

# تعیین مناسب‌ترین محلول دفع یون‌های پرنات $\text{ReO}_4^-$ و مولیبدات $\text{MoO}_4^{2-}$ در جدایش انتخابی رنیوم از زغال فعال

سعید جبارزاد<sup>۱</sup>، سید خطیب‌الاسلام صدرنژاد<sup>۲</sup> و کامران امینی<sup>۳</sup>

۱- عضو هیأت علمی گروه مواد دانشگاه آزاد نجف آباد

۲- استاد دانشکده مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی شریف

۳- عضو هیأت علمی گروه مواد دانشگاه آزاد مجلسی

## چکیده

مهمترین ماده اولیه رنیوم در طبیعت مولیبدنیت می‌باشد. در فرایند تشویه مولیبدنیت برای تولید اکسید مولیبدن، رنیوم به صورت اکسید از کوره خارج و در غبارگیرها و فیلترها جمع‌آوری می‌گردد. با توجه به میزان کم رنیوم در این غبار پس از انحلال آن توسط آب گرم عملیات تخلیص به روش‌های مختلف چون استخراج حلالی، رزین تعویض یونی و زغال فعال انجام می‌گیرد. در استفاده از زغال فعال از تماس محلول لیچینگ با این جاذب یون‌های رنیوم،  $\text{ReO}_4^-$  و مولیبدن،  $\text{MoO}_4^{2-}$ ، با جذب سطحی از محلول جدا می‌گردند. سپس در دو مرحله ابتدا یون مولیبدات و سپس یون پرنات از جاذب باز پس گرفته می‌شوند. در مرحله اول تهی‌سازی لازم است بیشترین مقدار یون مولیبدن و کمترین مقدار یون رنیوم دفع گردد و در مرحله دوم باید محلول دفع بیشترین مقدار یون رنیوم را دفع نماید. در این مقاله از اسید کلریدریک، سود، کربنات سدیم و کلرید سدیم برای دفع مولیبدن و از تیوسیانات آمونیوم، اتانول، متانول، استون، پروپانول و ایزو پروپانول برای دفع رنیوم استفاده و تأثیر غلظت این محلول‌ها به ترتیب بر میزان دفع مولیبدن و رنیوم بررسی و تعیین گردیده است.

## کلیدواژه:

استخراج؛ رنیوم؛ مولیبدنیت؛ پرنات؛ مولیبدات؛ زغال فعال

عناصر آلیاژی جهت بهبود و افزایش درجه حرارت تبلور مجدد و مقاومت الکتریکی، مقاومت در برابر شوک حرارتی و مکانیکی، بعنوان المنت مقاوم حرارتی در کوره‌های درجه حرارت بالا، برای ساخت ترموکوپل در دمای بالا، در کاتالیزورهای تصفیه بنزین و سایر موارد باعث اهمیت این فلز گردیده است. جهت

## ۱- مقدمه

رنیوم نادرترین عنصر در پوسته زمین بوده که منیرال خاصی نداشته و همواره بصورت یک محصول جنبی همراه با سایر فلزات مطرح بوده است. کاربرد در صنایع الکترونیک،

جدول (۱): مشخصات دو نوع زغال فعال M, E

کشور سازنده	کلاس	سطح ویژه (m <sup>2</sup> /gr)	خاکستر	رطوبت (%)	علامت
England	PH ۵	۱۰۰۰-۱۱۰۰	۴	۱-۲	E
Malaysia	PH ۹,۸	۹۰۰-۹۵۰	۳	۱۰۴	M

