



بررسی شکل‌گیری رنیوم در مولیبدنیت و تاثیر محلول‌های درون‌زاد و بروون‌زاد بر توزیع دوباره‌ی آن در سیستم‌های پورفیری

بالنده امین‌زاده

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(دریافت مقاله: ۹۲/۸/۳۰، نسخه نهایی: ۹۲/۱۰/۱۸)

چکیده: مولیبدنیت خاستگاه اصلی رنیوم در پوسته‌ی زمین است. در این پژوهش از نتایج داده‌های کانی‌شناسی، آنالیز شیمیایی و بررسی میکروسکوپی الکترونی رویشی برای تاثیر فرایندهای درون‌زاد و سطحی بر رفتار رنیوم در مولیبدنیت استفاده شده است. نتایج بررسی پراش پرتو ایکس روی مولیبدنیت نشانگر آن است که مولیبدنیت‌ها به صورت ساختار ششگوش‌اند. الگوهای پراکندگی رنیوم در دانه‌های مولیبدنیت بیانگر تهنشینی رنیوم به صورت همزمان با مولیبدن طی رشد دانه‌های مولیبدنیت است. سیالات گرمابی تاخیری موجب شسته‌شدن رنیوم از مولیبدنیت در منطقه‌ی درون‌زاد می‌شوند. محلول‌های وابسته به دگرسانی رسی در دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتیگراد موجب کاهش رنیوم در مولیبدنیت می‌شوند. مولیبدنیت‌های وابسته به منطقه‌ی بروون‌زاد در مقایسه با مولیبدنیت‌های منطقه‌ی درون‌زاد از مقادیر رنیوم کمتری برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: توزیع؛ رنیوم؛ سرچشم؛ سیستم پورفیری؛ مولیبدنیت.

که تاکنون تحقیقات لازم در مورد تاثیرهای زیست‌محیطی رنیوم انجام نشده است، بنابراین باید در استفاده از آن با احتیاط رفتار شود.

مولیبدنیت به عنوان کانی اصلی حاوی رنیوم در پوسته‌ی زمین شناخته شده است. از این‌رو تمرکز رنیوم در مولیبدنیت، موجب افزایش ارزش اقتصادی این کانی شده است. مولیبدنیت در طبیعت به دو شکل ششگوش ($2H$) و لوزی رخ ($3R$) شناخته شده است. ساختمان پلی‌تاپ‌های $2H$ و $3R$ در شکل ۱ مقایسه شده است.

اتمهای مولیبدن با ۶ اتم گوگرد به شکل منشور ششگوشی و هر اتم گوگرد نیز به وسیله‌ی ۳ اتم مولیبدن همطراز شده است. هر سلول واحد در مولیبدنیت‌های پلی‌تاپ $2H$ از ۲ لایه و در مولیبدنیت‌های پلی‌تاپ $3R$ از ۳ لایه تشکیل

مقدمه
رنیوم یک فلز سفید نقره‌ای درخشان با عدد اتمی ۷۵؛ یکی از کمیاب‌ترین عناصر پوسته زمین ($\text{با فراوانی } 10 \times 10^{-8}$ درصد) است. این فلز دارای کاربردهای گوناگونی نظری استفاده از آن در تصفیه نفت خام و صنایع الکترونیک، از مقدار بسیار کمی از آن برای تغییر شکل فلزاتی از جمله مولیبدن، تنگستن و تالیم، در ساخت سفینه‌های فضایی، هواپیما، در ساخت کاتالیزور Platinum-Rhenium که در ساخت بنزین سوپر و بدون سرب، به عنوان Filament در طیفسنج جرمی و اندازه‌گیری‌های یونی، در ساخت لامپ‌های فلاش دوربین‌های عکاسی و نیز سیستم رادیواکتیو Re-Os به عنوان یک زمان‌سنج زمین‌شناسی [۱] و به عنوان یک ردیاب ژئوشیمیایی برای حل مسائل زمین‌شناسی کاربرد دارد [۴-۲]. از آنجا

می‌شود [۶,۵].

میزان عناصر اصلی در مولیبدنیت‌های هگزاگونال و لوزی رخ تقریباً یکسان است؛ ولی در شرایط زمین‌شناسی مولیبدنیت‌های شش گوش در مقایسه با مولیبدنیت‌های به شکل لوزی رخ از فراوانی بیشتر، مقدار رنیوم کمتر برخوردارند و از ویژگی محلول‌های گرمابی تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها فوگاسیته گوگرد و دمای بالاتر است [۶,۵].

