



بررسی پارامترهای سیستم تبادل یونی بستر متحرک چند محفظه‌ای

داود قدوسی نژاد*، امیرحسین کیاراشی، مجتبی آقاجانی دلاور

گروه پژوهشی اکتشاف و استخراج، پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران-ایران

چکیده: به طور کلی عملیات استخراج، تصفیه و تغلیظ اورانیم برای تهیه کیک زرد، به این ترتیب است که پس از خردایش و غربال کردن کانسنگ اورانیم، عملیات فروشویی بر روی آن انجام می‌شود که در نتیجه اورانیم وارد محلول فروشویی می‌گردد. استفاده از روش تبادل یونی برای استخراج اورانیم از محلول‌های فروشویی اسیدی، به عنوان روشی مناسب برای بازیابی تقریباً کامل اورانیم شناخته شده است. به عنوان یک قاعده کلی، فرآوری محلول فروشویی با مقدار اورانیم کم‌تر از 0.5 g/lit^{-1} (۵۰۰ ppm) از طریق تبادل یونی ترجیح داده می‌شود. فرایند تبادل یونی اصولاً به دو طریق - بستر ثابت و بستر متحرک - انجام می‌شود. بستر متحرک نسبت به بستر ثابت مزایای زیادی دارد که مهم‌ترین آن‌ها این است که در شرایط یکسان، به خاطر افزایش انتقال جرم، دارای راندمان بیش‌تری می‌باشد. در این کار تحقیقاتی از سیستم بستر متحرک چند محفظه‌ای با جریان مخالف استفاده شده است که به MCIX معروف است. در این کار پژوهشی، هم‌چنین تأثیر پارامترهای مختلف بر راندمان سیستم MCIX مورد بررسی قرار گرفته است. پس از انجام آزمایش‌های مختلف در سیستم ناپیوسته، مقدار بهینه‌ی pH محلول خوراک، ۱.۵ و زمان تماس بین رزین و محلول خوراک ۳ ساعت به دست آمد. در سیستم پیوسته نیز مقدار بهینه‌ی دبی، 22 lit/hr و زمان ماند بهینه برای ارتفاع 180 cm سانتی‌متر ستون، حدود ۷ دقیقه تعیین گردید. در صورت وجود محدودیت برای ارتفاع از سیستم برگشتی برای بالا بردن راندمان استفاده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بستر ثابت، بستر متحرک، تبادل یونی، بازیابی اورانیم، چند محفظه‌ای

Study of Moving Bed Multiple Compartment Ion-Exchange Parameters

D. Ghoddocy Nejad*, A.H. Kiarashi, M. Aghajani Delavar

Exploration and Exploitation Research Group, Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL,
P.O. Box: 11365-8486, Tehran - Iran

Abstract: In uranium yellow cake production, for the extraction and purification of uranium, primarily the uranium ore is grounded, sieved and then leached with (sulphuric acid). The ion-exchange has been identified as a proper method in high perfect recovery of uranium from the acidic solution where uranium concentration is less than 500ppm. This method is operated in two ways: 1 (fixed bed 2) moving bed. Moving bed system has some advantages over the fixed bed such as higher mass transfer during ion exchange process. In this study, the effects of various parameters of multiple compartment ion exchange in recovery of uranium are investigated. After performing different experiments in batch system, the optimum pH of feed solution was found to be equal to 1.5 and the residence time between the resin and feed solution was 3 hours. Also, the results of fluidized bed continuous system include the optimum flow rate of 22 lit/hr and the residence time of 7 minutes (the height of column was 180 cm). To increase the efficiency in height limit, the recycle system is used.

Keywords: Moving Bed, Ion Exchange, Uranium Recovery, Fixed Bed, Multiple Compartment

*email: dghoddocy@aeoi.org.ir

۱- مقدمه

بعد از آماده‌سازی سنگ معدن، عملیات فروشویی با سولفوریک اسید و به دنبال آن، عملیات خالص‌سازی محلول فروشویی به منظور حذف ناخالصی‌های موجود و نیز تغلیظ بیش‌تر اورانیم انجام می‌شود [۱]. یکی از این روش‌ها استفاده از رزین‌های تبادل یونی^(۱) است.