مرحله جذب می‌باشد برای این منظور پس از تماس زغال فعال و محلول نیوم زمان کافی داده شده تا جذب به حالت تعادل برسد سپس در مرحله اول دفع از تماس محلول‌های مختلف دفع مولیدن با غلظت‌های مختلف با این زغال فعال میزان دفع نیوم و مولیدن اندازه‌گیری گردیده است. در مرحله دوم دفع از تماس محلول‌های مختلف دفع نیوم با غلظت‌های مختلف با زغال فعال میزان دفع نیوم اندازه‌گیری گردیده است. تعیین میزان جذب بر روی زغال فعال در مرحله جذب با توجه به اختلاف غلظت نیوم و مولیدن در محلول لیچینگ و محلول باقیمانده پس از جذب، تعیین میزان دفع نیوم و مولیدن در مرحله دفع مولیدن با اندازه‌گیری غلظت این دو یون در محلول تهی‌سازی پس از دفع مولیدن و مشخص بودن میزان نیوم و مولیدن جذب شده بر روی زغال فعال در مرحله جذب و تعیین میزان دفع در مرحله دفع نیوم با اندازه‌گیری غلظت نیوم پس از دفع نیوم و مشخص بودن میزان جذب نیوم در مرحله جذب و میزان دفع آن در مرحله دفع مولیدن صورت گرفته است. بررسی‌ها بر روی دو نوع زغال فعال E و M صورت گرفته که مشخصات آنها در جدول (۱) آورده شده است. کلیه آنالیزها نیز در این بررسی توسط دستگاه جذب اتمی Atomic Adsorption صورت گرفته است.

به منظور تعیین مناسب‌ترین محلول دفع از ضریب توزیع، رابطه ۱، و فاکتور جدایش، رابطه ۲، استفاده گردیده است [۶,۷].

$$D_{(Desorption)} = \text{مقدار یون باقیمانده به ازاء هر گرم زغال فعال} \quad (۱)$$

$$K = \frac{D_{Re}}{D_{Mo}} \quad (۲)$$

حصول به نیوم فلزی لازم است پس از انحلال ماده اولیه نیوم ابتدا عملیات تلغیظ بر روی این محلول انجام گرفته، سپس نیوم به صورت یکی از نمک‌های آن ترسیب و نهایتاً با انجام احیا این نمک به نیوم فلزی رسید.

عملیات انحلال با توجه به میزان بسیار کم نیوم در مواد اولیه آن و جهت انتقال نیوم به صورت یون از ماده اولیه به محلول می‌باشد تا بتوان به توسط روش‌های تخلیص همچون استخراج حلالی [۲]، رزین تعویض یونی [۳] و یا زغال فعال [۴] عملیات پر عیارسازی را انجام داد. زغال فعال که از حرارت دادن مواد کربنی بدون حضور هوا و سپس فعال کردن توسط دیاکسید کربن، بخار آب، هوا و یا مخلوطی از اینها تولید می‌گردد دارای شبکه وسیع سطحی بوده که قابلیت جداسازی یون‌ها و مولکول‌ها را دارا می‌باشد. از تماس محلول لیچینگ با زغال فعال یون‌های پررئات و مولیدات توسط جاذب جذب گردیده و از محلول جدا می‌گردند. در مرحله تهی‌سازی باید ابتدا یون مولیدن و سپس یون نیوم باز پس گرفته شود. مهمترین عمل در مرحله اول دفع جداسازی انتخابی مولیدن است به گونه‌ای که کمترین میزان نیوم در این مرحله از جاذب جدا گردد. در این بررسی دفع مولیدن توسط اسید کلریدریک، سودسوزآور، کربنات سدیم و کلریدسدیم با غلظت‌های متفاوت انجام گرفته است [۴]. دفع نیوم پس از مرحله دفع مولیدن صورت می‌گیرد الکل‌ها به سبب ثابت دی الکتریک پایین باعث دفع سریع نیوم می‌گردند در این بررسی دفع نیوم توسط محلول‌های تیوسیانات آمونیوم، اتانول، متانول، استون، پروپانول و ایزوپروپانول با غلظت‌های متفاوت انجام گرفته است [۶,۵].

