

بررسی هاله‌های دگرسانی - کانی‌زایی و الگوی پراکندگی مس، مولیبدن، طلا و نقره در کانسار مس پورفیری میدوک، شهر بابک، کرمان

نوشته: نادر تقی پور*، علیجان آفتابی* و محمدرضا رضانی**

* گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

** واحد معدن، بخش زمین شناسی، مجتمع مس میدوک، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۵/۲۳

چکیده

کانسار مس پورفیری میدوک در استان کرمان و در ۸۵ کیلومتری معدن مس پورفیری سرچشمه واقع است. این کانسار در درون سنگ‌های آتشفشانی ائوسن با ترکیب آندزیت - بازالت قرار گرفته است. کانی‌زایی نوع پورفیری همراه با دو توده نفوذی پورفیری کلسیمی - قلیایی (پورفیری PI و میدوک پورفیری) به سن میوسن رخ داده است. پنج هاله دگرسانی اولیه در این کانسار شناسایی شده است. پتاسیک غنی از مگنتیت، پتاسیک، پتاسیک - فیلیک، فیلیک و پروپیلیتیک. مرحله اصلی کانی‌زایی شامل کالکوپیریت همراه با انیدریت و مگنتیت در زون دگرسانی پتاسیک و بیشترین شدت کانی‌زایی همراه با توده نفوذی میدوک پورفیری است. سه نوع بیوتیت مختلف: ماگمایی، ماگمایی متأثر از سیالات گرمایی و ثانویه در کانسار میدوک حضور دارد. بیوتیت‌های ماگمایی متأثر از سیالات گرمایی و ثانویه مقادیر X_{Mg} بیشتری نسبت به بیوتیت‌های ماگمایی دارند. مقدار X_{Mg} این بیوتیت‌ها با مقادیر Mg/Ti, Si, Al, Mg, K مثبت و با مقادیر Al* Ti, Fe, Na, Ti همبستگی منفی نشان می‌دهند. تغییرات مس، طلا، نقره و مولیبدن تابع نوع رگه‌ها، هاله دگرسانی و منطقه کانی‌زایی است. ذخیره کانسار میدوک در حدود ۱۷۰ میلیون تن با عیار میانگین مس (۰/۸۲ درصد)، مولیبدن (۰/۰۰۷ درصد)، طلا (۸۲ ppb) و نقره (۱/۸ ppm) است. مقادیر بالای مولیبدن و طلا به ترتیب در زون کانی‌زایی فروشست - اکسیدی، سولفیدی غنی شده، هاله دگرسانی پتاسیک - فیلیک و فیلیک دیده می‌شود. یک ضریب همبستگی مثبت قوی بین مس و طلا در زون دگرسانی پتاسیک غنی از مگنتیت و پتاسیک وجود دارد. بر اساس مطالعات کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی، هاله‌های دگرسانی و مقادیر فلزات با ارزش، کانسار مس پورفیری میدوک مشابه کانسارهای مس پورفیری نوع حاشیه قاره‌ای است.

کلیدواژه‌ها: دگرسانی، کانی‌زایی، پورفیری، میدوک و کرمان

۱- مقدمه

(Saric et al., 1972) که به صورت ناپیوستگی توسط کنگلومرای کرمان به سن پالئوسن (Dimitrijevic, 1973) پوشیده شده است. در پی آن، این دو واحد توسط فلیش‌های ائوسن پوشیده شده‌اند.

سه مجموعه آتشفشانی بزرگ شامل بحرآسمان، رازک و هزار با ستبرای میانگین ۱۱ تا ۱۶ کیلومتر، در منطقه میدوک حضور دارند. مجموعه آتشفشانی بحرآسمان در ائوسن پیشین شکل گرفته و با یک فاز انفجاری آذرآواری اسیدی، توف‌ها و برش‌های آتشفشانی از روانه‌های ریولیتی جدا شده است (Dimitrijevic, 1973). این مجموعه، اولین فعالیت آتشفشانی ترشیری در بخش جنوبی کمر بند آتشفشانی - نفوذی ایران مرکزی است. ستبرای این مجموعه حدود ۷ کیلومتر برآورد شده است، اما در منطقه میدوک در حدود ۵۰۰-۴۰۰ متر است (Dimitrijevic, 1973). مجموعه آتشفشانی رازک که سنگ میزبان اصلی کانی‌زایی در کانسار میدوک است، به سه قسمت تقسیم می‌شود. قسمت زیرین شامل بخش بازی (تراکی بازالت، آندزیت و تراکی آندزیت)، قسمت میانی شامل بخش اسیدی (توف اسیدی) و قسمت بالایی شامل بخش بازی (تراکی آندزیت و تراکی بازالت) است (Dimitrijevic, 1973). Hassanzadeh (1993) بر اساس سن سنجی آلپیت، سن قسمت زیرین این مجموعه به روش $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ را $1/4 \pm 37/5$ میلیون سال تعیین کردند. مجموعه آتشفشانی هزار، بخش‌های وسیعی از منطقه میدوک را می‌پوشاند و شامل سنگ‌های تراکی آندزیت و تراکی بازالت است. سن این مجموعه نیز با استفاده از روش $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ بر روی کانی آنالسیم $6/3 \pm 32/7$ میلیون سال به دست آمده است (Hassanzadeh, 1993).

سنگ‌های آتشفشانی رخنمون یافته در محدوده معدن از نوع آندزیت بازالتی و آندزیتی و معمولاً به صورت توده‌ای با بافت‌های دانه ریز و پورفیری است. انواع پورفیری این نوع سنگ‌ها، دارای بیش از ۶۰ درصد حجمی پلاژیوکلاز و زمینه دانه

کانی‌زایی نوع مس پورفیری در ایران با توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی به سن میوسن همراه است که در کمر بند آتشفشانی، نفوذی سهند - بزمان واقع شده‌اند (شکل ۱). فعالیت‌های آتشفشانی، نفوذی و کانی‌زایی در کمر بند آتشفشانی، نفوذی سهند - بزمان در ارتباط با فرورانش سنگ‌کره نوتیس به زیر ایران مرکزی در طول گسل رورانه زاگرس است (Aftabi and Atapour, 2000; Foester, 1978; Berberian and King, 1981). بخش جنوب خاوری کمر بند آتشفشانی، نفوذی سهند - بزمان در استان کرمان قرار دارد و به کمر بند فرعی دهج - ساردوئیه معروف است که یکی از مناطق اصلی کانی‌زایی مس در ایران می‌باشد و در آن بیش از ۵۰ کانسار و رخدادهای معدنی پورفیری و رگه‌های شناسایی شده است.

کانسار مس - مولیبدن پورفیری سرچشمه با ۱۲۰۰ میلیون تن ماده معدنی و با عیار میانگین ۰/۶۹ درصد مس و عیار میانگین ۰/۰۳ درصد مولیبدن در این کمر بند قرار دارد (Shahabpour, 2000). کانسار مس پورفیری میدوک در ۸۵ کیلومتری شمال باختری معدن سرچشمه و در ۵۰ کیلومتری شمال شهر بابک واقع است (شکل ۱). مطالعات اکتشافی اولیه بر روی کانسار میدوک در سال‌های ۱۹۶۷-۱۹۷۰ توسط شرکت‌های Parjam و Metallgesellschaft صورت پذیرفته است. در حال حاضر، بیش از ۵۰ حلقه گمانه در کانسار حفر شده است که بیشترین ژرفا، ۱۰۱۳ متر مربوط به گمانه ۴۴ است. کانسار میدوک دارای ۱۷۰ میلیون تن کانسنگ معدنی با عیار میانگین ۰/۸۶ درصد مس، ۰/۰۰۷ درصد مولیبدن، ۸۲ میلی گرم بر تن طلا و ۱/۸ گرم بر تن نقره می‌باشد (تقی پور، ۱۳۸۶).

۲- زمین‌شناسی منطقه میدوک

کهن‌ترین واحد شناخته شده در منطقه میدوک، فلیش‌های سنومانین - تورونین است

۱-۴. دگرسانی پتاسیک غنی از مگنتیت

این نوع دگرسانی که با حضور رگچه‌ها و رگه‌های مگنتیتی مشخص می‌شود، در بعضی از کانسارهای مس پورفیری مانند آپلند کاپر (Arancibia & Clark, 1996) و کانسار Bajo de la Alumbrera آرژانتین (Ulrich and Henrich, 2001) گزارش شده است. این نوع دگرسانی در کانسار مس پورفیری میدوک برای اولین بار شناسایی شده است. گسترش آن مربوط به قسمت باختری کانسار میدوک و در قسمت‌های ژرف همراه با پورفیری P_1 است. بیشترین و بهترین رخنمون این دگرسانی در چاه شماره ۴۴ و در سنگ‌های دیواره آتشفشانی دیده می‌شود. این دگرسانی با حضور مگنتیت به صورت انشاری و رگچه و رگه، کوارتز و فلدسپار پتاسیم و مقادیر کمی بیوتیت ثانویه و سریسیت مشخص می‌شود. درشت‌بلورهای پلاژیو کلاز کاملاً دگرسان شده‌اند و به سریسیت، فلدسپار پتاسیم و انیدریت تبدیل شده‌اند و تنها قالب آنها برجای مانده است. درشت‌بلورهای بیوتیت نیز به بیوتیت ثانویه، سریسیت و کلریت و در بعضی قسمت‌ها به مگنتیت و اسفن تبدیل شده‌اند.

کالکوپریت تنها کانی مس‌دار در این دگرسانی است که به صورت انشاری و یا رگه‌ای دیده می‌شود. کانی پیریت حضور ندارد و یا به مقدار بسیار کم به صورت بلورهای ریز شکل دار دیده می‌شود. این دگرسانی به وسیله دگرسانی سریسیت، رس، کلریت متأثر شده است.

۲-۴. دگرسانی پتاسیک

دو نوع دگرسانی پتاسیک بر اساس شدت دگرسانی در کانسار میدوک شناسایی شده است. سنگ‌هایی با دگرسانی پتاسیک ضعیف که به وسیله درشت‌بلورهای پلاژیو کلاز شکل دار سالم و بیوتیت ثانویه در زمینه، هورنبلند و مقدار کمی بیوتیت ماگمایی مشخص می‌شود. این دگرسانی در مرکز کانسار و در ژرف‌ترین قسمت آن دیده می‌شود. کانی فلدسپار پتاسیم به مقدار کم جانشین درشت‌بلورهای پلاژیو کلاز شده است. دگرسانی پتاسیک شدید به وسیله حضور فلدسپار پتاسیم ثانویه، بیوتیت ثانویه و انیدریت مشخص می‌شود. همچنین فلدسپار پتاسیم در زمینه سنگ نیز به صورت ثانویه حضور دارد. درشت‌بلورهای هورنبلند توسط بیوتیت ثانویه، انیدریت و اندکی آپاتیت، مگنتیت، کالکوپریت و روتیل جانشین شده‌اند. بیشترین گسترش بیوتیت ثانویه در سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی-بازالتی که تحت تأثیر دگرسانی پتاسیک قرار گرفته‌اند، دیده می‌شود.

