

## شبیه سازی استخراج حلالی رنیوم از محلول لیچینگ به روش جریان متقابل

مصطفی حسین زاده<sup>۱\*</sup>، مهدی علیزاده<sup>۲</sup>، محمد رنجبر<sup>۳</sup>، محمد پازوکی<sup>۴</sup>

۱- دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی معدن، کرمان، ایران (mta.hosseinzadeh@yahoo.com)

۲- پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران (mehdializadeh@merc.ac.ir)

۳- دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی معدن، کرمان، ایران (m.ranjbar@uk.ac.ir)

۴- پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، ایران (mpazouki@merc.ac.ir)

### چکیده

در این تحقیق استخراج حلالی رنیوم از محلول لیچینگ حاصل از غبار کوره تشویه مولیدینیت در دستگاه میکسر-ستلر به روش جریان متقابل در نسبت‌های فازی آبی به آلی مختلف شبیه سازی و تاثیر این نسبت‌ها بر درصد استخراج، تعداد مراحل مورد نیاز و تعیین شرایط لازم جهت دستیابی به حالت پایا به منظور جداسازی مناسب رنیوم از محلول لیچینگ بررسی شد. نسبت‌های فازی آبی به آلی بر مبنای منحنی مک کیب-تیل رنیوم انتخاب و آزمایش‌های شبیه سازی استخراج حلالی رنیوم با استفاده از الگوی جریان انتخابی انجام گردید. آزمایش‌ها تا مرحله رسیدن به شرایط تعادل نهایی برای هر نسبت، مشابه با حالت واقعی استخراج نهایی در میکسر-ستلر پیش برده شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تحت شرایط بهینه، در نسبت فازی آبی به آلی ۲:۱ با ۳ مرحله استخراج بیش از ۹۸ درصد رنیوم استخراج شد.

### مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۲

دریافت پس از اصلاح: ۱۲ اسفند ۱۳۹۲

پذیرش نهایی: ۹ اردیبهشت ۱۳۹۳

کلمات کلیدی:

شبیه سازی

استخراج حلالی

رنیوم

جریان متقابل

نسبت فازی

حقوق ناشر محفوظ است.

\* عهده دار مکاتبات

## ۱- مقدمه

ناخالصی‌ها و همچنین مقدار رنیوم موجود در آن) پیش بینی می‌شود که استفاده از روش تبادل یونی و یا استخراج با حلال برای جداسازی آن از محلول لیچینگ مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

جهت انجام فرآیند استخراج حلالی از دستگاه‌های جداساز مایع-مایع همچون میکسر-ستلرها به دلیل انعطاف پذیری قابل قبول، ظرفیت و راندمان بالا و همچنین هزینه ساخت و نگهداری پایین و نیز تبدیل آسانتر از مقیاس آزمایشگاهی به صنعتی به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. در آزمایش‌های استخراج حلالی پس از بهینه سازی پارامترهای استخراج و رسم ایزوترم استخراج و منحنی مک-کیب تیل در نسبت‌های فازی مورد نظر، تعداد مراحل تئوری استخراج برای هر نسبت فازی تعیین می‌گردد. در مواردی جهت بدست آوردن اطلاعات در مورد روش پیوسته از روش شبیه سازی مرحله‌ای استفاده می‌شود. این فرآیند معمولاً با استفاده از قیف‌های جداکننده آزمایشگاهی مطابق با یک طرح انتخابی و جمع آن برای شبیه سازی نتایج عملیات پیوسته، انجام می‌شود [۱۳ و ۱۴]. بر این اساس در این تحقیق نیز جهت تعیین تعداد مراحل مورد نیاز و بررسی روند جداسازی و رسیدن به شرایط پایدار به منظور دستیابی به استخراج بهینه‌ای از رنیوم از محلول لیچینگ غبار کوره تشویه مولیبدنیت در دستگاه میکسر-ستلر، از روش شبیه سازی مرحله‌ای با عملکرد جریان متقابل استفاده شد.

## ۲- مواد و روش تحقیق

برای بدست آوردن محلول آبی مورد نیاز برای انجام آزمایش‌ها از محلول لیچینگ غبار کوره تشویه مولیبدنیت استفاده شد. غبار کوره تشویه به کار رفته از کارخانه خاتون آباد کرمان تهیه و نتایج آنالیز XRF آن در جدول ۱ آورده شده است.