## ۲- روش تحقیق

آزمایش‌ها در این تحقیق به صورت تک باری، Batch، صورت گرفته است در هر آزمایش مقدار معینی زغال فعال در ظرف با حجم معین در تماس با محلول حاوی نیوم با حجم، غلظت، PH و دمای معین قرار گرفته است. محلول از انحلال غبار تشویه مولیدنیت توسط آب و در دمای ۸۰°C بدست آمده است. در فرایند جدایش اولین

جدول (۳): ضریب توزیع و فاکتور جدایش در غلظت‌های متفاوت در سیستم

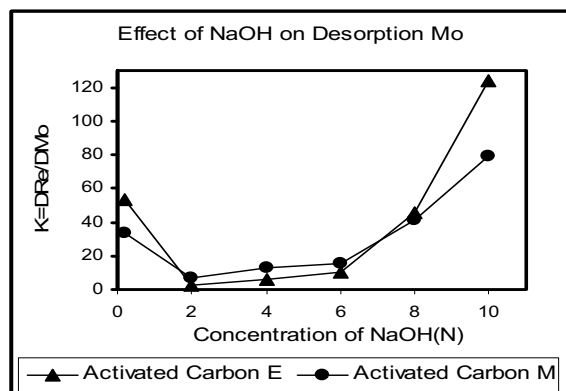
سود دفع مولیدن

غلظت NaOH (N)	نوع زغال فعال	$K = \frac{D_{\text{Re}}}{D_{\text{Mo}}}$	دفع رنیوم (%)	دفع مولیدن (%)
۰,۲	E/M	۵۳,۶۲/۳۳,۴۲	۱۰,۴/۷,۳	۸۵,۶/۷۲,۴
۲	E/M	۲,۸۹/۷,۰۰	۲۴,۷/۲۲,۲	۴۹,۱/۶۶,۹
۴	E/M	۶,۳۷/۱۲,۶۹	۱۷,۱/۱۴,۶	۵۷,۱/۶۸,۲
۶	E/M	۱۰,۰۲/۱۵,۴۱	۹,۸/۹,۲	۵۱,۷/۶۰,۶
۸	E/M	۴۵,۲۰/۴۱,۷۲	۳,۵/۲,۵	۶۲,۴/۵۲,۲
۱۰	E/M	۱۲۳,۶۱/۷۹,۴۹	۱,۱/۱,۶	۵۸,۴/۵۶,۱

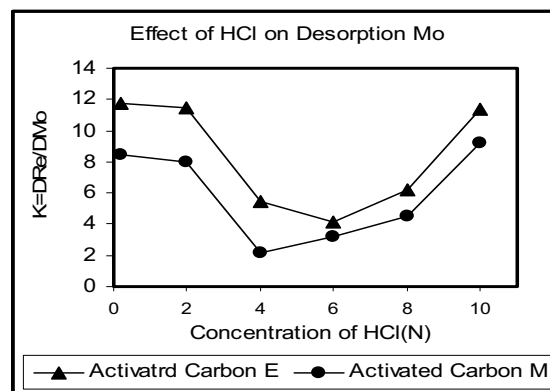
جدول (۲): ضریب توزیع و فاکتور جدایش در غلظت‌های متفاوت در سیستم

اسید کلریدریک دفع مولیدن

غلظت HCL (N)	نوع زغال فعال	$K = \frac{D_{\text{Re}}}{D_{\text{Mo}}}$	دفع رنیوم (%)	دفع مولیدن (%)
۰,۲	E/M	۱۱,۷۹/۸,۴۲	۱,۰/۱,۵	۱۱,۴/۱۱,۱
۲	E/M	۱۱,۴۳/۷,۹۵	۳,۷/۳,۵	۳۰,۴/۲۲,۴
۴	E/M	۵,۴۹/۲,۱۳	۶,۰/۲,۳	۲۴,۷/۴,۹
۶	E/M	۴,۱۵/۳,۱۷	۵,۶/۶,۱	۲۳,۷/۱۷,۲
۸	E/M	۶,۱۸/۴,۵۱	۵,۲/۵,۰	۲۵,۴/۱۹,۰
۱۰	E/M	۱۱,۳۸/۹,۱۷	۳,۰/۳,۰	۲۶,۳/۲۱,۶



شکل (۲): تغییرات فاکتور جدایش بر حسب غلظت در سیستم سود دفع مولیدن



شکل (۱): تغییرات فاکتور جدایش بر حسب غلظت در سیستم اسید کلریدریک دفع مولیدن

محلول لیچینگ عملیات دفع مولیدن توسط محلول‌های اسید کلریدریک، سودسوزآور، کربنات سدیم و کلرید سدیم با غلظت‌های متفاوت صورت گرفته است.

