حذف اورانیم از آب با فرآیند تبادل یونی

مرتضی عالیقدری[1]، مهدی غیاثی‌نژاد[2]، اشرف السادات مصباح[3] محمدرضا سیاهی[4]، مهدی کریمی نژاد[5]

تاریخ پذیرش : ۸۲/۴/۱۱

Title: Uranium removal from water by ion exchange process

Authors: Alighadri M.[1], Ghiassinejad M.[2], Mesbah A.[3], Siahi M.R.[4], Kariminejad M.[5]

Abstract: Uarnium is considered as one of the natural radioelements for water pollution, therefore its removal from water resources for supplying healthy water for food and pharmaceutical industries is of great importance. This research is carried out to remove uranium from water by ion exchange process. It has been on the basis of the uranium solution preparation (synthetic), the anionic resins (Dowex and Amberlite) selection , determination of void fraction(%), optimum pH, capacity of resins, optimum contact time and absorption curve. Besides Laser Fluorimetry (LF)and Flow Injection Analysis (FIA) were used for measurement of uranium concentartion . Maximum uranium absorption by the resins Dowex & Amberlite were respectively in 3 and 2.5 pH , absorption capacity of Dowex & Amberlite resins were respectively 22.50 and 16.90(mgU/ml.R) ،contact time between resins and solution for Dowex & Amberlite were about 25 and 15 minutes, meanwhile, absorption velocity of uranium for Amberlite is more than Dowex. Both Dowex and Amberlite resins have appropriate ability for uranium removal from water.

Keywords : Uranium, Ion exchange, Water .

1-Student PhD, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences.
2-Associate Professor, Tehran University of Tarbiat Modarres .
3-Associate Professor, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences.
4 -Assistant Professor, Faculty of pharmacy, Tabriz University of Medical Sciences.
5- Instructure, Faculty of Health Tabriz University of Medical Sciences.

۱ - دانشجوی Ph.D دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران.
۲ - دانشیار دانشگاه تربیت مدرس تهران.
۳- دانشیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران.
۴-استادیار دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی تبریز.
۵- مربی دانشکدهٔ بهداشت و تغذیه دانشگاه علوم پزشکی تبریز.

www.SID.ir

Archive of SID

چکیده

اورانیم یکی از رادیونوکلئیدهای طبیعی جهت آلودگی آب بشمار می‌رود، لذا زدایش آن از منابع آب از دیدگاه های علمی، تحقیقاتی و تأمین آب سالم برای صنایع غذایی، دارویی و آشامیدنی امری مهم محسوب می گردد. این مطالعه به منظور حذف اورانیم از آب با فرآیند تبادل یونی (Ion Exchange Process) انجام گرفت. پژوهش براساس تهیه محلول استاندارد سولفات اورانیم، انتخاب رزین های آنیونی Dowex و Amberlite، تعیین درصد فضای خالی رزینها، pH مناسب، ظرفیت رزینها، زمان تماس بهینه و منحنی جذب انجام گرفت. اورانیم نمونه‌ها به روش های لیزر فلوریمتری (Laser Fluorimetry) و (Flow Injection Analysis) اندازه گیری شد. رزینهای Dowex و Amberlite به ترتیب pH =۳ و pH =۲/۵ جهت اکثر جذب نمونه‌ها، قدرت جذب ۲۲/۵۰ و ۱۶/۹۰ میلی‌گرم اورانیم به ازای هر میلی‌لیتر رزین، زمان تماس ۲۵و ۱۵دقیقه بین رزین و محلول در مرحله جذب را دارا بودند. ضمناً سرعت جذب اورانیم بر روی رزین Amberlite بیشتر از رزین Dowex تعیین گردید. نهایتاً هر دو رزین توانایی قابل قبولی جهت حذف اورانیم از آب را دارا بودند.

گل واژگان : اورانیم ، تبادل یونی ، آب.