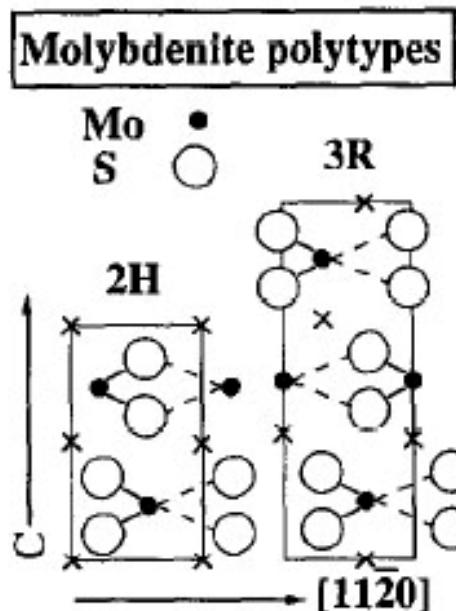
در این بررسی الگوی توزیع رنیوم در مولیبدنیت‌های کانسار سرچشم‌های برای پی‌بردن به شرایط تهشیینی رنیوم از محلول‌های گرمابی اولیه، عامل سیستم کانه‌زایی، و تاثیر دگرسانی‌ها بر مقادیر رنیوم در مولیبدنیت بیان شده‌است.

چگونگی توزیع رنیوم در کانسارهای پورفیری
مولیبدنیت به عنوان کانی اصلی دارای رنیوم در سیستم‌های پورفیری شناخته شده‌است. از جمله عوامل موثر برای تبلور مولیبدنیت از یک محلول حاوی کمپلکس‌های مولیبدانی؛ کاهش دما و فوگاسیته اکسیژن (در گستره $\text{SO}_2\text{-H}_2\text{S}$) یا واکنش محلول یاد شده با H_2S است [۷]. رمپل و همکاران [۸] معتقدند که موارد یاد شده دلیلی برای همراهی مولیبدنیت با دگرسانی پتاسیک و فیلیک در سیستم‌های پورفیری است.

شده‌است. ترتیب لایه‌ها در پلی‌تاپ 2H به صورت ۱۲۱۲۰۰۰ در حالی که در پلی‌تاپ 3R ۳۳۱۲۳۰۰۰ به صورت ۱۲۳۱۲۰۰۰ است. معمولاً مولیبدنیت در طبیعت دارای ساختار 2H است. پلی‌تاپ 3R در مقایسه با پلی‌تاپ 2H ۲ در طبیعت از فراوانی کمتری برخوردار است.

نیوبری [۵] معتقد است که ساختمان پلی‌تاپ 3R با جانشینی مولیبدن به‌وسیله‌ی رنیوم تا حد زیادی موازن شده‌است و رابطه مستقیمی بین عیار رنیوم در مولیبدنیت و فراوانی یک نوع پلی‌تاپ پیشنهاد کرده‌است. به عقیده او کوچکتر بودن شعاع Re^{+4} نسبت به Mo^{+4} باعث ایجاد نواقصی در شبکه‌ی بلور شده‌است. این نواقص در شبکه‌ی بلوری مولیبدنیت موجب واکنش‌پذیری بیشتر آن در مقایسه با مولیبدنیت‌های 2H شده‌است. تاثیر دگرسانی‌ها روی کانی مولیبدنیت موجب کاهش رنیوم آن بدون تبدیل ساختمان 3R به 2H می‌شود؛ زیرا طی این فرایند، انرژی لازم برای چرخش لایه‌های S-Mo-S و تبدیل پلی‌تاپ فراهم نیست.

شرایط فیزیکی و شیمیایی حاکم بر کانه‌سازی مولیبدنیت در کانسارهای نظری دما و فشار، سرعت سردشدن، فعالیت گوگرد در سیستم گرمابی و مقدار جانشینی رنیوم از جمله عواملی هستند که سبب بوجود آمدن ۲ نوع ساختار مولیبدنیت



شکل ۱ مقایسه‌ی ساختار بلورهای مولیبدنیت شش‌گوشی (2H) و لوزی رخ (3R).

رسوب‌های رنیوم‌دار از صفحه فرورانده شده آرام و ذوب بخشی جبهه می‌داند.

موقعیت زمین‌ساختی سیستم‌های مس–مولیبدن پورفیری post collision شمال یونان پس از برخورد یا بعد از فروزانش (or post subduction) است. سیستم گرمابی کانسارهای یاد شده به مagmaهای ناشی از ذوب بخشی جبهه و لیتوسفر وابسته است. موارد فوق دلیلی برای غنی شدگی رنیوم، طلا و عناصر سیدروفیل در سیستم‌های یاد شده بیان شده‌است [۱۶].

در سیستم‌های Cu-Mo پورفیری واقع در شمال یونان و ارمنستان، مولیبدنیت‌های حاوی بیش از ۱ درصد رنیوم گزارش شده‌است. از جمله این کانسارها عبارتند از Maronia [۱۷] Pagoni Rachi و Melitena.