- در سیستم اسید کلریدریک در دفع مولیدن نتایج در جدول (۲) و تغییرات فاکتور جدایش بر حسب غلظت در شکل (۱) رسم گردیده است. بیشترین مقدار دفع انتخابی مولیدن در غلظت ۰/۲ تا ۰/۵ نرمال بوده که دفع تقریبی مولیدن برای زغال فعال E و M به ترتیب ۳۰ و ۲۰ درصد بوده است.

مشخص است که در مرحله دفع مولیدن هر چه ضریب توزیع رنیوم بیشتر و ضریب توزیع مولیدن کمتر باشد مناسب‌تر خواهد بود چرا که دفع انتخابی مولیدن در این مرحله در بیشترین مقدار فاکتور جدایش رخ می‌دهد. در مرحله دفع رنیوم هر چه میزان ضریب توزیع رنیوم کمتر باشد بیانگر این است که تهی‌سازی بهتر صورت گرفته است.

### ۳- نتایج

#### مرحله دفع مولیدن:

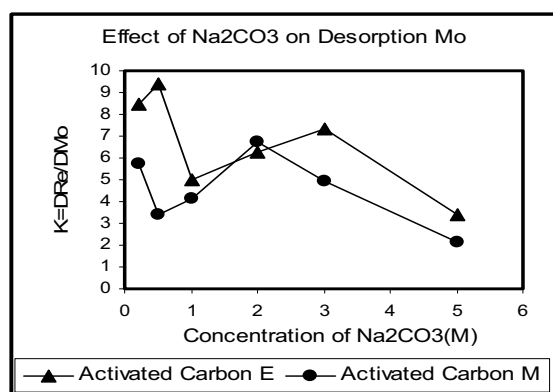
پس از انجام مرحله جذب بر روی زغال فعال توسط

جدول (۵): ضریب توزیع و فاکتور جدایش در غلظت‌های متفاوت در سیستم کلرید سدیم دفع مولیدن

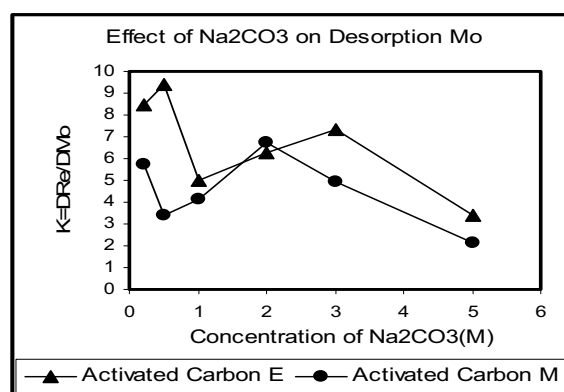
غلظت NaCl (M)	نوع زغال فعال	$K = \frac{D_{Re}}{D_{Mo}}$	دفع رنیوم (%)	دفع مولیدن (%)
۰,۲	E/M	۱,۲۱/۰,۹	۵,۶/۳,۵	۶,۷/۳,۲
۰,۵	E/M	۰,۷۲/۰,۶۳	۹,۳/۷,۳	۶,۹/۴,۸
۰,۷	E/M	۰,۷۸/۰,۴۲	۷,۴/۵,۱	۵,۸/۲,۲
۱	E/M	۰,۶۱/۰,۳۹	۷,۴/۴,۶	۴,۶/۱,۸
۲	E/M	۰,۲۹/۰,۱۱	۵,۸/۲,۷	۱,۸/۰,۳
۴	E/M	۰,۱۶/۰,۰۸	۴,۱/۱,۹	۰,۷/۰,۱

جدول (۴): ضریب توزیع و فاکتور جدایش در غلظت‌های متفاوت در سیستم کربنات سدیم دفع مولیدن

