



بررسی سینتیک جذب و تأثیر دبی، غلظت و ولتاژ اعمال شده در روش

الکترودیونیزاسیون به منظور حذف استرونیوم از محلول‌های آبی

فاضل، ضحاک^{۱*}؛ علیرضا، کشتکار^۲؛ امیرسعید، شیرانی^۱؛ ادیب، ظاهری عبده وند^۲

۱-دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه چرخه سوخت

۲-سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده‌ی چرخه‌ی سوخت هسته‌ای

چکیده

در این کار، عملکرد روش الکترودیونیزاسیون برای حذف یون استرونیوم از محلول‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا سینتیک جذب رزین و عملکرد سیستم الکترودیونیزاسیون مورد بررسی قرار گرفت. سپس سه فاکتور تأثیرگذار دبی خوراک، ولتاژ اعمال شده و غلظت خوراک ورودی به سیستم به صورت کلاسیک مورد مطالعه قرار گرفت. بدین صورت که برای بررسی هر پارامتر بقیه پارامترها را ثابت قرار داده و با تغییر دادن پارامتر مورد نظر میزان تأثیر آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان حذف یون استرونیوم با افزایش ولتاژ، کاهش دبی و افزایش غلظت افزایش می‌یابد.

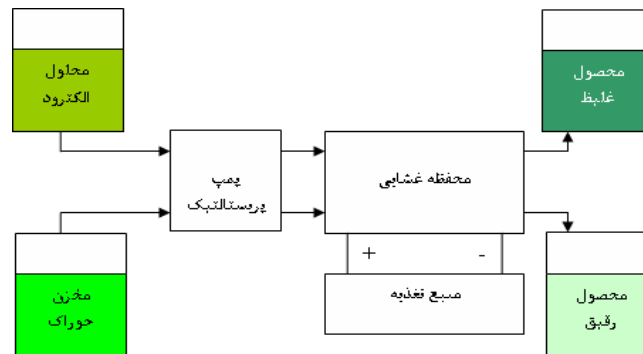
کلیدواژه: الکترودیونیزاسیون، استرونیوم، غشای تبادل یونی، محلول‌های آبی

مقدمه

افزایش فعالیت نیروگاه‌های هسته‌ای و آزمایشگاه‌های هسته‌ای سرچشمه پسماندهای هسته‌ای است که در محیط زیست آزاد می‌شوند [۱]. برای رسیدن به استانداردهای تعیین شده در قوانین ملی، باید روی پسمانها عملیات شامل کاهش حجم و کاهش ترکیبات رادیواکتیو مواد محلول در پساب انجام شود. از روش‌های عملیات بر روی پساب رادیواکتیو می‌توان رسوب دادن شیمیایی، ته نشین سازی، تبادل یون، تبخیر گرمایی، روش‌های بیولوژیکی و روش‌های غشایی را نام برد [۲]. یکی از روش‌های غشایی روش الکترودیونیزاسیون است. الکترودیونیزاسیون یک فرایند غشایی است که به صورت ترکیبی از الکترودیالیز و تبادل یون است که برای تولید آب فوق‌خالص مورد استفاده قرار می‌گیرد. در الکترودیونیزاسیون، رزین تبادل یونی در بین غشای کاتیونی و آنیونی قرار می‌گیرند و محفظه رقیق‌کننده را تشکیل می‌دهند که دارای بازده حذف بالایی است [۳] و [۴].

روش کار

واحد آزمایشگاهی الکترودیونیزاسیون شامل چند ظرف برای نگهداری خوراک و محصول، یک پمپ پرستالتیک، یک منبع تغذیه مستقیم و یک سلول الکترودیونیزاسیون است (شکل ۱). سلول از سه قسمت تشکیل شده که توسط غشاهای کاتیونی و آنیونی از هم جدا شده‌اند.



شکل ۱: شماتیک واحد الکترودیونیزاسیون

سطح موثر هر کدام از غشاها ۲۵ سانتی متر مربع بود، در حالی که ضخامت قسمت رقیق کننده (قسمت میانی) و هر کدام از محفظه‌های الکترودی (محفظه آندی و کاتدی) که در طرفین محفظه رقیق کننده قرار داشتند ۵ میلی متر بود. بنابراین، حجم قسمت رقیق کننده $12/5 \text{ cm}^3$ و سطح هر کدام از الکترودها $4/5 \times 5 \text{ cm}^2$ بود. یک منبع تغذیه مستقیم برای تامین جریان برق استفاده شد که توانایی اعمال ولتاژ ۰ تا ۴۰ ولت را داشت. غلظت‌های ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ppm با استفاده از نمک نیترات استرونیوم ساخته شد.

