

بررسی مقادیر رنیوم و ساختمان بلورین مولیبدنیت‌های معدن سرچشمه و مقایسه با سایر معادن پورفیری جهان

بالنده امین‌زاده

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

*Aminzadeh85@gmail.com

دریافت: ۹۱/۹/۱۵ پذیرش: ۹۲/۷/۲

چکیده

مقدار رنیوم در مولیبدنیت‌های جدا شده از رگچه‌ها اندازه‌گیری شده است. مطالعات کانی‌شناسی و شیمیایی بیانگر حضور ۲ نسل از مولیبدنیت‌های رگچه‌ای در معدن سرچشمه است. اولین نسل مولیبدنیت (مولیبدنیت I) دارای غلظت پایین رنیوم است و به صورت دانه ریز، هم‌رشد با کوارتز یافت شده است و دومین نسل مولیبدنیت (مولیبدنیت II) که دارای مقدار رنیوم بالاتری می‌باشد، در رگچه‌های با مقدار کوارتز پایین یافت می‌شود. ارتباط مستقیمی بین ارتفاع کانه‌زایی مولیبدنیت و مقدار رنیوم در نمونه‌های مولیبدنیت معدن سرچشمه وجود دارد. کاهش دما و pH سیالات گرمایی موثر جهت تمرکز رنیوم در مولیبدنیت است. نتایج مطالعات XRD بر روی نمونه‌های مولیبدنیت نشان داد که مولیبدنیت‌ها (غلظت بالا و پایین رنیوم) به صورت پلی‌تایپ هگزگونال (2H) می‌باشند. مقادیر رنیوم در معدن سرچشمه با سایر معادن پورفیری جهان مقایسه شده است.

واژه‌های کلیدی: رنیوم، مولیبدنیت سرچشمه، معدن مس پورفیری، ایران

مقدمه

مولیبدنیت، به سبب کمیاب بودن رنیوم، موجب افزایش ارزش اقتصادی این کانی گردیده است. مولیبدنیت در طبیعت به دو نوع ساختار یا پلی‌تایپ^۱ هگزگونال (2H) و رومبوهدرال (3R) شناخته شده است. هر دو نوع ساختار 2H و 2H-3R در معادن پورفیری گزارش شده است. ساختار پلی‌تایپ‌های 2H و 3R در شکل ۱ نشان داده شده است. اتم‌های مولیبدنیت توسط ۶ اتم گوگرد به فرم منشور هگزگونال و هر اتم گوگرد نیز توسط ۳ اتم مولیبدنیت پیوند دارد. سلول واحد پلی‌تایپ 2H دارای ۲ لایه و پلی‌تایپ 3R از ۳ لایه تشکیل شده است. ساختار مولیبدنیت 2H در مقایسه با ساختار 3R در طبیعت از فراوانی بیش‌تری برخوردار است. شعاع یونی رنیوم (0.63\AA) اندکی کوچک‌تر از شعاع یونی مولیبدن (0.65\AA) است؛ لذا این عنصر می‌تواند جانشین مولیبدن در مولیبدنیت گردد. Newberry [۲] پیشنهاد نموده است که ساختمان پلی‌تایپ 3R تا حد زیادی توسط رنیوم موازنه شده است.