تشکیل مگنتیت در زون پتاسیک به صورت انشاری و همراه با رگه‌های کوارتز، کالکوپریت و انیدریت است. رگچه‌ها و رگه‌های مگنتیتی در دگرسانی پتاسیک حضور ندارند (Arancibia & Clark, 1996). کالکوپریت کانی اصلی سولفیدی در این زون است که به صورت انشاری، هم‌شدی با مگنتیت و به صورت رگچه با انیدریت و رگه با کوارتز، انیدریت و مگنتیت دیده می‌شود. مقدار کمی بورنیت همراه با کالکوپریت در این زون دیده می‌شود. پیریت به صورت انشاری و رگچه تشکیل شده است و رگچه‌ها و رگه‌های کوارتز فاقد کانی‌زایی، درشت‌بلورهای پلاژیو کلاز و بیوتیت را قطع کرده‌اند.

۳-۴. دگرسانی پتاسیک-فیلیک

گسترش این دگرسانی در کانسار میدوک نسبتاً زیاد است که به وسیله متأثر شدن دگرسانی پتاسیک از دگرسانی فیلیک به وجود آمده است و با حضور کانی‌های فلدسپار پتاسیم، بیوتیت ثانویه، سریسیت و کوارتز مشخص می‌شود. در این دگرسانی درشت‌بلورهای پلاژیو کلاز به طور کامل به فلدسپار پتاسیم، سریسیت و کانی‌های رسی و به مقدار کمی به انیدریت دگرسان شده‌اند. بیوتیت نیز به بیوتیت‌های ثانویه، سریسیت و روتیل تبدیل شده‌اند. پیریت و کالکوپریت مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی هستند و به صورت انشاری و رگچه و رگه حضور دارند. کانی‌زایی مگنتیت نیز به

ریز آنها شامل پلاژیو کلاز، پیروکسن، سریسیت، مگنتیت و پیریت است.

بر اساس بافت، روابط قطع‌شدگی و شدت کانی‌زایی سه نوع توده نفوذی پورفیری شامل توده نفوذی P_1 ، توده نفوذی میدوک پورفیری و دایک پورفیری تأخیری در کانسار میدوک شناسایی شده است. توده پورفیری P_1 در باختر معدن واقع شده (شکل ۲) و دارای بافت پورفیری-آپلیتی با رنگ خاکستری و به شدت دگرسان شده است. این توده پورفیری شامل ۴۰ تا ۵۰ درصد درشت‌بلور پلاژیو کلاز، کوارتز، بیوتیت و هورنبلند است. به طور تقریب همه درشت‌بلورها دگرسان شده‌اند و فقط قالب اولیه آنها حفظ شده است. کانی‌زایی در این توده به صورت استوک و رک و انشاری است. ویژگی خاص این توده نیز رخداد رگچه و رگه‌های مگنتیتی و مربوط به مراحل اولیه کانی‌زایی است. بنابراین به احتمال این توده قدیمی‌تر از توده میدوک پورفیری می‌باشد.

میدوک پورفیری بزرگ‌ترین فاز نفوذی در معدن میدوک است که از دیوریت و کوارتز دیوریت تشکیل شده و بیشترین شدت کانی‌زایی همراه با این توده نفوذی است. این توده نفوذی به وسیله حضور درشت‌بلورهای نسبتاً سالمی از پلاژیو کلازها، بیوتیت و کوارتز مشخص می‌شود. ترکیب کانی‌شناسی آن شامل ۵۰ درصد درشت‌بلورهای پلاژیو کلاز، ۱۳ تا ۱۵ درصد کوارتز و در حدود ۱۰ درصد بیوتیت و زمینه آن نیز در حدود ۲۵ درصد است. درشت‌بلورهای آمفیبول کاملاً دگرسان شده و به کانی‌های بیوتیت و مگنتیت تبدیل شده‌اند. توده‌های نفوذی پورفیری و سنگ‌های آتشفشانی موجود در محدوده معدن توسط دایک‌های پورفیری تأخیری با روند شمالی-جنوبی قطع شده‌اند که به وسیله دگرسانی و کانی‌زایی ضعیف قابل شناسایی است (شکل ۲). ترکیب کانی‌شناسی این دایک‌ها کاملاً شبیه به پورفیری میدوک و شامل مقادیر بالای پلاژیو کلاز، درشت‌بلورهای سالم بیوتیت و مقدار کمی کوارتز است. هورنبلند بیش از ۱۵ درصد سنگ را تشکیل می‌دهد که نسبتاً دگرسان شده و به کانی‌های کلریت و مگنتیت تبدیل شده‌اند. زمینه این دایک شامل کوارتز، پلاژیو کلاز و آپاتیت است.

۳- روش مطالعه

به منظور مطالعه انواع بیوتیت‌ها در کانسار میدوک، پس از تهیه مقاطع نازک صیقلی، ۲۹ نقطه در ۵ نمونه با استفاده از دستگاه Cameca ۱۰x در شرکت تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران آنالیز میکروپروپ (EPMA) شد. در این روش برای اندازه‌گیری عناصر از استانداردهای آلپیت، پریکلاز، کوندوم، ارتو کلاز، ولاستونیت، رودونیت، اسپیکولاریت و اختلاف پتانسیلی 20keV و جریان 10nA استفاده شده است. برای بررسی الگوی پراکنندگی مس، طلا، نقره و مولیبدن از تجزیه‌های زیادی استفاده شده است. داده‌های مربوط به مس و مولیبدن از پرونده چاه‌ها استخراج شده و برای بررسی وضعیت پراکنندگی طلا از ۳۴۴ داده استفاده شده است. تعداد ۲۲۰ نمونه توسط شرکت Outomec و ۸۸ نمونه توسط شرکت Rio Tinto برای طلا و نقره تجزیه شده‌اند. همچنین ۳۶ نمونه نیز از قسمت‌های مختلف کانسار انتخاب و برای تعیین مقدار طلا به روش ICP-MS توسط شرکت ALS-Chemec کانادا تجزیه شیمیایی شد.

۴- دگرسانی و کانی‌زایی

با مطالعه مقاطع نازک و نازک-صیقلی شش نوع دگرسانی در کانسار میدوک شناسایی شده است. این دگرسانی‌ها غالباً "در توده‌های نفوذی پورفیری P_1 و میدوک پورفیری حضور دارند. شکل ۳ توزیع مجموعه‌های دگرسانی و عیار مس را در مقطع B-B' نشان می‌دهد.

صورت انتشاری و به صورت رگه همراه با کوارتز، کالکوپیریت و انیدریت است.

۴-۴. دگرسانی فلیک

دگرسانی فلیک یا سرسیت با شسته شدن سدیم و کلسیم از کانی‌های آلومینوسیلیکاتی و منیزیم‌دار به وجود می‌آید (Beane and Titley, 1981). این دگرسانی با حضور کوارتز، سرسیت و پیریت مشخص می‌شود. تقریباً تمام کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها در این دگرسانی به طور کامل به سرسیت و کوارتز تبدیل شده‌اند. انیدریت و تیتانیت (اسفن) کانی‌های فرعی این زون هستند. تغییر دگرسانی از پتاسیک-فلیک به دگرسانی فلیک تدریجی است و به وسیله افزایش مقدار سرسیت و کوارتز مشخص می‌شود. پیریت مهم‌ترین کانی سولفیدی در این زون است که به صورت پراکنده و همچنین در رگه‌ها دیده می‌شود.

۴-۵. دگرسانی پروپیلیتی

این دگرسانی در اطراف استوک میدوک پورفیری و بخصوص در قسمت شمالی کانسار دیده می‌شود. دگرسانی پروپیلیتی در قسمت‌های ژرف‌تر و در زون انتقالی پتاسیک دیده نشده است. در این دگرسانی کانی‌های مافیک به کلریت، اپیدوت، کلسیت و پیریت و درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز به سرسیت، کلریت و اپیدوت تبدیل شده‌اند.

۴-۶. دگرسانی آرژیلیک

Beane & Bodnar (1995) بیان کردند که دگرسانی آرژیلیک تحت تأثیر محلول‌های گرمابی اولیه به وجود نمی‌آید و بیشتر در اثر فرایندهای سوپرژن پدید می‌آید. همه کانی‌های تشکیل دهنده سنگ در این دگرسانی به طور کامل به کانی‌های رسی، سرسیت، کوارتز و هماتیت دگرسان می‌شوند. این دگرسانی در قسمت بالایی کانسار میدوک رخ داده است و بر اساس تجزیه‌های XRD اغلب از کانی‌های سیلیکاتی ورقه‌ای، بویژه از ایلیت تشکیل شده‌اند.

۵-۵. شیمی انواع بیوتیت در کانسار میدوک

بیشتر مطالعات پیشین بر روی ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها در کانسارهای مس پورفیری، تعیین مقادیر Cl و F استوار بوده که برای تشخیص توده‌های کانی‌زا و غیرکانی‌زا استفاده شده است (Stollery et al., 1971; Kesler et al., 1975; Parry and Jacobs, 1975;) (Ford, 1978) (Hezarkhani (2002) نیز به بررسی شیمی بیوتیت‌های ماگمایی و گرمابی کانسار مس پورفیری سونگون پرداخته است و بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری و ترکیب شیمیایی، این دو نوع بیوتیت را از هم تفکیک کرده است.

۶. رده‌بندی بیوتیت‌ها

رده‌بندی بیوتیت‌ها براساس روش Selby and Nesbitt (2000) صورت پذیرفته است. بر این اساس، بیوتیت‌ها در کانسار میدوک شامل دو نوع ماگمایی و ثانویه است. بیوتیت‌های ماگمایی نشان دهنده بیوتیت‌هایی هستند که مستقیماً از یک مذاب سیلیکاتی متبلور شده‌اند. این نوع بیوتیت به دو گروه تقسیم می‌شوند. ۱- بیوتیت‌های اولیه‌ای که دارای کمترین دگرسانی هستند و فرایندهای دگرسانی بر روی آنها کم‌ترین تأثیر را داشته است (بیوتیت‌های ماگمایی نادگرسان).