فاز آلی به کار رفته در آزمایش‌ها تری بوتیل فسفات تهیه شده از شرکت فلوکا سوئیس بوده که در کرومیزین رقیق گردید. جهت تنظیم میزان pH محلول لیچینگ از اسید سولفوریک غلیظ با خلوص آزمایشگاهی ۹۵-۹۸ درصد و محلول آمونیاک با خلوص آزمایشگاهی ۲۵ درصد ساخت شرکت مرک آلمان استفاده شد.

برای تهیه محلول آبی مورد نیاز به منظور انجام آزمایش های استخراج حلالی، عملیات لیچینگ بر روی غبار کوره تشویه مولیبدنیت در شرایط نسبت مایع به جامد برابر با ۳/۵

رنیوم یکی از کمیاب‌ترین عناصر موجود در طبیعت است که استخراج و تولید آن به صورت مستقیم بسیار مشکل می‌باشد. معمولاً این عنصر به روش‌های مختلف در کنار عناصر دیگر مانند تنگستن، مس، آهن، کبالت، کروم و مولیبدن به صورت محصول فرعی تولید می‌شود. به جز یک کانه معدنی و کانی دیگری که به شکل سولفیدی در آتشفشان کادریافی<sup>۱</sup> در جزیره ایتوروپ<sup>۲</sup> در روسیه، اخیراً یافت شده است [۱]، عملاً هیچگونه کانه و یا کانسار اختصاصی دیگر برای رنیوم تاکنون کشف نشده است. رنیوم یکی از اعضای گروه فلزات با دمای ذوب بالا مانند مولیبدن، تنگستن، نیوبیوم و تانتالیوم می‌باشد [۲]، که به طور معمول از طریق کنسانتره مولیبدنیت و از راه تشویه و یا احیا مستقیم کنسانتره بدست می‌آید [۳].

کنسانتره مولیبدنیت مجتمع مس سرچشمه دارای تقریباً ۷۰۰ گرم بر تن رنیوم می‌باشد. در این مجتمع با تولید سالانه ۲۹۰۰ تن کنسانتره مولیبدنیت تقریباً ۲ تن رنیوم تولید شده که هنگام تشویه کنسانتره مولیبدنیت به صورت غبار همراه گازهای ناشی از تشویه به هدر می‌رود [۴].

با افزایش تقاضا برای تولید رنیوم خالص و ترکیبات آن برای کاربرد در صنعت پتروشیمی، صنایع دفاعی و هواپیمایی، ساع کننده‌های دما بالا و راکتورهای فضایی روش‌های متعددی برای جداسازی و خالص سازی رنیوم از عناصر همراه آن ارائه شده است که مهمترین آنها شامل ترسیب شیمیایی، تبادل یونی، الکتروفرز موین، کروماتوگرافی مایع و استخراج حلالی می‌باشند [۵-۹].

به دلیل ارزش بالاتر رنیوم نسبت به مولیبدن، جداسازی این عنصر از لحاظ اقتصادی و محیط زیستی مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۱۰-۱۱]. از مهمترین کاربردهای رنیوم در دهه اخیر، تولید کاتالیست‌های پلاتین-رنیوم برای تولید بنزین بدون سرب و همچنین ساخت سوپر آلیاژهای دما بالا برای قطعات موتور جت بوده است [۱۲].

به دلیل محدودیت کمی رنیوم در منابع، استفاده از روش‌های پیرومیتالورژی برای تولید آن با محدودیت‌هایی روبرو است. بنابراین به نظر می‌رسد که بهترین گزینه برای تولید این فلز استفاده از فرآیندهای هیدرومیتالورژی باشد. با توجه به مشخصات حاصل از محلول لیچینگ رنیوم (pH، نوع و مقدار

<sup>۱</sup>Kudriavy<sup>۲</sup>Iturup

## شبیه سازی استخراج حلالی رنیوم از محلول لیچینگ به روش جریان متقابل

تعداد مراحل استخراج در نسبت‌های فازی مورد نظر تعیین گردید.