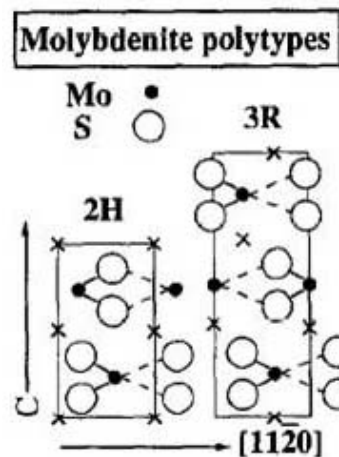
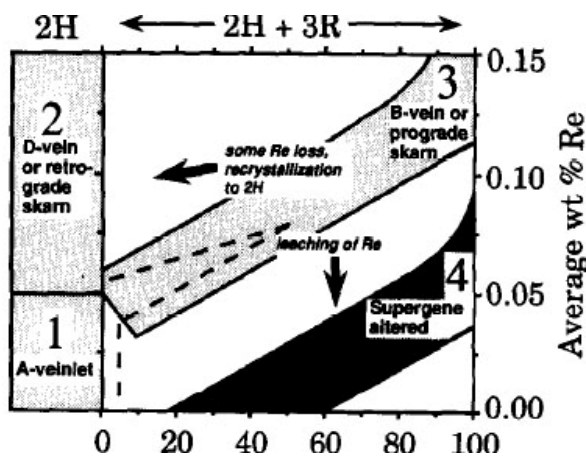
رنیوم به طور گسترده در تصفیه نفت خام و صنایع الکترونیک استفاده می‌شود. این عنصر یکی از اجزاء آلیاژهای مقاوم دمای بالا است و در ساختار سفینه‌های فضایی، هواپیما و محصولات دیگری که در معرض دماهای بالا قرار دارند، کاربرد دارد. از این عنصر در ساخت کاتالیزور پلاتین- رنیوم که در ساخت بنزین سوپر و بدون سرب کاربرد دارد، استفاده می‌شود. از رنیوم برای تهیه فیلامنت در طیف‌سنج جرمی و اندازه‌گیری‌های یونی استفاده می‌شود. با توجه به خاصیت پایداری و مقاومت شیمیایی رنیوم از این عنصر جهت اتصالات الکترونیکی نیز استفاده می‌شود. از ترموکوپل‌هایی که آلیاژ رنیوم و تنگستن دارند جهت اندازه‌گیری دماهای بالا استفاده می‌شود. از سیم رنیوم در ساخت لامپ‌های فلاش دوربین‌های عکاسی استفاده می‌شود. سیستم رادیواکتیو Re-Os به‌عنوان یک زمان‌سنج زمین‌شناسی و به‌عنوان یک ردیاب ژئوشیمیایی جهت حل مسائل زمین‌شناسی کاربرد دارد. غلظت این عنصر در لیتوسفر تقریباً ppm ۰/۰۰۱ تخمین زده می‌شود از این رو تمرکز رنیوم در

¹polytype

مولیبدنیت بوده است (شکل ۲).
 با توجه به اختلاف شعاع یونی Re^{+4} (0.63 \AA) در مقایسه با Mo^{+4} (0.65 \AA)؛ لذا جانشینی مولیبدن توسط رنیوم موجب تشکیل پلی‌تایپ 3R شده است. Newberry [۲] معتقد است که کوچک‌تر بودن شعاع Re^{+4} در مقایسه با Mo^{+4} باعث ایجاد نواقصی در شبکه بلورین مولیبدنیت گردیده است. این نواقص در شبکه بلورین مولیبدنیت موجب واکنش‌پذیری بیشتر آن در مقایسه با مولیبدنیت‌های 2H گردیده است. تاثیر سیالات گرمایی دمای پایین (نظیر سیالات سوپرژن) بر روی کانی مولیبدنیت موجب خارج شدن رنیوم در کانی مولیبدنیت بدون تبدیل ساختمان 3R به 2H می‌شود؛ زیرا در طی این فرآیند انرژی لازم جهت چرخش لایه‌های S-Mo-S و تبدیل ساختار 3R به 2H فراهم نمی‌باشد [۲]. نتایج مطالعات Melfos [۳] در معدن Cu-Mo پورفیری Maronia نشان داده است که ۵۰ درصد مولیبدنیت‌های معدن مذکور دارای ساختمان 2H و ۵۰ درصد باقی‌مانده از نوع 3R می‌باشند. نتایج آنالیز الکترون میکروپروب بیانگر آن است که تفاوت محسوسی در مقادیر عناصر مولیبدن و گوگرد بین ۲ نوع ساختار مولیبدنیت وجود ندارد؛ لیکن عیار رنیوم از ۰/۱۲ تا ۲/۸۸ درصد متغیر است. از ادغام نتایج پراش پرتو ایکس (XRD) و الکترون میکروپروب بر روی مولیبدنیت‌های معدن مذکور نتیجه‌گیری شده است که مولیبدنیت‌های غنی از رنیوم دارای ساختار 3R و مولیبدنیت‌های 2H فقیر از رنیوم می‌باشند [۴].