مقدمه

اورانیم یکی از مهمترین رادیونوکلئیدهای طبیعی در پوسته زمین بوده که می‌تواند سبب آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی گردد. این عنصر دارای سه ایزوتوپ (^{238}U ، ^{235}U و ^{234}U) که به ترتیب با درصد فراوانی (۹۹/۲۷۴۵ ، ۰/۷۲ و ۰/۰۰۵۵) می‌باشد (۱). پوسته زمین به طور متوسط ۳ قسمت در میلیون (parts pre million) ^{238}U و۰/۲ ppm ^{235}U دارد. ^{238}U جهت رسیدن به حالت پایداری از خود اشعه‌های α و β ساطع می‌کند(۲) . اورانیم به دلیل میل ترکیبی قوی به صورت عنصر آزاد در حالت طبیعی وجود نداشته و به صورت اکسید دیده می‌شود. این عنصر با چهار ظرفیت ۳، ۴، ۵ و ۶ همراه است. نوع ۴و ۶ ظرفیتی اورانیم پایدار است. همچنین به دلیل اینکه اورانیم به راحتی اکسیژن می‌پذیرد، فرم ۶ ظرفیتی آن بیشتر در منابع آب یافت می‌شود. در pHکمتر از ۲/۵ اورانیم به صورت کاتیون $(UO_2)^{2+}$، در pH ۷-۲/۵ به صورت خنثی $[UO_2(CO_3)]^0$ و در pH ۱۰-۷ به شکل آنیونی $[UO_2(CO_3)]^{4-}$ و $[UO_2(CO_3)]^{2-}$ در آب وجود دارد (۳).

اورانیم علاوه بر اهمیت پرتوزایی، از دیدگاه سمیت شیمیایی هم مطرح می‌باشد. این عنصر در کلیه تجمع یافته و اولین اثر بوجود آمده در انسان و حیوان نفروپاتی است. مطالعات کوتاه مدت و دراز مدت در خصوص سمیت شیمیایی اورانیم در دست نیست و بنابراین مقدار رهنمودی از طرف سازمان بهداشت جهانی (World Health Organization) برای اورانیم در آبهای آشامیدنی به دست نیامده است (۴)، اما سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (Untied States Environmental Protection Agency) و انجمن آمریکایی امور آبی (American Water Works Association) حداکثر مقدار مجاز (Maximum Containment Level) اورانیم را در آب آشامیدنی ۲۰ میکروگرم در لیتر

www.SID.ir

Archive of SID

تعیین کرده است (۵) . جدیدترین MCL پیشنهادی از طرف USEPA برای این رادیونوکلئید در آب آشامیدنی ۳۰ میکروگرم در لیتر می‌باشد (۶). دستور العمل های GMP (Good Manufacturing Practices) در خصوص طراحی سیستم های تأمین آب برای صنایع دارویی ، غذایی و... بدین نحو می باشدکه بر روی آب مورد استفاده در این صنایع علاوه بر تصفیه های متداول در آب آشامیدنی، فرآیندهای پیشرفته از قبیل استفاده از فیلتر های شنی ، سختی گیری، عبور آب از بستر های کربن فعال، کلر زنی، استفاده از رزینهای تبادل یونی، واحدهای یون زدایی، ازن زنی،استفاده از لامپ های UV، اسمز معکوس، تقطیر، طراحی و نگهداری تانک های آب و لوله ها و... می بایستی انجام گیرد (۷).

