

حذف آرسنیک از آب آشامیدنی با استفاده از فن آوری اسمز معکوس

دکتر میترا غلامی^۱، حامد محمدی^۲، سید احمد مختاری^۳

نویسنده مسئول: تهران، دانشگاه علوم پزشکی ایران، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط GolamiM@iums.ac.ir

دریافت: ۸۷/۶/۲۵ پذیرش: ۸۸/۵/۱۱

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی آرسنیک در آب آشامیدنی باعث به اثرات زیان آور در سلامت انسان می‌گردد. هدف از این پژوهش، ارزیابی کارایی فرآیند اسمز معکوس برای حذف آرسنیک در آب آشامیدنی، می‌باشد.

روش بررسی: روش انجام این پژوهش بر اساس داده‌های آزمایشگاهی و از نوع مطالعات تجربی بوده است. پژوهش در یک پایلوت غشایی اسمز معکوس از جنس پلی‌آمید با مدول مارپیچی مدل *TE ۲۵۲۱* ساخت شرکت *CSM* کره انجام گرفت. پس از آماده سازی محلول آرسنات سدیم در آزمایشگاه، عملکرد سیستم اسمز معکوس در حذف آرسنیک، بررسی شد. تاثیر تغییرات فشار، *pH* و دماهای مختلف با غلظت ورودی ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر، و سپس در غلظت‌های مختلف روی کارایی حذف آرسنیک مورد ارزیابی قرار گرفت. در هر حالت میزان فلاکس عبوری (جریان عبوری در واحد سطح) از غشا اندازه گرفته شد. اندازه‌گیری مقدار آرسنیک به روش نقره دی‌اتیل دی‌تیوکاربامات انجام شد و درصد حذف آن تعیین گردید.

یافته‌ها: نتایج حاصل نمایان‌گر شرایط بهینه‌ی عملکرد سیستم در فشار حدود ۱۹۰ پوند بر اینچ مربع، غلظت در محدوده‌ی ۰/۲ تا ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر، دما در محدوده‌ی ۲۵ تا ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و *pH* در محدوده‌ی ۶ تا ۸، می‌باشد. غلظت آرسنیک در آب ورودی به غشا، تاثیر چندانی در عملکرد سیستم و راندمان آن نداشت. افزایش دما موجب بهبود عملکرد سیستم و افزایش نسبی در راندمان آن شد. *pH* محلول ورودی تاثیر چندانی در فلاکس و عملکرد هیدرولیکی سیستم نداشت، لیکن راندمان حذف در *pH* های پایین به علت شکل یون‌های آرسنات موجود، نسبتاً کم بود.

نتیجه‌گیری: راندمان حذف آرسنیک در شرایط بهینه‌ی عملکرد سیستم، تا بیش از ۹۹ درصد می‌باشد.

واژگان کلیدی: حذف آرسنیک، تصفیه‌ی آب آشامیدنی، غشای صاف سازی اسمز معکوس (RO)

مقدمه

آرسنیک سومین عنصر گروه پنجم جدول تناوبی است. عدد اتمی آن ۳۳ و جرم اتمی آن ۷۴/۹۲ می‌باشد. این عنصر با ظرفیت‌های مختلف و نیز به صورت معدنی و آلی در طبیعت یافت می‌شود. میزان متوسط آرسنیک در پوسته‌ی

۱- دکترای تخصصی مهندسی بهداشت محیط، استادیار دانشگاه علوم پزشکی ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مربی دانشگاه علوم پزشکی زنجان

۳- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، معاونت بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی تبریز

می‌شود (۱۰). روش‌های مختلفی برای حذف آرسنیک و دستیابی به حدود تعیین شده در آب آشامیدنی وجود دارد که از بین آن‌ها می‌توان به انعقاد، صاف‌سازی، سبک‌سازی با آهک، آلومینای فعال، تبادل یون، فرآیندهای غشایی اشاره نمود که هر کدام مزایا و معایب خود را دارند (۱۱). هدف از این پژوهش، استفاده از فرآیند غشایی اسمز معکوس برای حذف آرسنیک از آب آشامیدنی می‌باشد. به این منظور تاثیر پارامترهای مختلف، نظیر غلظت آرسنیک، فشار، pH و دمای آب ورودی بررسی شده است.

