Archive of SID

حذف کادمیوم از آب آشامیدنی با استفاده از روش اسمز معکوس

مهناز ممتازان[1*]، هادی معاضد[2]، ناهید پوررضا[3]

۱*- نویسنده مسئول، کارشناس ارشد رشته مهندسی عمران-مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
mah_momtazan@yahoo.com

۲-.استاد گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استاد گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۲۶

چکیده

در حال حاضر آلودگی ناشی از فلزات سنگین یک پدیده جهان شمول است، بنابراین نگرانی در مورد آثار دراز مدت این فلزات رو به افزایش است. کادمیوم یکی از فلزات سنگین سمی است که به‌دلیل تجمع پذیری در بافت‌های مختلف، سبب ایجاد عوارض مختلفی در انسان می‌شود. هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی عملکرد فرآیند سیستم اسمز معکوس برای حذف کادمیوم از آب آشامیدنی می‌باشد. بدین منظور، محلول استاندارد در مقیاس آزمایشگاهی تهیه، آنگاه کارایی حذف کادمیوم توسط غشاء نیمه تراوا اسمز معکوس (مدل FT-30) تحت تأثیر پارامترهای غلظت، pH و فشار بررسی شد. نتایج نشان داد در صورتی که در دمای استاندارد ۲۰ درجه سانتی گراد، غلظت ۵۰ میکروگرم در مترمکعب، فشار ۳۵۰ کیلوپاسکال و pH برابر۶/۸ باشد، راندمان حذف کادمیوم توسط سیستم اسمز معکوس بالای ۹۸ درصد است. همچنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میانگین غلظت کادمیوم در آب خروجی از دستگاه اسمز معکوس (۱/۲۹ میکروگرم در مترمکعب)، زیر حد مجاز استاندارد تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (۵ میکروگرم در مترمکعب)، سازمان بهداشت جهانی (۲ میکروگرم در مترمکعب) و ایران (۳ میکروگرم در مترمکعب) بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که روش اسمز معکوس، یکی از روش‌های بسیار مطلوب برای حذف کادمیوم در مکان‌های دارای آب آلوده به این فلز است.

کلید واژه‌ها: کادمیوم، آب آشامیدنی، اسمز معکوس، حذف.

Removal of Cadmium from Drinking Water using Reverse Osmosis Process

M. Momtazan[1], H. Moazed[2], N. Pourreza[3]

1- M.Sc. Department of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz
2- Professor, Department of Environment, Shahid Chamran University, Ahvaz
3- Professor, Department of Science, Shahid Chamran University, Ahvaz

Received: 6 July 2013 Accepted: 17 Nov.2013

Abstract

According to the present heavy metal pollution is a universal phenomenon, thus concerns about long-term effects of these metals, is increasing. The heavy metal cadmium as a toxic element exposure in humans can cause a variety of symptoms, because of its ability to accumulate in various tissues. The objective of this research was to evaluating the performance of the reverse osmosis system in cadmium removal from drinking water. The standard solution made in laboratory scale, then the removal efficiency of cadmium by semi-permeable membrane for reverse osmosis system (model: FT-30), under the influence of parameters concentration, pH and pressure were investigated. The results of this study showed that in the standard temperature 20 ºC , the concentration 50 ppb, pressure 350 (Kpa) and pH of about 6.8, cadmium removal efficiency by reverse osmosis system was above 98 percent. Thus, can be concluded that reverse osmosis, an ideal method to cadmium removal in areas with contaminated water to this metal.

Keywords: Cadmium, Drinking water, Reverse osmosis, Removal.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

گرچه طبیعت در مقابل آلاینده‌های مختلف از قابلیت و توان خودپالایی معینی برخوردار است، اما کثرت و فزونی مواد آلوده-کننده در اغلب حالات این خاصیت بهینه‌سازی را از آن سلب می‌کند و سبب تغییرات اساسی در اکوسیستم و نابودی بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری و غیر قابل استفاده شدن آب، خاک و هوا می شود (۲). آب‌های سطحی، پتانسیل زیادی برای آلوده شدن دارند. این آب‌ها از دیرباز به‌طور جدی از سوی جوامع شهری و مراکز صنعتی مورد تهدید بوده‌اند. با توجه به این که منابع آب سطحی به‌عنوان یکی از عمده‌ترین منابع تأمین آب آشامیدنی مورد استفاده انسان می‌باشند، حفاظت آن‌ها از آلوده شدن، سهم عمده‌ای در توسعه بهداشت ملی و منطقه‌ای دارد. بنابراین اتخاذ شیوه صحیح دفع فاضلاب که از عمده‌ترین آلاینده‌های آب‌های سطحی هستند، از آلودگی بیش‌تر این آب‌ها جلوگیری می‌کند (۳). فلزات سنگین یکی از انواع آلودگی در آب می‌باشند که به دلیل خاصیت غیرقابل تجزیه بودن، پایداری و تجمع‌پذیری در مقادیر کم نیز سمی هستند و به‌عنوان یکی از نگرانی‌های عمده زیست محیطی به‌شمار می‌آیند (۱۵و۱۶). مهم‌ترین فلزات سنگین آلاینده محیط زیست بر حسب میزان سمیت جیوه، کادمیوم، سرب، کروم و روی می‌باشند(۴). در این میان، کادمیوم یکی از فلزات سنگین سمی است که از راه های مختلف نظیر پساب‌های صنعتی، خانگی (منابع نقطه‌ای آلاینده‌های آب)، کشاورزی و مکان‌های دفن غیربهداشتی مواد زائد شهری و صنعتی (منابع غیرنقطه‌ای آلاینده‌های آب) وارد منابع آب می‌شود (۱و۱۹). کادمیوم به دلیل برخورداری از خاصیت تجمع‌پذیری و بزرگ‌نمایی زیستی در بافت‌های مختلف و عدم تجزیه‌پذیری و نیز مقاومت در برابر تغییرات بیولوژیک پس از ورود به محیط قادر است در چرخه حیات به حرکت خود ادامه داده و به‌تدریج در بافت‌های چربی در بدن مصرف کنندگانی مانند انسان ذخیره شده و از این طریق موجب بروز بیماری‌های حاد و مزمن شود (۱۸). تجمع کادمیوم در بدن انسان باعث انهدام اریتروسیت‌ها با گلبول‌های قرمز، حالت تهوع، ازدیاد ترشح بزاق، انقباضات ماهیچه‌ای، تخریب کلیه، مشکلات ریوی مزمن و بدشکلی اسکلتی می‌شود (۲۰). در جدول (۱) حداکثر مقدار مجاز کادمیوم در منابع آبی مختلف نشان داده شده است. بنابراین حذف کادمیوم از محیط آبی، موضوع مهمی در بهداشت عمومی جامعه محسوب می‌شود. در این زمینه، تکنولوژی‌های متعددی برای حذف کادمیوم از آب پیشنهاد شده است. هدف این تحقیق، تعیین درصد حذف غلظت‌های کم کادمیوم از آب آشامیدنی (در محدوده غلظت ۵۰ تا ۱۰۰ میکروگرم در مترمکعب) می‌باشد و با توجه به درجه تصفیه مورد نیاز به‌منظور حذف فلز سمی کادمیوم از آب آشامیدنی و از طرفی بالا بودن راندمان حذف، پایین بودن مصرف انرژی و عدم نیاز به نیروی متخصص در روش اسمز معکوس (۱۲)، روش حذف کادمیوم با استفاده از غشاء اسمز معکوس به عنوان یکی از روش‌های حذف، مورد مطالعه قرار گرفته است.