حذف مواد رادیواکتیو از جمله اورانیم در آبها که همه روزه بشر در معرض خطرات ناشی از آن می‌باشد نه تنها از دیدگاه علمی و تحقیقاتی امری مهم محسوب می‌گردد، بلکه جهت تامین آب قابل مصرف در صنایع غذایی، دارویی و... بسیار حائز اهمیت است. مطالعاتی در خصوص حذف یا زدایش اورانیم از منابع آب با استفاده از فرآیندهای تبادل یونی، جذب سطحی، الکترودیالیز، اسمز معکوس، انعقاد - صاف‌سازی با آهن و آلوم در دنیا (آمریکا، چین، روسیه و ...) انجام شده است. این فرآیندها بعنوان بهترین تکنولوژی موجود برای زدایش اورانیم از آب آشامیدنی توصیه شده‌اند (۸). فرآیند تبادل یونی برحسب مشخصات رزین (ساختمان شیمیایی، ظرفیت تبادل و اندازه ذرات)، غلظت یون اورانیل، pH محلول، دبی جریان در ستون رزین و ... دارای راندمان های متفاوتی برای حذف اورانیم از آب می‌باشد. مبادله کننده‌های زیادی جهت زدایش اورانیم از آب وجود دارد که از بین آنها رزین‌های آنیونی قوی، به لحاظ بالا بودن ظرفیت زدایش کاربردهای زیادی در این خصوص دارد، که از آن جمله می‌توان به رزینهای متشکل از آمین‌های چهار ظرفیتی پلی استیرن که یون کلرور، گروه تعویض شونده آنها با اورانیم است(۹) . لذا این پژوهش به منظور کاربرد رزین های آنیونی در حذف اورانیم از آب انجام گرفت.

مواد و روش کار

براساس هدف کلی این پژوهش (کاربرد رزینهای تبادل آنیونی در حذف اورانیم از آب)، ماهیت مطالعه مقطعی(Corss Sectional) می‌باشد. شیوه کار براساس مطالعه منابع مختلف جهت بررسی و انتخاب نوع رزینها، ابعاد ستون های مورد نظر جهت عبور نمونه ها از رزینها، روش اندازه‌گیری اورانیم نمونه‌ها، عملیات آزمایشگاهی و ... می‌باشد. (۹، ۱۰، ۱۱ و۱۲). عملیات آزمایشگاهی در سال ۱۳۸۰در سازمان انرژی اتمی ایران انجام گرفته است. جهت انجام این پروژه از دو نوع رزین آنیونی با نام های تجاری زیر استفاده شده است :

1- Dowex-X8(Cl^-) Mesh=20-50 (U.S.A)

2-Amberlite CG-400(Cl^-) Mesh=20-40 (U.S.A)

رزین های انتخابی با توجه به مطالعات انجام شده در دنیا، دسترس بودن آنها در داخل کشور و مسئله قیمت آنها انتخاب شد. جهت جذب اورانیم بر روی رزین ها، از ستونهایی با قطر داخلی cm ۱ و ارتفاع cm ۱۲۰ استفاده شده است.

هم چنین برای اندازه‌گیری اورانیم نمونه‌ها از روش های لیزر فلوریمتری (LF) و (FIA) به دلایل مختلف (انتخابی بودن، حساس بودن، اقتصادی بودن، صرفه جویی در زمان و ...) استفاده شده است. در این مطالعه اقدام به تهیهٔ نمونه های سنتتیک حاوی مقادیر متفاوتی از اورانیم جهت کار بر روی رزین ها شد.

www.SID.ir

Archive of SID

آماده‌سازی رزین ها (شستشو با آب مقطر و حجیم شدن دانه‌های رزین)، تعیین درصد فضای خالی بین دانه‌های رزین (جهت محاسبه دبی جریان محلول در ستون ها)، تعیین pH مناسب برای حداکثر جذب اورانیم نمونه‌ها بر روی رزین ها، تعیین ظرفیت رزین ها، تعیین زمان تماس بهینه (سرعت جذب اورانیم توسط رزین ها)، تعیین منحنی جذب (Absorption Curve) و نشان دادن نقطه شکست (Break Through Point) و نقطه اشباع (Saturation Point) مراحل بعدی تحقیق می‌باشد.