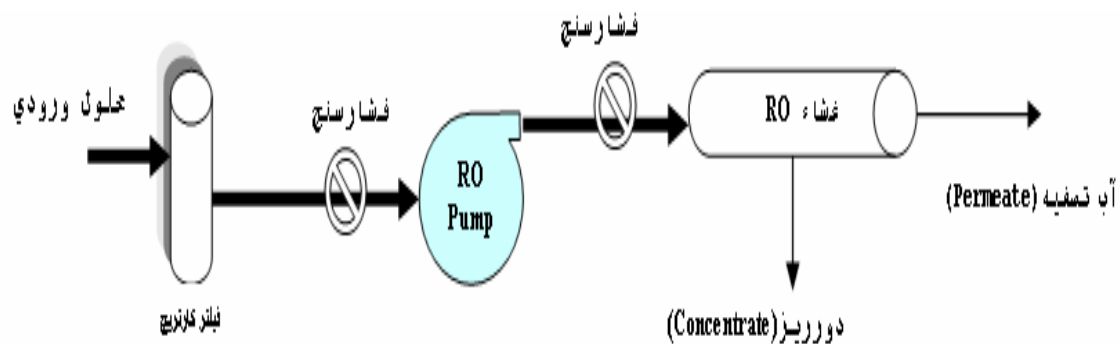
روش بررسی

روش انجام این پژوهش با توجه به ماهیت آن بر اساس داده‌های آزمایشگاهی و یک سیستم عملی و اجرایی از نوع مطالعات تجربی بوده است. روش آماری مورد استفاده به منظور تعیین تعداد نمونه‌ها، روش *irregular fraction design* از طریق نرم افزار *Design Expert Ver.7.0.1* بوده است. بر اساس متغیرهای وابسته و مستقل و با در نظر گرفتن $\alpha=0/05$ ، تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای آنالیز آماری چند متغیره (فشار، دما، pH و غلظت) برابر با ۲۴ نمونه بوده است، آزمایشات در هر دوره (Run) به صورت سه تایی (Triple) انجام شده است. (در مجموع ۷۲ نمونه بررسی شده است). تست‌های آماری انجام شده، رگرسیون و همبستگی می‌باشد. در مرحله‌ی اول پایلوت غشایی طراحی و ساخته شد. غشای مورد استفاده غشای مارپیچی اسمز معکوس (RO) (مدل TE ۲۵۲۱)، ساخت شرکت CSM کره می‌باشد. این غشا اصطلاحاً TFC نامیده می‌شود و از جنس پلی‌آمید (PA) با شارژ منفی است. طول غشا ۲۱ اینچ، قطر آن ۲/۵ اینچ، قطر لوله‌ی تغذیه ۰/۷۵ اینچ، و سطح فعال و موثر آن ۱/۱ مترمربع است. میزان فلاکس عبوری اسمی غشا، معادل ۱/۱ مترمکعب در روز می‌باشد. دیگر اجزای اصلی پایلوت عبارت از غشای اسمز معکوس،