نتایج بررسی‌های ملفوуз و همکاران [۱۷] در کانسار-Cu-Mo پورفیری Maronia نشان داده‌اند که ۵۰ درصد مولیبدنیت‌های کانسار یاد شده دارای ساختار ۲H و ۵۰ درصد باقیمانده از نوع ۳R است. نتایج داده‌های آزمایشگاهی آن‌ها بیانگر آن است که تفاوت محسوسی در مقادیر عناصر مولیبدن و گوگرد بین ۲ نوع ساختار مولیبدنیت وجود ندارد؛ ولی غلظت رنیوم در کانسار فوق از ۱۲٪ تا ۲۸٪ درصد متغیر است. آن‌ها از ادغام نتایج پراش پرتو ایکس (XRD) و نتایج داده‌های شیمیابی مولیبدنیت‌های کانسار یاد شده به این نتیجه رسیدند که مولیبدنیت‌های غنی از رنیوم دارای ساختار ۳R و مولیبدنیت‌های ۲H فقیر از رنیوم هستند.

وودوریس و همکاران [۱۶] نشان دادند که مقدار رنیوم در مولیبدنیت‌های کانسار Pagoni Rachi در شمال یونان وابسته به سیستم تبلور آن نیست و مولیبدنیت‌ها به صورت ششگوشی متبλور شده‌اند.

روش بررسی

برای بررسی مقادیر رنیوم در مولیبدنیت‌های معدن سرچشمه از رگچه‌های دارای مولیبدنیت نمونه‌برداری شد. غلظت رنیوم در مولیبدنیت‌های جداسده از سنگ معدن (به تعداد ۲۵ عدد) و سیلیکات‌های آلومینیوم‌دار ثانویه همراه مولیبدنیت (۸ عدد) به روش Inductively coupled plasma (ICP-MS) اندازه‌گیری شد. برای شناسایی سیستم تبلور مولیبدنیت روش پراش پرتو ایکس (XRD) روی X-ray diffraction (XRD) را

کاهش دما عامل موثری برای تهذیبی مولیبدنیت از محلول-های گرمابی حامل مولیبدن در یک سیستم پورفیری است. رنیوم نیز همانند مولیبدن در سیالات گرمابی magmaی دمای بالا به صورت کمپلکس HReO_4 انتقال می‌یابد [۹]. در محلول‌های گرمابی با اکتیویته HCl بالا؛ همبافت‌های مولیبداتی هیدروکسیدی به کلرور اکسیدی تبدیل می‌شود و رنیوم نیز در این شرایط فوق به صورت کمپلکس‌های ReCl^{4+} و ReCl^{3+} انتقال می‌یابد [۱۱، ۱۰].

عوامل کنترل‌کننده مقادیر رنیوم در مولیبدنیت‌های کانسارهای پورفیری از نواحی مختلف جهان در مقالات متعددی بررسی شده‌اند. بربزینا [۱۲] مقادیر رنیوم از مولیبدنیت‌های ۵۶ کانسار Cu-Mo پورفیری را در اروپا، آسیا، شمال و جنوب آمریکا مقایسه کرده‌است. به عقیده این پژوهشگر مقادیر رنیوم در مولیبدنیت‌ها به وسیله‌ی چندین فاکتور کنترل می‌شود که عبارتند از؛ ترکیب شیمیایی محلول-های گرمابی تشکیل‌دهنده‌ی کانه، خاستگاه سنگ میزبان، میزان کل مولیبدنیت یک کانسار، شرایط فیزیکوشیمیایی حاکم بر کانه‌سازی (فوگاسیته اکسیژن، فعالیت کلرور، دما و فشار).

مولیبدنیت‌های کانسارهای Cu-Mo پورفیری در مقایسه با کانسارهای Mo-Mo-Cu غنی‌تر از رنیوم هستند. از آنجا که در سیستم‌های پورفیری فقط رنیوم وارد ساختار مولیبدنیت می‌شود؛ لذا یکی از عوامل غنی‌تر بودن رنیوم در مولیبدنیت‌های کانسارهای مس پورفیری، حجم محدود مولیبدنیت در این کانسارات نسبت به مولیبدن پورفیری است. مقدار رنیوم در مولیبدنیت وابسته به خاستگاه مولیبدنیت است. مولیبدنیت‌های متبλور شده از محلول‌ها با خاستگاه magmaی گوشت‌های در مقایسه با مولیبدنیت‌های متبλور شده از محلول-های با خاستگاه magmaی پوسته‌ای غنی‌تر از رنیوم هستند [۱۳]. استین و همکاران [۱۴] معتقدند که اگر سیستم‌های مولیبدن پورفیری نیز به طور ژنتیکی با magmaهای با خاستگاه گوشت‌های وابسته باشند، مولیبدنیت‌های این سیستم‌ها نیز از مقادیر بالایی از رنیوم برخوردارند.