غلظت Na2CO3 (M)	نوع زغال فعال	$K = \frac{D_{Re}}{D_{Mo}}$	دفع رنیوم (%)	دفع مولیدن (%)
۰,۲	E/M	۸,۴۸/۵,۷۵	۱۲,۳/۸,۷	۵۴,۲/۳۵,۵
۰,۵	E/M	۹,۳۸/۳,۴۱	۱۱,۲/۷,۷	۵۴,۲/۲۲,۱
۱	E/M	۴,۹۷/۴,۱۲	۸,۳/۵,۶	۳۱,۰/۱۹,۷
۲	E/M	۶,۲۴/۶,۷۳	۳,۴/۳,۱	۱۸,۰/۱۷,۶
۳	E/M	۷,۳۳/۴,۹۳	۱,۱/۱,۸	۷,۳/۸,۳
۵	E/M	۳,۳۸/۲,۱۴	۱,۱/۱,۳	۳,۵/۲,۷



شکل (۴): تغییرات فاکتور جدایش بر حسب غلظت در سیستم کربنات سدیم دفع مولیدن



شکل (۳): تغییرات فاکتور جدایش بر حسب غلظت در سیستم کربنات سدیم دفع مولیدن

زغال فعال E و M به ترتیب تقریباً ۵۰ و ۳۰ درصد بوده است. در سیستم کلرید سدیم در دفع مولیدن نتایج در جدول (۵) و تغییرات فاکتور جدایش بر حسب غلظت در شکل (۴) رسم گردیده است. بیشترین دفع انتخابی مولیدن در غلظت ۰/۲ تا ۰/۵ مولار رخ داده است که میزان دفع برای زغال فعال E و M به ترتیب ۶ و ۴ درصد بوده است.

#### مرحله دفع رنیوم:

برای بررسی اثر محلول دفع رنیوم پس از انجام مرحله جذب، دفع مولیدن توسط محلول ۰/۵ نرمال NaOH انجام گرفته سپس دفع رنیوم به توسط محلول‌های تیوسیانات آمونیوم،

در سیستم سود در دفع مولیدن نتایج در جدول (۳) و تغییرات فاکتور جدایش بر حسب غلظت در شکل (۲) رسم گردیده است. بیشترین دفع انتخابی مولیدن در غلظت ۰/۲ تا ۰/۵ و ۱۰ نرمال بدست آمده است که میزان دفع برای زغال فعال E تقریباً ۸۰ و ۶۰ درصد و برای زغال فعال M تقریباً ۷۰ و ۵۰ درصد بوده است.

در سیستم کربنات سدیم در دفع مولیدن نتایج در جدول (۴) و تغییرات فاکتور جدایش بر حسب غلظت در شکل (۳) رسم گردیده است. بیشترین دفع انتخابی مولیدن در غلظت ۰/۲ تا ۰/۵ مولار اتفاق افتاده است که میزان دفع برای

جدول (۷): ضریب توزیع در غلظت‌های متفاوت

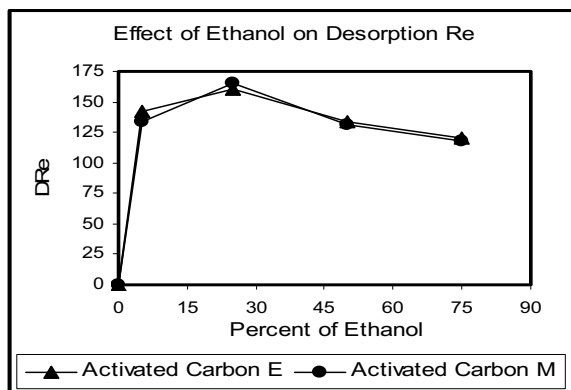
در سیستم اتانول دفع رنیوم

غلظت اتانول (%)	نوع زغال فعال	DRe	دفع رنیوم (%)
۰	E/M	۰/۰	۰/۰
۵	E/M	۱۴۲/۱۶۸	۲۶,۱/۲۷,۱
۲۵	E/M	۱۶۰/۱۶۵	۲۳,۸/۲۳,۲
۵۰	E/M	۱۳۴/۱۳۱	۲۷,۲/۲۷,۶
۷۰	E/M	۱۲۰/۱۱۸	۲۹,۵/۲۹,۷