زمین ۱/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده، معمولاً به صورت ترکیب با گوگرد و یا فلزاتی نظیر مس، کبالت، سرب، روی، و غیره یافت می‌شود. از این عنصر در کشاورزی، دامداری، پزشکی، الکترونیک، صنعت و متالورژی استفاده می‌گردد (۱). آرسنیک از طریق حل شدن کانی‌ها و مواد معدنی، تخلیه‌ی پساب‌های صنعتی وارد منابع آب می‌گردد. آرسنیک یک ماده‌ی سمی، تجمعی و بازدارنده‌ی آنزیم‌های گروه SH است. نوع آلی آن از شکل معدنی آن بسیار سمی‌تر است. همچنین آرسنیک سه ظرفیتی [آرسنیت (Arsenite)] در اکثر اوقات سمی‌تر از نوع پنج ظرفیتی [آرسنات (Arsenate)] آن می‌باشد (۱ و ۲). آلودگی آرسنیک در آب، به خصوص آب‌های زیرزمینی، به دلیل سمیت و مخاطره آمیز بودن آن، به عنوان یک مشکل اساسی در جوامع مختلف مطرح است. در آب‌های طبیعی مقدار آن در حد ۱ تا ۲ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است (۳). مصرف طولانی مدت این عنصر سبب ایجاد سرطان می‌شود (۴). بر اساس تقسیم‌بندی سازمان بین‌المللی تحقیقات سرطان [International Association on Research (IARC)] سرطان Cancer، ترکیبات غیرآلی آرسنیک در گروه ۱ (سرطان‌زا برای انسان) قرار دارند (۵). این عنصر به عنوان آلاینده‌ی مهم آب آشامیدنی به ویژه در نواحی آسیای جنوبی شناخته شده است. در این نواحی میلیون‌ها نفر در خطر ابتلا به بیماری‌های مرتبط با آرسنیک می‌باشند (۶). USEPA حد مجاز آرسنیک را حدود ۵ تا ۱۰ میکروگرم در لیتر ذکر کرده است (۷ و ۵). رهنمود WHO برای آرسنیک ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد (۸ و ۱). در حالی که حداکثر مجاز تعیین شده در استاندارد ایران ۵ میکروگرم در لیتر است (۹). به دلیل اینکه در آب‌های طبیعی حذف آرسنیت از آرسنات سخت‌تر است، بنابراین برای دستیابی به میزان بالای حذف از آب آشامیدنی، طی یک مرحله‌ی پیش تصفیه قبل از فرآیند اصلی حذف، آرسنیت به آرسنات اکسید شده، و سپس نسبت به حذف آرسنات اقدام

شماره ۱ دیاگرام جریان در پایلوت نشان داده شده است.

پمپ، الکتروموتور، بارومتر، مخزن آب ورودی و خروجی و فیلتر کارتريج می باشد در شکل



شکل ۱- دیاگرام جریان در پایلوت

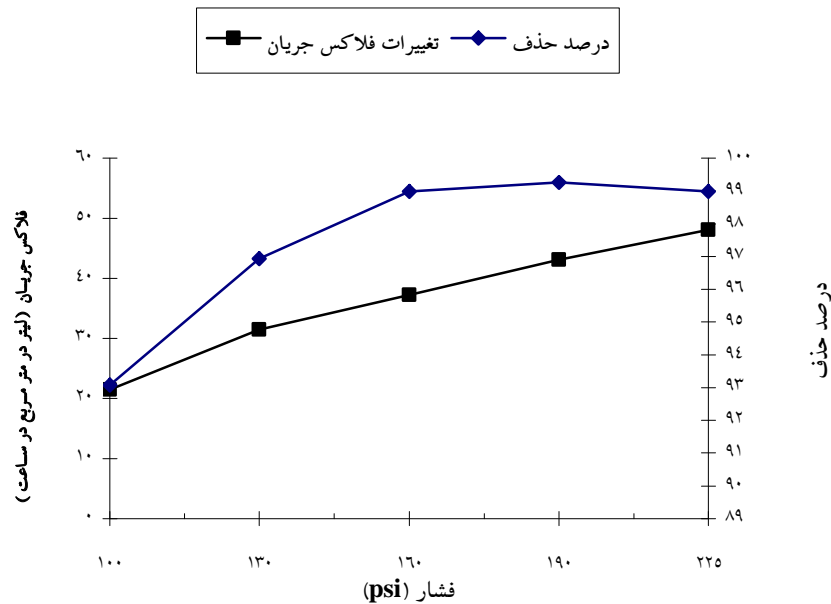
است که برای تعیین دبی ورودی از فلومتر استفاده شد. جهت محاسبه دبی خروجی، حجم مشخصی از جریان عبوری از غشا، در یک زمان مشخص توسط کورنومتر و استوانه ای مدرج اندازه گیری شد. راندمان سیستم، پس از تعیین غلظت محلول ورودی به غشا و غلظت خروجی محاسبه شد (۱۳). محلول ورودی با استفاده از آرسنات سدیم ($\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) در مخزنی از جنس پلی اتیلن به حجم ۲۰۰ لیتر در غلظت های ۰/۲، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی گرم در لیتر آرسنیک تهیه شد. روش اندازه گیری آرسنیک در نمونه های برداشتی از ورودی و خروجی، روش نقره دی اتیل دی تیوکاربامات می باشد (استاندارد متد AsB-۳۵۰۰). در تمام مراحل، میزان جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر پریکین-المر دبل بیم UV-VIS مدل ۵۵۰S ساخت آمریکا، خوانده شد، و راندمان حذف آرسنیک در شرایط مختلف بدست آمد (۱۴). در مرحله آخر، نمودارهای مربوط به کارایی و فلاکس جریان نسبت به هر یک از شرایط فوق رسم گردید.