تسالینا و همکاران [۱۵] تمرکز بالای رنیوم در سیستم magmaی همراه با سنگ‌های بیرونی ناحیه‌ی kudriavy را محلول‌های گرمابی وابسته به magmaی که نتیجه‌ی ذوب

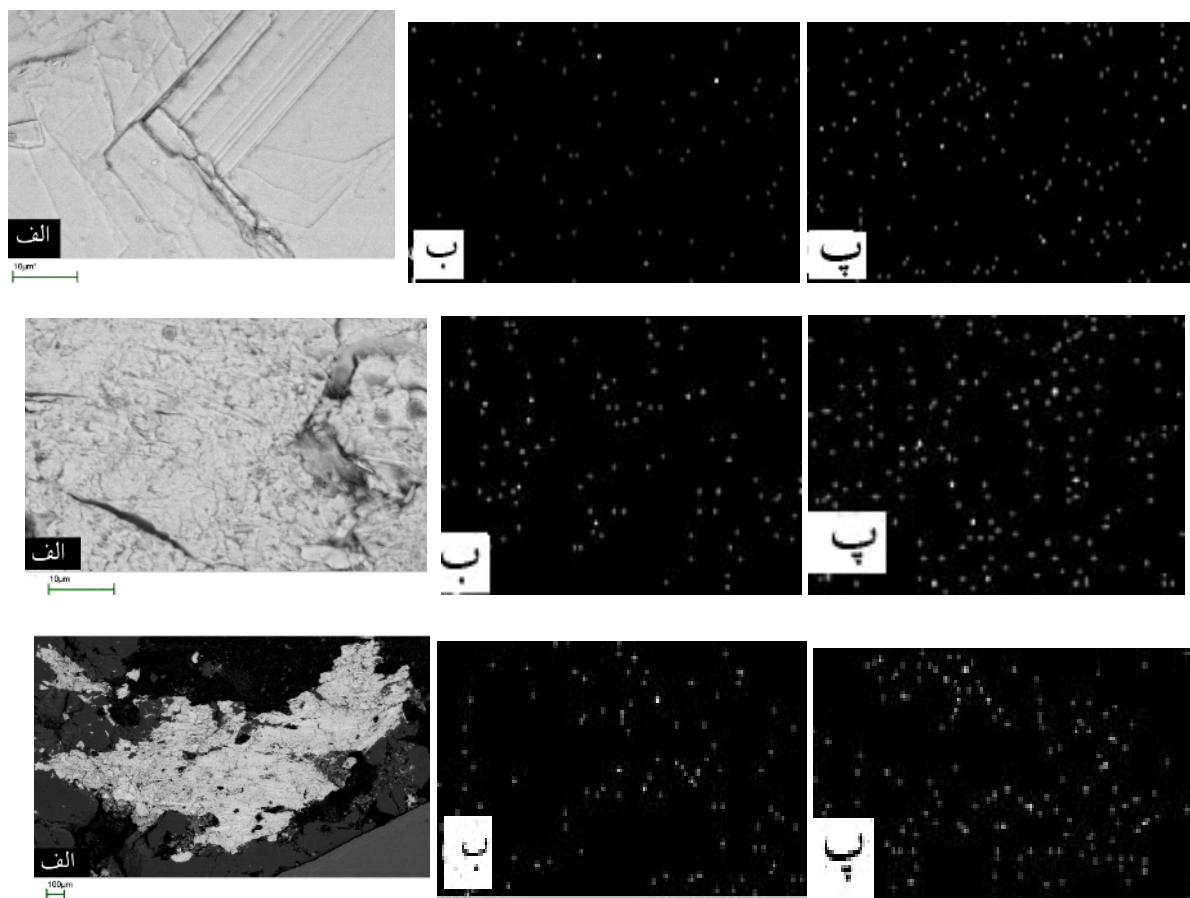
طی رشد بلورهای مولیبدنیت رخ داده است. از آنجا که شعاع یونی رنیوم (0.63 \AA^0) اندکی کوچکتر از شعاع یونی مولیبدن (0.65 \AA^0) است، لذا این عنصر می‌تواند جانشین مولیبدن در مولیبدنیت شود.