برای اطمینان از عملکرد سیستم الکترودیونیزاسیون و اطمینان از این که کار جداسازی در سیستم توسط جذب رزین صورت نمی‌گیرد، برای هر تست ابتدا رزین‌ها در حالت بدون اعمال ولتاژ با استفاده از محلول غلیظ استرونیوم اشباع شد طوری که غلظت محلول ورودی و غلظت محلول خروجی برابر شود. سپس برای هر تست و باتوجه به شرایط عملیاتی به سیستم ولتاژ اعمال شده و برای نمونه‌گیری از جریان محصول نیز، مدت ۳۰۰ دقیقه به سیستم اجازه داده می‌شد تا به حالت پایا برسد و سپس نمونه‌گیری انجام می‌شد. غلظت استرونیوم در محلول با روش نشر اتمی (ICP) تعیین گردید. برای بررسی حذف استرونیوم سه فاکتور تاثیرگذار دبی خوراک، ولتاژ اعمال شده و غلظت خوراک ورودی به سیستم به صورت کلاسیک مورد مطالعه قرار گرفت. بدین صورت که برای بررسی هر پارامتر بقیه پارامترها را ثابت قرار داده و با تغییر دادن پارامتر مورد نظر میزان تأثیر آن مورد بررسی قرار گرفت.



نتایج

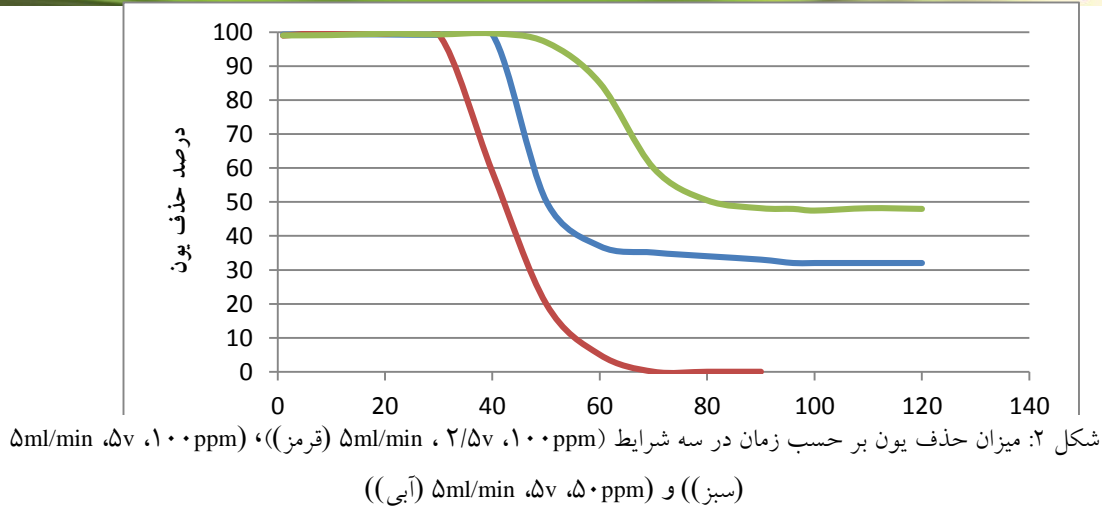
رزین تبادل یونی خود دارای ظرفیت جذب بالایی است و در صورت عدم حضور غشا و عدم اعمال ولتاژ به سیستم نیز جذب زیادی دارد. برای اطمینان از عملکرد سیستم الکترودیونیزاسیون و اطمینان از اینکه کار حذف یون در سیستم توسط جذب رزین صورت نمی‌گیرد، ابتدا از رزین آماده برای حذف یون استفاده گردید و میزان حذف یون بر حسب زمان رصد گردید تا زمانی که تغییرات میزان حذف به صفر برسد و شاهد حذف پیوسته و پایای یون باشیم.

بدین منظور رزین کاتیونی که با اسیدسولفوریک ۱۰ درصد آماده‌سازی شده بود در سیستم قرار داده شد و در سه شرایط (۱۰۰ ppm، ۲/۵v، ۵ml/min)، (۱۰۰ ppm، ۵v، ۵ml/min) و (۵۰ ppm، ۵v، ۵ml/min) میزان حذف یون با زمان (برحسب ساعت) بررسی شد (شکل ۲). همچنین رزین‌ها اشباع شد و تاثیر دبی، غلظت و ولتاژ بر جداسازی بررسی شد که نتایج آن در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ آمده است.