ایشان ارتباط مستقیمی بین فراوانی پلی‌تایپ (3R) و غلظت رنیوم در مولیبدنیت را پیش‌گویی نموده است. همچنین ایشان با توجه به نحوه حدوث مولیبدنیت در سیستم‌های کانه‌زایی، کانه‌زایی مولیبدنیت را در ۴ نوع پاراژنز در نظر گرفته است (شکل ۲). بخش ۱ (رگچه‌های A) شامل مولیبدنیت‌های با ساختمان هگزاگونال (2H) و دارای مقدار رنیوم پایین می‌باشند. این مولیبدنیت‌ها در رگچه‌های کوارتز و ارتوز رخ داده‌اند. دگرسانی رگچه‌های مذکور پتاسیک می‌باشد. بخش ۲ (رگچه‌های D) بیانگر مولیبدنیت‌هایی است که دارای ساختار هگزاگونال (2H) و غنی از رنیوم می‌باشند. این مولیبدنیت‌ها در رگچه‌های کوارتز با کانی‌های سولفیدی حادث گردیده‌اند. یکی از ویژگی‌های این نوع رگچه‌ها وجود دگرسانی فیلک در حاشیه آن‌ها است. در بخش ۳ (رگچه‌های B) مخلوطی از مولیبدنیت‌های دارای ساختمان 2H و 3R در نظر گرفته شده است که از ویژگی‌های آن‌ها عیار نسبتاً بالای رنیوم و در مرحله کانه‌زایی اسکارن در رگچه‌های کوارتز تشکیل شده‌اند (شکل ۲).

Newberry [۲] معتقد است که تبلور مجدد (recrystallization) مولیبدنیت‌های رومبوهدرال (3R) در درجه حرارت‌های بالا موجب تبدیل آن‌ها به مولیبدنیت‌های هگزاگونال (2H)، همراه با از دست دادن رنیوم آن‌ها می‌شود (خط‌چین‌های نشان داده شده در قسمت چپ نمودار شکل ۲). در بخش ۴ مولیبدنیت‌هایی در نظر گرفته شده است که تحت تاثیر سیالات برون‌زاد (سوپرژن) قرار گرفته‌اند. این فرآیند موجب خارج شدن رنیوم (کاهش رنیوم) در نمونه‌ها بدون تغییر در ساختمان



شکل ۲. مقایسه پلی‌تایپ‌های مولیبدنیت و مقادیر رنیوم آن‌ها در طی فرآیندهای دگرسانی [۲].

شکل ۱. مقایسه ساختمان مولیبدنیت گونه 2H و 3R [۱]

روش مطالعه

پس از مطالعات مقدماتی نقشه‌ها و پرونده‌های مربوط به حفاری‌های انجام شده در معدن مس سرچشمه، به منظور بررسی میزان رنیوم در مولیبدنیت‌های معدن فوق، نمونه‌برداری از انواع رگچه‌های دارای مولیبدنیت، از قسمت‌های سطحی معدن و مغزه‌های حاصل از حفاری انجام گرفت. سپس هر نمونه برداشت شده به دو قسمت تقسیم گردید: بخشی از هر نمونه جهت تهیه و مطالعه مقاطع نازک صیقلی و بخش دوم به منظور جداسازی مولیبدنیت در نمونه‌ها و اندازه‌گیری رنیوم در آن‌ها در نظر گرفته شد. مقدار رنیوم در مولیبدنیت‌های جدا شده از سنگ معدن به روش^۱ ICP-MS در ALS-Chemex کانادا اندازه‌گیری شد. در این روش، حد آشکارسازی برای عنصر رنیوم ۲۰ ppb می‌باشد. به منظور شناسایی سیستم تبلور مولیبدنیت روش پراش پرتو ایکس^۲ (XRD) بر روی انواع مولیبدنیت در آزمایشگاه زرآما انجام گرفت. سپس مقادیر رنیوم در معدن سرچشمه با سایر معادن پورفیری مقایسه گردید.