در کانسارهای پورفیری با عیار قابل توجه رنیوم، نظیر کانسار Pagoni Rachi (شمال یونان) کانی‌سازی رنیوم به صورت رنیت (ReS_2) گزارش شده است [۱۶]. نتایج بررسی‌های میکروسکوپی الکترونی روشی (SEM) روی مولیبدنیت‌های حاوی ۷/۷ درصد رنیوم توسط وودوریس و همکاران [۱۶] بیانگر رخداد کانی رنیت به بزرگی ۱۵۰ میکرومتر در حاشیه مولیبدنیت است. نتایج بررسی‌های ریز پردازشی الکترونی آن‌ها نشان داد که کانی یاد شده فقط دارای جانشینی بسیار پایین مولیبدن بوده و فاقد عناصر دیگر است.

نمونه‌های مولیبدنیت (۱۴ عدد) انجام شد. از نمونه‌های حاوی مولیبدنیت مقاطع میکروسکوپی (۳۰ عدد) تهیه و بهمنظر چگونگی توزیع رنیوم در مولیبدنیت بررسی میکروسکوپی Scanning electron microscopy (SEM) الکترونی روشی (SEM) (۴ عدد) صورت گرفت.

کانه‌زایی مولیبدنیت در کانسار سرچشمه معمولاً همراه با کوارتز؛ به صورت رگچه‌ای در مرحله‌ی گرمابی-دگرسانی پتاسیک و پتاسیک-فیلیک طی مرحله‌ی کانه‌سازی اولیه و اصلی مس (کالکوپیریت) رخ داده است [۱۹].

برای شناسایی چگونگی توزیع رنیوم در مولیبدنیت بررسی‌های میکروسکوپی الکترونی روشی (SEM) انجام شد. در شکل ۲ پراکندگی رنیوم و گوگرد در ۳ مولیبدنیت بلوری نشان داده شده است. با توجه به حضور پراکنده‌ی رنیوم در مولیبدنیت می‌توان گفت که تنه‌شینی رنیوم به صورت همزمان با مولیبدن



شکل ۲ الف- تصاویر میکروسکوپی از بلور مولیبدنیت مورد بررسی، ب- تصاویر میکروسکوپی الکترونی روشی (SEM) توزیع رنیوم و پ- توزیع گوگرد.

نتایج بررسی‌های مکاندلس و همکاران [۲۳] روی ۲ سنگ معدن حاوی مولیبدنیت از منطقه کانسار درون‌زاد Eagle (آمریکا) نشان داده که درصد مولیبدنیت‌های دارای ساختار 3R در نمونه‌های ۱ و ۲ به ترتیب ۶۹ و ۸۳ درصد و غلظت رنیوم نیز در نمونه‌های ۱ و ۲ به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۰۸ درصد است. آن‌ها برای پایین‌تر بودن غلظت رنیوم در نمونه‌ی ۲ در مقایسه با نمونه‌ی ۱ به موارد زیر اشاره کرده‌اند: کانه‌زایی مولیبدنیت در کانسار فوق در مرحله‌ی دگرسانی پتاسیک رخ داده‌است و نتایج بررسی‌های کانی‌شناسی روی آن نمونه‌ها نشان‌دهنده‌ی وجود ذرات ریز کانی کلسیت در نمونه ۲ است. وجود کلسیت در نمونه‌ی یاد شده نتیجه تاثیر دگرسانی پروپیلیتیک است. از آنجا که در کانسار یاد شده دگرسانی پروپیلیتیک پس از کانه‌زایی مولیبدنیت رخ داده است؛ لذا آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تاثیر محلول‌های عامل دگرسانی پروپیلیتیک موجب خارج شدن رنیوم از ساختار مولیبدنیت شده‌است.

تاثیر فرآیندهای برون‌زاد بر عیار رنیوم مولیبدنیت

نتایج حاصل از بررسی‌های کانی‌شناسی در نمونه‌های سنگ معدن بیانگر همراهی تعدادی از نمونه‌های دارای مولیبدنیت با کانه‌های مس شاخص محیط برون‌زاد (سوپرژن) نظری کالکوستی و بورنیت است. از آنجا که در سیستم‌های مس-مولیبدن پورفیری محلول‌های گرمابی عامل کانه‌زایی مولیبدنیت درون‌زاد (هیپوژن) هستند، لذا همراهی مولیبدنیت با کالکوستی نشانه فرآیندهای برون‌زایی پس از تبلور مولیبدنیت است. از مقایسه مقادیر رنیوم در مولیبدنیت و بررسی‌های میکروسکوپی می‌توان نتیجه‌گرفت که مولیبدنیت‌هایی که پس از تشکیل، تحت تاثیر محلول‌های برون‌زاد قرار گرفته‌اند (دارای مقادیر رنیوم ۲۴۰ تا ۳۲۲ ppm؛ در مقایسه با مولیبدنیت‌های اولیه تشکیل شده در منطقه‌ی درون‌زاد، کاهش رنیوم را نشان داده‌اند. با توجه به تفاوت ویژگی‌های ژئوشیمیایی مولیبدن و رنیوم در دماهای پایین‌تر از ۲۵۰ درجه‌ی سانتیگراد؛ با کاهش pH انحلال‌پذیری رنیوم و مولیبدن به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد [۲۱] و همچنین با توجه به نتایج بررسی‌های پراش پرتو ایکس (XRD)