۲- بیوتیت‌های ماگمایی که تحت تأثیر فرایندهای دگرسانی قرار گرفته‌اند (مانند بیوتیت‌های ماگمایی در زون دگرسانی پتاسیک) و از این پس به آنها بیوتیت‌های ماگمایی متأثر از سیالات گرمابی گفته می‌شود. بیوتیت‌های ثانویه نیز شامل بیوتیت‌هایی هستند که تحت تأثیر سیالات گرمابی و از دگرسانی سیلیکات‌های تیره

مانند آمفیبول‌ها به وجود آمده‌اند.

۷- سنگ‌نگاری بیوتیت‌ها

از نظر سنگ‌نگاری، انواع بیوتیت به آسانی قابل شناسایی هستند ولی به دلیل دگرسانی، همه در یک نوع توده دیده نمی‌شوند. بیوتیت‌های ماگمایی به صورت بلورهای درشت کاملاً شکل‌دار رخ داده‌اند و رنگ آنها قهوه‌ای تیره است. هیچ گونه دگرسانی در داخل و یا پیرامون آنها دیده نمی‌شود. به نظر Burnham (1979) در کانسارهای مس پورفیری ترکیب ماگمای تشکیل دهنده دایک‌های پورفیری تأخیری مشابه توده نفوذی پورفیری هستند. دایک‌های پورفیری تأخیری در کانسار میدوک نیز از نظر ژئوشیمیایی و سنگ‌نگاری کاملاً مشابه با پورفیری میدوک هستند که در مراحل پایانی تشکیل کانسار مس پورفیری میدوک از ماگمای تشکیل دهنده پورفیری میدوک به وجود آمده‌اند و به همین دلیل دارای کانی‌زایی ضعیفی هستند. بنابراین، از بیوتیت‌های اولیه این دایک‌ها به دلیل نادگرسان بودن، به عنوان بیوتیت‌های ماگمایی استفاده شده است (شکل ۴-الف). بیوتیت‌های ماگمایی متأثر از سیالات گرمابی معمولاً درشت‌بلورهای شکل‌داری هستند که در حاشیه به کلریت و در مرکز به ارتوکلاز، انیدریت و مگنتیت تبدیل شده‌اند و رنگ آنها نیز قهوه‌ای مایل به تیره است (شکل ۴-ب). بیوتیت‌های ثانویه بدون شکل هستند و اندازه آنها کوچک است. این بیوتیت‌ها به صورت کامل و یا بخشی، جانشین هورنبلند و یا بیوتیت‌های ماگمایی می‌شوند و رنگ آنها قهوه‌ای است (شکل ۴-ج).

۸- ویژگی‌های شیمیایی بیوتیت‌ها

جداول ۱ و ۲ ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها را در کانسار میدوک نشان می‌دهد. یکی از مهم‌ترین عوامل برای تشخیص انواع بیوتیت‌های ماگمایی، ماگمایی متأثر از سیالات گرمابی و ثانویه ($X_{Mg} = Mg/(Mg+Fe)$) است. شکل ۵ روند تغییرات X_{Mg} این بیوتیت‌ها را در برابر مقادیر عنصری و اکسیدی عناصر مختلفی مانند Fe/Ti, Al*Ti, Mg/Ti, Ti, Si, Fe, Al, Mg, Na, K را نشان می‌دهند. بیوتیت‌های ماگمایی متأثر از سیالات گرمابی و ثانویه نسبت به بیوتیت‌های ماگمایی دارای مقادیر بیشتری از X_{Mg} هستند. X_{Mg} با Mg/Ti, Si, Al, Mg, K همبستگی مثبت و با Al*Ti, Fe, Na, Ti همبستگی منفی نشان می‌دهد.

بیوتیت‌های ماگمایی متأثر از سیالات گرمابی و ثانویه که مربوط به زون دگرسانی پتاسیک است، دارای مقادیر بیشتری از Si, Mg, Al, K نسبت به بیوتیت‌های ماگمایی هستند. همچنین مقادیر Fe, Ti, Na در بیوتیت‌های ماگمایی بیشتر از بیوتیت‌های ماگمایی متأثر از سیالات گرمابی و ثانویه است. یکی از ویژگی‌های جالب توجه بیوتیت‌ها در کانسار میدوک مقدار فلئوئور است که حداکثر به ۲/۱۸ درصد می‌رسد. این ویژگی خاص کانسارهای پورفیری و توده‌های نفوذی شوشونیتی و پتاسیک حاشیه قاره‌ای مانند کانسار بینگهام است که مقدار فلئوئور در آن به بیش از ۶۲۰ گرم بر تن می‌رسد (Muller et al., 1994).

۹- الگوی پراکندگی مس، طلا، نقره و مولیبدن

تحلیل آماری بیش از ۳۰۰ نمونه در زون‌های مختلف کانی‌زایی فروشت-اکسیدی، غنی شده ثانویه سولفیدی و ژرفزاد کانسار میدوک در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. بر اساس این اطلاعات زون فروشت-اکسیدی دارای بیشترین مقدار مولیبدن (۲۸۰ ppm) است. همچنین ضریب همبستگی مولیبدن با مس، طلا در این زون منفی و ضریب همبستگی بین مس و طلا مثبت ضعیف می‌باشد (جدول ۳ و شکل ۶). بیشترین مقدار مس و طلا (۲۸۰ ppb) در زون غنی شده ثانویه سولفیدی وجود دارد

ایزوتوپی (McInnes et al., 2005) ژرفای جایگزینی توده نفوذی کانسار میدوک و کانسار سرچشمه را به ترتیب ۲/۵۱ و ۴/۷۵ کیلومتر تعیین کرده‌اند. Etminan (1977) نیز با مطالعه میانبرهای سیال، ژرفای جایگزینی استوک سرچشمه را ۳-۴ کیلومتر برآورد کرده‌اند. Hezarkhani & Williams-Jones (1998) نیز بر اساس مطالعه میانبرهای سیال و ستبرای توالی ستون چینه‌ای، ژرفای جایگزینی کانسار سونگون را ۲ کیلومتر تعیین کردند. ژرفای جایگزینی توده نفوذی کانسار میدوک بیشتر از کانسار سونگون و کمتر از کانسار سرچشمه است.

به رغم این که از دیدگاه Arancibia & Clark (1996) رگه‌ها و رگچه‌های مگنتیتی به طور معمول در دگرسانی پتاسیک دیده نمی‌شوند و تاکنون در هیچ کدام از کانسارهای مس پورفیری ایران گزارش نشده است، نتایج مطالعات انجام گرفته در این نگارش بیانگر حضور رگچه‌ها و رگه‌های مگنتیتی در کانسار مس پورفیری میدوک است که با حضور رگچه‌ها و رگه‌های مذکور در کانسارهای مس پورفیری آیلند کاپر بریتیش کلمبیا (Arancibia & Clark (1996) و آلومبرای آرژانتین (Ulrich and Henrich, 2001) همخوانی دارد.

ذخیره کانسار میدوک، کمتر از سرچشمه و سونگون اما عیار میانگین مس (۰/۸۲ درصد) و عیار میانگین طلا (۸۲ ppb) در این کانسار بیشتر از سرچشمه و سونگون و عیار میانگین مولیبدن (۰/۰۰۷ درصد) کمتر از دو کانسار پورفیری فوق است. زون غنی شده ثانویه سولفیدی نیز در این کانسار مانند سرچشمه خوب توسعه یافته است.

۱۱- نتیجه‌گیری

کانسار مس پورفیری میدوک در کمربند آتشفشانی، نفوذی سهند-بزمان همراه با توده نفوذی کلسیمی-قلیایی به سن میوسن است که در درون مجموعه آتشفشانی رازک به سن ائوسن قرار گرفته است. کانی‌زایی اصلی در توده نفوذی میدوک پورفیری اتفاق افتاده و کمتر از ۱۰ درصد کانی‌زایی در سنگ‌های آتشفشانی میزبان صورت پذیرفته است. دگرسانی پتاسیک غنی از مگنتیتی که با حضور رگچه‌ها و رگه‌های مگنتیتی مشخص می‌شود، برای اولین بار در کانسار میدوک شناسایی شده است. این دگرسانی تا به حال در هیچ کدام از کانسارهای مس پورفیری ایران گزارش نشده است.

مرحله اصلی کانی‌زایی شامل رخداد کالکوپریت همراه با کوارتز، اندریت و مگنتیتی به صورت انتشاری و استوک و راک در زون دگرسانی پتاسیک است. مقدار X_{Mg} معیاری بسیار خوب برای شناسایی بیوتیت‌های ماگمایی، گرمایی و ثانویه است. بیوتیت‌های گرمایی و ثانویه X_{Mg} بیشتری نسبت به بیوتیت‌های ماگمایی دارند. بیوتیت‌های گرمایی و ثانویه در زون دگرسانی پتاسیک مقادیر بیشتری از Si, Al, K نسبت به بیوتیت‌های ماگمایی دارند. در حالی که بیوتیت‌های ماگمایی دارای مقادیر بیشتری از Fe, Ti, Na هستند.

بیشترین عیار مولیبدن (۸۴ ppm) در واحد فروشت-اکسیدی و کمترین مقدار آن (۳۸ ppm) در واحد ژرفزاد رخ داده است که گویای انحلال ناپذیری مولیبدن در این زون است. مقدار نسبت Ag/Au و Cu/Mo از قسمت‌های ژرف کانسار میدوک (واحد ژرفزاد) به طرف قسمت‌های سطحی کانسار (واحد فروشت-اکسیدی) کاهش نشان می‌دهد. در حالی که مقدار نسبت Mo/Au از قسمت‌های ژرف کانسار به قسمت‌های سطحی کانسار افزایش نشان می‌دهد. ضریب همبستگی مس با طلا از واحد ژرفزاد به سمت واحد فروشت-اکسیدی کاهش نشان می‌دهد که نشان‌دهنده حضور طلا در ساختار کالکوپریت است.

(جدول ۳). همچنین یک ضریب همبستگی مثبت بین مس-طلا و ضریب همبستگی مثبت ضعیف بین مس-مولیبدن، طلا-نقره و مس-نقره وجود دارد (جدول ۴ و شکل ۶). بیشترین مقدار نقره (۱/۹۳ ppm) و کمترین مقدار مولیبدن (۳۸ ppm) در زون ژرفزاد دیده می‌شود (جدول ۳). ضریب همبستگی مثبتی بین مس-طلا، طلا-نقره و مس-نقره دیده می‌شود که گویای تأثیر سیالات گرمایی یکسان در طول دگرسانی و کانی‌زایی است (جدول ۴ و شکل ۶).