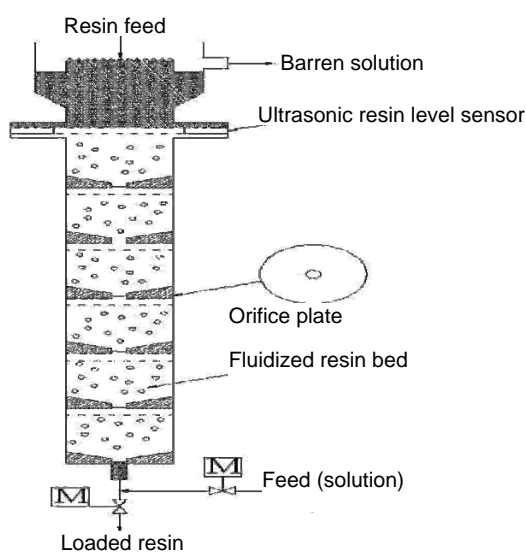
استفاده از روش تبادل یونی برای بازیابی تقریباً کامل اورانیم از محلول‌های فروشویی اسیدی، روش مناسبی است و از مزایای قابل ملاحظه‌ای نسبت به روش رسوب‌گیری مستقیم برخوردار است [۲]. این روش در حال حاضر مشهورترین روش تصفیه‌ی اورانیم می‌باشد، برای غلظت‌های پایین اورانیم روشی اقتصادی است. این روش به طور کلی برای استخراج و جداسازی اکتینیدها روش مناسبی می‌باشد [۳]. در کشورهای آفریقای جنوبی، کانادا، استرالیا، آمریکا، چین و تقریباً در تمام کارخانه‌های تولید اورانیم از واحدهایی با سیستم تبادل یونی برای استخراج اورانیم از محیط‌های اسیدی استفاده می‌شود. فرایندهای استحصال اورانیم از محلول فروشویی با استفاده از سیستم تبادل یونی، بر انتقال جرم بین فازهای مایع و جامد استوار است. اساس و سازوکار انتقال جرم، بارهای الکتریکی و تفاوت غلظت است به طوری که یون موردنظر از فاز مایع به فاز جامد (رزین) منتقل می‌شود.

در صنعت جداسازی و تصفیه‌ی مواد، فرایند جداسازی یون‌ها از محلول‌های فروشویی به وسیله‌ی رزین‌های تبادل یونی، جذب سطحی خوانده می‌شود. سطح مورد عمل سطح خارجی دانه‌های رزین و سطوح خلل و فرج رزین می‌باشد. رزینی که در این سیستم به کار می‌رود از نوع بازی قوی آنیونی می‌باشد که برای جذب اورانیم از محلول‌های آبی- غلظت پایین دارای ظرفیت جذب بالا می‌باشد [۴]. pH محلول فروشویی، برای جذب بیشینه‌ی اورانیم بایستی بهینه گردد. سپس دیگر عوامل مؤثر بر جذب مثل زمان تماس، ظرفیت رزین، حجم رزین مصرفی (BV)^(۲)، ... بایستی بهینه گردند [۵].

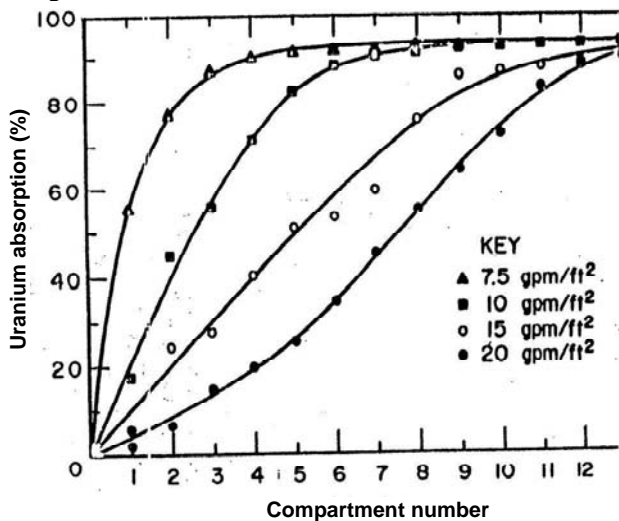
سیستم تبادل یونی به شکل‌های مختلف به کار می‌رود. اکثر این سیستم‌ها توسط مریت^(۳) شرح داده شده است. هر یک از این سیستم‌ها مزایا و محدودیت‌های خود را دارد؛ برای مثال بعضی از سیستم‌ها تنها می‌توانند برای خوراک تصفیه نشده به کار روند [۶].

در فرایند تبادل یونی، از دو سیستم بستر ثابت^(۴) و بستر متحرک^(۵) استفاده می‌شود. در سیستم بستر ثابت، رزین در ستونی به ارتفاع مشخص قرار دارد و محلول فروشویی از بالا به سمت پایین ستون جریان می‌یابد (بر اثر نیروی گرانشی). در ضمن عبور محلول فروشویی، بین رزین و محلول عمل انتقال جرم^(۶) صورت می‌گیرد. در سیستم بستر متحرک، عملیات سیال‌سازی می‌تواند به سه صورت جریان هم‌سو^(۷)، متقاطع^(۸) و مخالف^(۹) انجام پذیرد. راندمان انتقال جرم در سیستم بستر متحرک به خاطر این که دانه‌های رزین با محلول فروشویی مستقیماً در ارتباط هستند و هم‌چنین به دلیل افزایش سطح تماس مواد با رزین بیش‌تر است. به این ترتیب، ستون‌های بستر متحرک چند محفظه‌ای^(۱۰)، موسوم به MCIX^(۱۱) برای استخراج اورانیم از محلول‌های غیرشفاف^(۱۲) طراحی شده‌اند (شکل ۱). سازوکار و ساختمان این ستون‌ها شبیه به یک‌دیگراند و در آمریکا، کانادا، انگلستان و آفریقای جنوبی به کار گرفته می‌شوند [۷].