اسمز معکوس

یکی از پیشرفته‌ترین روش‌های تصفیه آب، روش استفاده از غشاءهای نیمه تراوا در اسمز معکوس (RO)[1] است. در این فرآیند، آب با فشار زیاد از یک سری غشاء نیمه تراوا[5] عبور داده می‌شود. این فشار خارجی از فشار اسمز طبیعی بیش‌تر است، درنتیجه مولکول‌های کوچک‌تر از منافذ غشاء عبور کرده و مولکول‌های بزرگ‌تر، قادر به عبور از غشاء نیستند و سپس از طریق جریانی جانبی از کنار غشاء عبور داده شده و دفع می‌گردند. اسمز معکوس یک روش تصفیه فیزیکی و نوعی فیلتراسیون است که نیاز به مواد شیمیایی ندارد (۱۴). از این روش برای تهیه آب در مقیاس آزمایشگاهی تا تهیه حجم زیادی از آب برای مصارف شهری و صنعتی استفاده می‌شود. جداسازی یون‌های مختلف موجود در آب برای استفاده در دیگ بخار نیروگاه‌ها و تولید آب بسیار خالص که مورد نیاز صنایع الکترونیک است، از دیگر کاربردهای فرآیند اسمز معکوس می‌باشد (۶). در اغلب منابع از روش اسمز معکوس به عنوان روشی موفق و اقتصادی در دراز مدت، برای کنترل آلاینده‌های آب از جمله فلزات سنگین یاد شده است (۱۴).

مروری بر تحقیقات پیشین

اسلاتر و همکاران[6]، به بررسی حذف کادمیوم از فاضلاب به وسیله روش اسمز معکوس پرداختند و نتیجه گرفتند که غشای مرکب لایه نازک، قادر به حذف بیش از ۹۸ درصد کادمیوم از فاضلاب است (۲۱).

سوآرز و همکاران[7]، در مطالعه‌ای که با عنوان حذف سرب، کادمیوم و روی از پساب‌های صنعتی با استفاده از غشاءهای نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که غشاءهای اسمز معکوس قادر به حذف ۱۰۰ درصد سرب، ۹۴ تا ۱۰۰ درصد کادمیوم و ۹۴ تا ۹۸ درصد روی می‌باشد. همچنین در این مطالعه غشاءهای نانوفیلتراسیون نیز منجر به حذف ۸۴ درصد سرب، ۹۵ تا ۹۸ درصد کادمیوم و ۹۵ تا ۹۸ درصد روی شدند (۲۲).

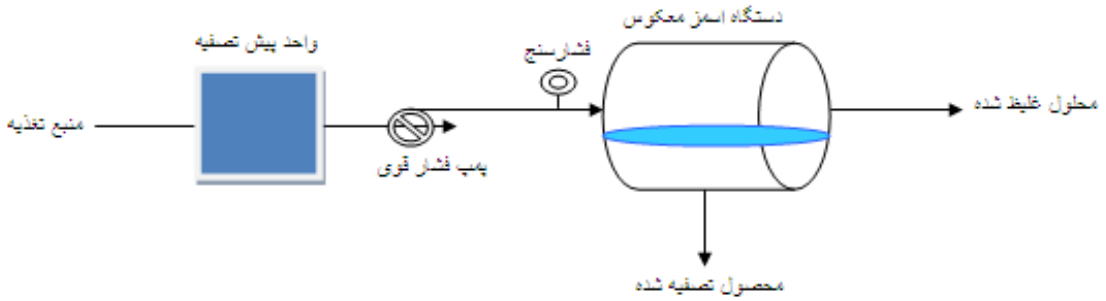
1- Debora
2- Mohan and Singh
3- Townsend et al.
4- Reverse Osmosis
5- Semi-Permeable Membrane
6- Slater et al.
7- Soares et al.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- رهنمودهای نظارتی برای کادمیوم در منابع آبی مختلف