درصد فضای خالی بین دانه‌های رزین ($\in$) از روی فرمول زیر تعیین می گردد که در آن :

$$\in = \frac{W_1 - W_2}{V \times D} \times 100$$

W1 : وزن مزور + وزن رزین تر + آب مقطر (بر حسب گرم)

W2: وزن مزور + وزن رزین تر (بر حسب گرم)

V : حجم رزین تر (میلی‌لیتر)

D : دانسیته آب مقطر (میلی لیتر /گرم)

تهیه محلول استاندارد ۲۰۰ ppm سولفات اورانیم، آماده سازی محلولهایی به حجم ۲۰۰ ml با pH ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵، ۴و ۴/۵ ، اندازه گیری اورانیم نمونه‌ها پس از تنظیم pH آنها، استفاده از ۲ میلی‌لیتر رزین برای هر نمونه، زمان تماس رزین و محلول را ۳ ساعت در نظر گرفتن و در نهایت اندازه‌گیری اورانیم نمونه‌ها، مراحل تعیین pH مناسب برای جذب اورانیم می‌باشد.

برای تعیین ظرفیت رزینها از نمونه حاوی ۴۰۰ ppm سولفات اورانیم، به ترتیب حجم‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ میلی‌لیتر تهیه و با ۱ ml از رزین ها به مدت ۲۴ ساعت به طور جداگانه مجاور گردید. قبل از آزمایش، pH برای رزین‌های Dowex و Amberlite به ترتیب در ۳و ۲/۵ (pH بهینه) تنظیم شد. غلظت U نمونه‌ها بعد از تنظیم pH به ۳۸۵ ppm رسید .

هم چنین جهت تعیین زمان مناسب برای بیشترین جذب اورانیم بر روی رزین‌ها، ۱۵میلی‌لیتر از محلول تهیه شده (حاوی ۳۸۵ ppm سولفات اورانیم) در تماس با یک میلی‌لیتر از هر رزین در زمانهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه قرار داده شد و به این ترتیب اورانیم در هر کدام از نمونه‌ها آنالیز گردید.

روش کار در آزمایش های جذب بدین صورت میباشد که در این مرحله از ستونهایی به قطر داخلی ۱۰میلی‌متر و ارتفاع ۱۲۰سانتی‌متر استفاده شده و در درجه حرارت آزمایشگاه (۲۰ $^{\circ}C$)، ۳۸۵ ppm از محلول سولفات اورانیم از روی هر دو رزین (حجم رزین ها ۱۰میلی‌لیتر می‌باشد) عبور داده شد.

pH محلول ها برای رزینهای Dowex و Amberlite به ترتیب در۳ و ۲/۵ تنظیم، زمان تماس ۲۵ و ۱۵ دقیقه، دبی جریان ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌لیتر بر دقیقه، به ترتیب برای رزینهای Dowex و Amberlite تنظیم گردید.

نتایج

۱- درصد فضای خالی بین دانه‌های رزین

فضای خالی برای دانه‌های رزین Dowex ۵۰ درصد و برای دانه‌های رزین Amberlite ۴۵ درصد تعیین شد.

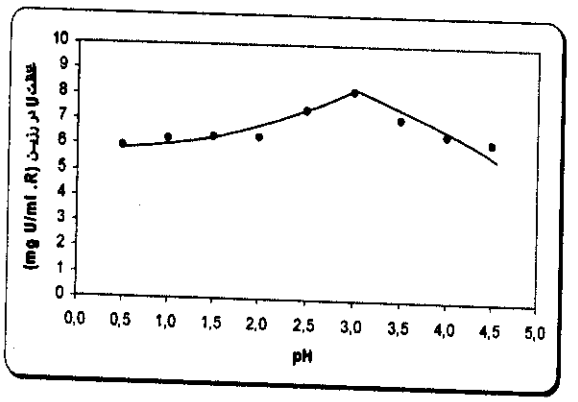
۲- pH مناسب برای جذب اورانیم

نتایج تعیین pH مناسب برای جذب اورانیم در منحنی‌های ۱و ۲ ارائه شده است. با توجه به منحنی‌های فوق با ازدیاد pH تا ۳ مقدار جذب اورانیم توسط رزین Dowex افزایش می‌یابد و در pH بالاتر از ۳ مقداری اورانیم رسوب نموده و غلظت اورانیم محلول کاهش می‌یابد و از مقدار جذب رزین کاسته می‌شود. بنابراین۳ = pH به عنوان pH بهینه