شکل ۱ الگویی از روند شبیه سازی فرآیند استخراج حلالی به روش جریان متقابل در دستگاه میکسر-ستلر برای دو مرحله استخراج را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در این الگوی به کار رفته، در یک استخراج دو مرحله‌ای نمی‌توان به شرایط جداسازی نهایی دست یافت لذا تکرار دو مرحله‌ای بیشتری برای دستیابی به شرایط پایا و تعادل نهایی ضروری است. هر کدام از گره‌ها نمایانگر یک مرحله تماس بین دو فاز آبی و آلی در حالت ناپیوسته می‌باشد که دو فاز در نسبت مشخص و ثابتی با همدیگر در تماس قرار می‌گیرند تا به حالت تعادل کامل برسند. تعداد مراحل استخراج از منحنی مک کیب-تیل تعیین می‌گردد. تکرارها را می‌بایست تا زمانی که تغییراتی در غلظت‌های خروجی از آنها مشاهده نشود، ادامه داد تا حالت استخراج نهایی و ثابت بدست آید. در صورتی که تعداد مراحل استخراج با  $i$  و تعداد تکرارها با  $j$  نشان داده شود، می‌توان الگوی شبیه سازی را برای تعداد مراحل استخراج و تکرارهای مختلف به کار برد.

در شکل ۱ با شروع الگوی به کار گرفته شده از گره شماره یک از سمت چپ، مقدار معینی از محلول آبی تازه (F) با مقدار مشخصی از استخراج کننده جدید (S) در تماس قرار می‌گیرد. مقدار E، مقدار باردار شده فاز آلی و مقدار R، باطله فاز آبی می‌باشد. در گره دوم باطله آبی قسمت اول با دوباره در تماس قرار گرفتن با حلال آلی تازه (S)، بار دیگر مورد جداسازی واقع می‌شود و فاز آلی باردار شده مرحله دوم نیز با محلول آبی تازه در تماس قرار می‌گیرد و به این ترتیب عملیات استخراج به صورت مرحله به مرحله تا انتهای الگوی جریان نشان داده شده جلو می‌رود.

در ابتدا، نتایج آزمایش‌ها به صورت ناپایدار بوده ولی پس از چند مرحله تکرار روند استخراج، حالت پایدار و نهایتاً حالت جداسازی نهایی تقریباً مشابه با نتایج حاصل از عملکرد جریان متقابل در میکسر-ستلر حاصل می‌شود. در این تحقیق ابتدا با رسم ایزوترم استخراج و منحنی مک کیب-تیل رنیوم، نسبت-های فازی ۱:۱، ۳:۲، ۲:۱ و ۵:۲ جهت شبیه سازی انتخاب شدند. در هر مرحله دو فاز پس از اختلاط جهت جداسازی به کیف دکانتور انتقال گردید. در انتها از باطله‌های نهایی (R) هر تکرار جهت تعیین میزان رنیوم موجود در آن نمونه برداری شد.

دمای ۸۵ درجه سانتی گراد، دور همزن ۴۰۰ دور در دقیقه، مدت زمان لیچینگ ۹۰ دقیقه با عامل لیچینگ آب مقطر انجام شد (پارامترهای عملیات لیچینگ در محدوده سوابق تحقیقاتی مربوطه کار [۱۵]، انتخاب شد).

جدول (۱) ترکیبات عنصری غبار کوره تشویه مولیبدنیت

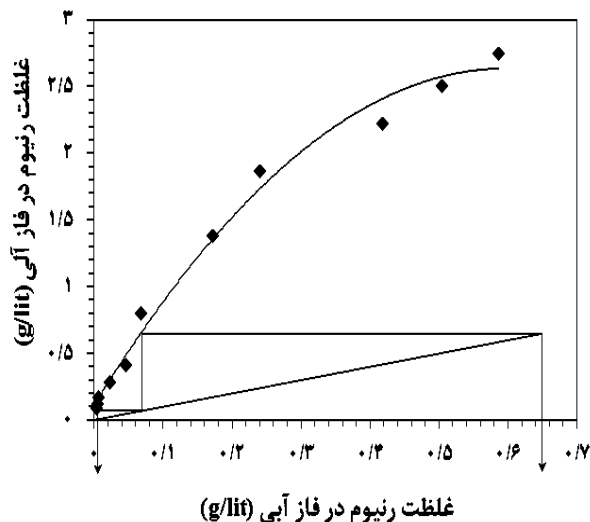
عنصر	درصد وزنی
Re	۰/۶۱
Mo	۶۱/۸
Cu	۰/۴۵
Fe	۰/۶۲
W	۰/۵۶
Rh	۰/۰۳۲
Nb	۰/۰۱۶
S	۲۳
Mn	۰/۱
Te	۰/۰۲۸
Ti	۰/۲۳
Hf	۰/۰۱۲
Bi	۰/۰۷۷