استاندارد	منابع آب	حداکثر مجاز (mg/L)	مرجع
سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا	آب‌های پذیرنده	۰/۲۵	دبورا[1] (۱۳)
سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا	آب شرب	۰/۰۰۵	بی نام (۸)
سازمان بهداشت جهانی	آب شرب	۰/۰۰۲	بی نام (۹)
انجمن کارهای آبی آمریکا	آب شرب	۰/۰۰۵	موهان و سینگ[2] (۲۰)
ایران	آب شرب	۰/۰۰۳	بی نام (۹)
ژاپن	رودخانه	۰/۰۱	تاون‌سند و همکاران[3] (۲۳)



شکل ۱- ساختار کلی مدل طراحی شده برای بررسی روند جریان در سیستم اسمز معکوس

واکلی[1]، جذب فلزات سنگین مختلف را با روش‌های مختلف حذف بررسی کرد و به این نتیجه رسید که از میان روش‌های مختلف ترسیب، اسمز معکوس، جذب سطحی و بیولوژیکی، روش اسمز معکوس قادر است دامنه وسیعی از غلظت‌های فلزات را مورد تصحیح قرار دهد. وی درخصوص تأثیر غلظت‌های مختلف فلزات سنگین، عنوان کرد که بازده فرآیند اسمز معکوس به‌طور قابل توجهی به غلظت آلاینده‌ها بستگی ندارد (۲۴).

مختاری و همکاران، به بررسی کارایی سیستم اسمز معکوس در حذف فلز سنگین آرسنیک از آب آشامیدنی پرداختند. نتایج حاصل از آزمایش و اندازه گیری‌ها نشان داد پارامترهای غلظت، pH، دمای محلول ورودی و فشار در عملکرد غشاء اسمز معکوس مدل 2521 TE تأثیر داشت و افزایش و یا کاهش هرکدام منجر به تغییر در راندمان و عملکرد آن گردید (۵).

مظفریان و همکاران، به مطالعه راندمان سیستم اسمز معکوس در حذف فلز سنگین آرسنیک از آب آشامیدنی در شرایط مختلف ورودی سیستم (فشار، دما و pH) پرداختند و نتیجه گرفتند که با افزایش فشار، درصد پس دهی آرسنیک و متوسط شار خروجی از غشاء افزایش می‌یابد (۷).

مواد و روش‌ها

هدف اصلی این پژوهش، بررسی میزان حذف فلز سنگین کادمیوم از آب آشامیدنی توسط فرآیند اسمز معکوس می‌باشد. آزمایش‌های مورد نظر در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز صورت گرفت. مدل مورد استفاده در آزمایشگاه، مدل اسمز معکوسی بود که توسط گروه مهندسین دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز طراحی و ساخته شده بود. این مدل شامل یک دستگاه پمپ (مدل Diamond pump Q.B . 60) برای تأمین فشارهای مورد نیاز پژوهش، یک مخزن ذخیره آب که قبل از پمپ در مدل تعبیه شده، شیر تنظیم فشار که بعد از پمپ جهت تنظیم فشار آب ورودی به دستگاه قرار گرفته، یک فشارسنج روغنی برای مشاهده فشار ورودی و همچنین یک دستگاه اسمز معکوس (مدل CMB-DM ساخت کشور آمریکا) محتوی یک غشاء نیمه تراوا (از جنس پلی‌آمید کاملاً آروماتیک مدل FT-30 ساخت شرکت Film Tec) می‌باشد. در شکل (۱)، ساختار کلی مدل طراحی شده دستگاه اسمز معکوس نشان داده شده است.

برای ساخت محلول کادمیوم استاندارد، از نیترات کادمیوم ($Cd(NO_3)_2.4H_2O$) ساخت کارخانه مرک[1] آلمان استفاده شد. درابتدا محلول‌هایی با استفاده از آب دیونیزه[2] و با غلظت‌های ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ میکروگرم در مترمکعب به‌طور جداگانه تهیه شده و سپس با استفاده از آب مقطر به حجم رسانیده شد.

علت انتخاب محلول‌هایی با غلظت‌های بالا، مراجعه به آمار و اطلاعات موجود درخصوص غلظت فلزات سنگین و به ویژه فلز سنگین کادمیوم در آب مناطق مختلف جهان و نیز برخی از مناطق ایران در شرایط آب و هوایی متفاوت و فصول مختلف بوده است. همچنین قرارگیری بسیاری از صنایع از قبیل لوله‌سازی، فولاد، رنگ سازی، کشاورزی، کاغذسازی، پرورش ماهی، آب فلزکاری، کشتارگاه و ... در طول مسیر رودخانه‌ها و سایر منابع تأمین آب

1- Merck
2- Deionized water

www.SID.ir

Archive of SID

شرب، از دیگر دلایل انتخاب غلظت‌های آزمایش بوده است (۱۰و۱۱).

پس از این مراحل به منظور بررسی اثر pH بر راندمان سیستم اسمز معکوس و عملکرد غشاء، از سه pH متفاوت ۴ (اسیدی)، ۶/۸ (خنثی) و ۸ (بازی) استفاده شد. از آنجایی که غشاء مورد استفاده از نوع پلی‌آمید کاملاً آروماتیک بوده و این نوع غشاءها دارای محدوده مجاز pH بین ۴ تا ۱۱ می‌باشند، و از طرفی چون یون کادمیوم در pH بالای ۸ دچار رسوب می‌گردد (۱۷)، بنابراین در این پژوهش نیز از محدوده pH بین ۴ تا ۸ استفاده شد. به منظور تغییر pH آب مورد آزمایش از محلول‌های ۰/۵ مولار اسید کلریدریک (HCl) و ۱ مولار سود (NaOH) و جهت تعیین pH نمونه‌ها از دستگاه pHسنج WTW مدل inolab ساخت کشور آلمان استفاده گردید. در ادامه و با هدف تعیین اثر فشار بر راندمان حذف سیستم اسمز معکوس، از چهار فشار مختلف ۱۵۰، ۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ کیلوپاسکال استفاده شد. پس از آماده سازی محلول‌ها و راه‌اندازی سیستم اسمز معکوس، در هر مرحله یکی از محلول‌ها به درون مخزن آب ریخته شد و سپس به داخل دستگاه اسمز معکوس پمپ گردید. قرائت دبی خروجی نیز به کمک استوانه مدرج و کرنومتر صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که دمای آب در کلیه آزمایش‌ها، در حدود ۲۰ درجه سانتی گراد بود.