بحث و برداشت

از آنجایی که رنیوم در سیستم‌های پورفیری فقط وارد ساختمان مولیبدنیت می‌گردد لذا مطالعه مقاطع میکروسکوپی نشان داد که انواع رگچه‌های مولیبدنیت در معدن سرچشمه عبارتند از:

- (۱) رگچه‌های کوارتز- کالکوپیریت- پیریت- مولیبدنیت با دگرسانی پتاسیک (شکل ۳).
 - (۲) رگچه‌های کوارتز- مولیبدنیت \pm سولفید (شکل ۴).
 - (۳) رگچه‌های مولیبدنیت- کوارتز (شکل ۵).
- رگچه‌های گروه ۲ و ۳ به ترتیب دارای دگرسانی پتاسیک - فلیک و فلیک می‌باشند.

غلظت رنیوم در مولیبدنیت‌های معدن سرچشمه

مقدار رنیوم اندازه‌گیری شده در مولیبدنیت‌های جدا شده از سنگ معدن سرچشمه بین ۱۰/۸۵ تا ۶۳۱ پی‌پی‌ام متغیر است. غلظت رنیوم در مولیبدنیت‌های معدن به جنس سنگ میزبان رگچه‌ها (آندزیت یا گرانودیوریت) بستگی ندارد؛ بلکه به زمان تشکیل رگچه‌ها در مراحل

دگرسانی-کانی‌سازی و اندازه دانه‌های مولیبدنیت وابسته است. مطالعات کانی‌شناسی و شیمیایی در انواع رخداد مولیبدنیت بیانگر حضور مولیبدنیت در ۲ نسل است (جدول ۱). اولین نسل مولیبدنیت (مولیبدنیت I که متعلق به رگچه‌های گروه ۱ و ۲ می‌باشد) دارای غلظت پایین رنیوم است و به صورت دانه ریز، هم‌رشد با کوارتز و با کانی‌های سولفیدی دیده شده است. این رگچه‌ها اکثراً در سنگ‌های واجد دگرسانی پتاسیک تشکیل شده‌اند. دومین نسل مولیبدنیت (مولیبدنیت II) که دارای مقدار رنیوم بالاتری می‌باشد و در رگچه‌های گروه ۳ یافت می‌شوند.

مطالعه ارتباط بین نحوه حدوث مولیبدنیت و مقدار رنیوم آن در مولیبدنیت‌های نسل اول (مولیبدنیت I) نشان داده است که رگچه‌های دارای مولیبدنیت متعلق به این نسل به دو گروه تقسیم می‌شوند: گروه (A) مولیبدنیت‌های دانه‌ریزتر می‌باشند و به صورت لکه‌هایی در حاشیه رگچه‌های کوارتز رخ داده‌اند؛ گروه (B) که در آن‌ها سهم دانه‌های کوارتز و مولیبدنیت تقریباً یکسان می‌باشد؛ اندازه دانه‌های مولیبدنیت درشت‌تر از گروه (A) بوده و مقدار رنیوم در مولیبدنیت‌های این گروه متوسط است (جدول ۱). نتایج فوق منطبق بر پیشنهاد Faramazian [۵] است. طبق نظر ایشان در مولیبدنیت‌های متعلق به یک نسل ارتباط مستقیمی بین مقدار رنیوم و اندازه دانه‌های مولیبدنیت وجود دارد. با افزایش ارتفاع کانه‌زایی (مولیبدنیت‌های تشکیل شده در سطوح بالایی کانسار در مقایسه با مرکز آن)، تاثیر چرخش آب‌های زیرزمینی بر سیال گرمایی تقویت گردیده و باعث کاهش pH و دمای سیال گرمایی شده است که پیامد آن تشکیل مولیبدنیت‌های غنی‌تر از رنیوم در سطوح بالاتر می‌باشد. مقدار رنیوم در مولیبدنیت‌ها با افزایش دمای تشکیل آن کاهش می‌یابد و نسبت معکوسی بین دمای تشکیل مولیبدنیت و مقدار رنیوم آن وجود دارد.

افزایش انحلال‌پذیری ReS_2 در دماهای ۴۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بیانگر حل شدن آن در دماهای بالاتر است [۶] و احتمالاً دلیل پایین‌تر بودن مقدار رنیوم در مولیبدنیت‌های تشکیل شده در دماهای بالا است [۷].