پس از نصب و راه اندازی پایلوت، ابتدا فلاکس آب مقطر در فشارهای مختلف تعیین گردید. سپس با توجه به غلظت آرسنیک در آب آشامیدنی مناطق آلوده ی کشور، غلظت ۰/۲ میلی گرم در لیتر در نظر گرفته شد (۱۲) و از آب شهر، تهیه گردید. با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها، میزان فلاکس عبوری از غشا و درصد حذف آرسنیک در فشارهای عملیاتی مختلف ۱۰۰، ۱۳۰، ۱۶۰، ۱۹۰ و ۲۱۰ پوند بر اینچ مربع (Psi) اندازه گیری شد. در مرحله سوم، با تعیین فشار بهینه (۱۹۰ Psi)، تاثیر غلظت، دما و pH در کارایی حذف غشای بررسی شده، و pH، غلظت و دمای بهینه تعیین گردید. مقادیر pH محلول های تهیه شده، با استفاده از سود و اسید کلریدریک در pH های ۴، ۵/۵، ۷، ۸/۵ و ۱۰ تنظیم و تثبیت گردید. سایر پارامترها ثابت نگهداشته شدند. تغییرات دما با استفاده از هیتر ترموکوپل دار و دماسنج در دماهای ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی گراد تنظیم و تثبیت گردید. همچنین، با به دست آوردن دبی عبوری و با داشتن سطح فعال غشای ارائه شده توسط کارخانه ی سازنده، میزان فلاکس عبوری (Q/A) از غشا اندازه گیری شد. لازم به ذکر

یافته‌ها

با توجه به آزمایشات انجام شده و نتایج به دست آمده، شرایط بهینه‌ی سیستم در محدوده‌ی فشار ۱۹۰ psi ($\alpha=0/01$)، غلظت ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر ($\alpha=0/05$)، دما در محدوده‌ی ۲۵ تا ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، و ($\alpha=0/05$) و pH در محدوده‌ی ۶ تا ۸ بود. در نمودار ۱، تاثیر تغییرات فشار بر کارایی

غشا در حذف آرسنیک و همچنین فلاکس عبوری از غشا، با توجه به شرایط عملیاتی، آورده شده است. همان‌طوری که از نمودار مشخص است، با افزایش فشار، فلاکس جریان نیز افزایش می‌یابد. همچنین در فشار حدود ۱۹۰ تا ۲۱۰ پوند بر اینچ مربع، ماکزیمم راندمان حذف وجود دارد.