بحث و نتیجه‌گیری

۱- بررسی سینتیک جذب در واحد الکترودیونیزاسیون

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، برای هر سه شرایط در زمان‌های اولیه میزان حذف یون نزدیک ۱۰۰ درصد است. این ناحیه قسمتی است که جذب رزین در آن غالب است و نمی‌توان حذف یون را محصول عملکرد غشاهای تبادل یونی دانست. هرچند برای ولتاژهای بالاتر این زمان طولانی‌تر است و این به معنای این است که در این شرایط سهم حذف یون با غشا افزایش و سهم حذف یون با جذب توسط رزین کاهش یافته است. در ادامه کاهش شدیدی در حذف یون رخ می‌دهد. این ناحیه‌ی با شیب زیاد، قسمتی است که سیستم از جذب به مرور فاصله گرفته و به سمت حذف پیوسته می‌رود. سپس حذف پایدار با زمان اتفاق می‌افتد که در شرایط (۱۰۰ ppm، ۵v، ۵ml/min) و (۵۰ ppm، ۵v، ۵ml/min) درصد جداسازی به ترتیب ۳۲/۵ و ۴۷/۶ شده است. همچنین در حالت (۱۰۰ ppm، ۲/۵v، ۵ml/min) در نهایت مقدار حذف یون صفر شده است و این حاکی از این واقعیت است که در ولتاژ ۲/۵ ولت نمی‌توان به حذف یون پایا دست یافت.

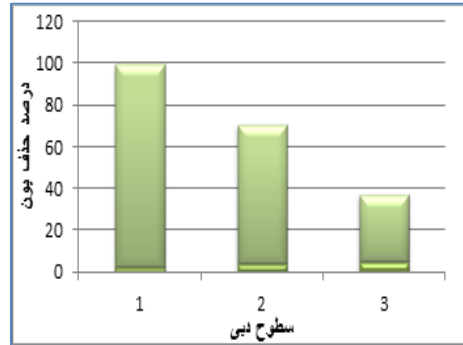


سپس رزین‌ها در حالت بدون اعمال ولتاژ با استفاده از محلول غلیظ استرونیوم اشباع شد طوری که غلظت محلول ورودی و غلظت محلول خروجی برابر شود و در سه شرایط عملیاتی ذکر شده مورد آزمایش قرار گرفت و با دادن زمان کافی (۳۰۰ دقیقه) مقدار حذف یون بدست آمد که با نتایج بدست آمده در مرحله قبل تطابق داشت. این بدین معنی است که برای بررسی عملکرد سیستم لازم نیست زمان‌های طولانی هزینه شود تا به حذف یون پایا رسید و با اشباع کردن رزین و سپس اعمال ولتاژ به سیستم می‌توان این مسیر را از انتها به سمت قسمت پایا طی کرد. بدین صورت که با اعمال ولتاژ، به دلیل تفکیک آب و تولید کاتیون هیدروژن و آنیون هیدروکسید یون‌های حاضر بر روی رزین‌ها توسط کاتیون احیا (عمل واجذب) شده و این روند تا رسیدن به حالت پایا ادامه می‌یابد و در این زمان نرخ جذب و واجذب برابر شده و می‌توان ادعا کرد سیستم تنها با عملکرد غشایی یون‌ها را حذف می‌کند. در این حالت، به دلیل مصرف یون‌های هیدروژن حاصل از تفکیک آب و باقی ماندن هیدروکسید حاصل از تفکیک آب ابتدا pH به شدت بالا رفت که این نیز نشانه واجذب در زمان‌های اولیه بود و بعد از آن مقدار pH کاهش یافت و به شرایط پایا رسید.

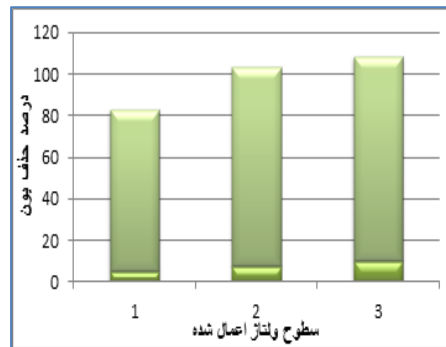
۲- بررسی اثر دبی بر میزان حذف یون

پس از اشباع‌سازی کامل رزین، برای بررسی تاثیر دبی بر میزان حذف یون در غلظت ۱۰۰ ppm و ولتاژ ۵v سه دبی ۲/۵، ۳/۷۵ و ۵ ml/min میزان حذف یون بررسی شد. مطابق انتظار، با کاهش دبی به دلیل افزایش زمان اقامت محلول و داشتن فرصت بیشتر برای عبور از غشاهای تبادل یونی میزان حذف یون

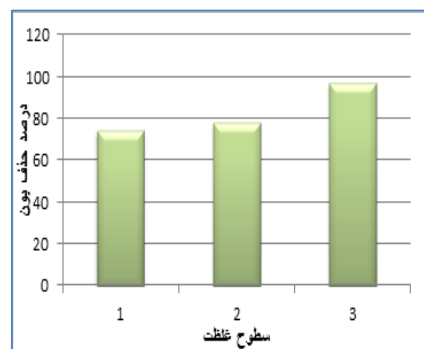
افزایش یافت (شکل ۳). میزان حذف یون در دبی های ۲/۵، ۳/۵/ به ترتیب ۹۶/۷۰، ۶۶/۸۷ و ۳۲/۰۹ درصد بود.