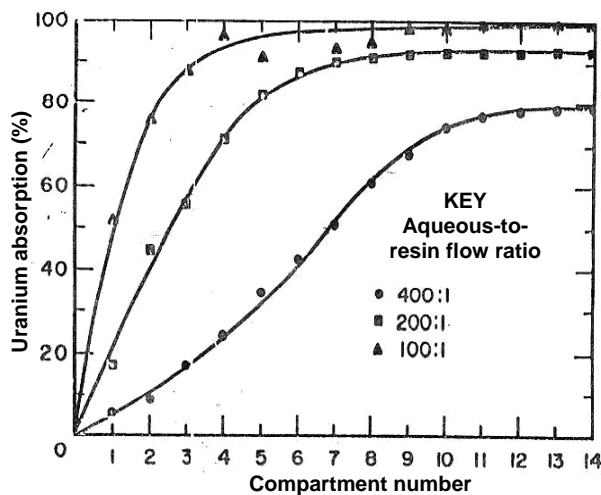
همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود محلول از قسمت پایین وارد ستون می‌شود و از داخل رزین به سمت بالا جریان می‌یابد و در انتها به صورت تهی شده از جزء مورد نظر از بالای ستون خارج می‌شود. سرعت جریان به گونه‌ای است که رزین نه به محفظه‌ی بالایی می‌رود و نه به محفظه‌ی پایینی. وقتی که تبادل کامل شد رزین از پایین‌ترین محفظه‌ی بالایی به محفظه‌ی پایینی خالی به صورت پله‌دار وارد می‌شود و بالاترین محفظه از رزین پر می‌شود و در نهایت به صورت غنی شده از جزء مورد نظر از ته ستون خارج می‌شود.



شکل ۱- ستون تبادل یونی چند مرحله‌ای (MCIX).



شکل ۲- منحنی تغییرات درصد جذب اورانیم با دبی محلول با نسبت حجمی ۲۰۰:۱ A:R در پروفیل ستون MCIX.



شکل ۳- منحنی تغییرات درصد جذب اورانیم با نسبت A:R در پروفیل ستون MCIX.

۲-۳ تأثیر ارتفاع ستون

زمان ماند محلول و زمان ماند رزین در ستون MCIX از پارامترهای مهم هستند. با افزایش زمان ماند محلول، مقدار اورانیم جذب شده توسط رزین افزایش می‌یابد. با افزایش زمان ماند رزین غلظت اورانیم جذب شده در رزین افزایش می‌یابد. در دبی و نسبت A:R ثابت تنها راه افزایش این دو زمان، افزایش ارتفاع ستون می‌باشد. در شکل ۴ تأثیر تغییر ارتفاع ستون بر میزان جذب ستون نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود برای تعداد محفظه‌های ثابت با افزایش ارتفاع ستون، میزان جذب ستون افزایش می‌یابد.

تعداد محفظه‌ها، ارتفاع هر محفظه، مقدار رزین ترک‌کننده سیستم، دبی محلول (خوراک) و قطر ستون از پارامترهای مهم این سیستم می‌باشند. سینتیک و منحنی‌های تعادلی نیز از عوامل مهم در این سیستم هستند. با توجه به آزمایش‌های متعددی که انجام پذیرفت چنین نتیجه‌گیری شد که وابستگی شدیدی بین این عوامل وجود دارد [۴].