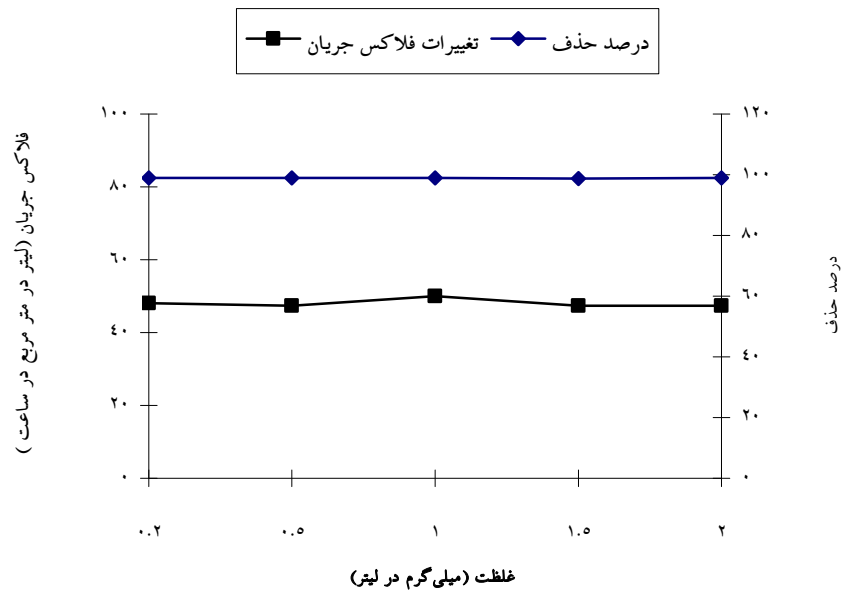


نمودار ۱: تغییرات فلاکس عبوری و راندمان حذف آرسنیک از محلول ورودی با تغییر فشار محلول ورودی توسط غشای اسمز معکوس

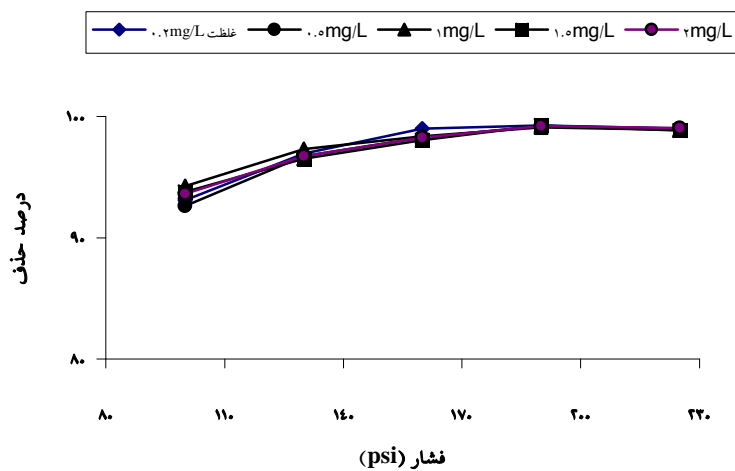
$$TE = 2521 (\text{mg/L}) \quad C_{As} = 0/2 \quad T = 25^{\circ}C \quad pH = 6/9$$

حذف آرسنیک ندارد، در محدوده‌ی غلظت‌های ۰/۲ تا ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر، بهترین عملکرد سیستم را با توجه به استانداردهای موجود خواهیم داشت. همچنین در نمودار ۳ عملکرد غشا با تغییر فشار و غلظت در حذف آرسنیک آورده شده است.

تاثیر غلظت بر راندمان حذف و فلاکس جریان در فشار عملیاتی ۱۹۰ psi، دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و pH معادل ۶/۹ بررسی شد. با توجه به نمودار ۲، ملاحظه می‌شود که تغییرات غلظت آرسنیک در محلول ورودی تاثیر قابل ملاحظه‌ای در میزان فلاکس و راندمان



نمودار ۲: تغییرات فلوکس عبوری و راندمان حذف آرسنیک از محلول ورودی با تغییر غلظت محلول ورودی توسط غشای اسمز معکوس
($pH = 6.9$, $T = 25^{\circ}C$, $P = 190 \text{ psi}$) $TE 2521$