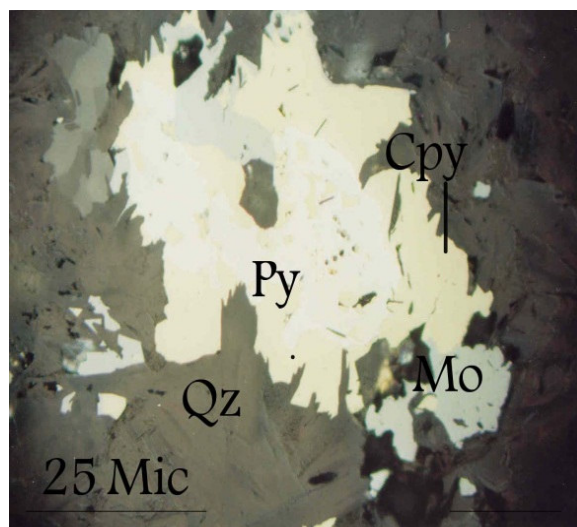
بر اساس مطالعات تجربی انجام شده، مولیبدنیت‌هایی که از سیالات گرمایی اسیدی مشتق می‌شوند دارای مقادیر رنیوم بالاتری نسبت به مولیبدنیت‌هایی است که از

^۱ Inductively coupled plasma^۲ X-ray diffraction

کمپلکس‌های کلریدی در انتقال گرمایی رنیوم در دمای ۴۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد نقش دارد. با توجه به موارد فوق می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در معدن سرچشمه رنیوم به صورت کلرور توسط سیالات گرمایی انتقال یافته است.

نتایج حاصل از مطالعات XRD نشان داد که هر دو نسل از مولیبدنیت در معدن سرچشمه به صورت 2H (هگزگونال) متبلور شده‌اند. Voudouris [۹] نیز نتیجه‌گیری کرده است که مقدار رنیوم در مولیبدنیت‌های کانسار Pagoni Rachi در شمال یونان وابسته به سیستم تبلور آن نمی‌باشد و مولیبدنیت‌های غنی و فقیر از رنیوم در کانسار مذکور به صورت 2H متبلور شده‌اند.

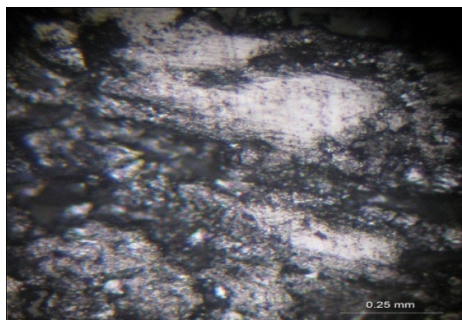
سیالات گرمایی قلیایی تشکیل شده‌اند، می‌باشند [۸]. لذا جهت توجیه تفاوت غلظت رنیوم در دو نسل مولیبدنیت در معدن سرچشمه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مولیبدنیت‌های تشکیل شده در دگرسانی پتاسیک به دلیل قلیایی بودن سیالات گرمایی (مساعد جهت انتقال رنیوم) و دمای بالا، دارای مقدار رنیوم پایین‌تری نسبت به مولیبدنیت‌های تشکیل شده در دگرسانی سربیسیتیک (اسیدی‌تر بودن سیال گرمایی و دمای کمتر) می‌باشند. مطالعات سیالات درگیر در نمونه‌های کوارتز موجود در رگچه‌های مولیبدنیت کانسار مس سرچشمه بیانگر حضور NaCl و KCl در سیالات درگیر می‌باشد. مطالعات تجربی Xiong and Wood [۶] نشان داده است که



شکل ۳. تصویر میکروسکوپی از رگچه کوارتز-مولیبدنیت-کالکوپیریت-پیریت نسل (I) گروه A.



شکل ۴. تصویر نمونه دستی از رگچه کوارتز-مولیبدنیت \pm سولفید نسل (I) گروه B.



ب



الف

شکل ۵. الف) تصویر نمونه دستی و ب) تصویر میکروسکوپی از رگچه مولیبدنیت- کوارتز نسل (II).

| Veinlet Types | Degree of silicification | Degree of sericitization | Mode of occur. of molybdenite | Re content |
|---|--------------------------|--------------------------|---|------------|
| Molybdenite (II) [Molybdenite veinlet with minor quartz] | weak | intensive | abundant closely packed fine grains | _____ |
| Molybdenite (I) [B) Quartz-molybdenite veinlets A) Quartz+ minor molybdenite veinlets] | moderate | moderate | molybdenite and quartz grains in equal proportions | _____ |
| | strong | weak | smears of molybdenite along the edge of vein fillings | _____ |

0 100 200 300 400 500 600
Re (ppm)

جدول ۱. مقایسه مقادیر رنیوم در انواع رگچه‌های مولیبدنیت در کانسار مس پورفیری سرچشمه.