۲-۲ پارامترهای مؤثر بر راندمان جذب ستون MCIX

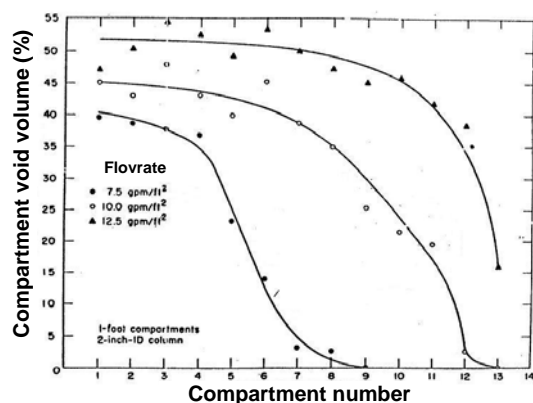
۱-۲ دبی خوراک

دبی بهینه‌ی خوراک که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد یکی از پارامترهای مهم در طراحی ستون می‌باشد. اگر دبی خوراک زیاد باشد حجم زیادی از محلول فروشویی با غلظت پایین از ستون عبور می‌کند. دبی بیشینه به وسیله‌ی شرایط عملیات مکانیکی و سینتیکی سیستم محدود می‌شود چون دبی خوراک بیش از حد باعث می‌شود که رزین از بالای ستون خارج گردد. دبی کمینه‌ی خوراک با توجه به سرعت ته‌نشینی رزین اشباع شده محاسبه می‌شود. اگر دبی از حد معینی کم‌تر باشد رزین در ستون از وضعیت سیالیت خارج می‌گردد. نتایج بررسی راندمان جذب اورانیم برای دبی‌های مختلف خوراک در شکل ۲ نشان داده شده است. برای تعداد محفظه‌های ثابت، با افزایش دبی خوراک، راندمان جذب کاهش می‌یابد.

۲-۲ اثر نسبت دبی مایع به دبی رزین (A:R)

نسبت A:R روی راندمان جذب ستون تأثیر می‌گذارد. با افزایش نسبت A:R در ستون MCIX رزین مورد نیاز کاهش می‌یابد زیرا دانه‌های رزین با اورانیم بیش‌تری اشباع می‌گردد؛ سرعت جذب کاهش می‌یابد، این بدان معنی است که زمان تماس طولانی‌تری مورد نیاز است. در شکل ۳، تأثیر نسبت A:R بر میزان جذب ستون با ارتفاع ثابت، نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود در یک تعداد ثابت محفظه‌ها با افزایش نسبت دبی خوراک به رزین، A:R، میزان جذب ستون کاهش می‌یابد.

آهنگ جذب رزین، توسط آزمایش‌های ناپوسته در آزمایشگاه تعیین می‌گردد. آزمایش‌های پیوسته، با جریان مخالف انجام، و نشان دادند که برای برآورد کارایی چنین دستگاه‌هایی اطلاعات آزمایشگاهی را می‌توان مورد استفاده قرار داد [۷].



شکل ۵- منحنی تغییرات فضای خالی هر محفظه بر حسب تعداد محفظه‌ها در دبی‌های مختلف خوراک.

چند مرحله‌ای انجام شد. در این آزمایش‌ها از رزین Amberlite IR 400 با دانه‌بندی ۰/۶mm استفاده شد که ظرفیت جذب آن ۴ تا ۶ گرم اورانیم به ازای هر لیتر از رزین تعیین گردید. مشخصات محلول فروشویی کانسنگ آنومالی ۱ ساغند در جدول ۱ آورده شده است.

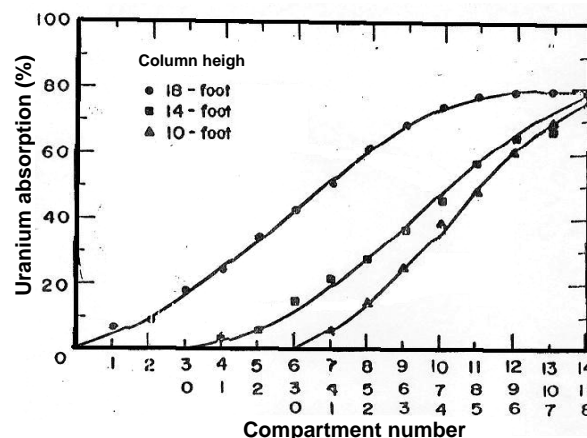
۳-۱- تأثیر pH محلول بر میزان جذب اورانیم

پارامتری که برای محلول فروشویی مورد استفاده در تبادل یونی خیلی مهم است pH می‌باشد. برای به دست آوردن مقدار بهینه‌ی آن آزمایش‌هایی به صورت ناپیوسته در شرایط زمان تماس ۳ ساعت، ۱ میلی‌لیتر رزین، مقدار خوراک ۱۰۰ میلی‌لیتر انجام شد. در این آزمایش‌ها تنظیم pH خوراک با استفاده از NaOH یا H_2SO_4 صورت گرفت.

با اندازه‌گیری غلظت اورانیم در محلول روی رزین، میزان جذب اورانیم توسط رزین به دست آمد، نتایج حاصل در جدول ۲ آورده شده‌اند. براساس اطلاعات این جدول با افزایش pH، میزان جذب افزایش می‌یابد و pH بهینه، ۱/۵ می‌باشد. زیرا در pHهای بالاتر، میزان افزایش راندمان جذب چندان زیاد نیست.