در این پژوهش تعداد ۸۰ نمونه درمجموع گردآوری شد. انجام آزمایش‌ها در هر دوره به صورت دو بار تکرار صورت گرفت. پس از جمع‌آوری نمونه‌ها، بلافاصله جهت تحلیل با دستگاه جذب اتمی[1]، به آزمایشگاه تجزیه دستگاهی سازمان حفاظت محیط زیست خوزستان انتقال داده شد. در تمامی مراحل، میزان طول موج جذب، ۲۲۸/۸ نانومتر و شدت جریان لامپ، ۸ میلی‌آمپر بود.

جهت محاسبه درصد حذف کادمیوم و نیز تعیین میزان شار خروجی از غشاء، پس از مشخص شدن غلظت خروجی کادمیوم با استفاده از روابط زیر، درصد حذف و شار خروجی از غشاء به‌دست آمد:

$$\text{درصد حذف} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن، C_0: غلظت اولیه کادمیوم و C: غلظت نهایی کادمیوم می‌باشد.

$$\text{شار خروجی} = \frac{Q}{A} \qquad (۲)$$

در این رابطه، Q: دبی خروجی (لیتر بر ساعت) و A: سطح مقطع غشاء (m^2) است.

پس از انجام آزمایش‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

پس از انجام آزمایش‌ها روی مدل آزمایشگاهی اسمز معکوس، با تغییر در پارامترهای غلظت، فشار و pH، میزان درصد حذف و شار خروجی در پارامترهای فوق بررسی شد. با توجه به درصد حذف کادمیوم و میزان شار خروجی محاسبه شده، غلظت ۵۰ میکروگرم در مترمکعب به دلیل بیش‌ترین میزان درصد حذف کادمیوم، به عنوان غلظت بهینه و دبی خروجی در محدوده ۱/۶ لیتر بر ساعت، به عنوان بهترین دبی انتخاب گردید. شایان ذکر است که دبی‌های خروجی مورد بررسی در دو محدوده ۱/۲ لیتر بر ساعت و ۱/۶ لیتر بر ساعت قرار داشتند که بر این اساس و مطابق رابطه (۲)، میزان شار خروجی نیز در دو محدوده ۸۵/۷۱ لیتر بر ساعت در مترمربع و ۱۱۴/۲۸ لیتر بر ساعت در مترمربع به دست آمد. در شکل‌های (۲) و (۳) مقایسه بین غلظت اولیه کادمیوم با درصد حذف و شار خروجی از غشاء نشان داده شده است. در غلظت پایین کادمیوم، نفوذ پذیری سطح غشاء بیش‌تر بوده و یون‌های کادمیوم قادرند با سطح غشاء برهم کنش بیش‌تری داشته باشند و بنابراین شار آب و در نتیجه درصد حذف افزایش می‌یابد. با بالا رفتن غلظت اولیه محلول، به دلیل افزایش مقاومت در برابر عبور محلول که ناشی از افزایش غلظت در مجاورت سطح غشاء یا به عبارتی به واسطه کاهش اندازه منافذ سطح غشاء به دلیل تجمع یون کادمیوم بر روی سطح غشاء است، شار آب نیز کاهش می یابد. نتایج مشابهی برای حذف یون کادمیوم از محلول‌های آبی و شار خروجی غشاء، در پژوهش‌های دیگر محققین گزارش شده است.

در رابطه با تأثیر فشار، نتایج حاصل از پس‌دهی کادمیوم غشاء و شار خروجی در فشارهای مورد بررسی نشان داد که، فشار ۳۵۰ کیلوپاسکال به عنوان فشار مناسب و بهینه بوده است، زیرا در فشارهای پایین‌تر از آن میزان پس‌دهی کادمیوم و شار خروجی، کم و در فشارهای بالاتر از آن جهت بالا بردن درصد حذف کادمیوم، هزینه مصرف انرژی بالا می‌رود. در شکل (۴)، مقادیر درصد حذف کادمیوم و شار خروجی از غشاء در هر چهار فشار و در شکل (۵)، مقایسه کلی درصد حذف کادمیوم در فشارهای مختلف ارائه شده است. نتایج حاصل از شکل (۵) نشان داد که در ۷۲/۵ درصد فشارهای مورد بررسی، درصد حذف کادمیوم بالای ۹۸ درصد بوده است. البته باید توجه نمود که میزان فشار بهینه و در نتیجه راندمان حذف برای انواع سیستم‌های اسمز معکوس متفاوت است و این میزان بستگی به نوع غشاء سیستم اسمز معکوس، میزان قدرت پمپ سیستم و ... دارد. نتایج مطالعه حاضر در این مورد با نتایج آزمایشگاهی پژوهشگران دیگر مطابقت داشت.