مولیبدنیت‌های با منشا گرانیتهای گوشته‌ای (M) از رنیوم بالاتری نسبت به مولیبدنیت‌های با منشا ماگماهای نوع I (ناشی از ذوب نسبی پوسته اقیانوسی) و S (ناشی از ذوب نسبی پوسته قاره‌ای) می‌باشند. غلظت رنیوم در مولیبدنیت‌های گرانیتهای M < I < S معتقد است که اگر سیستم‌های مولیبدن پورفیری نیز به طور ژنتیکی مرتبط با ماگماهای با منشا گوشته‌ای قرار داشتند؛ مولیبدنیت‌های این سیستم‌ها نیز از مقادیر بالایی از رنیوم برخوردار می‌شدند.

اکثر کانسارهای مولیبدن - مس و مولیبدن پورفیری همراه با نفوذی‌های مونزونیت و گرانیتهای سری کالک الکالن با مقدار آکالی تقریباً بالا می‌باشند؛ در حالی که کانسارهای مس - مولیبدن پورفیری همراه با سنگ‌های مافیک‌تر و سری ماگمایی آکالن تا کالک الکالن بوده و

مقایسه مقدار رنیوم در مولیبدنیت‌های معدن سرچشمه با سایر معادن پورفیری

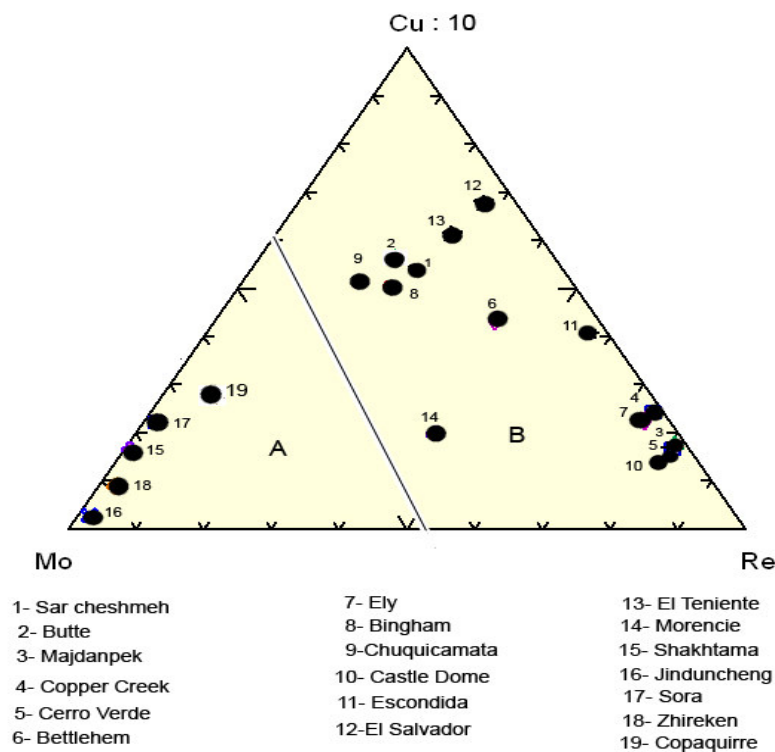
از ترسیم میانگین غلظت رنیوم در مولیبدنیت و عیار مس و مولیبدن در معدن سرچشمه و تعدادی معادن پورفیری بر روی نمودار سه‌تایی Mo-Cu-Re، دو گروه کانسار پورفیری قابل شناسایی می‌باشند (شکل ۶). گروه A (کانسارهای Mo) با مقدار رنیوم پایین و گروه B (کانسارهای Cu-Mo) که دارای رنیوم متوسط تا بالا می‌باشند. حجم محدودتر مولیبدنیت در کانسارهای مس پورفیری می‌تواند دلیلی جهت غنی‌تر بودن رنیوم در مولیبدنیت‌های موجود در کانسارهای مس پورفیری در مقایسه با کانسارهای مولیبدن پورفیری دانست. تفاوت‌های مقادیر رنیوم در سیستم‌های مس-مولیبدن و مولیبدن پورفیری احتمالاً مربوط به اختلاف غلظت رنیوم در سیالات تشکیل دهنده این سیستم‌ها بوده است.