۳-۲- تأثیر زمان تماس بر میزان جذب اورانیم

جهت ارزیابی میزان تأثیر زمان تماس بین محلول فروشویی و رزین بر میزان جذب سیستم تبادل یونی، آزمایش‌هایی با ۱ میلی‌لیتر رزین، pH و مقدار خوراک، به ترتیب، برابر با ۱/۵ و ۱۰۰ میلی‌لیتر انجام شدند. نتایج حاصل در جدول ۳ ارائه شده‌اند. براساس اطلاعات این جدول با افزایش زمان تماس، میزان اورانیم در محلول روی رزین کاهش و در نتیجه، میزان جذب سیستم افزایش یافت. با توجه به نتایج به دست آمده، زمان تماس بهینه سه ساعت می‌باشد.



شکل ۴- منحنی تغییرات درصد جذب اورانیم با ارتفاع ستون.

۲-۴- فضای خالی بالای رزین

طی مراحل مختلف، رزین به سمت پایین ستون جابه‌جا شده و مقدار مشخصی از آن از ته ستون تخلیه می‌گردد. در هر مرحله اورانیم جذب رزین شده و چگالی دانه‌های رزین به تدریج افزایش می‌یابد. این موضوع باعث کاهش سیالیت بستر رزین می‌گردد. کاهش در سیالیت بستر رزین می‌تواند با انتقال مقداری از رزین به فضای خالی بالای بستر رزین در محفظه‌ی زیرین جبران گردد. فضای خالی تابعی از تعداد محفظه‌ها است. این، در شکل ۵ نشان داده شده است. شکل ۵ تأثیر تعداد محفظه‌ها و دبی خوراک در فضای خالی بالای رزین را نشان می‌دهد، در دبی ثابت خوراک هر اندازه تعداد محفظه‌ها افزایش یابد فضای خالی بالای رزین به همان اندازه کاهش می‌یابد، و در تعداد ثابت محفظه‌ها با افزایش دبی خوراک فضای خالی بالای رزین افزایش می‌یابد [۸].

۲-۵- سایر عوامل تأثیرگذار

ارتفاع هر محفظه و مقدار رزین پایین آمده در ستون از دیگر عوامل تأثیرگذار بر میزان جذب ستون می‌باشند. در یک موقعیت ثابت از ته ستون با افزایش ارتفاع هر محفظه میزان جذب افزایش می‌یابد. همچنین با تعداد ثابت محفظه‌ها هر اندازه ستون از رزین پرت‌تر باشد میزان جذب به همان اندازه افزایش می‌یابد.

۳- روش کار

برای بهینه‌سازی شرایط آزمایش شامل pH و زمان تماس بین محلول و رزین یک رشته آزمایش ناپیوسته انجام پذیرفت. برای تعیین راندمان جذب اورانیم توسط رزین آزمایش‌های دیگری به صورت پیوسته در ستون تک مرحله‌ای و



جدول ۱- مشخصات محلول فروشویی کانستگ آنومالی ۱ ساغند.

pH	SO ₄ (g lit ⁻¹)	Si (mg lit ⁻¹)	P (mg lit ⁻¹)	V (mg lit ⁻¹)	Mo (mg lit ⁻¹)	Fe (g lit ⁻¹)	U (mg lit ⁻¹)
۱,۵	۴۷,۶۷	۱۱۹	۶۴	۲۶	< ۵	۲,۴	۲۶۰

جدول ۲- تأثیر pH محلول فروشویی بر میزان جذب ستون.

pH خوراک							
۳,۵	۳	۲,۵	۲	۱,۷	۱,۵	۱,۳	۱
۴۲	۴۱	۴۲	۴۵	۵۳	۶۸	۹۷	۱۳۰
۸۳,۸	۸۴,۲	۸۳,۸	۸۲,۷	۸۰	۷۷,۸	۶۲,۷	۵۰
غلظت اورانیم در محلول روی رزین (ppm)							
جذب (%)							

جدول ۳- تأثیر زمان تماس بین رزین و محلول خوراک بر میزان جذب ستون.

زمان تماس (دقیقه)								
۲۴۰	۱۸۰	۱۲۰	۶۰	۳۰	۲۰	۱۵	۱۰	۵
۶۹	۷۳	۱۰۰	۱۲۰	۱۴۲	۱۵۷	۱۶۵	۱۷۵	۱۹۰
۷۳,۵	۷۱,۹	۶۱,۵	۵۳,۸	۴۵,۴	۳۹,۶	۳۶,۵	۳۲,۷	۲۶,۹
غلظت اورانیم در محلول روی رزین (ppm)								
جذب (%)								

مشخصی از رزین پر شده و محلول از پایین وارد ستون شده و از داخل رزین به سمت بالا جریان یافته و باعث سیالیت رزین می‌شود. بین رزین و محلول، عمل انتقال جرم صورت می‌گیرد. در این آزمایش، ارتفاع رزین در ستون $V=1\text{cm/sec}$ ، $h=5\text{cm}$ ، $D=1,8\text{cm}$ ، غلظت اورانیم خوراک 260ppm بوده است. نتایج تجزیه‌ی عنصری نمونه‌های گرفته شده از محلول بی‌بار در زمان‌های مختلف در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. از بررسی داده‌های این جدول می‌توان به اهمیت تأثیر زمان بر میزان جذب تک محفظه‌ای در ستون پی برد.