شکل‌های (۶) و (۷) و نتایج حاصل از آزمایش pH نشان داد که در فشار بهینه ۳۵۰ کیلوپاسکال، pH حدود ۶/۸ حداکثر

1- Atomic Absorption Spectrometer

www.SID.ir

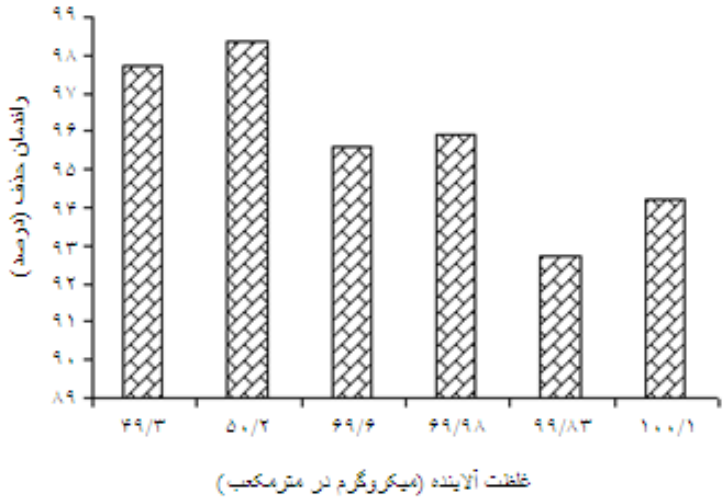
Archive of SID

راندمان حذف و شار خروجی را داشته اما با ادامه روند افزایش pH از حالت خنثی به حالت قلیایی یعنی در محدوده pH بین ۶/۸ تا ۸، میزان حذف تقریباً ثابت باقی مانده درحالی که شار خروجی روند نزولی داشته است. از آنجایی که در pHهای با بازه قلیایی، رسوب دهی نقش به سزایی در حذف یون‌های کادمیوم به فرم رسوب هیدروکسید کادمیوم ایفا می‌کند و بدین ترتیب سبب گرفتگی غشاءهای اسمز معکوس می‌گردد، لذا از انتخاب pHهای قلیایی برای آزمایش صرف نظر گردید و pH برابر ۶/۸ به عنوان pH بهینه انتخاب شد. در این مطالعه همچنین به منظور مقایسه کلی بین شارهای خروجی مختلف غشاء، از آزمون ناپارامتریک کروسکال‌والیس استفاده شد (شکل ۸). مطابق شکل (۸)، در ۷۳/۳۳ درصد نمونه های pH مورد بررسی، میزان شار خروجی در محدوده بالاترین میزان شار در شرایط بهینه آزمایش بوده است.

همچنین با استفاده از رسم نمودار نرمال Q-Q برای متغیر شار خروجی غشاء، مشاهده شد که داده‌ها تقریباً روی خط نرمال قرار داشتند (شکل ۹). مطابق این شکل، رابطه معنی داری بین شارهای خروجی غشاء در گروه های pH ذکر شده وجود داشت ($P< ۰/۰۵$). به منظور پیشگیری از تأثیر سمی و زیان آور فلز سمی و خطرناک کادمیوم در آب آشامیدنی بر سلامتی، میانگین غلظت کادمیوم در آب خروجی از دستگاه اسمز معکوس با استانداردهای پیشنهاد شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا، سازمان بهداشت جهانی و ایران مقایسه شد. نتایج مربوط به این مقایسه، در جدول (۲) ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، میانگین غلظت کادمیوم در آب خروجی از دستگاه، زیر حد مجاز استانداردهای ملی و بین المللی بوده است.

جدول۲- مقایسه میانگین غلظت کادمیوم در آب خروجی از دستگاه اسمز معکوس با استانداردهای ملی و بین المللی

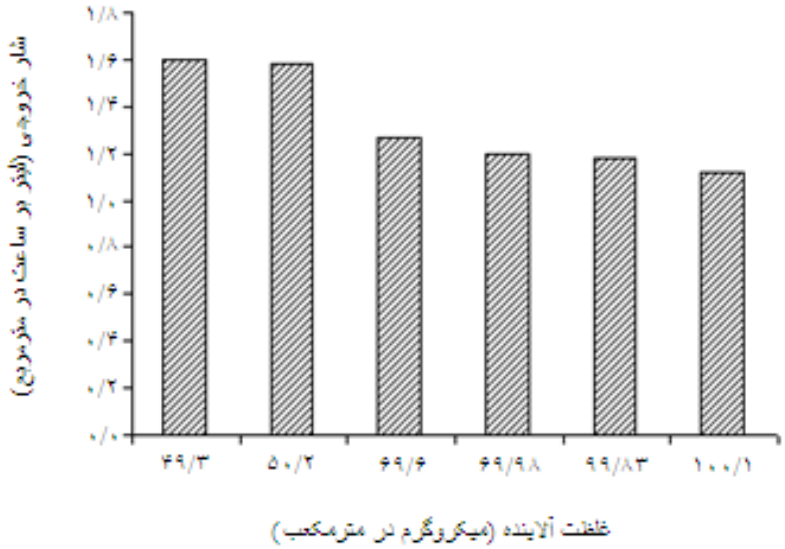
میانگین غلظت کادمیوم در آب خروجی از دستگاه اسمز معکوس (میکروگرم در مترمکعب)	میزان استاندارد جهانی (میکروگرم در مترمکعب)	مقایسه با حد استاندارد
۱/۲۹±۰/۱۲	سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا = ۵	کمتر از حد استاندارد
	سازمان بهداشت جهانی = ۲	کمتر از حد استاندارد
	ایران = ۳	کمتر از حد استاندارد



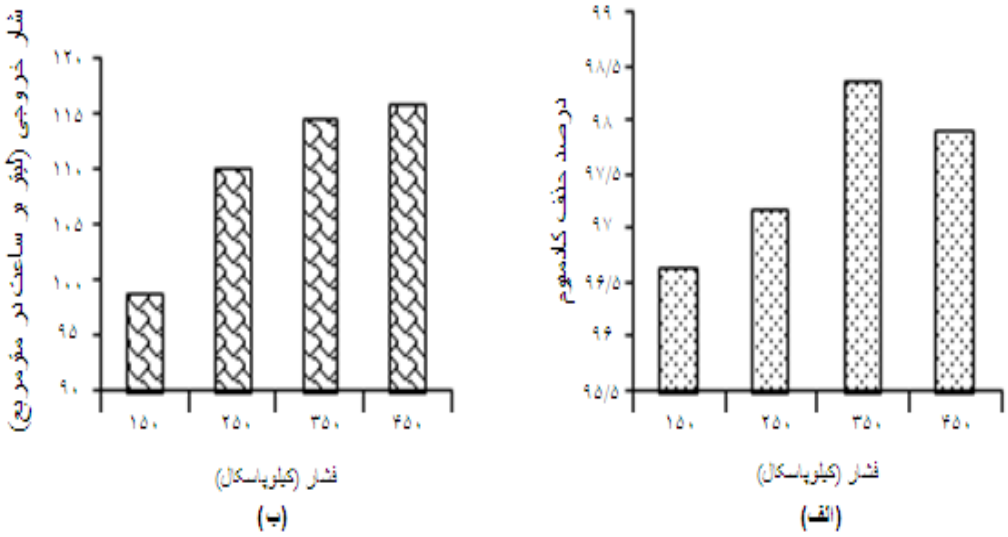
شکل۲- اثر غلظت اولیه آلاینده فلزی کادمیوم بر راندمان حذف (pH = ٦/٨)