مقدار نسبت Cu/Mo و Ag/Au از قسمت‌های ژرف کانسار میدوک (واحد ژرفزاد) به طرف قسمت‌های سطحی کانسار (واحد فروشت-اکسیدی) کاهش نشان می‌دهد، در حالی که مقدار نسبت Mo/Au از قسمت‌های ژرف کانسار به قسمت‌های سطحی کانسار افزایش نشان می‌دهد (جدول ۳).

در زون دگرسانی پتاسیک غنی از مگنتیتی مقدار طلا بین ۲۴۱-۲۰ ppb در تغییر است (جدول ۵) و یک ضریب همبستگی مثبت قوی ($r=0.82$) بین مس و طلا دیده می‌شود (شکل ۷). مقدار مولیبدن در این دگرسانی کم است. دامنه تغییرات طلا در دگرسانی پتاسیک تا حدودی مشابه دگرسانی پتاسیک غنی از مگنتیتی می‌باشد ولی مقدار نقره در این دگرسانی بیشتر از بقیه زون‌های دگرسانی است (۲/۱۲ ppm). ضریب همبستگی مثبتی بین مس-طلا (۰/۶۶)، مس-نقره (۰/۴۳) و طلا-نقره (۰/۳۷) وجود دارد (جدول ۶). ضریب همبستگی بین مس با طلا، نقره و مولیبدن از دگرسانی پتاسیک غنی از مگنتیتی و پتاسیک به طرف دگرسانی‌های پتاسیک-فیلیک، فیلیک و آرژیلیک کاهش می‌یابد (جدول ۶). نسبت Ag/Au از دگرسانی پتاسیک به سمت دگرسانی آرژیلیک و نسبت Cu/Mo نیز از دگرسانی پتاسیک غنی از مگنتیتی به سمت دگرسانی آرژیلیک کاهش می‌یابد. در حالی که نسبت Mo/Au از دگرسانی غنی از مگنتیتی به سمت دگرسانی فیلیک افزایش یافته و در دگرسانی آرژیلیک این نسبت قدری کاهش نشان می‌دهد (جدول ۵). توزیع عناصر مس، طلا، نقره، مولیبدن، آهن و گوگرد در ارتباط با زون‌های کانی‌زایی و دگرسانی در ۴ حلقه گمانه حفر شده در کانسار میدوک مورد بررسی قرار گرفته است (شکل‌های ۸ و ۹). تغییرات این عناصر با عمق متأثر از نوع زون کانی‌زایی، نوع دگرسانی و شدت کانی‌زایی است. شکل ۸ که تغییرات مس و طلا را در گمانه‌های ۵۴ و ۵۶ نشان می‌دهد، رابطه مستقیم بین تغییر مقدار مس و طلا را نشان می‌دهد. به عبارتی با افزایش مقدار مس مقدار طلا نیز افزایش می‌یابد. تقریباً در همه کانسارهای مس پورفیری یک رابطه مثبت قوی بین مقدار مس و طلا بویژه در زون پتاسیک وجود دارد (Villa & Sillitoe, 1991; Billa et al., 2004). در زون فروشت-اکسیدی، با کاهش مقدار مس، مقدار آهن و مولیبدن افزایش می‌یابد، اما مقدار گوگرد کاهش می‌یابد، مقدار مس و گوگرد نیز در زون غنی شده ثانویه سولفیدی افزایش نشان می‌دهد (شکل ۹).

۱۰- مقایسه با دیگر کانسارهای مس پورفیری

با قرار دادن داده‌های مس، طلا، نقره و مولیبدن برای کانسار میدوک در نمودار (Cox and Singer (1988)، بیشتر نمونه‌های زون ژرفزاد نزدیک به رأس Cu قرار می‌گیرند (شکل ۱۰). همچنین با رسم عیار میانگین مس، طلا، نقره و مولیبدن قسمت‌های ژرفزاد، غنی شده ثانویه سولفیدی و میانگین کل کانسار نیز فقیر بودن کانسار میدوک از طلا و مولیبدن مشخص است (شکل ۱۱). جدول ۷ نیز مقایسه بین کانسار میدوک با دو کانسار مهم و اصلی کمربند مس ایران (سرچشمه و سونگون) را نشان می‌دهد. ترکیب توده نفوذی کانسار میدوک دیوریتی و کوارتز دیوریتی است در حالی که در سرچشمه از نوع گرانودیوریتی و کوارتز مونزونیتی است و در کانسار سونگون از نوع دیوریت-گرانودیوریتی و کوارتز مونزونیتی است. بر اساس بررسی‌های

سرچشمه و سونگون دارای بیشترین عیار میانگین نقره است. اما در واحد ژرفزاد عیار میانگین نقره کانسار سونگون از سرچشمه و میدوک بیشتر است. بر اساس مطالعات کانی‌شناسی، سنگ‌نگاری، هاله‌های دگرسانی و مقادیر فلزهای با ارزش، کانسار مس پورفیری میدوک مشابه کانسارهای مس پورفیری نوع حاشیه قاره‌ای است.

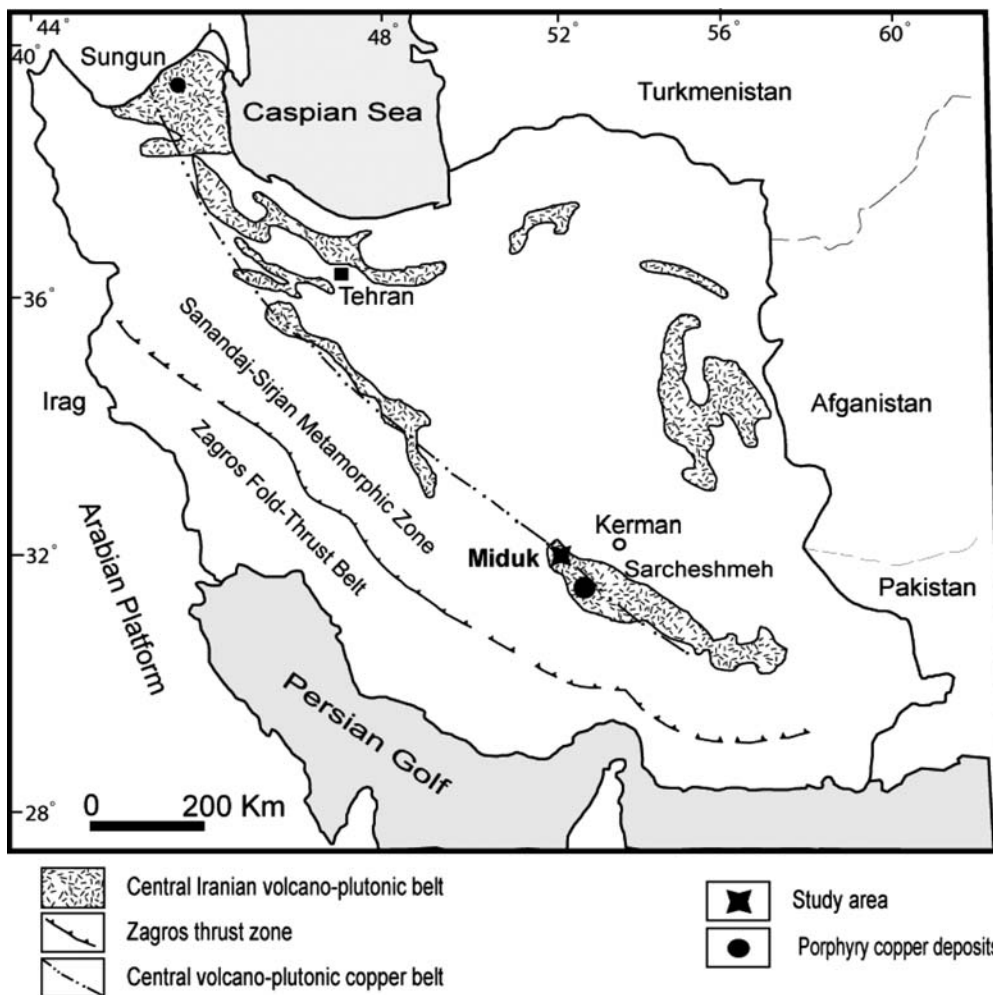
سپاسگزاری

از شرکت ملی صنایع مس ایران بویژه امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه به‌خاطر تأمین هزینه‌های مالی این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود. از مدیریت محترم معدن مس میدوک که داده‌های زیادی را در اختیار گذاشتند و از کارشناسان بخش زمین‌شناسی آن به‌خاطر همکاری در مراحل مختلف نمونه‌برداری صمیمانه قدردانی می‌شود. از سردبیر و داوران محترم فصلنامه علوم زمین به‌خاطر پیشنهادهای سازنده، قدردانی می‌نمایم.

با استفاده از نمودارهای Cu/Au در برابر Cu/Mo، Cu در برابر Cu/Au و Cu در برابر Cu/Mo واحدهای کانی‌زایی مختلف در کانسار مس پورفیری میدوک به خوبی قابل تفکیک هستند.

عیار میانگین طلا از دگرسانی پتاسیک به سمت دگرسانی آرژیلیک کاهش یافته است. بیشترین عیار میانگین نقره (۲/۱۲ppm) همراه با دگرسانی پتاسیک است و از این دگرسانی به سمت دگرسانی آرژیلیک مقدار عیار آن کاهش می‌یابد. نسبت Ag/Au از دگرسانی پتاسیک به سمت دگرسانی آرژیلیک و نسبت Cu/Mo نیز از دگرسانی پتاسیک غنی از مگنتیت به سمت دگرسانی آرژیلیک کاهش می‌یابد. در حالی که نسبت Mo/Au از دگرسانی غنی از مگنتیت به سمت دگرسانی فلیک افزایش یافته است. کانسار مس پورفیری میدوک دارای بیشترین عیار میانگین طلا در واحدهای فروشت-اکسیدی، غنی شده سولفیدی ثانویه و ژرفزاد در مقایسه با کانسارهای سرچشمه و سونگون است.

واحد فروشت-اکسیدی و غنی شده سولفیدی ثانویه کانسار میدوک نسبت به



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کمربند آتشفشانی-نفوذی مس ایران (از آقناباتی، ۱۳۸۳ با تغییرات).

جدول ۱- ترکیب شیمیایی بیوتیت‌های ثانویه هاله دگرسانی پتاسیک در کانسار میدوک.