مشخصات آزمایش: دبی ۹ لیتر در دقیقه، در دمای محیط، زمان اقامت ۱,۵ دقیقه، مقدار رزین ۱۰ میلی‌لیتر.

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۵ برای ستون تک محفظه‌ای به ارتفاع ۱۰cm در شرایط کم و بیش مشابه با شرایط جدول ۴ ارتفاع رزین در ستون $V=1\text{cm/sec}$ ، $h=10\text{cm}$ ، $D=1,8\text{cm}$ غلظت اورانیم خوراک 260ppm مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع ستون و در نتیجه مقدار رزین میزان جذب بهبود می‌یابد.

مشخصات آزمایش: دبی ۹ لیتر در دقیقه، در دمای محیط، زمان اقامت ۳ دقیقه، مقدار رزین ۲۰ میلی‌لیتر.

۳-۳ بررسی میزان جذب در سیستم تبادل یونی تک محفظه‌ای طراحی یک چنین سیستمی بر اساس رابطه‌ی زیر صورت می‌گیرد [۸]:

$$n = Kd^2/D^2$$

که در آن، n نسبت سطح سوراخ به سطح کل صفحه، D قطر ستون، K تعداد سوراخ، d قطر سوراخ روی صفحه است. برای طرح مورد بررسی، مقدار n برابر ۱۰، $D=1,8\text{cm}$ و $d=2\text{mm}$ ، لذا $K=8$ [۸].

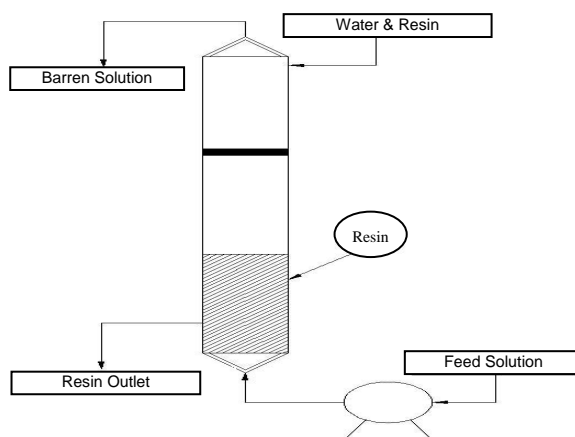
۳-۳-۱ محاسبه‌ی دبی مورد نیاز جهت متحرک (سیال) سازی بستر

$$\left. \begin{aligned} Q &= V.A \\ V &= 1 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \\ D &= 1.8\text{cm} \end{aligned} \right\} \Rightarrow Q = 9.156 \frac{\text{lit}}{\text{hr}}$$

که در آن، A سطح سوراخ برحسب cm^2 است. دبی مورد نیاز، $Q=9.156\text{ lit/hr}$ است که ما اندازه‌ی تقریبی $Q=9\text{ lit/hr}$ را به کار می‌بریم. [۸].

۳-۳-۲ آزمایش‌های جذب تک محفظه‌ای

طرح‌واره‌ی آزمایش در ستون تک محفظه‌ای در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ستون تا ارتفاع



شکل ۶- طرح‌واره‌ی آزمایش جذب در ستون تک محفظه‌ای.

 جدول ۴- تأثیر زمان بر میزان جذب در ستون تک محفظه‌ای با ارتفاع $h=5\text{cm}$.

زمان (دقیقه)	۰٫۵	۱	۱٫۵	۲	۲٫۵	۳	۴	۵	۶	۷
غلظت اورانیم در محلول روی رزین (ppm)	۹۳	۹۵	۱۰۰	۱۱۲	۱۲۵	۱۴۲	۱۷۰	۱۹۵	۲۲۳	۲۵۵
جذب (%)	۶۵٫۴	۶۳٫۵	۶۱٫۵	۵۶٫۹	۵۱٫۹	۴۵٫۴	۳۴٫۶	۲۵	۱۴٫۲	۱٫۹۲

* منظور از زمان صفر، زمانی است که اولین قطره‌ی محلول خروجی از بالای ستون پس از عبور از بستر رزین گرفته می‌شود.

 جدول ۵- تأثیر زمان بر میزان جذب در ستون تک محفظه‌ای با ارتفاع $h=10\text{cm}$.