www.SID.ir

Archive of SID



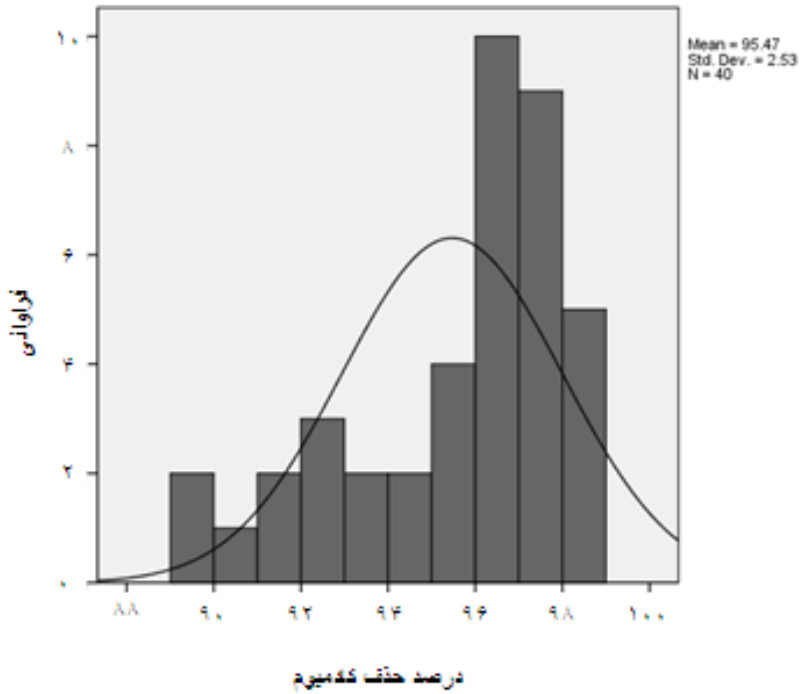
شکل۳- اثر غلظت اولیه آلاینده فلزی کادمیوم بر شار خروجی غشاء (pH = ٦/٨)



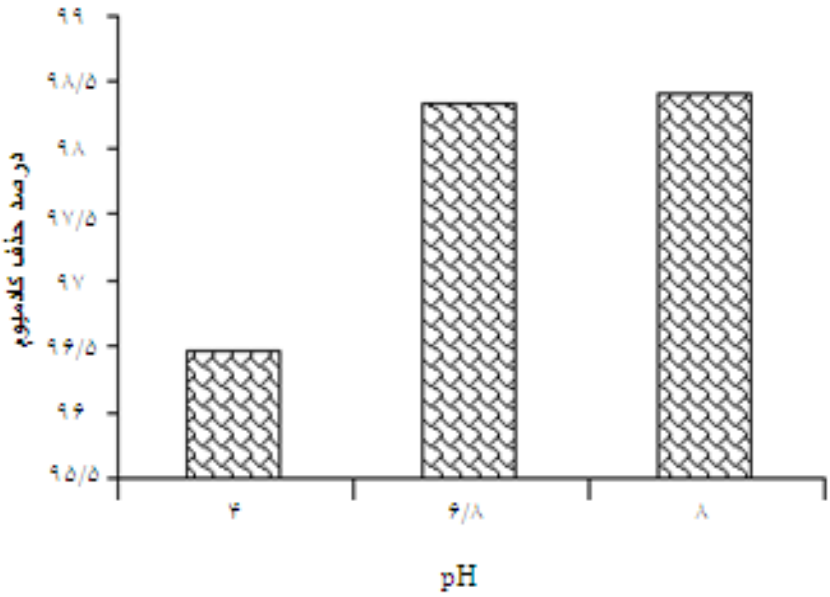
شکل٤- اثر فشار بر حذف کادمیوم (الف) و شار خروجی غشاء (ب)

www.SID.ir

Archive of SID



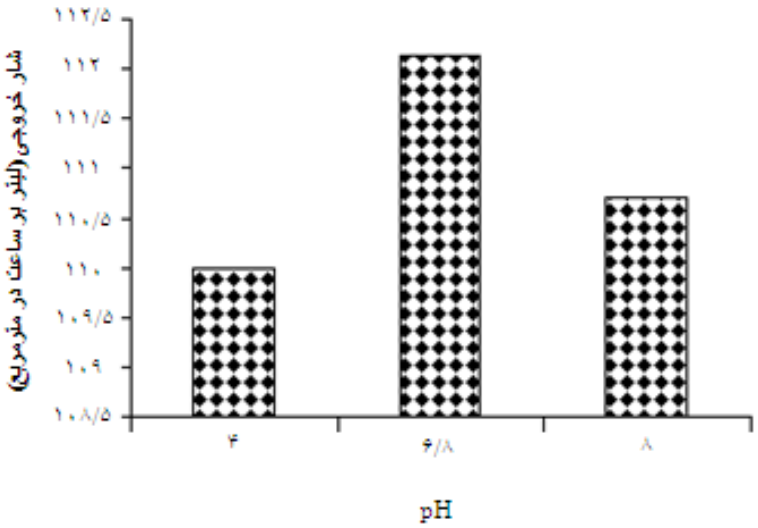
شکل۵- مقایسه کلی درصد حذف کادمیوم از نمونه‌های آبی متفاوت در فشارهای مختلف