جدول ۲- ترکیب شیمیایی بیوتیت‌های ماگمایی (نادگرسان) و بیوتیت‌های ماگمایی متأثر از سیالات گرمابی در کانسار میدوک.

| Sample No. | TM4 | TM4 | TM4 | TM4 | NT12 | NT12 | NT12 | NT12 | NT12 | LD | LD | LD | LD | LD |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 37.55 | 37.10 | 37.33 | 37.22 | 37.58 | 37.24 | 36.77 | 37.20 | 37.22 | 35.69 | 35.74 | 36.18 | 35.74 | 36.03 |
| TiO ₂ | 3.77 | 4.17 | 4.55 | 4.07 | 4.21 | 4.50 | 3.96 | 4.49 | 4.29 | 4.24 | 4.10 | 4.78 | 4.51 | 3.86 |
| Al ₂ O ₃ | 13.56 | 13.39 | 13.28 | 13.79 | 13.44 | 13.81 | 13.66 | 14.05 | 13.77 | 12.52 | 12.97 | 12.70 | 12.70 | 12.99 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.10 | 0.67 | 1.02 | 1.15 | - | - | - | - | - | 0.99 | 3.17 | 0.99 | 0.52 | 2.56 |
| FeO | 12.92 | 7.96 | 12.87 | 13.51 | 14.49 | 14.55 | 13.80 | 14.30 | 13.89 | 17.53 | 16.49 | 15.63 | 17.74 | 13.72 |
| MnO | - | 0.11 | 0.17 | 0.10 | 0.12 | - | - | 0.13 | 0.10 | 0.22 | 0.21 | 0.18 | 0.25 | 0.16 |
| MgO | 16.84 | 16.91 | 16.85 | 16.45 | 15.95 | 16.07 | 15.91 | 15.71 | 16.01 | 13.36 | 14.83 | 13.58 | 13.92 | 13.92 |
| CaO | - | 0.06 | 0.07 | 0.04 | 0.01 | 0.06 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.08 | - | - | 0.11 | 0.07 |
| Na ₂ O | 0.43 | 0.29 | 0.35 | 0.22 | 0.31 | 0.19 | 0.24 | 0.24 | 0.21 | 0.26 | 0.40 | 0.38 | 0.46 | 0.46 |
| K ₂ O | 9.64 | 9.68 | 9.50 | 9.78 | 9.68 | 9.88 | 9.89 | 9.93 | 10.03 | 8.94 | 9.10 | 9.44 | 9.52 | 9.18 |
| F | - | - | 0.86 | 0.61 | 1.25 | 0.88 | 1.22 | 1.66 | 0.52 | 0.64 | 0.12 | 0.56 | 0.29 | - |
| Total | 95.84 | 96.02 | 96.84 | 96.30 | 96.95 | 96.50 | 95.84 | 97.92 | 95.99 | 95.47 | 95.07 | 95.97 | 95.31 | 93.05 |

| Sample No. | NT12 | NT12 | NT12 | NT12 | NT12 | TM5 | TM5 | TM5 | TM5 | TM5 | TM4 | TM4 | TM4 | TM4 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 36.37 | 37.75 | 38.97 | 37.88 | 40.04 | 38.45 | 38.14 | 38.27 | 38.92 | 38.22 | 37.05 | 37.27 | 38.84 | 39.56 |
| TiO ₂ | 1.24 | 2.24 | 3.17 | 2.02 | 2.61 | 2.62 | 2.88 | 2.59 | 2.66 | 2.50 | 2.52 | 3.18 | 3.15 | 2.82 |
| Al ₂ O ₃ | 16.40 | 16.06 | 13.12 | 16.26 | 13.32 | 14.61 | 14.22 | 15.07 | 13.44 | 13.45 | 13.58 | 14.10 | 13.04 | 16.67 |
| Fe ₂ O ₃ | - | 2.12 | - | - | - | 1.25 | 0.99 | - | - | 1.91 | 1.82 | 2.43 | - | 2.26 |
| FeO | 11.99 | 10.82 | 13.40 | 12.44 | 10.85 | 10.77 | 11.45 | 11.61 | 11.99 | 10.12 | 12.14 | 12.62 | 12.44 | 11.28 |
| MnO | 0.11 | 1.05 | 0.13 | 0.02 | 0.13 | 0.10 | - | 0.13 | - | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.13 | 0.07 |
| MgO | 16.66 | 17.15 | 17.22 | 15.80 | 18.56 | 18.17 | 17.60 | 17.81 | 18.10 | 18.22 | 16.12 | 16.28 | 17.06 | 15.57 |
| CaO | 0.11 | 0.13 | 0.10 | 0.10 | 0.12 | 0.13 | 0.19 | 0.15 | 0.11 | 0.12 | 0.10 | 0.12 | 0.13 | 0.10 |
| Na ₂ O | 0.18 | 0.22 | 0.25 | 0.15 | 0.17 | 0.22 | 0.15 | 0.18 | 0.15 | 0.16 | 0.16 | 0.20 | 0.16 | 0.15 |
| K ₂ O | 10.02 | 9.66 | 9.97 | 10.77 | 9.55 | 9.79 | 9.49 | 10.45 | 10.17 | 10.10 | 9.82 | 9.16 | 9.88 | 10.58 |
| F | 1.25 | 1.81 | - | 2.18 | 0.87 | 1.25 | - | - | 0.32 | 1.92 | 0.77 | 1 | 1.02 | 0.42 |
| Total | 95.71 | 98 | 97.25 | 97.01 | 99.41 | 99.77 | 95.60 | 99.16 | 95.77 | 99.28 | 96 | 99.10 | 95.84 | 95.80 |

H: کمتر از حد اندازه گیری - دسنگه بیوتیت - بیوتیت ماگمایی - متأثر از سیالات گرمابی

X_{Mg} = Mg/Mg+Fe X_{Fe} = Fe/Fe+Mg - کمتر از حد اندازه گیری دسنگه

جدول ۳- عیار میانگین و گستره تغییرات مس، طلا، نقره و مولیبدن در زون‌های کانی‌زایی مختلف در کانسار میدوک

| زون‌های کانی‌زایی | فروشت-اکسیدی تعداد نمونه = ۳۲ | | غنی شده سولفیدی ثانویه تعداد نمونه = ۸۴ | | ژرفزاد تعداد نمونه = ۱۹۹ | |
|-------------------|----------------------------------|---------------|--|---------------|-----------------------------|---------------|
| | میانگین ± پراش | دامنه تغییرات | میانگین ± پراش | دامنه تغییرات | میانگین ± پراش | دامنه تغییرات |
| Cu (%) | 0.13 ± 0.62 | 0.02-0.87 | 1.49 ± 1.14 | 0.15-5.32 | 0.89 ± 0.45 | 0.12-2.66 |
| Au (ppb) | 79.5 ± 78.82 | 14-410 | 82.5 ± 61.55 | 15-280 | 81.93 ± 58.52 | 10-320 |
| Ag (ppm) | 1.58 ± 2.01 | 0.19-10.3 | 1.78 ± 1.67 | 0.38-8.2 | 1.93 ± 0.99 | 0.57-8.5 |
| Mo (ppm) | 84 ± 82 | 5-280 | 69 ± 50.70 | 10-230 | 38 ± 35.11 | 10-160 |
| Ag/Au | 19/8 | | 21/5 | | 23/5 | |
| Mo/Au | 1.056 | | 836 | | 463 | |
| Cu/Mo | 15 | | 215 | | 234 | |

جدول ۴- ضریب همبستگی مس، طلا، نقره و مولیبدن در زون‌های مختلف کانی‌زایی.

| ژرفزاد | فروشت-اکسیدی | | | غنی شده سولفیدی ثانویه | | |
|--------|--------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
| | Cu | Au | Ag | Cu | Au | Ag |
| Au | 0.58 | | | 0.53 | | |
| Ag | 0.41 | 0.36 | | 0.05 | 0.20 | |
| Mo | -0.14 | -0.31 | -0.14 | 0.14 | -0.12 | -0.12 |

جدول ۵- عیار میانگین و گستره تغییرات مس، طلا، نقره و مولیبدن در زون‌های دگرسانی مختلف در کانسار میدوک

| زون‌های دگرسانی | پتاسیک غنی از مگنتیت تعداد نمونه = ۲۵ | | پتاسیک تعداد نمونه = ۹۰ | | فیلیک تعداد نمونه = ۹۰ | | آرژیلیک تعداد نمونه = ۴۷ | |
|-----------------|--|---------------|----------------------------|---------------|---------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| | میانگین ± پراش | گستره تغییرات | میانگین ± پراش | گستره تغییرات | میانگین ± پراش | گستره تغییرات | میانگین ± پراش | گستره تغییرات |
| Cu (%) | ۰/۹۴ ± ۰/۳۷ | ۰/۴-۱/۴ | ۰/۹ ± ۰/۴۲ | ۰/۲۸-۱/۶ | ۰/۸۵ ± ۰/۵۹ | ۰/۱۳-۱/۷ | ۰/۴۸ ± ۰/۸ | ۰/۰۱-۲/۹۲ |
| Au (ppb) | ۷۴/۸ ± ۴۵/۸ | ۲۰-۲۴۱ | ۷۸ ± ۵۰/۳۵ | ۱۳-۳۰۰ | ۷۱ ± ۵۵/۲۹ | ۱۰-۳۲۰ | ۶۰/۸۵ ± ۵۳/۶۹ | ۱۵-۲۲۰ |
| Ag (ppm) | < ۲ | ----- | ۲/۱۲ ± ۱/۴ | ۰/۷۶-۸/۵ | ۱/۶۲ ± ۰/۷۹ | ۰/۳۸-۲/۸ | ۱/۲۳ ± ۰/۶۶ | ۰/۱۹-۲/۸ |
| Mo (ppm) | ۲۶ ± ۱۴/۶۸ | ۱۰ - ۳۵۷ | ۳۰ ± ۲۵/۴۴ | ۵ - ۱۲۰ | ۶۸/۵ ± ۵۵/۲ | ۱۰-۲۳۰ | ۵۲/۶ ± ۴۸/۶ | ۱۰-۱۵۰ |
| Ag/Au | | | ۲۷ | | ۲۲ | | ۲۰ | |
| Mo/Au | ۳۴۷ | | ۳۸۴ | | ۹۶۴ | | ۸۶۴ | |
| Cu/Mo | ۳۶۱ | | ۳۰۰ | | ۱۲۴ | | ۹۱ | |