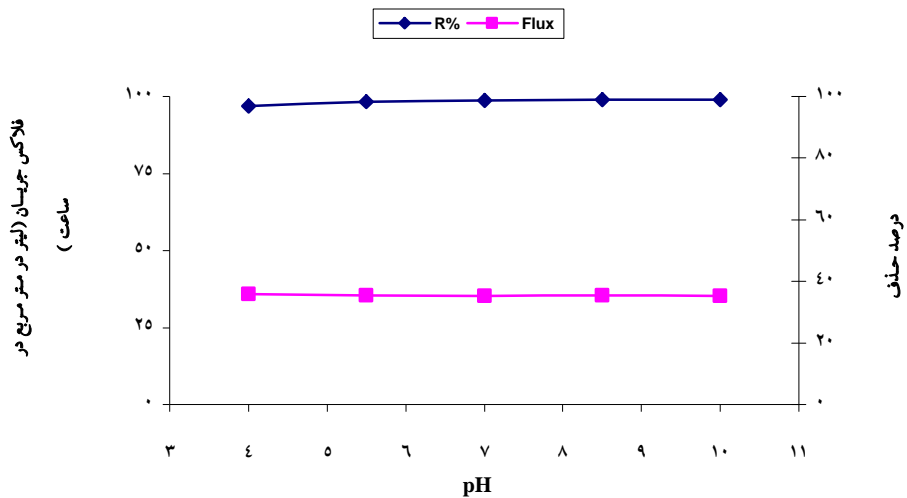
نمودار ۳: مقایسه‌ی راندمان حذف آرسنیک با تغییر فشار در غلظت‌های مختلف ورودی توسط غشای اسمز معکوس
($pH = 6.9$, $T = 25^{\circ}C$) $TE 2521$

به کار برده شد. با تغییر pH محلول ورودی تغییر چندانی در میزان فلوکس عبوری ایجاد نمی‌گردد، لیکن در محدوده‌ی pH

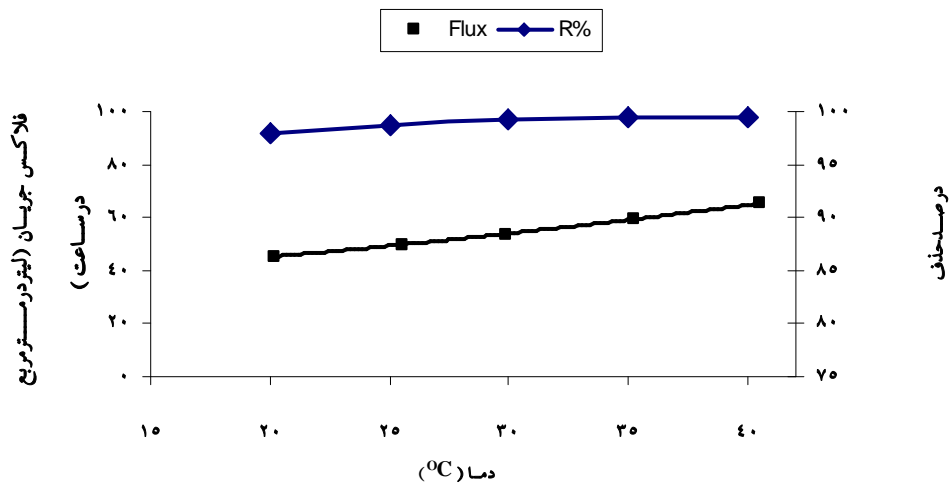
نمودار ۴ نشان دهنده‌ی تاثیر pH بر کارایی غشا جهت حذف آرسنیک می‌باشد. فشار عملکرد در هر حالت 200 psi

تغییرات pH در محدوده‌ی بیان شده چندان قابل ملاحظه نیست، می‌توان نتیجه گرفت که pH تاثیر چندانی در راندمان حذف ندارد.