در ادامه با آماده‌سازی محلول لیچینگ، آزمایش‌های استخراج از محلول برای رسم ایزوترم استخراج، با استفاده از شرایط بهینه بدست آمده از کار قبلی [۱۵]، انجام شد. بدین ترتیب آزمایش‌ها با استفاده از محلول لیچینگ با غلظت رنیوم برابر با ۶۴۸ میلی گرم در لیتر،  $pH=0$ ، ۴۰ درصد حجمی تری بوتیل فسفات رقیق شده در کروزین به عنوان حلال آلی در دمای محیط انجام شد. بر اساس نتایج آزمایش‌های مقدماتی، مدت زمان استخراج در هر یک از آزمایش‌های شبیه سازی ۶ دقیقه در نظر گرفته شد. برای اطمینان از دستیابی به حالت تعادل کامل در رسم ایزوترم استخراج رنیوم، مدت زمان اختلاط دو فاز در نسبت‌های فازی آبی به آلی ۱:۱۰ تا ۱۰:۱ یک ساعت در نظر گرفته شد. غلظت رنیوم در تمامی محلول‌های آبی توسط دستگاه ICP<sup>۱</sup> اندازه گیری شد.

برای پیاده سازی الگوی به کار گرفته شده جهت بررسی روند استخراج رنیوم در دستگاه میکسر-ستلر، منحنی مک کیب-تیل رنیوم با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی رسم و

<sup>۱</sup>Inductively-Coupled Plasma

حداقل ۲ مرحله استخراج برای دستیابی به حداکثر میزان رنیوم انتقالی به فاز آلی مورد نیاز می‌باشد. مشخصات منحنی مک کیب-تیل هر چهار نسبت به کار رفته در آزمایش‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

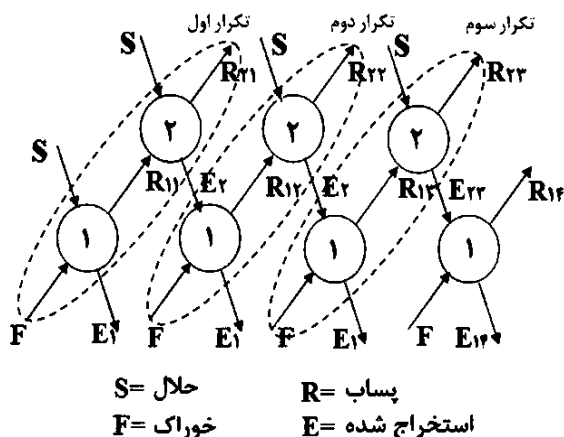


شکل (۳) منحنی مک کیب-تیل رنیوم در نسبت فازی ۱:۱

جدول (۲) نتایج استخراج شده از منحنی مک کیب-تیل (غلظت اولیه رنیوم در فاز آبی ۶۴۸ mg/l)

نسبت فاز آبی به آبی	تعداد مراحل استخراج	غلظت رنیوم باقیمانده در فاز آبی (mg/l)
۱:۱	۲	۵
۳:۲	۲	۱۰
۲:۱	۳	۴
۵:۲	۳	۱۳

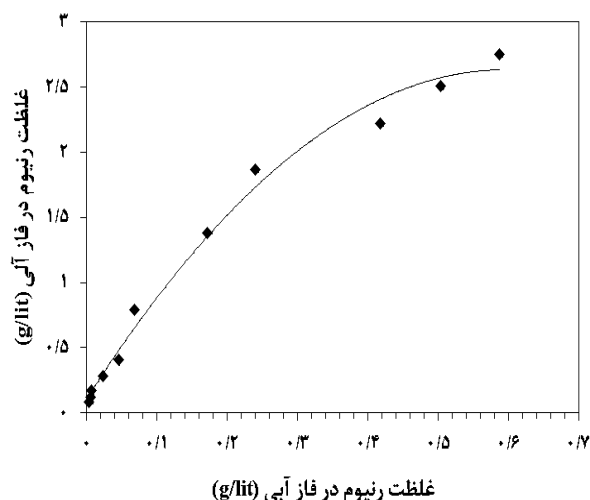
نتایج حاصل از آنالیز پساب‌های نهایی در هر یک از آزمایش‌های شبیه سازی در نسبت‌های فازی مورد بررسی در جدول ۳ آورده شده است. در نسبت فازی آبی به آلی ۱:۱ با انجام دو مرحله استخراج و چهار سری تکرار (z=۴ و i=۲) (شکل ۴)، شرایط پایا و تعادل نهایی در روند استخراج رنیوم از محلول لیچینگ حاصل گردید که تحت شرایط به کار رفته در نهایت درصد استخراج ۹۸/۲۴٪ رنیوم بدست آمد (شکل ۵)، که با مقدار حاصل از منحنی مک کیب-تیل این نسبت (پس از دو مرحله استخراج) مطابقت بسیار خوبی داشته و نشان دهنده دقت بالای الگوی استفاده شده جهت تعیین روند استخراج رنیوم به روش جریان متقابل در طی دو مرحله بوده است.