غلظت رنیوم اندازه‌گیری شده در مولیبدنیت‌های کانسار Mikheev (اورال) بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۲ درصد متغیر است [۲۰]. از الگوهای ترسیم‌شده رنیوم در مولیبدنیت‌های کانسار یاد شده معلوم شد که توزیع رنیوم در آن‌ها بدون هیچگونه نظم مشخصی و به صورت پراکنده طی رشد کانی مولیبدنیت رخ داده است [۲۰].

اثر محلول‌های گرمابی درون‌زاد (هیپوژن) بر غلظت رنیوم در مولیبدنیت

مقادیر رنیوم در مولیبدنیت‌های منطقه‌ی کانسار درون‌زاد سرچشمۀ بین ۳۴۰ تا ۶۵۰ ppm متغیر است. نتایج بررسی‌های دگرسانی در مقیاس میکروسکوپی انجام‌شده روی مقاطع نازک-صیقلی از رگچه‌های دارای مولیبدنیت بیانگر حضور ذرات ریز کانی ایلیت در برخی از نمونه‌های است. از مقایسه‌ی آنالیز شیمیایی و کانی‌شناسی در رگچه‌ها، نتیجه می‌شود که نمونه‌هایی که از عیار پایین‌تری از رنیوم برخوردارند (۳۴۰ تا ۴۵۰ ppm) در مقایسه با نمونه‌های سنگ معدن با عیار بالاتر (۴۷۴ تا ۶۵۰ ppm) دارای درصد حجمی بیشتری از ایلیت هستند. به عبارت دیگر ارتباط معکوسی بین عیار رنیوم در مولیبدنیت‌های وابسته به این رخداد و درصد حجمی ذرات ایلیت در آن‌ها وجود دارد. مقادیر رنیوم در سیلیکات‌های آلومینیوم‌دار ثانویه (ایلیت) مجاور مولیبدنیت که حاصل دگرسانی آرژیلیک‌اند؛ بین ۱۰ تا ۷۰ ppm گزارش شد. نتایج بررسی‌های پراش پرتو ایکس (XRD) روی مولیبدنیت‌های با عیار پایین و بالاتر نشان داده است که تمامی مولیبدنیت‌های وابسته به کانسار سرچشمۀ به صورت ششگوش‌اند (2H) هستند. در طی تشکیل دگرسانی آرژیلیک شرایط اسیدی است. با توجه به تحرک (mobility) بالای رنیوم در دماهای پایین ۲۵-۲۵۰ درجه‌ی سانتیگراد) در شرایط اسیدی و عدم تحرک مولیبدن در شرایط یاد شده [۲۱]؛ و از آنجا که تقریباً تمامی رنیوم در سیستم‌های گرمابی-ماگمایی وارد ساختار مولیبدنیت می‌شود [۱۶] و دگرسانی آرژیلیک پس از کانه‌سازی مولیبدنیت رخ داده است؛ بنابراین تاثیر محلول‌های وابسته به دگرسانی آرژیلیک روی مولیبدنیت موجب خارج شدن رنیوم آن بدون تخریب ساختار مولیبدنیت و جذب رنیوم به وسیله‌ی ایلیت شده است.