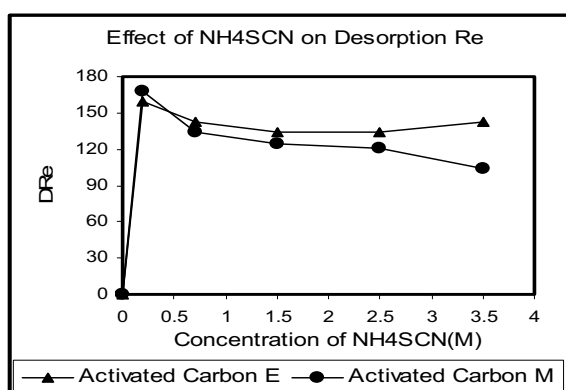
جدول (۶): ضریب توزیع در غلظت‌های متفاوت در سیستم تیوسیانات

آمونیم دفع رنیوم

غلظت $(M) NH_4SCN$	نوع زغال فعال	DRe	دفع رنیوم (%)
۰	E/M	۰/۰	۰/۰
۰,۲	E/M	۱۶۰/۱۶۸	۲۳,۵/۲۲,۹
۰,۷	E/M	۱۴۲/۱۳۴	۲۶,۱/۲۷,۲
۱,۵	E/M	۱۳۴/۱۲۵	۲۷,۲/۲۸,۵
۲,۵	E/M	۱۳۴/۱۲۱	۲۷,۲/۲۹,۲
۳,۵	E/M	۱۴۲/۱۰۴	۲۶,۱/۳۲,۵



شکل (۶): تغییرات ضریب توزیع بر حسب غلظت در سیستم اتانول دفع رنیوم



شکل (۵): تغییرات ضریب توزیع بر حسب غلظت در سیستم تیوسیانات آمونیم دفع رنیوم

دفع گردیده است.

- در سیستم الکل متیلیک در دفع رنیوم نتایج در جدول (۸) و تغییرات ضریب توزیع بر حسب غلظت در شکل (۷) رسم گردیده است. کمترین ضریب توزیع برای زغال فعال E و M در غلظت ۷۰ درصد متانول رخ داده که ۲۸ درصد از رنیوم دفع گردیده است.

- در سیستم استون در دفع رنیوم نتایج در جدول (۹) و تغییرات ضریب توزیع بر حسب غلظت در شکل (۸) رسم گردیده است. کمترین ضریب توزیع برای زغال فعال E و M در غلظت ۷۰ درصد استون بوده که به ترتیب ۶۰ و ۴۰ درصد رنیوم دفع گردیده است.

اتانول، متانول، استون، پروپانول و ایزوپروپانول با غلظت‌های متفاوت صورت گرفته است.

- در سیستم تیوسیانات آمونیم در دفع رنیوم نتایج در جدول (۶) و تغییرات ضریب توزیع رنیوم بر حسب غلظت در شکل (۵) رسم گردیده است. تغییرات ضریب توزیع بر حسب غلظت تقریباً یکنواخت بوده و حدوداً ۲۷ درصد از رنیوم دفع گردیده است.

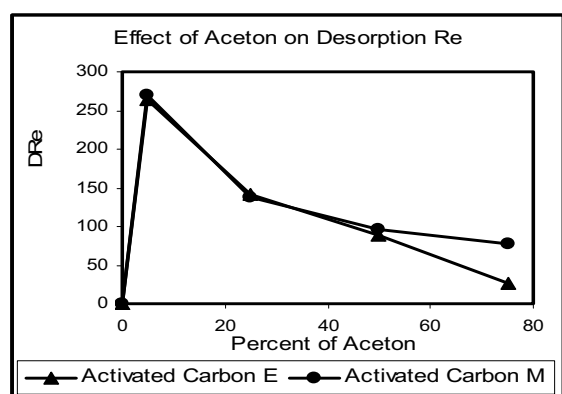
- در سیستم الکل اتیلیک در دفع رنیوم نتایج در جدول (۷) و تغییرات ضریب توزیع رنیوم بر حسب غلظت در شکل (۶) رسم گردیده است. کمترین ضریب توزیع برای زغال فعال E و M در غلظت ۵۰ درصد اتانول اتفاق افتاده است که ۲۷ درصد رنیوم