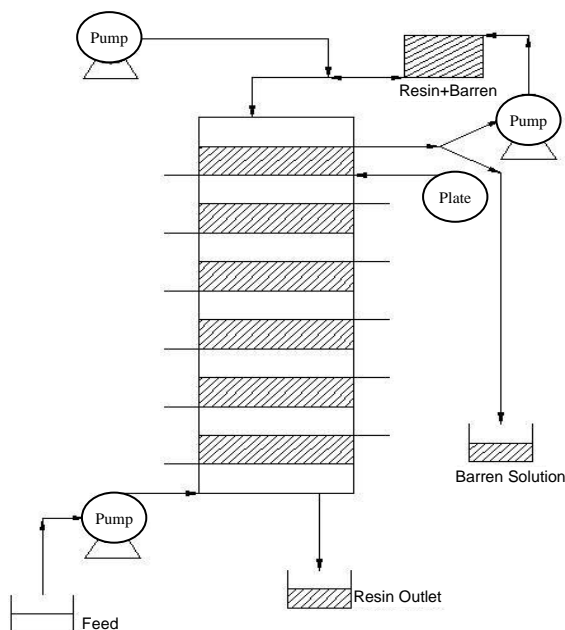
زمان (دقیقه)	۰٫۵	۱	۱٫۵	۲	۲٫۵	۳	۴	۵	۶	۷	۸
غلظت اورانیم در محلول روی رزین (ppm)	۵۸	۶۸	۸۰	۹۲	۱۰۵	۱۲۲	۱۵۰	۱۸۸	۲۱۰	۲۳۸	۲۵۵
جذب (%)	۸۰	۷۷٫۷	۷۳٫۸	۶۹٫۲	۶۴٫۶	۵۹٫۶	۵۳٫۱	۴۲٫۳	۲۷٫۷	۱۹٫۲	۲٫۷

* منظور از زمان صفر، زمانی است که اولین قطره‌ی محلول خروجی از بالای ستون پس از عبور از بستر رزین گرفته می‌شود.

۳-۴ آزمایش‌های جذب با ستون چند محفظه‌ای

شکل ۷ ستون چند محفظه‌ای مورد استفاده برای جذب را نشان می‌دهد. در این سیستم، رزین از بالا و محلول خوراک از پایین ستون وارد ستون شده و به ترتیب به سمت پایین و بالا جریان می‌یابد که در طول آن عمل انتقال جرم و جذب صورت می‌گیرد. از پایین ستون، رزین باردار و از بالای ستون محلول تهی شده خارج می‌گردد. هم‌چنین به منظور افزایش زمان تماس، سیستم برگشتی محلول بالای ستون به داخل ستون در بالای آن تعبیه شده است. در صورتی که محلول خروجی از بالای ستون هنوز دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای از اورانیم باشد، توسط سیستم برگشتی دوباره به ستون برمی‌گردد و در نتیجه زمان تماس افزایش می‌یابد. اگر میزان غلظت اورانیم در محلول خروجی بیش از ۲ درصد غلظت اورانیم در محلول اولیه (ورودی) باشد وجود جریان برگشتی ضرورت پیدا می‌کند. شرایط آزمایش جذب چند مرحله‌ای، $Q=22\text{lit/hr}$ ، $V=1\text{cm/sec}$ ، $D=3\text{cm}$ ، ارتفاع هر محفظه 30cm ، ارتفاع کل 180cm ، تعداد محفظه‌ها ۶، و ستون از جنس پلکسی گلاس می‌باشد.

هدف از افزایش قطر ستون به دو برابر مقدار قبلی، افزایش زمان ماند می‌باشد که برابر نسبت حجم به دبی محلول است. نتایج حاصل از آزمایش‌های تأثیر زمان تماس بر میزان جذب در جدول ۶ نشان داده شده‌اند. بر اساس اطلاعات این جدول، با افزایش زمان تماس از طریق سیستم برگشتی، میزان جذب در ستون افزایش می‌یابد. به همین ترتیب، نتایج آزمایش‌های تأثیر دبی محلول، زمان تماس و ارتفاع ستون بر میزان جذب در ستون چند محفظه‌ای در جداول ۷، ۸ و ۹ آورده شده‌اند. این آزمایش‌ها در دمای محیط، با دبی ۲۲ لیتر در ساعت برای محلول و زمان اقامت ۶٫۵ دقیقه و با مقدار رزین برابر ۰٫۲ لیتر انجام شده‌اند. بر اساس داده‌های جدول ۷، با افزایش دبی محلول، راندمان جذب کاهش می‌یابد. نتایج جداول ۸ و ۹ حاکی از آن است که با افزایش زمان تماس و ارتفاع ستون، راندمان جذب ستون افزایش می‌یابد.



شکل ۷- طرح واره‌ی آزمایش جذب در ستون چند محفظه‌ای.