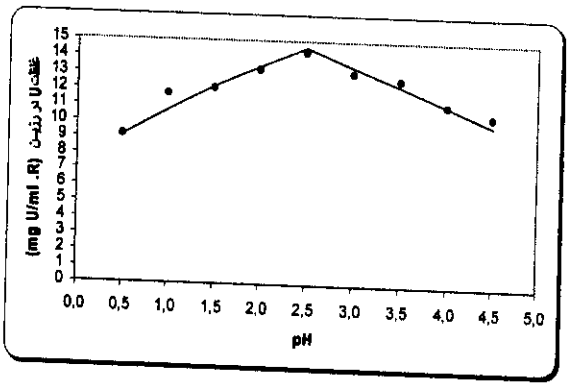
www.SID.ir

Archive of SID

برای رزین Dowex و pH= ۲/۵ نیز، pH بهینه برای رزین Amberlite تعیین گردید.



منحنی pH:۱ مناسب برای جذب اورانیم بر روی رزین Dowex



منحنی pH:۲ مناسب برای جذب اورانیم بر روی رزین Amberlite

۳ - ظرفیت رزین‌ها

بیشترین مقدار جذب اورانیم بر روی رزین Dowex و Amberlite به ترتیب برابر با ۲۲/۵۰ و ۱۶/۹۰ میلی‌گرم به ازای هر میلی‌متر رزین تعیین شد. یک میلی‌لیتر رزین Dowex می‌تواند اورانیم ۳۰ میلی‌لیتر محلول را تا حدود ۹۰ درصد جذب نماید. هم چنین یک میلی‌لیتر رزین Amberlite می‌تواند اورانیم ۲۰ میلی‌لیتر محلول را تا حدود ۹۰درصد جذب کند.

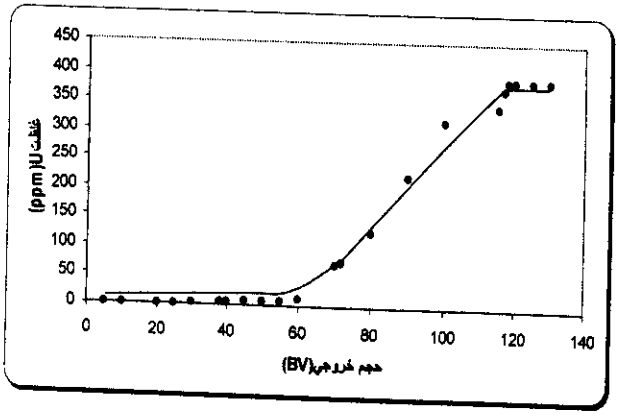
۴ - سرعت جذب اورانیم (زمان تماس) بر روی رزین‌ها

سرعت جذب رزین Dowex در محدوده زمانی ۳۰-۵ دقیقه خطی است و از زمان ۱۲۰دقیقه به بعد محلول به حالت تعادل می‌رسد و سرعت جذب ثابت می‌ماند. بنابراین زمان مناسب برای رزین Dowex در آزمایشات دینامیکی ۲۵ دقیقه و حداقل زمان تماس در آزمایشات جذب به صورت Batch (ناپیوسته)، ۱۲۰ دقیقه می‌باشد.

سرعت جذب رزین Amberlite در محدوده زمانی ۲۰-۵ دقیقه خطی است و از زمان ۶۰ دقیقه به بعد محلول به حالت تعادل می‌رسد و سرعت جذب ثابت می‌ماند. به این ترتیب زمان تماس بهینه برای این رزین در آزمایشات دینامیکی ۱۵دقیقه و حداقل زمان تماس در آزمایشات Batch، ۶۰ دقیقه تعیین می‌گردد.

۵ - آزمایشهای جذب

نتایج نشان می‌دهد (منحنی‌های ۳ و ۴) که رزین Dowex در ۶۰ حجم بستر (Bed Volume) به نقطه شکست و در ۱۱۸حجم بستر به نقطه اشباع می‌رسد.