دگرسانی نمونه‌های سنگ معدن دارای مولیبدنیت از کانسار سرچشمه، می‌توان نتیجه‌گرفت که مولیبدنیت‌هایی که از عیار پایین‌تری از رنیوم برخوردارند (450 ppm)؛ در مقایسه با نمونه‌های سنگ معدن با عیار بالاتر رنیوم (474 ppm) با نمونه‌های سنگ معدن دارای درصد حجمی بیشتری از رس هستند. از آنجا که دگرسانی آرژیلیک در کانسار سرچشمه پس از کانه‌سازی مولیبدنیت رخ داده است؛ لذا تاثیر محلول‌های وابسته با دگرسانی آرژیلیک روی مولیبدنیت موجب بیرون‌راندن رنیوم بدون تخریب ساختار آن شده است. از داده‌های آنالیز شیمیایی و نتایج بررسی‌های کانی‌شناسی در نمونه‌های سنگ معدن کانسار فوق، نتیجه می‌شود که مولیبدنیت‌هایی که پس از تشکیل تحت تاثیر محلول‌های برونزاد قرار گرفته‌اند (دارای مقادیر رنیوم 240 ppm تا 322 ppm)؛ در مقایسه با مولیبدنیت‌های اولیه تشکیل شده در منطقه‌ی درونزاد کاهش رنیوم را نشان داده‌اند. همچنین با توجه به نتایج بررسی‌های پراش پرتو ایکس (XRD) روی مولیبدنیت‌های منطقه‌ی درونزاد و مولیبدنیت‌های تحت تاثیر فرآیندهای برونزاد (تمامی آن‌ها به صورت ششگوش ($2H$) هستند) می‌توان نتیجه‌گرفت که تاثیر محلول‌های برونزاد موجب آزادشدن رنیوم بدون تغییر در ساختار مولیبدنیت شده است. از موارد فوق و مقایسه‌ی غلظت رنیوم در مناطق برونزاد و درونزاد سیستم‌های پورفیری یادشده در این مقاله می‌توان نتیجه‌گرفت که در سیستم‌های کانه‌زایی وقتی مولیبدنیت تحت تاثیر محلول‌های تاخیری درونزاد و برونزاد قرار گیرد؛ رنیوم در ساختمان آن در مقایسه با مولیبدن از ثبات کمتری برخوردار است؛ لذا مولیبدنیت‌ها طی فرآیندهای یاد شده کاهش رنیوم را نشان می‌دهند.

قدرتانی

از هیات تحریریه، نظرات و پیشنهادات سازنده داوران محترم این مجله تقدیر و تشکر می‌شود.

مراجع

- [1] Stein H.J., Markey R.J., Morgan J.W., Du A., Sun Y., " Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from East Quling molybdenite

مولیبدنیت‌های منطقه درونزاد و مولیبدنیت‌های تحت تاثیر فرآیندهای برونزاد (تمامی آن‌ها به صورت ششگوش ($2H$) هستند) می‌توان نتیجه‌گرفت که تاثیر محلول‌های برونزاد موجب آزادشدن رنیوم بدون تغییر در ساختار مولیبدنیت شده است.

در کانسار پورفیری Morenci (آمریکا)، میانگین غلظت رنیوم اندازه‌گیری شده در مولیبدنیت‌هایی که پس از تشکیل تحت تاثیر محلول‌های برونزاد قرار گرفته و مولیبدنیت‌های مرکز کانسار (دور از تاثیر محلول‌های برونزاد) به ترتیب 100 ppm و 103 ppm درصد است که عامل موثر در تفاوت مقادیر رنیوم مولیبدنیت‌های کانسار فوق؛ تاثیر فرآیندهای برونزاد یاد شده است [۲۲].

نتایج آنالیز شیمیایی بایکو و میلر [۲۳] روی کانی فری‌مولیبدیت ($\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) معدن پورفیری Questa (آمریکا) بیانگر آن است که کانی یاد شده در مقایسه با مولیبدنیت‌های اولیه (ششگوش) از مقادیر پایین‌تری از رنیوم برخوردار است. به نظر آن‌ها که محلول‌های با دمای پایین برونزاد، موجب تبدیل مولیبدنیت $2H$ به فری‌مولیبدیت شد و پیامد آن موجب آزاد شدن رنیوم از مولیبدنیت شده است. با توجه به حضور کانی رسی ایلیت مجاور کانی فری‌مولیبدیت، آن‌ها پیشنهاد کرده‌اند که رنیوم آزاد شده طی فرآیند برونزاد جذب کانی‌های رسی شده است. تاثیر هر یک از فرآیندها هوازدگی و دگرگونی روی کانی مولیبدنیت موجب کاهش رنیوم مولیبدنیت می‌شود [۲۲].

از موارد یادشده در بالا می‌توان نتیجه گرفت که در سیستم‌های کانه‌زایی، وقتی مولیبدنیت تحت تاثیر محلول‌های تاخیری درونزاد و برونزاد قرار گیرد؛ رنیوم در ساختار آن در مقایسه با مولیبدن از ثبات کمتری برخوردار است؛ لذا مولیبدنیت‌ها در طی فرآیندهای یاد شده کاهش رنیوم را نشان می‌دهند.