شکل (۱) الگوی به کار رفته جهت شبیه سازی فرایند استخراج حلالی رنیوم در دستگاه میکسر-ستلر به روش جریان متقابل (z=۳ و i=۲).

### ۳- ارائه و تحلیل نتایج

لیچینگ غبار کوره تشویه مولبدنیت در شرایط ذکر شده در بخش ۲ انجام و غلظت رنیوم در محلول لیچینگ ۶۴۸ میلی گرم در لیتر حاصل شد. ایزوترم استخراج رنیوم با در نظر گرفتن شرایط بهینه حاصل از آزمایش‌های استخراج حلالی ناپیوسته، مطابق شکل ۲ بدست آمد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش حجم فاز آبی به آلی از نسبت ۱:۱ تا ۱۰:۱، حداکثر ظرفیت بارگیری حلال آلی از رنیوم مشخص گردید.



شکل (۲) ایزوترم استخراج رنیوم (pH=۰، تری بوتیل فسفات ۴۰ درصد حجمی، مدت زمان تماس دو فاز یک ساعت در دمای محیط)

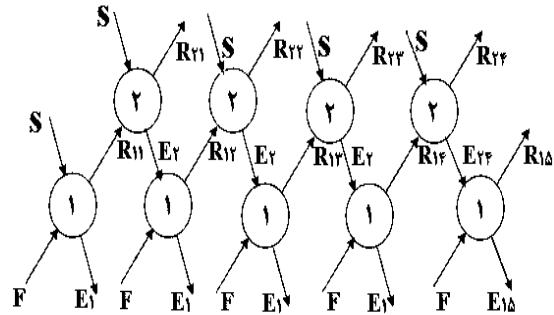
شکل ۳ منحنی مک کیب-تیل رنیوم را در نسبت فازی آبی به آلی ۱:۱ نشان می‌دهد. بر اساس نتایج ارائه شده،

شبیه سازی استخراج حلالی رنیوم از محلول لیچینگ به روش جریان متقابل

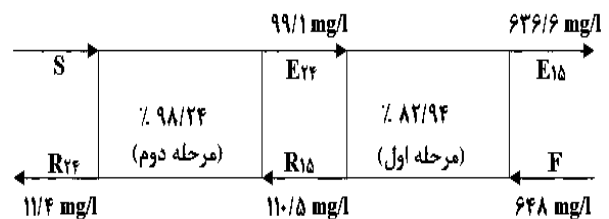
استخراج رنیوم در این نسبت بر اساس روند شبیه سازی به کار گرفته شده ۹۵/۸۲٪ بدست آمد.

جدول (۳) نتایج حاصل از آنالیز پساب‌های نهایی در آزمایش‌های شبیه سازی نسبت‌های فازی مختلف

نسبت فازی	پساب	غلظت رنیوم (mg/l)
۱:۱	R(۲۱)=	۹/۵
	R(۲۲)=	۱۱/۶
	R(۲۳)=	۱۱/۳
	R(۲۴)=	۱۱/۴
	R(۱۵)=	۱۱۰/۵
۳:۲	R(۲۱)=	۱۳/۲
	R(۲۲)=	۱۶/۶
	R(۲۳)=	۱۹/۵
	R(۲۴)=	۱۸/۸
	R(۲۵)=	۱۹/۲
	R(۲۶)=	۱۸/۴
	R(۱۷)=	۱۲۸/۴
۲:۱	R(۳۱)=	۴/۲
	R(۳۲)=	۶/۲
	R(۳۳)=	۷/۲
	R(۳۴)=	۵/۸
	R(۳۵)=	۵/۵
	R(۳۶)=	۹/۲
	R(۳۷)=	۸/۶
	R(۳۸)=	۸/۹
	R(۲۸)=	۷۵/۹
	R(۱۹)=	۲۴۷/۷
۵:۲	R(۳۱)=	۲۱/۳
	R(۳۲)=	۲۲/۸
	R(۳۳)=	۲۳/۹
	R(۳۴)=	۲۴/۲
	R(۳۵)=	۲۳/۶
	R(۳۶)=	۲۴/۱
	R(۳۷)=	۲۷/۸
	R(۳۸)=	۲۶/۹
	R(۳۹)=	۲۷/۵
	R(۳۱۰)=	۲۷/۱
	R(۲۱۰)=	۱۳۵/۶
R(۱۱۱)=	۲۹۸/۷	