جدول (۹): ضریب توزیع در غلظت‌های متفاوت در سیستم استون دفع رنیوم

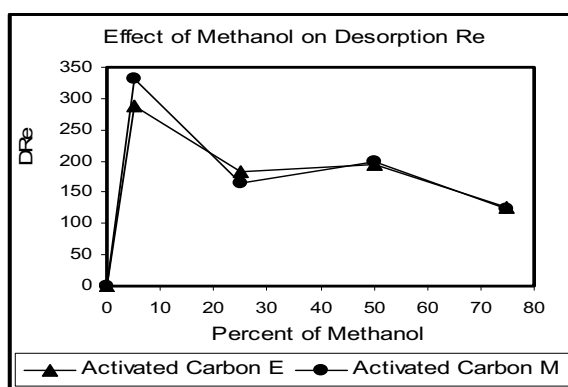
غلظت استون (%)	نوع زغال فعال	DRe	دفع رنیوم (%)
۰	E/M	۰/۰	۰/۰
۵	E/M	۲۶۵/۲۷۰	۱۵,۹/۱۵,۶
۲۵	E/M	۱۴۲/۱۳۸	۲۶,۱/۲۶,۶
۵۰	E/M	۸۸/۹۷	۳۶,۱/۳۴,۰
۷۰	E/M	۲۷/۷۸	۶۴,۶/۳۹,۰

جدول (۸): ضریب توزیع در غلظت‌های متفاوت در سیستم متانول دفع رنیوم

غلظت متانول (%)	نوع زغال فعال	DRe	دفع رنیوم (%)
۰	E/M	۰/۰	۰/۰
۵	E/M	۲۸۹/۳۳۲	۱۴,۷/۱۳,۱
۲۵	E/M	۱۸۲/۱۶۵	۲۱,۵/۲۳,۳
۵۰	E/M	۱۹۵/۱۹۸	۲۰,۴/۲۰,۱
۷۰	E/M	۱۲۶/۱۲۴	۲۸,۳/۲۸,۸



شکل (۸): تغییرات ضریب توزیع بر حسب غلظت در سیستم استون دفع رنیوم



شکل (۷): تغییرات ضریب توزیع بر حسب غلظت در سیستم متانول دفع رنیوم

ترتیب ۸۰ و ۶۰ درصد از مولیبدن را دفع کرده است. محلول کربنات سدیم با غلظت ۰/۲ و ۰/۵ مولار و دفع ۵۰ و ۳۰ درصد برای زغال فعال E و M، محلول اسید کلریدریک با غلظت ۰/۲ تا ۲ نرمال و دفع ۳۰ و ۲۰ درصد برای زغال فعال E و M قابل استفاده است. کلرید سدیم نیز عامل مناسبی برای دفع مولیبدن نمی باشد.

- در مرحله دفع رنیوم مناسب‌ترین محلول استون با غلظت ۷۰ درصد است که برای زغال فعال E و M به ترتیب ۶۰ و ۴۰ درصد از رنیوم را دفع کرده است. محلول اتانول با غلظت ۵۰ تا ۷۰ دهد، محلول متانول با غلظت ۷۰ درصد، محلول ایزوپروپانول با غلظت ۲۵ درصد و محلول پروپانول با غلظت ۵ تا ۱۵ درصد نیز قابلیت استفاده دارند. در سیستم تیوسیانات امونیوم به نظر می‌رسد میزان دفع رنیوم چندان تابع غلظت نباشد.

- در سیستم پروپانول در دفع رنیوم نتایج در جدول (۱۰) و تغییرات ضریب توزیع بر حسب غلظت در شکل (۹) رسم گردیده است. کمترین ضریب توزیع برای زغال فعال E و M در غلظت ۵ تا ۱۵ درصد پروپانول رخ داده است که باعث دفع ۲۵ درصد رنیوم گردیده است.