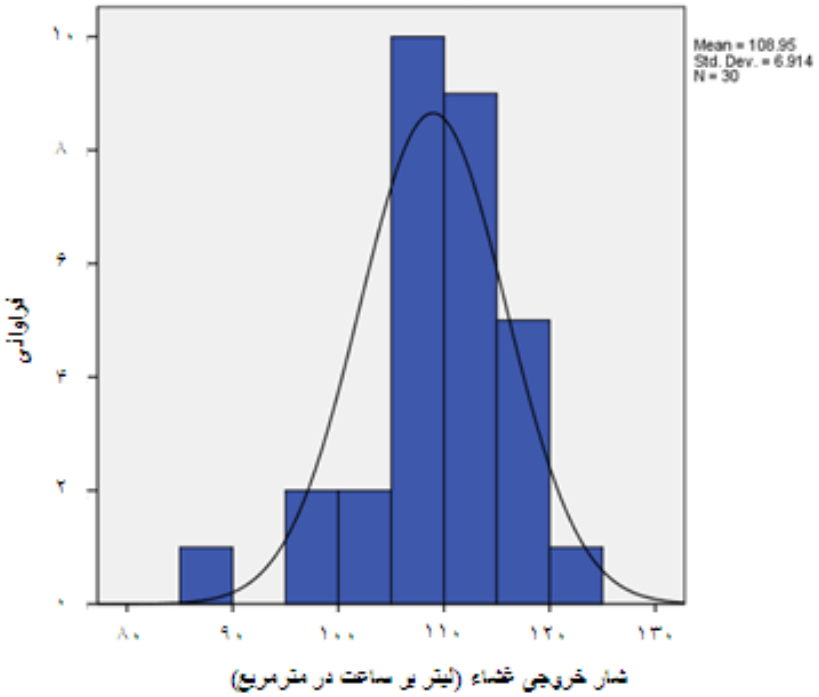
شکل٦- درصد حذف کادمیوم توسط غشاء بر حسب pH در فشار ۳۵۰ کیلوپاسکال

www.SID.ir

Archive of SID



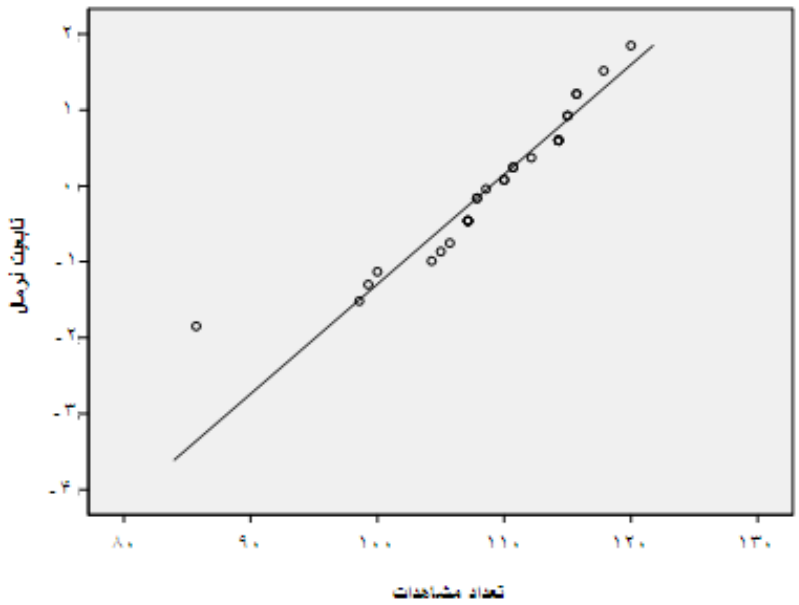
شکل۷- میزان شار خروجی غشاء بر حسب pH در فشار ۳۵۰ کیلوپاسکال



شکل۸- مقایسه کلی میزان شار خروجی غشاء دستگاه اسمز معکوس در pHهای مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۹- نمودار نرمال Q-Q برای شار خروجی غشاء

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بیش‌ترین درصد حذف کادمیوم و شار خروجی غشاء زمانی صورت گرفت که غلظت اولیه ۵۰ میکروگرم در مترمکعب، فشار ۳۵۰ کیلوپاسکال و pH در حدود ۶/۸ بود. در این شرایط بهینه، کارایی سیستم اسمز معکوس جهت حذف فلز کادمیوم، بالای ۹۸ درصد به‌دست آمد.

با افزایش غلظت کادمیوم در محلول ورودی به سیستم اسمز معکوس، درصد حذف کادمیوم تا حدودی کاهش یافت. به عبارتی بالارفتن غلظت کادمیوم می‌تواند در دراز مدت منجر به گرفتگی غشاء شود. این پدیده به پلاریزاسیون غلظتی موسوم است. در مطالعه فشار نیز باید توجه کرد که میزان فشار بهینه برای انواع سیستم‌های اسمز معکوس متفاوت است و این میزان بستگی به نوع ممبران سیستم، میزان قدرت پمپ و ... دارد. همچنین در بررسی pHهای محدوده قلیایی، به‌دلیل رسوب یون کادمیوم و احتمال ایجاد گرفتگی در غشاء، از ادامه آزمایش بر روی pHهای قلیایی صرف‌نظر گردید.