که مقادیر رنیوم در مولیبدنیت توسط چندین فاکتور کنترل می‌شود که تعدادی از این فاکتورها عبارتند از: ترکیب شیمیایی سیالات تشکیل دهنده کانه‌زایی، منشا سنگ میزبان، میزان کل مولیبدنیت یک کانسار، شرایط فیزیکوشیمیایی حاکم بر کانه‌سازی (نظیر فوگاسیته اکسیژن، اکتیویته کلرور، دما). در شکل ۷ عیار مولیبدن در مقابل میانگین مقدار رنیوم در مولیبدنیت از تعدادی کانسارهای مس و مس-مولیبدن پورفیری ترسیم گردیده است. از این نمودار می‌توان نتیجه گرفت که اکثریت کانسارهای مس پورفیری که از عیار پایینی از مولیبدن برخوردار می‌باشند، مولیبدنیت‌های آن‌ها حاوی مقدار بالاتری از رنیوم می‌باشد. با توجه به اینکه تقریباً تمامی رنیوم در سیستم‌های ماگمایی - گرمایی پورفیری، در مولیبدنیت متمرکز می‌شود؛ بنابراین حضور محدود مولیبدنیت در سیستم مس - مولیبدن پورفیری باعث بالا رفتن غلظت رنیوم مولیبدنیت‌های آن نسبت به سیستم‌های مولیبدن پورفیری (سیستم‌های نوع کلیماکس) می‌شود.

نزدیک حاشیه‌های صفحات مخرب، جزیره کمائی یا حاشیه قاره‌ای قرار دارند. در سیستم‌های Cu-(Mo) پورفیری واقع در شمال یونان و ارمنستان مولیبدنیت‌های حاوی بیش از ۱ درصد رنیوم گزارش شده است. از جمله این کانسارها Maronia, Pagoni Rachi و Melitena می‌باشند [۴ و ۵]. Voudouris [۹] معتقد است که موقعیت تکتونیکی سیستم‌های مس - مولیبدن پورفیری شمال یونان بعد از برخورد یا بعد از فرورانش^۱ می‌باشد و سیستم گرمایی کانسارهای مذکور مرتبط با ماگماهای ناشی از ذوب بخشی جبه و لیتوسفر می‌باشد لذا موارد فوق دلیلی جهت غنی‌شدگی رنیوم، طلا و عناصر سیدروفیل در سیستم‌های مذکور بوده است. یکی از ویژگی‌های برجسته کانسارهای مس - مولیبدن پورفیری، دگرسانی کوارتز- سربیسیت به صورت گسترده و شدید در سنگ‌های دیواره‌ای است.

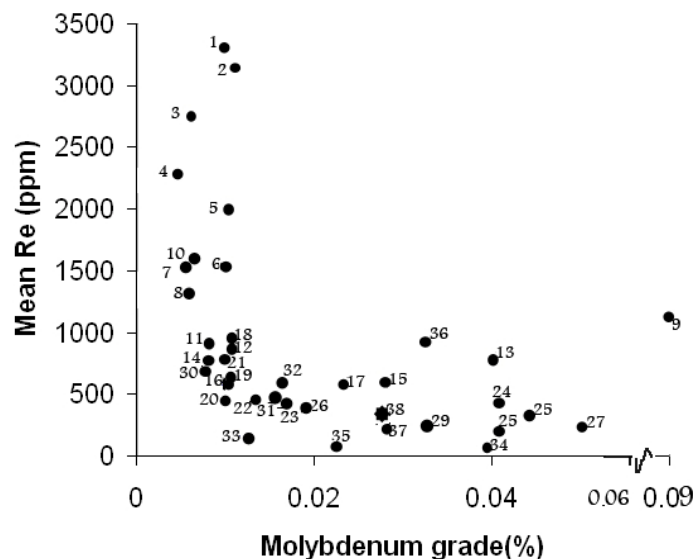
نتیجه‌گیری

بر اساس موارد ذکر شده در بالا می‌توان نتیجه‌گیری کرد:



شکل ۶. ترسیم مقدار میانگین رنیوم در مولیبدنیت و عیار عناصر مس و مولیبدن در کانسارهای پورفیری بر روی نمودار Mo-Cu-Re.