جدول ۶- ضریب همبستگی مس، طلا، نقره و مولیبدن در زون‌های دگرسانی مختلف در کانسار میدوک

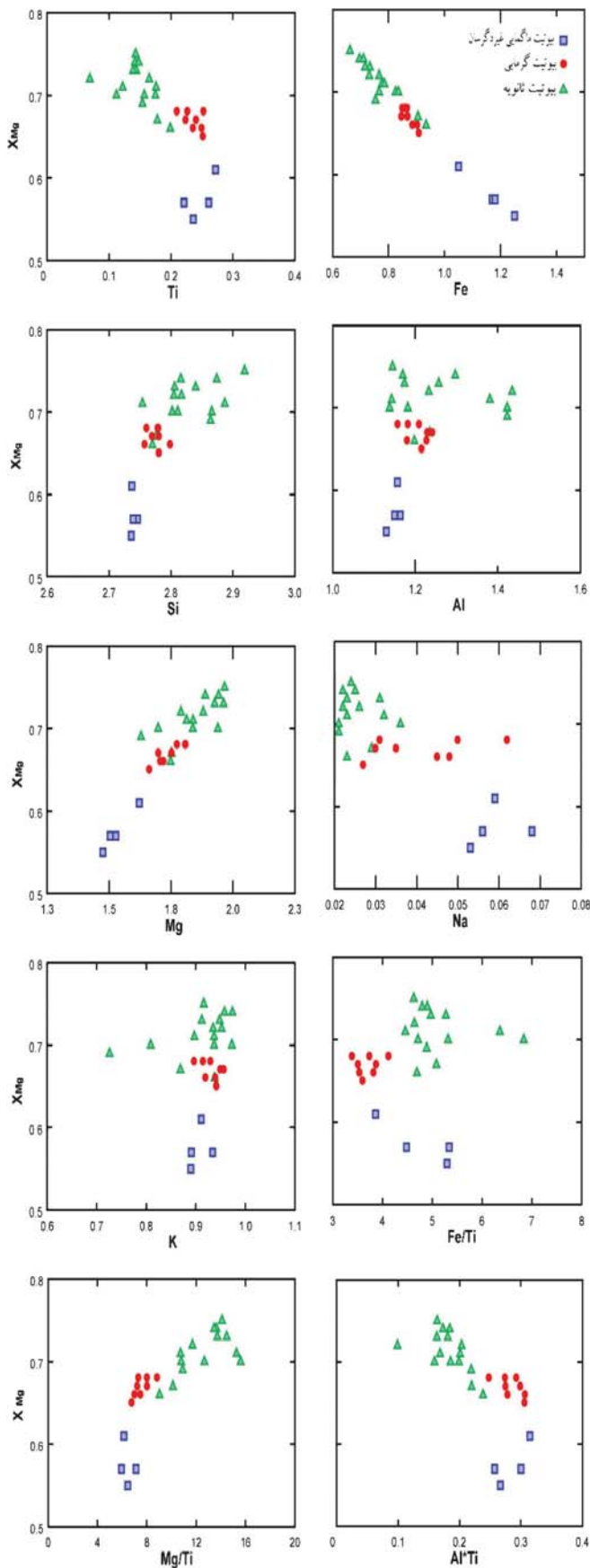
| | پتاسیک غنی از مگنتیت | | پتاسیک | | | فیلیک | | | آرژیلیک | | | | |
|----|----------------------|------|--------|------|------|-------|------|-------|---------|-------|------|-------|------|
| | Cu | Au | Cu | Au | Ag | Cu | Au | Ag | Cu | Au | Ag | | |
| Au | ۰/۸۲ | | Au | ۰/۶۶ | | Au | ۰/۲۱ | | Au | ۰/۳۵ | | | |
| Mo | ۰/۰۴ | ۰/۳۷ | Ag | ۰/۴۳ | ۰/۳۷ | Ag | ۰/۱۲ | ۰/۴۶ | Ag | ۰/۱۸ | ۰/۲۶ | | |
| | | | Mo | ۰/۰۲ | ۰/۰۴ | -۰/۳۶ | Mo | -۰/۱۴ | -۰/۲۲ | -۰/۴۷ | Mo | -۰/۲۷ | ۰/۱۴ |

جدول ۷- مقایسه کانسار میدوک با کانسارهای سرچشمه و سونگون.

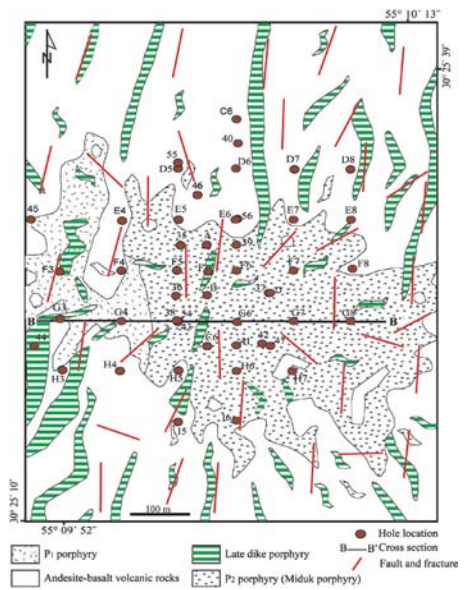
| کانسار سونگون | کانسار سرچشمه | کانسار میدوک | معیار مقایسه ای |
|---|---|---|----------------------------------|
| حاشیه قاره‌ای | حاشیه قاره‌ای | حاشیه قاره‌ای | موقعیت زمین ساختی |
| دیوریت-گرانودیوریت، کوارتز مونزونیت ^۲ | گرانودیوریت، کوارتز مونزونیت ^۱ | دیوریت، کوارتز دیوریت، گرانودیوریت؟ | توده نفوذی |
| داسیت، تراکی آندزیت ^۲ | آندزیت ^۱ | آندزیت-بازالت | سنگ میزبان |
| ۲ ^۲ | ۴/۷۵ ^۲ | ۲/۵۱ ^۳ | ژرفای جایگزینی (کیلومتر) |
| پتاسیک، پروپلیتیک، آلپیتیک، پتاسیک-فیلیک، فیلیک، آرژیلیک ^{۴،۲} | پتاسیک، پروپلیتیک، فیلیک ± آرژیلیک ^۱ | پتاسیک غنی از مگنتیت، پتاسیک، پتاسیک-فیلیک، پروپلیتیک، فیلیک، آرژیلیک | انواع دگرسانی‌ها |
| فراوان | فراوان | گسترده | حضور انیدریت |
| ۶۰۰ ^۲ | ۱۲۰۰ ^۱ | ۱۷۰ ^۳ | ذخیره کانسار (میلیون تن) |
| ۰/۷۶ ^۲ | ۰/۶۴ ^۱ | ۰/۸۲ ^۸ | عیار میانگین مس (%) |
| ۱۷ ^۶ | ۶۰ ^۵ | ۸۲ ^۸ | عیار میانگین طلا (ppb) |
| ۲/۲ ^۶ | ۱/۱۴ ^۵ | ۱/۸۰ ^۸ | عیار میانگین نقره (ppm) |
| ۰/۰۱ ^۲ | ۰/۰۳ ^۷ | ۰/۰۰۷ ^۸ | عیار میانگین مولیبدن (%) |
| ۵۸۸۲ | ۵۰۰۰ | ۸۵۳ | نسبت Mo/Au |
| محدود ^۶ | خیلی گسترده | خیلی گسترده | رخداد بخش غنی شده ثانویه سولفیدی |
| ۶ Cu-Mo-Ag | ۵ Cu-Mo-Au-Ag | Cu-Au-Ag | اجزای فلزی با ارزش |

^۱ Waterman and Hamilton, 1975; ^۲ Hezarkhani and William-Jones, 1998; ^۳ McInnes et al., 2005; ^۴ Calagari 2004; ^۵ ۱۳۸۰؛ شعیبی و همکاران، ۱۳۸۱؛ طباطبایی، ۱۳۸۱؛

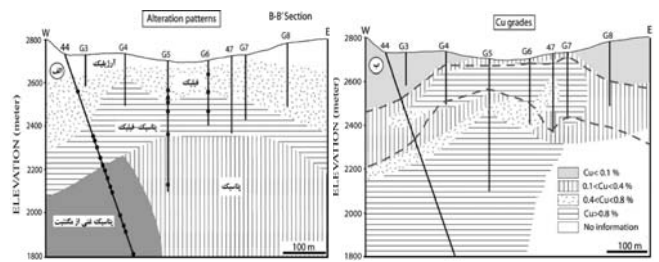
تقی پور، ۱۳۸۶؛ ^۷ Shahabpour, 2008 ^۸



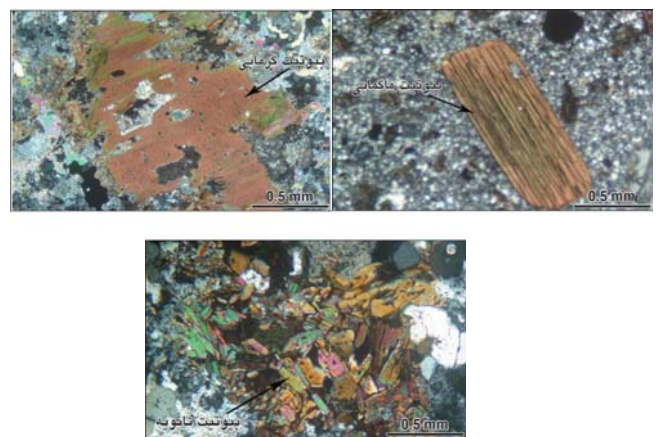
شکل ۵- ترکیب شیمیایی سه نوع بیوتیت مختلف در کانسار میدوک
 $(X_{Mg} = Mg/Mg+Fe)$



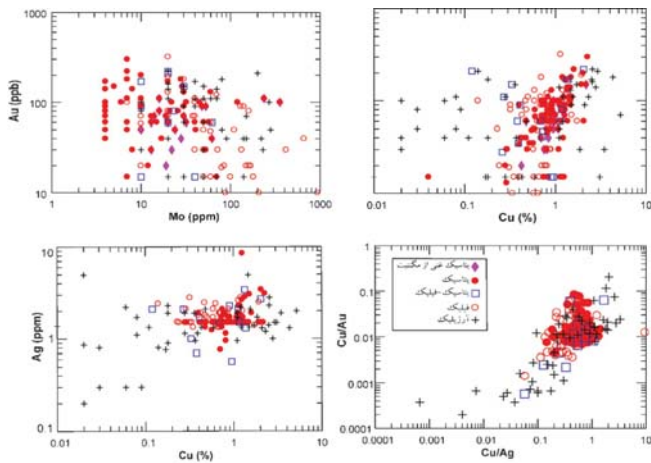
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی کانسار مس پورفیری میدوک (از Outomec, 1992 با تغییرات). دایره‌های توپر نشان دهنده محل حفر گمانه‌ها است.