شکل (۴) شبیه سازی استخراج حلالی رنیوم در میکسر-ستلر به روش جریان متقابل در نسبت فازی ۱:۱، pH=۰، تری بوتیل فسفات ۴۰ درصد حجمی، مدت زمان تماس دو فاز شش دقیقه در دمای محیط



شکل (۵) درصد‌های استخراج به دست آمده در حالت تعادل نهایی برای دو مرحله تکرار آخر در نسبت فازی ۱:۱

برای نسبت ۳:۲ با انجام دو مرحله استخراج و شش مرحله تکرار (z=۶ و i=۲)، میزان استخراج ۹۷/۱۶٪ رنیوم حاصل شد. با این حال همانگونه که انتظار می‌رفت در این نسبت به دلیل افزایش نسبت فاز آبی به آلی، تعداد مراحل تکرار بیشتری نسبت به نسبت فازی ۱:۱ لازم بود تا شرایط استخراج نهایی و پایا حاصل گردد. به همین ترتیب در نسبت فازی آبی به آلی ۲:۱ تعداد مراحل استخراج و تکرار اضافه‌تری برای رسیدن به نتایجی مشابه با منحنی مک کیب-تیل مورد نیاز بود، طوری که با انجام سه مرحله استخراج و هشت تکرار (z=۸ و i=۳)، شرایط پایا و جداسازی نهایی با درصد استخراج ۹۸/۶۲٪ رنیوم حاصل گردید.

نسبت فازی آبی به آلی ۵:۲ بیشترین مقدار تکرارها را برای دستیابی به نتیجه مطلوب، نیاز داشت (z=۱۰ و i=۳). از این رو می‌توان نتیجه گرفت، نسبت‌های آبی به آلی بیشتر از ۵:۲ برای استفاده در عملیات استخراج حلالی در دستگاه میکسر-ستلر به دلیل نیاز به ساخت و تجهیز واحدهای بیشتر و همچنین بکارگیری تجهیزات کنترلی اضافه‌تر و نگهداری افزون‌تر، پرهزینه بوده و جهت استفاده از آنها می‌بایست ملاحظات اقتصادی به دقت بررسی شوند. در نهایت درصد

## ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق شبیه سازی استخراج حلالی رنیوم از محلول لیچینگ حاصل غبار کوره تشویه مولیبدنیت در دستگاه میکسر-ستلر در نسبت های فازی آبی به آلی مختلف به روش جریان متقابل بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که برای نسبت فازی آبی به آلی ۲:۱ با استفاده از الگوی جریان به کار رفته، در بهترین حالت با سه مرحله استخراج، تعادل نهایی فرایند نیمه پیوسته حاصل و بیش از ۹۸٪ رنیوم استخراج شد. مطابقت خوب این نتایج با مقادیر حاصل از منحنی مک کیب-تیل، نشان دهنده پتانسیل مناسب این روش برای پیش بینی اولیه نتایج در سیستم پیوسته در میکسر-ستلر می باشد.