نتایج مقایسه میانگین غلظت کادمیوم در آب خروجی از دستگاه اسمز معکوس با حد مجاز استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا، سازمان بهداشت جهانی و ایران نشان داد که میانگین غلظت کادمیوم خروجی از دستگاه، پایین‌تر از حداکثر میزان قابل تحمل جذب در استانداردهای فوق بوده است. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده، در مجموع می توان بیان کرد که روش اسمز معکوس، یک روش بسیار مطلوب جهت حذف فلز کادمیوم در مناطق دارای آب آلوده به این فلز است و می‌تواند در مقیاس میدانی به عنوان یک گزینه مؤثر وکارآمد به کار گرفته شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مسئول و پرسنل محترم آزمایشگاه تجزیه دستگاهی سازمان حفاظت محیط زیست خوزستان به دلیل ارائه امکانات آزمایشگاهی کمال تقدیر و تشکر به عمل می آید.

منابع

۱- دیانتی تیلکی، ر. ع.، ناصری، س. و س. م. شریعت. ۱۳۸۱. بررسی میزان حذف کادمیوم از آب به وسیله کربن فعال دانه ای (GAC). مجله علمی-پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مازندران، (۳۷): ۱۹-۱۱.

۲- زمانی احمد محمودی، ر. ۱۳۸۷. تأثیر رژیم غذایی، مکان غذایابی و جنسیت بر تجمع جیوه در تعدادی از پرندگان تالاب شادگان، خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، ۷۱ صفحه.

۳- عرفان منش، م. و م. افیونی. ۱۳۸۸. آلودگی محیط زیست آب، خاک و هوا. انتشارات ارکان دانش، اصفهان، چاپ ششم، ۳۱۸ صفحه.

www.SID.ir

Archive of SID

۴- عموئی، ع.، محوی، ا.ح. و ک. ندافی. ۱۳۹۱. نقش ترکیبات شیمیایی بر میزان حذف و تثبیت فلزات سنگین در خاک و آلودگی منابع آب. دو ماه نامه علمی-پژوهشی فیض، ۱۶(۵): ۴۲۵-۴۲۰.

۵- مختاری، س.ا.، غلامی، م.، خطیبی، م. ش. و س.ح. میر حسینی. ۱۳۸۹. تأثیر پارامترهای غلظت، pH، دما و فشار بر حذف آرسنیک از آب آشامیدنی با استفاده از فرآیند اسمز معکوس. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، (۳): ۲۶۹-۲۶۱.

۶- مدائنی، س. س. و م. محراب‌زاده. ۱۳۸۱. بررسی خصوصیات غشاءهای تجاری اسمز معکوس. مجله مهندسی شیمی ایران، (۹): ۶۰-۴۹.

۷- مظفریان، ک.، مدائنی، س. س. و م. خشنودی. ۱۳۸۵. ارزیابی عملکرد فرآیند اسمز معکوس در حذف آرسنیک از آب. مجله آب و فاضلاب، (۶۰): ۲۲-۲۸.

8- Anonymous. 2011. Edition of the drinking water standards and health advisories. United States Environmental Protection Agency, 200-204.

9- Anonymous. 2008. Guideline for drinking-water quality. World Health Organization, Second addendum, Vol. 1, Recommendations, -3rd Ed.

10- Babatunde, A. O. and Y. Q. Zhao. 2007. Constructive approaches toward water treatment works sludge management: An international review of beneficial reuses', critical reviews in environmental. Science and Technology: 37(2):129-164.

11- Babel, S. and T. A. Kurniawan. 2003. Low-cost adsorbents for heavy metal uptake from contaminated water: A review. Journal of Hazardous Environmental Material, 97:219-243.

12- Byren, W. 2002. Reverse osmosis-a practical guide for industrial users. Tall Oaks Publishing, USA, 72: 84-97.

13- Debora, C. 1996. Water quality assessment. Second edition. London: E and FN Spon, 114: 449-451.

14- Dvorak, B. I. and S. O. Sharon. 2008. Drinking water treatment: Reverse osmosis. Institute of Agriculture and Natural Resources, 4.

15- Gupta, V. K. and A. Nayak. 2012. Cadmium removal and recovery from aqueous solutions by novel adsorbentsprepared from orange peel and Fe_2O_3 nanoparticles. Journal of Chemical Engineering, 180:81-90.

16- Gupta, V. K. and I. Ali. 2004. Removal of lead and chromium from wastewater using bagasse fly ash-a sugar industry waste. Journal of Colloid Interface Science, 262-271.

17- Kappor, A. 1998. Removal of heavy metals from aqueous solution by *aspergillus niger*. Ph.D. Thesis, University of Region, Saskatchewan, Canada.

18- Khoshnood, R. 2007. Rate accumulation of heavy metals (Ni, V, Cd, Pb, Hg) in two species of fish hoof Bandar Abas and Bandar Lengeh. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Ahwaz. (In Persian).

19- Mackenzie, L. D. and D. A. Cornwell. 1995. Introduction to environmental engineering. PWS publisher, Boston, Massachusetts, 200-204.

20- Mohan, D. and K. P. Sing. 2002. Single-and multi-component adsorption of Cadmium and Zinc using a activated carbon derived from bagasse-an agricultural waste. Journal of Water Research, 36(9):2304-2318.

21- Slater, C. S., Ferrari, A. and P. Wisniewsk. 1987. Removal of cadmium from metal processing wastewaters by reverse osmosis. Journal of Environmental Engineering, 22(8): 707-728.

22- Soares, M. C., Bertrand, M. A., Lemos, F. A. and I. O. Masson. 2005. Removal of Lead, Cadmium and Zinc from industrial effluents nanofiltration and reverse osmosis membranes. International Conference on Heavy Metals in the Environment, Jonho.

23- Townsend, T. G., Jang, Y. Ch., Jain, P. and Th. Tolaymat. 2001. Characterization of drinking water sludges for beneficial reuse and disposal, Florida center for solid and hazardous waste management. Kluwer, Dordrecht, 45(1): 1-89.

24- Wakley, J. J. 2000. Removal of heavy metals from waste water. Brigham Young Yniversity, 263.

www.SID.ir