, C. R. & Madeisky, H. E., 1995- Lithochemical exploration for hydrothermal mineral deposits using Pearce Element Ratio diagrams. In: *Extended Abstracts, 17th IGES, 15–19 May 1995, Townsville, Queensland*, pp.259–262.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for the mantle composition and process. In: Saunder, A. D., Norry, M. J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*, 42. Geological Society of London Special Publication, London, pp. 313–345.
- Westra, G. & Keith, S. B., 1981- Classification and genesis of stockwork molybdenum deposits. *Econ. Geol.* 76, 864-873.
- Zhu, L., Zhang, G., Guo, B., Lee, B. & Wang, F., 2010- Geochemistry of the Jinduicheng Mo-bearing porphyry and deposit, and its implications for the geodynamic setting in East Qinling, P. R. China. *Chemie der Erde*. 70, pp: 159-174.
- Zicheng, W., Jishun, L., Haitao, H., Xin, D. & Yufei, O., 2011- Geological and geochemical characteristics and metallogenic model of the Wenquan molybdenum deposit. *Chin. J. Geochem.* 30, pp: 391-397.

Geological and Geochemical Characteristics of the Syah Kamar Porphyry Molybdenum Deposit, West of Mianeh, NW Iran

F. Khaleghi ^{1*}, Gh. Hosseinzadeh ², I. Rasa ³ & M. Moayyed ⁴

¹ Ph.D., Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

² Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Natural Science, Tabriz University, Tabriz, Iran.

³ Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

⁴ Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Natural Science, Tabriz University, Tabriz, Iran.

Received: 2011 May 03

Accepted: 2011 November 16

Abstract

The Syah kamar molybdenum deposit is a porphyry molybdenum system which has been explored during the recent research of author in the northwest of Iran and is being reported for the first time and its ore mineralization is explained and discussed in this paper on the basis of geological data, mineralization evidences, geochemistry and fluid inclusions thermometry data. A porphyry quartz-monzonitic stock, which belongs to the K-rich (alkali-rich) calc-alkaline rock series and on the basis of geochemical data and tectonic setting viewpoint, formed as the post-collision granites is considered as the mineralization parent rock of this system. According to the emplacement pattern of productive intrusive bodies of the region, the mineralization of molybdenum have occurred after Eocene time, about the Oligocene time, and the mineralization process has taken place most probably at the last stage of magma emplacement, and on the basis of microthermometry and salinity data, its metaliferous hydrothermal solution have had low salinity and medium homogenization temperature. In addition, according to the host rock type, accompanying alterations and some other evidences, the mineralization characteristics of Syah kamar molybdenum prospect are comparable with the molybdenum deposits of the quartz-monzonitic type. During the tectonic processes, the ore-bearing hydrothermal solution ascended along weak zones and suitable fault structures, and intruded into the joints and fissures of surrounding rocks, and as a result of physiochemical changes of environment and some other effects, finally the Syah kamar molybdenum deposit has been formed.

Keywords: Molybdenum deposit, Porphyry, Quartz monzonite, Geochemistry, Syah kamar, Mianeh.

For Persian Version see pages 187 to 196

*Corresponding author: F. Khaleghi; E-mail: fazel_khaleghi@yahoo.com