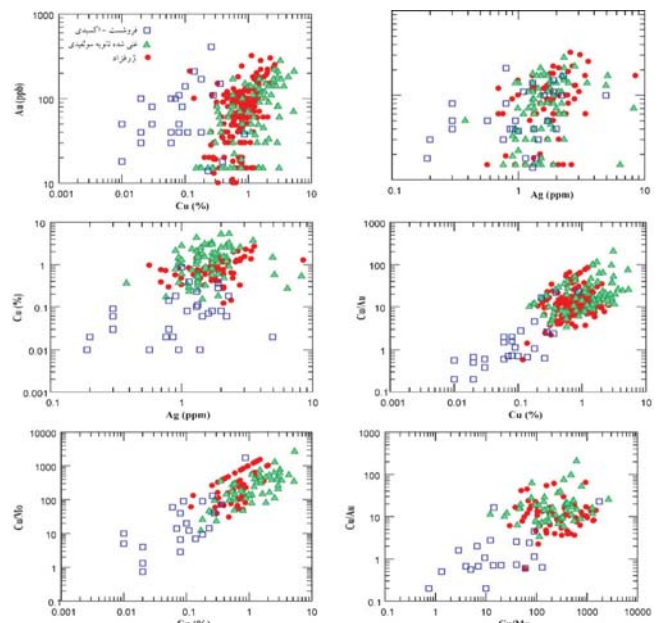
شکل ۳- پراکندگی مجموعه‌های دگرسانی (الف) و عیار مس (ب) در مقطع عرضی B-B' (شکل ۲) کانسار مس پورفیری میدوک. نقاط سیاه محل‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. مرز بین زون‌های فروشست-اکسیدی، غنی شده ثانویه سولفیدی و ژرفزاد توسط خطوطی از هم جدا شده است.



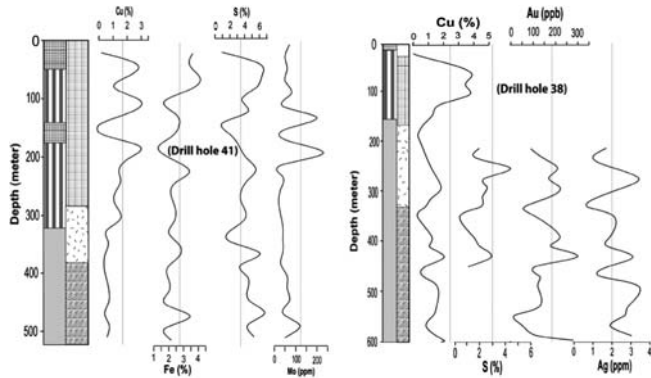
شکل ۴- انواع بیوتیت در کانسار میدوک. الف) بیوتیت ماگمایی شکل دار و بدون دگرسانی. ب) بیوتیت ماگمایی متأثر از سیالات گرمایی در هاله دگرسانی پتاسیک. ج) پولک‌های بیوتیت ثانویه در هاله دگرسانی پتاسیک.



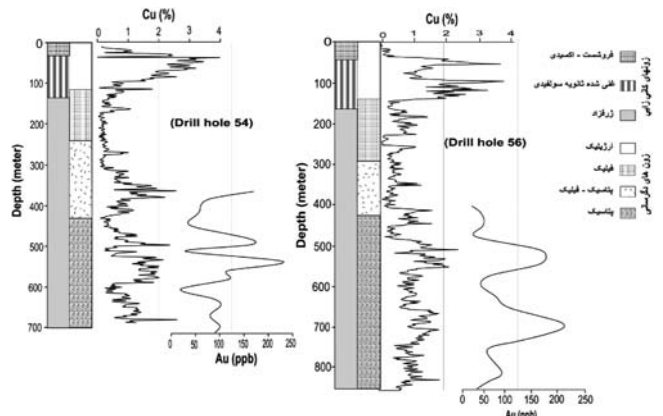
شکل ۷- تغییرات عناصر مس، طلا، مولیبدن و نقره در زون‌های دگرسانی مختلف کانسار میدوک.



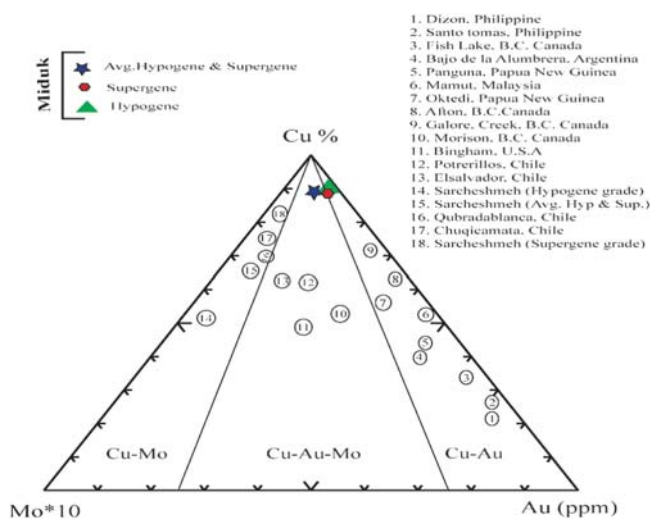
شکل ۸- تغییرات عناصر مس، طلا، مولیبدن و نقره در زون‌های فروشت - اکسیدی، غنی شده ثانویه سولفیدی و ژرفزاد.



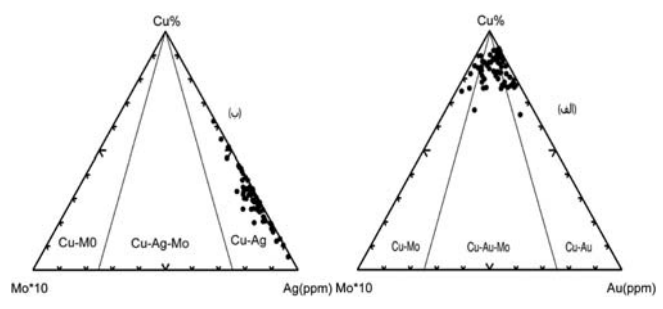
شکل ۹- تغییرات زون‌های دگرسانی و کانی‌زایی و عناصر مس، طلا، آهن، گوگرد و مولیبدن با عمق در گمانه‌های ۳۸ و ۴۱. علائم مشابه شکل ۹. در گمانه ۳۸ به ازای هر ۲۰ متر یک نمونه و گمانه ۴۱ به ازای هر ۱۰ متر یک نمونه است.



شکل ۱۰- تغییرات زون‌های دگرسانی و کانی‌زایی و عناصر مس و طلا با عمق در گمانه‌های ۵۴ و ۵۶. داده‌های درصد مس به ازای هر یک متر و طلا به ازای هر ۲۰ متر یک نمونه است.



شکل ۱۱- مقایسه کانسار میدوک با دیگر کانسارهای مس پورفیری دنیا در نمودار (Cox and Singer (1988). داده‌های سرچشمه از شیعی و همکاران (۱۳۸۰) و بقیه داده‌ها از Vila and Sillitoe (1991).



شکل ۱۰- وضعیت زون ژرفزاد کانسار میدوک در نمودار (Cox and Singer (1988) بر اساس مقادیر Cu, Mo, Au (الف) و Cu, Mo, Ag (ب).

کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۲۳ صفحه.
- تقی پور، ن.، ۱۳۸۶- کاربرد ژئوشیمی سیالات درگیر و ایزوتوپی بعنوان راهبردهای اکتشافی، دگرسانی و کانی‌زایی در کانسار مس پورفیری میدوک، شهر بابک، کرمان، پایان نامه دکترای زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر، ۳۰۵ صفحه
- شفیعی، ب.، شهاب پور، ج. و سعدلو، م.، ۱۳۸۰- ویژگی‌های ژئوشیمیایی، سرشت و خاستگاه طلا و نقره ژرفزاد در کانسار مس پورفیری سرچشمه کرمان. مجله علوم زمین، شماره ۳۳-۳۴ صفحه ۳۴-۴۹.
- طباطبایی، د.، ۱۳۸۰- بررسی ژئوشیمیایی و اهمیت اکتشافی هاله‌های لیتوژئوشیمیایی در کانسار پورفیری (Cu-Mo) - اسکارن (Cu-Ag-Au) سونگون اهر، آذربایجان، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۳۷۶ صفحه