برداشت

تهنشنینی رنیوم در کانسار سرچشمه به صورت همزمان با مولیبدن طی رشد بلورهای مولیبدنیت رخ داده است از مقایسه داده‌های آنالیز شیمیایی، نتایج بررسی‌های پراش پرتو ایکس و

- [11] Xiong Y., Wood S., "Experimental determination of the hydrothermal solubility of ReS₂ and the Re-ReO₂ buffer assemblage and transport of rhenium under supercritical conditions" *Geochim. Trans.* 3 (2002) 1-10.
- [12] Berzina A.N., Sotnikov V.I., Economou-Eliopoulos M., Eliopoulos D.G., "Distribution of rhenium in molybdenite from porphyry Cu-Mo and Mo-Cu deposits from Russia (Siberia) and Mongolia". *Ore Geol. Rev.* 26 (2005) 91-113.
- [13] Mao J., Zhang Z., Zhang Z., Du A., "Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W-(Mo)deposit in the northern Qilian Mountains and its geological significance". *Geochemica et Cosmochimica Acta* 63(1999)1815-1818.
- [14] Stein H.J., Markey R.J., Morgan J.W., Hannah J.L., Schersten A., "The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: how and why it works". *Terra Nova* 13(2001) 479-486.
- [15] Tessalina S.G., Yudovskaya M.A., Chaplygin I.V., Birck J.L., Capmas F., "Sources of unique rhenium enrichment in fumaroles and sulphides at Kudryavy volcano. *Geochim". Cosmochim. Acta* 72 (2008) 889-909.
- [16] Voudouris P.C., "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* (2009).
- [17] Melfos V., Voudouris P., Arikas K., Vavelidis M., "High Re concentration in molybdenites from porphyry-Mo Cu in Thrace (NE Greece)". *Bull. Geol. Soc. Greece*. 36 (2001) 416-423.
- [18] Filippidis A., Vavelidis M., Michailidis K., Evangelou E., "Re-rich and Re poor molybdenite in the Melitena porphyritic intrusion, Rhodope massif". *Fortscr. Mineral.* 64 (1986) 47 (abstr)
- [۱۹] امین‌زاده ب، "مطالعه کانی‌شناسی و ژئوشیمی سیالات درگیر در ارتباط با کانسارسازی مولیبدن در معدن مس سرچشم و کاربرد آن در بازیابی موثر مولیبدن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۸۵) ۱۱۲ صفحه.
- [20] Grabezhev A.I., Shagalov E.S., "Rhenium distribution in Molybdenite: Result of Microprobe
- belt, Shaanxi Provinces China" *Econ. Geol.* 92 (1997) 827-835.
- [2] Todorov T., Staikov M., "Rhenium content in molybdenite from ore mineralizations in Bulgaria", *Geologica Balcanica* 15 (6) (1985) 45-58.
- [3] Ishihara S., "Rhenium contents of molybdenites in granitoid-series rocks in japan" *Econ. Geol.* 83 (1988) 1047-1051
- [4] Xiong Y., wood S., *Hydrothermal transport and deposition of rhenium under subcritical conditions (up to 200 °C) in light of experimental studies* *Econ. Geol.* 96 (2001)1429-1444
- [5] Newberry R.J.J., *Polytypism in molybdenite: (II). Relationships between polytypism, ore deposition, alteration stages and rhenium contents*", *Am. Mineral.* 64 (1979)768-775.
- [6] Clark A.H., *Compositional differences between hexagonal and rhombohedral molybdenite*". *Neues Jahrb. Mineral. Monatsh.* (1970)33-38.
- [7] Hannah J. l., Stein H. J., Wieser M.E., De Laeter J. R., Varner M. D., *Molybdenum isotope variations in molybdenite: vapour transport and Rayleigh fractionation of Mo*", *Geology*. 35 (2007) 703-706.
- [8] Rempel k. U., Williams-Jones A. E., Migdisov A. A., *The solubility of molybdenum dioxide and trioxide in HCl-bearing water vapour at 350o C and pressures up to 160 bars*", *Geochim. Cosmochim. Acta*. 72 (2008)3074-3083.
- [9] Stein H. J., Schersten A., Hannah J. L., Markey R. J., "Subgrain-scale decoupling of Re and 187Os and assessment of laser ablation ICP-MS spot dating in molybdenite", *Geochim. Cosmochim. Acta* 67 (2003)3673-3686.
- [10] Xiong Y., Wood S., "Experimental determination of the solubility of ReO₂ and dominant oxidation stage in hydrothermal solutions", *Chem. Geol.* 158 (1999)245-259.

- [22] McCandless T. E., Ruiz J., Campbell A. R., “*Rhenium behavior in molybdenite in hypogene and near-surface environments: implications for Re-Os geochronometry*”, *Geochim. Cosmochim. Acta.* 57 (1993) 889-905.
- [23] Boykov T.F., Miller A.D., “*Behavior of rhenium during weathering of igneous rocks*”. *Geokhimiya* 5 (1980) 773-777.
- Scanning (Copper Porphyry deposits, the Urals)*”. *Doklady Earth Sciences*. 431 (2010) 351-355
- [21] Xiong X.M., Lentz D.R., Sylvester P.J., “*Gold contents of sulfide minerals in granitoids from southwestern New Brunswick*”, *Canada, Miner. Deposita*. 41, (2006)369-386.