¹ post collision or post subduction



شکل ۷. میانگین مقدار رنیوم در مولیبدنیت در مقابل عیار مولیبدن در تعدادی از کانسارهای مس پورفیری.

1-Cerro Verde, 2-Borly, 3-Majdanpek, 4-Copper Creek, 5-Ely, 6-Kounrad, 7-Kal makyr, 8-Escondida, 9-Morenci, 10-Castle Dome, 11-Aktogay, 12-Boshchekul, 13-Toquepala, 14-Santa Rita, 15-Esperanza, 16 Miami, 17- Twin Buttes, 18- Medet, 19- El Salvador, 20-Bagdad, 21- Ray, 22- Silver Bell, 23- Bethlehem, 24- Collahuasi, 25- Bingham, 26- El Teniente, 27- Kadzharan, 28- Chuquicamata, 29- Mineral Park, 30-Cananea, 31- Aksog, 32- Los Pelambres, 33- Er denetuino Obo, 34- Brenda, 35- Cuaajone, 36- Tonghuangyu, 37- Butte, 38- Sar Cheshmeh.

منابع

- transport of rhenium under supercritical conditions”, *Geochem. Trans.* 3, 1-10.
- [7] Berzina, A.N., Sotnikov, V.I., Economou-Eliopoulos, M. and Eliopoulos, D.G (2005) “Distribution of rhenium in molybdenite from porphyry Cu-Mo and Mo-Cu deposits from Russia (Siberia) and Mongolia”, *Ore Geol. Rev.* 26, 91-113.
- [8] Filimonova, L.Y., Zhukov, N.M. & Malyavka, A.G (1984) “Genetic aspects of polytypism and rhenium contents of molybdenite in porphyry copper deposits”, *Geochi.* 7, 1040-1046 (in Russian).
- [9] Voudouris, P.C (2009) “Rhenium - rich molybdenite and rhenite in the Pagoni rachi Mo-Cu-Te-Ag-Au prospect, Northern Greece: Implications for the Re Geochemistry of porphyry style Cu-Mo and Mo mineralization”, *Mineral. Assoc. Canada.*
- [10] Mao, J., Zhang, Z., Zhang, Z. and Du, A (1999) “Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W-(Mo) deposit in the northern Qilian Mountains and its geological significance”, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63, 1815-1818.
- [11] Stein, H.J., Markey, R.J., Morgan, J.W., Hannah, J.L. and Schersten, A (2001) “The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: how and why it works”, *Terra Nova* 13, 479-486.
- [1] Wilson, J.A. and Yoffe, A.D (1969) “The transition metal dichalcogenides: Discussion and interpretation of the observed optical, electrical, and structural properties”, *Adv. Phys.* 18, 194-325.
- [2] Newberry, R.J (1979) “Polytypism in molybdenite (II): Relationship between polytypism, ore deposition/ alteration stages and rhenium contents”, *Amer. Mineral.* 64, 768-775.
- [3] Melfos, V., Vavelidis, M., Filippidis, A., Christofides, G. and Evangelou, E (1991) “Re-rich and Re-poor molybdenite in the Maronia rhyolitic intrusion, northeastern Greece In Source, Transport and Deposition of Metals”, Balkema, Rotterdam, The Netherlands (775-777).
- [4] Melfos V., Voudouris P., Arikas K. and Vavelidis, M (2001) “High Re concentration in molybdenites from porphyry-Mo Cu in Thrace (NE Greece)”, *Bull. Geol. Soc. Greece.* 36, 416-423.
- [5] Faramazian, A.S (1961) “Regularities in the distribution of Re in the Kadzharan ore deposit”, *Izvest Akad. Nauk Arm. SSR* 14, 39-56.
- [6] Xiong, Y. and Wood, S (2002) “Experimental determination of the hydrothermal solubility of ReS_2 and the Re- ReO_2 buffer assemblage and