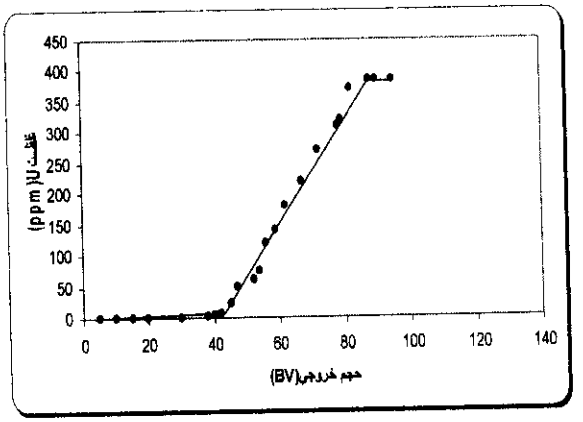


منحنی۳ : جذب اورانیم بر روی رزین Dowex

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین رزین Amberlite در ۴۲ حجم بستر به نقطه شکست و در ۸۸ حجم بستر به نقطه اشباع می‌رسد.



منحنی۴ : جذب اورانیم بر روی رزین Amberlite

بحث

با توجه به اینکه اندازه ذرات رزین Amberlite کمتر از اندازه رزین Dowex بود، لذا پیش بینی میشد که فضای خالی بین دانه های رزین Dowex (۵۰ درصد) بیشتر از فضای خالی بین دانه های رزین Amberlite (۴۵ درصد) باشد.

معمولا در کار با ستون اندازه ذرات رزین را بین ۱۶ تا ۴۸ مش معادل ۰/۹-۰/۳ mm انتخاب می کنند. هر چه دانه های رزین کوچکتر باشد شکستگی آن هم کمتر میشود. البته باید این نکته را نیز در نظر داشت که اگر اندازه ذرات رزین بیش از حد کوچک باشد در آن صورت حجم حفره های خالی کم شده و در نتیجه افت فشار زیاد میشود (۸).

نتایج تعیین pH بهینه برای جذب اورانیم حاکی از آن است که pH=۳ بعنوان pH بهینه برای رزین Dowex و pH=۲/۵ نیز، pH بهینه برای رزین Amberlite تعیین شد.

بطور کلی میزان جذب اورانیم بر روی رزین با ازدیاد pH تا قبل از راسب شدن اورانیم زیاد میشود ولی اگر محلول حاوی یون های دیگری نیز باشند ممکن است در pH پایین رسوب داده و به همراه خود مقداری از اورانیم محلول را رسوب دهند و از محیط خارج کنند. بنابراین برای جلوگیری از این عمل باید pH محلول تا حد معینی قبل از ظاهر شدن رسوب تنظیم گردد. تحقیقات نشان می دهد که pH بهینه برای جذب اورانیم بر روی رزین های Dowex و Amberlite بین ۳-۱/۵ میباشد (۹).

تحقیقات نشان داد که دو رزین انتخاب شده (Dowex و Amberlite) جهت حذف اورانیم از محلول استاندارد، از ظرفیت قابل قبولی برای جذب اورانیم برخوردار و به ترتیب دارای قدرت جذب ۲۲/۵۰ و ۱۶/۹۰ گرم اورانیم به ازای هر لیتر رزین در آزمایشات استاتیک بودند.

رزینهای تبادل یونی که تا به حال با موفقیت در جداسازی اورانیم از محلول به کار رفته اند، ظرفیتی حدود ۳ میلی اکی والان بر گرم رزین خشک را داشته اند. البته با توجه به عوامل دیگر، هیچگاه به حد ظرفیت تئوری نمی توان دست یافت (۸). در مقایسه با حجم مشخصی از این دو رزین (یک میلی لیتر) و راندمان یکسان (مثلا ۹۰ درصد) حجم محلول عبور کرده از روی رزین Dowex بیشتر از رزین Amberlite می باشد.