جدول ۶- تأثیر زمان تماس بر میزان جذب در ستون چند محفظه‌ای.

زمان (دقیقه)	۳۰	۶۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۸۰	۲۴۰	۳۰۰	۳۶۰
غلظت اورانیم در محلول روی رزین (ppm)	۱۲۲	۱۴۴	۱۳۲	۱۲۸	۱۱۹	۱۱۷	۱۲۰	۱۰۰	۸۵	۸۳	۸۱
جذب (%)	۵۳٫۱	۴۴٫۶	۴۹٫۲	۵۰٫۱	۵۴٫۲	۵۵	۵۳٫۸	۶۱٫۵	۶۷٫۳	۶۸	۶۹

جدول ۷- تأثیر دبی محلول بر میزان جذب در ستون چند محفظه‌ای با ارتفاع کل ۱۸۰ سانتی‌متر.

نرخ جریان (lit/hr)	۲۰	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵
زمان (دقیقه)	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰
غلظت اورانیم در محلول روی رزین (ppm)	۱۲۰	۱۴۰	۱۶۵	۱۹۲	۲۳۸
جذب (%)	۵۳٫۸	۴۶٫۱	۳۶٫۵	۲۶٫۲	۸٫۵

جدول ۸- تأثیر زمان تماس (یا ماند) بر میزان جذب در ستون چند محفظه‌ای با ارتفاع کل ۱۸۰ سانتی‌متر.

زمان (دقیقه)	۴	۵	۶	۷	۸	۹
غلظت اورانیم در محلول روی رزین (ppm)	۱۴۸	۱۳۵	۱۲۵	۱۲۰	۱۱۸	۱۱۷
جذب (%)	۴۳٫۱	۴۸	۵۲	۵۳٫۸	۵۴٫۶	۵۵

جدول ۹- تأثیر ارتفاع ستون بر میزان جذب در ستون چند محفظه‌ای با دبی ثابت ۲۰ lit/hr برای محلول.

ارتفاع (cm)	۳۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰
زمان (دقیقه)	۱۵۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۰
غلظت اورانیم در محلول روی رزین (ppm)	۱۸۸	۱۵۵	۱۳۵	۱۲۳	۱۱۸	۱۱۵
جذب (%)	۲۷٫۷	۴۰٫۳	۴۸	۵۲٫۶	۵۴٫۶	۵۵٫۷



References:

1. Chemical week.new "Solution cuts uranium mining costs," 28-29, Des.24 (1975).
2. J.S. Anderson and M.I. Ritehie, "Solution mining of uranium," Mine. Cong. J. V. 54, No. 1, 20-26 (January 1968).
3. I.L. Jenkins, "Ion exchange in the atomic energy industry with particular reference to actinide fission product separations-areview," Hydrametallurgy, V. 5, Issue. 1, 1-13, (October 1979).
4. Serpseyhan, Melek Merdivan, "Use of OPDA in amberlife XAD resin for separation and preconcentration of Uranium(VI) and Thorium(VI), V. 1 (March 1976).
5. R.A. Hard, "Process for in- situ mining," U.S.Pat. 3, 910,936 (Oct 7.1975).
6. C.R. Carlos and J.F. Richardson, Chem. Eng.Sci. V. 1 (1968).
7. B.H. Lucas, P. Prodhomme, M.J. Salter, "Uranium extraction using a deep moving bed of ion exchange resin Hydrometallurgy," V. 8, Issue 2, 123-135 (March 1982).
8. George, D.R.J.R. Ross and J.D Prater, "By-product uranium recoverd with new ion-exchange techniques ques," Min, V. 20, 1-5 (January 1968).

۴- نتیجه گیری

نتایج نشان می‌دهند که از سیستم برگشتی می‌توان برای تنظیم زمان ماند یا تماس، کاهش ارتفاع ستون جذب و هم‌چنین افزایش میزان جذب ستون استفاده کرد. زمان تماس بهینه بین رزین و محلول خوراک حاوی اورانیم در جذب ناپیوسته ۳ ساعت و pH بهینه‌ی محلول ۱/۵ می‌باشد. ارتفاع ستون طراحی شده، برای رسیدن به جذب ۹۰ درصدی برای اورانیم از محلول خوراک کافی نبود و لذا برای افزایش راندمان جذب، ارتفاع ستون بایستی افزایش یابد.

پی‌نوشت‌ها:

- ۱- Ion Exchange
- ۲- BV: Bed Volume
- ۳- Merrit
- ۴- Fixed Bed
- ۵- Moving Bed
- ۶- Mass Transfer
- ۷- Co-Current
- ۸- Cross-Current
- ۹- Counter Current
- ۱۰- Multiple Stage
- ۱۱- MCIX: Multiple Compartment Ion Exchange
- ۱۲- Slimy Slurry