شکل ۳: میزان حذف یون در دبی های ۲/۵، ۳/۵ و ۵ ml/min و در شرایط ثابت غلظت ۱۰۰ ppm و ولتاژ ۵ v



شکل ۴: میزان حذف یون در ولتاژهای ۵، ۷/۵ و ۱۰ v در شرایط ثابت غلظت ۵۰ ppm و دبی ۲/۵ ml/min



شکل ۵: میزان حذف یون در غلظت ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ppm در شرایط ثابت ولتاژ ۵ v و دبی ۵ ml/min

۳- بررسی ولتاژ اعمال شده بر میزان حذف یون

پس از اشیاع سازی کامل رزین، برای بررسی تاثیر ولتاژ اعمال شده بر حذف یون در غلظت ۵۰ ppm و دبی ۲/۵ ml/min در سه ولتاژ ۵، ۷/۵ و ۱۰ ولت میزان حذف یون مورد مطالعه قرار گرفت. همان طور که در شکل



۴ مشاهده می‌شود با افزایش ولتاژ اعمال شده، درصد حذف یون بیشتر شده است. این امر به دلیل نیرو محرکه بیشتر ولتاژهای بالا می‌باشد که شدت جریان الکتریکی بیشتری تولید می‌کند و باعث می‌شود که یون‌ها تا وقتی که در محفظه هستند این فرصت را داشته باشند که با توجه به شدت جریان بالای تولید شده با سرعت بیشتری از غشای کاتیونی عبور کنند و میزان حذف یون بالایی را رقم بزنند. میزان حذف یون در ولتاژهای ۵، ۷/۵ و ۱۰ ولت به ترتیب ۷۸/۰۳، ۹۵/۹۰ و ۹۸/۶۱ درصد بود.

۴- بررسی اثر غلظت خوراک ورودی بر میزان حذف یون

پس از اشیاع‌سازی کامل رزین، برای بررسی تاثیر غلظت یون بر میزان حذف یون در شرایط ولتاژ ۵ ولت و دبی ۵ ml/min در سه غلظت ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ppm میزان حذف یون مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش غلظت به دلیل کاهش مقاومت الکتریکی محلول (افزایش هدایت الکتریکی محلول) میزان حذف یون افزایش یافت (شکل ۵). به دلیل مقاومت زیاد در غلظت‌های خیلی کم و پدیده پولاریزاسیون غلظتی (کاهش غلظت یون‌ها در مجاورت غشا که باعث افزایش انرژی مصرفی می‌شود در حالی که حذف یون افزایشی نمی‌یابد) تنها بخشی از جریان اعمال شده برای حذف یون مورد نظر به کار گرفته می‌شود و بازده جریان الکتریکی بالا نیست. میزان حذف یون در غلظت‌های ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ppm به ترتیب ۷۴/۱۱، ۷۸/۰۳ و ۹۶/۷۰ درصد بود.

مراجع

- ۱- S. Inan, H. Tel, Y. Altas, Adsorption studies of strontium on hydrous zirconium dioxide, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, ۲۶۷, ۶۱۵-۶۲۱, (۲۰۰۶).
- ۲- G. Zakrzewska-Trznadel, M. Harasimowicz, A. G. Chmielewski, Membrane processes in nuclear technology-application for liquid radioactive waste treatment, Separation and Purification Technology, ۲۲-۲۳, ۶۱۷-۶۲۵, (۲۰۰۱).
- ۳- J. H. Song, K. H. Yeon, S. H. Moon, A study on water dissociation phenomena and removal performances in a continuous electrodeionization (CEDI) with current densities, Journal of Membrane Science, ۲۹۱, ۱۶۵-۱۷۱, (۲۰۰۷).
- ۴- J. W. Lee, K. H. Yeon, J. H. Song, S. H. Moon, Characterization of electrochemical regeneration in a continuous electrodeionization (CEDI) system using electrical impedance spectroscopy, Desalination, ۲۰۷, ۲۷۶-۲۸۵, (۲۰۰۷).