از مقایسه سرعت جذب اورانیم برای رزین‌های Dowex و Amberlite معلوم گردید که رزین Amberlite دارای سرعت جذب بیشتر از رزین Dowex بود. بطوریکه پس از مدت حدود ۶۰ دقیقه توانست حدود ۹۴ درصد اورانیم ۱۵میلی‌لیتر محلول را جذب نماید. در حالی که رزین Dowex پس از مدت ۶۰ دقیقه، حدود ۸۴ درصد اورانیم ۱۵ میلی لیتر محلول را جذب کرد.

در آزمایشات دینامیکی زمان تماس بین رزین های Dowex و Amberlite و محلول در مرحله جذب به

www.SID.ir

Archive of SID

ترتیب ۲۵ و ۱۵دقیقه تعیین گردید. هم چنین در منحنی شماره ۴ شیب زیادتر منحنی، نمایان گر می‌نیمم محلول عبور کرده بین نقاط شکست و اشباع بوده که این حجم محلول، مقدار مطلوبی نسبت به حجم محلول عبوری برای رزین Dowex تعیین گردید.

از آنجائی که اندازه دانه های رزین Amberlite ریزتر از رزین Dowex بود لذا سرعت تبادل یونی بوسیله رزین Amberlite بیشتر از رزین Dowex بود. زیرا در رزین های ریزتر مقدار سطح تماس رزین با محلول بیشتر بوده و در نتیجه سرعت جذب بیشتر می شود.

نتیجه گیری

با در نظر گرفتن شاخص های فوق (قدرت جذب، سرعت جذب و زمان تماس دینامیکی) عمل جذب اورانیم بر روی رزین Amberlite نسبت به رزین Dowex از مطلوبیت بیشتری برخوردار بود. از طرفی چون از لحاظ قیمت محصول، تفاوت عمده ای بین این دو رزین وجود ندارد، استفاده از رزین Amberlite برای حذف اورانیم در تصفیه آب برای صنایع غذایی، دارویی و آشامیدنی مناسب میباشد. در ضمن پیشنهاد می گردد که سایر انواع رزینهای تبادل یونی در حذف اورانیم و آلاینده های دیگر از آب مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

از مدیریت محترم امور حفاظت در برابر اشعه سازمان انرژی اتمی ایران، بخاطر مساعدت ها و حمایت های انجام گرفته در جهت اجرای این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

References :

1- American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and waste water . Uranium , Washington , DC , 1995 , 7-41.

2- Furness H. Uranium in soil , food and Fertilizer , Journal of Environmental Radioactivity ., 2000 , 35 : 1-7.

3- Zhang Z .,Clifford D. Exhausting and regenerating resin for uranium removal, Journal of American Water Works Association., 1994 , 86 : 239-240.

۴- سازمان بهداشت جهانی. رهنمودهای کیفیت آب آشامیدنی . مترجمین : نبی زاده نودهی رامین ، فائزی رازی دادمهر. انتشارات علمی – فرهنگی نص ،۱۳۷۵،ص۶۶.

5- Environmental Protection Agency. National primary drinking water regulations. Radionuclides Final rule , Journal of water., 2000, 65:236.

6- United States Environmental Protection Agency. Radionuclides rule:A quick reference guide. McGraw – Hill,New York, 2001,18 – 33.

www.SID.ir

Archive of SID

7- Anisfeld M. Fundamentals and essentials of pharmaceutical water systems. McGraw – Hill, New York , 2002, 59 – 62.

8- Zhang Z.Modifying ion exchange for combined removal of uranium and radium, Journal of American Water Works Association., 1994 , 55 : 214 – 226.

9-Cliford D., Zhang Z. Removing Uranium and radium form groundwater by ion exchange resins,McGraw – Hill,2000, 8 – 24.

10- IAIR.Laser induced Fluorimetric estimation of uranium in natural waters of zambia, Journal of Environmental Radioactivity, 2001,1:1 – 15.

11- Klasson T.Removal of uranium and organics from groundwater, McGraw–Hill, 2001,32 – 35.

12- NCRP. The study of determination of Uranium by flow injection analysis, operation manual of model FIA-1 autoanalyser,1990,1:2-10.

www.SID.ir