References

- Aftabi, A. & Atapour, H., 2000- Regional aspects of shoshonitic volcanism in Iran, Episodes, 23: 119-125.
- Alavi, M., 1994 - Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations: Tectonophysics, 229: 211-238.
- Anonymous, 1973- Exploration for ore deposits in Kerman Region, Institute for Geological and Mining Exploration and Institution of Nuclear and other Mineral Raw Materials, Beograd-Yugoslavia, Iran Geol. Survey Report No. Yu/53, 247p.
- Arancibia, O. N. & Clark, A. H., 1996- Early magnetite-plagioclase alteration-mineralization in the Island Copper porphyry copper-gold-molybdenum deposit, British Columbia, Economic Geology, 91: 402-458.
- Beane, R. E. & Bodnar, R. J., 1995- Hydrothermal fluids and hydrothermal alteration in porphyry copper deposits. In Pierce, F. W. and Bohm, J. G., Porphyry Copper Deposits of the American Cordillera. Arizona Geological Society Digest 20, Tucson, AZ p. 83-93.
- Beane, R.E. & Titley, S.R., 1981- Porphyry copper deposits, part II: Hydrothermal alteration and mineralization: Economic Geology, 75th Anniv. Volume, p. 235-269.
- Berberian, M. & King G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: Canadian Journal of Earth Sciences, 18: 210-265.
- Billa, M., Cassard, D., Lips, A. L. W., Bouchot, V., Tourliere, B., Stein, G., and Guillou-Frotier, 2004 - Predicting gold-rich epithermal and porphyry systems in the central Andes with a continental-scale metallogenic GIS. Ore Geology Reviews, 25, 39-67.
- Burnham, C.W., 1979- Magmas and hydrothermal fluids, in Barnes, H.L. (ed.) Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits: New York, Wiley, P. 71-136.
- Calagari, A. A., 2004 - Fluid inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun, East-Azerbaijan, Iran, Journal of Asian Earth Sciences, 23: 179- 189.
- Etmian, H., 1977- Le Porphyre cuprifere de Sar Cheshmeh (Iran): Role de phases fluid dans les mechanisms. D'alteration et mineralization. Science de la terre, Memoir 34, 249p.
- Ford, J. H., 1978- A chemical study of alteration at the Panguna copper deposit, Bougainville Papua New Guinea. Economic Geology, 73, 703-721.
- Forster, H., 1978- Mesozoic-Cenozoic metallogenesis in Iran: Journal of the Geological Society of London, 135: 443-455.
- Hassanzadeh, J., 1993- Metallogenic and tectono-magmatic events in SE sector of the Cenozoic active continental margin of Central Iran (Shahr-Babak, Kerman province), Ph.D thesis, University of California, 201 p.
- Hezarkhani, A. & Williams-Jones, A.E., 1998- Controls of alteration and mineralization in the Sungun porphyry copper deposit, Iran: Evidence from fluid inclusions and stable isotopes, Economic Geology, 93: 651-670.
- Hezarkhani, A., 2000- The Calculation of Mass Transfer and Element Mobility During the Hydrothermal Alteration in the Sungun Porphyry Copper Deposit, Iran. International Journal of Engineering, V. 15, No. 4, p. 391-408.
- Jacobs, D. C. & Parry, W. T., 1976- A comparison of the geochemistry of biotite from some basin and range stocks. Economic Geology, 71: 1029-1035.
- Jones, B. K., 1992- Application of metal zoning to gold exploration in the porphyry copper systems, Journal of Geochemical Exploration, 43:127-155.
- Kesler, S. E., Issigonis, M. J., Brownlow, A. H., Damon, P. E., Moore, W. J., Northcote, K. E., Preto, V. A., 1975- Geochemistry of biotites from mineralized and barren intrusive systems. Economic Geology, 70: 559-567.
- McInnes, B. I. A., Evans, N. J., Fu, F. Q. and Garwin, S., 2005- Application of thermochronology to hydrothermal ore deposits, Reviews in Mineralogy & Geochemistry, 58: 467-498.
- Mohajjel, M., Fergussen, C. L. & Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, Western Iran: Journal of Asian Earth Sciences, 21: 397-412.
- Muller, D., Heithersay, P. S. & Groves, D. I., 1994 - The shoshonitic porphyry Cu-Au association in the Goonumbra District, N.S.W., Australia. Mineralogy and Petrology, 51, 299-321.
- Outomec, 1992- Techno-Economic feasibility study and relevant backing technical studies of Miduk copper project.
- Parry, W. T., & Jacobs, D. C., 1975- Fluorine and chlorine in biotite from Basin and Range plutons. Economic Geology, 70: 554-558.
- Saric, A., Djordjevic, M., Dimitrijevic, M. N., 1971- Geological map of Shahr-Babak, scale 1/100000 Tehran, Iran, Geological Survey of Iran.
- Selby, D. & Nesnitt, B. E., 2000- Chemical composition of biotites from the Casino porphyry Cu-Au-Mo mineralization, Yukon, Canada: evolution of magmatic and hydrothermal fluid chemistry, Chemical Geology, 171: 77-93.
- Shahabpour, J., 2000- Behavior of Cu and Mo in the Sarsheshmeh porphyry Cu deposit, Kerman, Iran, CIM Bulletin, 93: 44-51.
- Stollery, G., Borcsik, M., Holland, H. D., 1971- Chlorine in intrusives: a possible prospecting tool. Economic Geology, 66: 361-367.
- Ulrich, T. & Henrich, C., 2001- Geology and alteration geochemistry of the porphyry Cu-Au deposit at Bajo de la Alumbrera, Argentina, Economic Geology, 96: 1719-1742.
- Vila, T. & Sillitoe, R. H., 1991- Gold-rich porphyry systems in the Maricunga belt, northern Chile: Economic Geology, 86: 1238-1260.
- Waterman, G. C. & Hamilton, R. L., 1975- The Sarcheshmeh porphyry copper deposit: Economic Geology, 70: 568-576.

Mineralogy, Geochemistry and Origin of Iron Deposits in North of Semnan

By: A. Ghiasvand*, M. Ghaderi* & N. Rashidnejad-Omran*

* Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2006 June 10

Accepted: 2008 May 31

Abstract

The iron deposits in north of Semnan are located in the south of Central Alborz structural zone. Stratigraphically, the area consists of Paleozoic to Quaternary rock series exposures. The area has been affected by Semnan, Darjazin, Attari and Diktash faults. An intermediate to acidic granitoid body of calc-alkaline and metaluminous composition, representing I-type granite characteristics, has intruded the Eocene volcanopyroclastic rocks in the north of Semnan. Skarn development and iron mineralization have occurred at the contact of the intrusive body and the volcanopyroclastic rocks. Mineral Paragenesis consists of magnetite accompanied by hematite, oligist, pyrite, chalcopyrite, garnet, pyroxene and epidote. Geometry of the ore bodies is massive, lenticular and vein type and their texture is disseminated, brecciated, vein-veinlet and massive. Dominant alterations in the area are propylitic, argillic, silicic, sericitic, chloritic and pyritic, respectively. The intrusive body has many similarities with intrusive bodies which form Fe-skarn deposits. Variations in the calculated parameters for REE indicate contribution of magmatic origin hydrothermal fluids to mineralization and that the intrusive body has had the dominant role as source of the skarn ore materials. Along with the intrusion, emplacement and crystallization of intrusive body, Fe-bearing fluids have intruded the volcanopyroclastic rocks, forming sodic metasomatism and deposited iron ores in the north of Semnan which have many similarities with calcic Fe-skarn deposits.

Key words: Mineralogy, Geochemistry, Iron, Skarn, Semnan.

For Presian Version see pages 33 to 44

E-mail: ghiasvand@yahoo.com

Investigation on the Alteration-Mineralization Haloes and Distribution Patterns of Cu, Au, Ag and Mo in the Miduk Porphyry Copper Deposit, Shahr-Babak, Kerman

By: N. Taghipour*, A. Aftabi* & M.R. Ramezani**

* Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

** Geology Office, Mine Affairs, Miduk Copper Complex, Kerman, Iran

Received: 2007 January 20

Accepted: 2008 August 13

Abstract

The Miduk porphyry copper deposit is located in 85 Km northwest of Sarcheshmeh porphyry copper deposit, Kerman province. The deposit is hosted by Eocene volcanic rocks of andesite-basalt composition. The porphyry-type mineralization is associated with two calc-alkaline intrusive phases (P1 and Miduk porphyry) of Miocene age. Five hypogene alteration zones are distinguished in the Miduk deposit, magnetite-rich potassic, potassic, potassic-phyllitic, phyllic and propylitic. The main stage of mineralization consists of chalcopyrite, magnetite and anhydrite in potassic alteration zone. The mineralization is mostly associated with Miduk porphyry intrusive phase. Three different types of biotite including magmatic, magmatic affected by hydrothermal fluids and secondary are distinguished at the Miduk deposit. Magmatic type biotites affected by hydrothermal fluids and secondary biotites contain higher X_{Mg} values than the magmatic biotites. The X_{Mg} are positively correlated with Si, Al, Mg, K, Mg/Ti, but negatively correlated with Al×Ti, Fe, Na, Fe/Ti contents. The variations of Cu, Mo, Au and Ag are controlled by vein - type alteration and mineralization zones. The tonnage of deposit is about 170 Mt with average grade of 0.82 % Cu, 0.007% Mo, 82 ppb Au and 1.8 ppm Ag, respectively. Highest values of Mo and Au occur in leached and oxide, supergene sulfide mineralization, phyllic and potassic-phyllitic alteration zones, respectively. Gold displays positive correlation with Cu in magnetite-rich potassic and potassic alteration zones. Based on petrography, mineralogy, alteration halos and patterns of Cu, Au, Ag and Mo, the Miduk porphyry copper deposit is similar to those of continental arc setting

porphyry copper deposits.

Key Words : Alteration, Mineralization, Porphyry, Miduk, Kerman.

For Persian Version see pages 45 to 54

E-mail: taghipour@dubs.ac.ir

Geochemical and Genetic Study of Alibaltalo Kaolinite -Bauxite Deposit, Shahindezh

By :N. Khajeh Mohammadlo*, E. Rasa* & A. Emamalipur**

*Geology Department, Earth Science Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

**Department of Mining Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 2006 July 25

Accepted: 2008 September 30

Abstract

Alibaltalo bauxite deposit is situated in east Shahindezh, south west of west- Azarbaijan. This ore horizon lies along the boundary between Jurassic sandstone and Triassic dolomite. In this study for understanding the chemical process involved in the formation of the bauxite deposit and in order to determine the role and behavior of elements on weathering process, the gain and loss and mass transfer methods, enrichment -depletion diagrams were used. the result of this study diabase sills of Doroud Formation in the area is proposed as the principal source of this bauxitic horizon.. Mass change calculations for different elements compared to an immobile element (Titanium)- with. chemical stability in weathering processes. Results showed Si, Na, K, Mg, Ca depletion while Fe, Al, Ti showed secondary enrichment. The ore body shows decreasing in total mass of -21.02 for brown horizon, -21.02 for gray kaolinite layer, -22.91 for green to gray part and -23.55 for green to gray color horizon.

Keywords: Bauxite, Alibaltalo, West Azarbaijan, Mass change, Enrichment-Depletion

For Persian Version see pages 55 to 62

E-mail: Sahraie_az@yahoo.com

Morphodynamics of Damavand Volcanic Cone and Environmental Management with using GIS & RS

By: E. Moghimi* , M. Badri Far** & M. Zarei Nejad**

*Natural Geography Dept., Tehran University, Tehran, Iran

**Islamic Azad University, Sciences and Researches Campus, Tehran, Iran

Received: 2007 December 10

Accepted: 2008 February 23

Abstract

Morphodynamic characteristics of Damavand volcanic cone have been affected by two factors including internal and external morphodynamics. Major goal of this research is based on external morphodynamics. The morphodynamical landforms of this area are divided in two main groups, the first one is climatic processes and the second one is anthropogenic processes. Climatic processes, including glacial erosion, pre-glacial erosion and alluvial erosion, have changed morphology of slopes and spatial landforms. For the special geographic condition of Damavand volcanic cone, few data is available. Therefore by using satellite images ETM+, ASTER, SPOT, several new data layer have been prepared based on base maps and field checking in GIS environment.

Key words: Damavand volcano, Morphodynamic, GIS, Climatic processes, Human processes