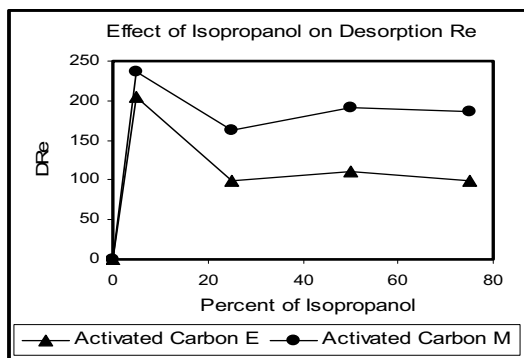
- در سیستم ایزوپروپانول در دفع رنیوم نتایج در جدول (۱۱) و تغییرات ضریب توزیع بر حسب غلظت در شکل (۱۰) رسم گردیده است کمترین ضریب توزیع برای زغال فعال E و M در غلظت ۲۵ درصد ایزوپروپانول بوده که به ترتیب ۳۰ و ۲۰ درصد از رنیوم را دفع کرده است.

#### ۴- نتیجه گیری

- در مرحله دفع مولیبدن مناسب‌ترین محلول سود با غلظت ۰/۲ تا ۰/۵ نرمال است که برای زغال فعال E و M به

جدول (۱۱): ضریب توزیع در غلظت‌های متفاوت در سیستم ایزوپروپانول دفع

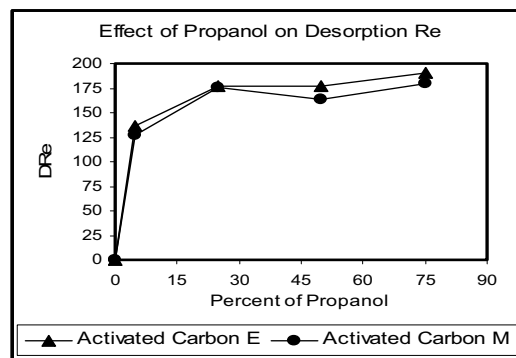
رنیوم			
غلظت پروپانول (%)	نوع زغال فعال	DRe	دفع رنیوم (%)
۰	E/M	۰/۰	۰/۰
۵	E/M	۲۰۴/۲۳۶	۱۹,۷/۱۷,۵
۲۵	E/M	۹۹/۱۶۳	۳۳,۶/۲۳,۵
۵۰	E/M	۱۱۰/۱۹۲	۳۱,۳/۲۰,۶
۷۰	E/M	۹۹/۱۸۶	۳۳,۶/۲۱,۲



شکل (۱۰): تغییرات ضریب توزیع بر حسب غلظت در سیستم ایزوپروپانول دفع رنیوم

جدول (۱۰): ضریب توزیع در غلظت‌های متفاوت در سیستم پروپانول دفع

رنیوم			
غلظت پروپانول (%)	نوع زغال فعال	DRe	دفع رنیوم (%)
۰	E/M	۰/۰	۰/۰
۵	E/M	۱۳۷/۱۲۷	۲۶,۶/۲۸,۲
۲۵	E/M	۱۷۷/۱۷۶	۲۲,۰/۲۲,۱
۵۰	E/M	۱۷۷/۱۶۳	۲۲,۰/۲۳,۵
۷۰	E/M	۱۹۰/۱۸۰	۲۰,۹/۲۱,۷



شکل (۹): تغییرات ضریب توزیع بر حسب غلظت در سیستم پروپانول دفع رنیوم

## ۵- مراجع

- [1] Alverson, L. J, Rhenium, "Mineral Commodity Profiles", 1979.
- [2] Koragezov, L.K. and Vasillev, k., "Extraction and separation of Molybdenum and Rhenium with Tertiary Amines", UDC 669.28: 849: 546. 61, 209-212.
- [3] X.Lan, S.liang and Y.Song , " Recovery of rhenium from molybdenite Calcine by a resin –in–pulp Process " , 82 , 2006 , 133-136.
- [4] D. J. Baver, D. D. Fischer and R. E. lindstrom, "Recovery of Rhenium", United States Patent NO. 3862292, 1975
- [5] R. Colton, "The Chemistry of Rhenium and Tachetium", 1965.
- [6] F. Habashi, "A Textbook of Hydrometallurgy", Metallugie Extractive Quebec. Eng. , 1993.
- [7] F. Helfferich, "Ion Exchange", McGraw – Hill, 1962.