## مراجع

- [6] M. Mozammel, S. Kh. Sadrnezhaad, E. Badami, and E. Ahmadi (2005) "Breakthrough curves for adsorption and elution of rhenium in a column ion exchange system", *Hydrometallurgy*, 85, 17-23.
- [7] X. Lan, S. Liang, and Y. Song (2006) "Recovery of rhenium from molybdenite calcine by a resin-in-pulp process", *Hydrometallurgy*, 82, 133-136.
- [8] Y. Yamini, A. Saleh, and M. Khajeh (2008) "Orthogonal array design for the optimization of supercritical carbon dioxide extraction of platinum (IV) and rhenium (VII) from a solid matrix using cyanex 301", *Separation and Purification Technology*, 61, 109-114.
- [9] C. Zhan-fang, Zh. Hong, and Q. Zhao-hui (2009) "Solvent extraction of rhenium from molybdenum in alkaline solution", *Hydrometallurgy*, 97, 153-157.
- [10] T. Sato and K. Sato (1990) "Liquid-liquid extraction of rhenium (VII) from hydrochloric acid solutions by neutral organophosphorus compounds and high molecular weight amines", *Hydrometallurgy*, 25, 281-291.
- [11] N. Iatsenko Gerhardt, A. A. Palant, and S. R. Dungan (2000) "Extraction of tungsten (VI), molybdenum (VI) and rhenium (VII) by diisododecylamine", *Hydrometallurgy*, 55, 1-15.
- [12] M. J. Magyar (2008) *2006 Minerals Yearbook: Rhenium*, U. S. Geological Survey.
- [13] J. Rydberg (2004) *Solvent Extraction Principles and Practice*, 2<sup>nd</sup> Ed., Marcel Dekker, New York, USA.
- [14] R. E. Treybal (1963) *Liquid Extraction*, 2<sup>nd</sup> Ed., McGraw-Hill, New York, USA.
- [15] E. K. Alamdari, D. Darvishi, D. F. Haghshenas, N. Yousefi, and S. Kh. Sadrnezhaad (2012) "Separation of Re and Mo from roasting-dust leach-liquor using solvent extraction technique by TBP", *Separation and Purification Technology*, 86, 143-148.
- [1] M. A. Korzhinsky, S. I. Tkachenko, K. I. Shmulovich, Y. A. Taran, and G. S. Steinberg (1994) "Discovery of a pure rhenium mineral at kudriav volcano", *Nature*, 369, 51-52.
- [2] H. G. Nadler and H. C. Starck (2005) *Rhenium and rhenium compounds*, in: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, John Wiley and Sons, New York, USA, pp. 28029.
- [3] A. Sutulov (1970) *Molybdenum and Rhenium Recovery from Porphyry Coppers*, University of Concepcion, Concepcion, Chile.
- [۴] علیرضا محمودیان، سید خطیب الاسلام صدر نژاد، فرخ کروپی و صدیقه زید آبادی (۱۳۸۷) "توزیع رنیوم در قسمت های مختلف مدار غنی سازی مس-مولیبدنیت سرچشمه"، همایش ملی مواد نو، تهران، ایران.
- [5] M. A. Askari Zamani, N. Hiroyoshi, M. Tsunekawa, R. Vaghar, and M. Oliazadeh (2005) "Bioleaching of Sarcheshmeh molybdenite concentrate for extraction of rhenium", *Hydrometallurgy*, 80, 23 - 31.

## Simulation of Rhenium Solvent Extraction from Leach Liquors Using Counter-Current Operation

Mostafa Hosseinzadeh<sup>1,2,\*</sup>, Mehdi Alizadeh<sup>2</sup>, Mohammad Ranjbar<sup>3</sup>, Mohammad Pazouki<sup>4</sup>

1. Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (mta.hosseinzadeh@yahoo.com)
2. Materials and Energy Research Center, Karaj, Iran (mgh8665@yahoo.com),
3. Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (m.ranjbar@uk.ac.ir)
4. Materials and Energy Research Center, Karaj, Iran ([mpazouki@merc.ac.ir](mailto:mpazouki@merc.ac.ir))

---

### ABSTRACT

In order to study the effect of the phase ratio on rhenium extraction, the number of stages and to reach steady state in the mixer-settler, rhenium solvent extraction from roasting-dust leach-liquor was simulated using counter-current operation. The phase ratios were selected based on the results obtained from McCabe-Thiele plot. The extraction process for each phase ratio was simulated until achieving final equilibrium conditions. From the results of this study, it can be pointed out that under optimum conditions selected (a three-stage extraction at  $V_a/V_o=2$ ) more than 98% of rhenium can be extracted from the leach liquor. The results of simulation tests were in the same range of the experimental results.

---

### ARTICLE INFO

Article history:  
Received: May 18, 2013  
Revised: March 03, 2014  
Accepted: April 29, 2014

---

Key words:  
Simulation  
Solvent extraction  
Rhenium  
Counter-current  
Phase ratio

---

All right reserved.

---

\* Corresponding author