بین ۴ تا ۶/۵ افزایش نسبی راندمان حذف را داریم و بعد از pH حدود ۶/۵ میزان حذف ثابت می‌ماند، و در محدوده‌ی ۶ تا ۸ حداکثر راندمان را خواهد داشت. با توجه به اینکه



نمودار ۴: تغییرات راندمان حذف آرسنیک و فلاکس عبوری از غشای اسمز معکوس TE ۲۵۲۱، با تغییر pH
($T = 20^{\circ}C$ $P = 200 \text{ psi}$ $C_{As} = 0.2 \text{ mg/L}$)



نمودار ۵: تغییرات راندمان حذف آرسنیک و فلاکس عبوری از غشای RO با تغییر دمای محلول عبوری
($pH = 7$ $P = 225 \text{ psi}$ $C_{As} = 0.2 \text{ mg/L}$)

فلاکس عبوری از غشای افزایش یافته و متعاقب آن راندمان حذف آرسنیک نیز افزایش خواهد یافت؛ به طوری که در

راندمان حذف آرسنیک با تغییرات دما در نمودار ۵ نشان داده شده است. با افزایش میزان دمای محلول ورودی، میزان

محدوده‌ی دمایی ۲۵ تا ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد حداکثر راندمان حذف ملاحظه می‌شود.

بحث

ارسنیک از سمومی است که از دو راه طبیعی، و صنعتی وارد محیط زیست می‌گردد. در حال حاضر با توجه به استانداردها و رهنمودهای WHO و EPA و پائین آمدن مقادیر استاندارد توصیه شده به میزان ۱۰ میکروگرم در لیتر، سازمان‌های تامین کننده‌ی آب آشامیدنی مجبور به پیروی از رهنمودها و استانداردهای تعیین شده خواهند بود (۷،۵ و ۸). لذا با تکنولوژی‌های موجود دستیابی به این استانداردهای جدید تا حد زیادی مشکل خواهد بود. یکی از روش‌های نوین تصفیه‌ی آب که امروزه در اکثر نقاط دنیا رو به گسترش بوده و قادر است حدود استانداردهای جدید تعیین شده را تامین نماید، استفاده از فرآیندهای غشایی می‌باشد که در این پژوهش مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دهنده‌ی آن است که فرآیندهای غشایی به خصوص اسمز معکوس، در حذف ارسنیک از آب آشامیدنی به طور قابل ملاحظه‌ای موثر است و راندمان حذف آن، در حدود ۹۵ تا ۹۹ درصد می‌باشد. مطالعات مختلفی روی این نوع غشا و انواع دیگر غشاهای صاف‌سازی انجام شده است. برای حذف ارسنیک از آب آشامیدنی از غشای اولترافیلتر نیز استفاده شده است، که این نوع غشا، تحت شرایط آزمایشگاهی، تنها قادر به حذف حدود ۱۰ درصد ارسنیک بوده است که برای افزایش کارایی آن، از کیتوسان و ترکیبات اسیدهیومیک برای چیلته شدن این فلز و در نتیجه بالا رفتن وزن مولکولی آن استفاده شده است، به این ترتیب، راندمان اولترافیلتر تا حدود ۶۵ درصد افزایش یافته است (۴). کارایی حذف ارسنات با استفاده از سیستم اولترافیلتراسیون که به آن انواع سورفکتانت‌های CPC (hexadecylpyridinium chloride)، و (hexadecyltrimethylammonium bromide) CTAB

ODA (octadecylamine acetate) اضافه شده است، نیز بررسی شده است، که نتایج نشان دهنده‌ی درصد حذفی به ترتیب برابر ۹۴،۹۶ و ۸۰ درصد بوده است (۱۵). روش‌های الکترو اولترافیلتراسیون نیز به کار برده شده است که کارایی حذف برای ارسنات، بسیار بالا بوده، و ارسنیت نیز بعد از تنظیم pH، حذف شده است (۱۶). از سایر فرآیندهای با پایه‌ی غشایی نیز برای این منظور استفاده شده است (۱۷). به عنوان مثال از سیستم نانوفیلتراسیون با فشار پایین استفاده شده است که درصد حذف ارسنیک توسط آن ۹۴ درصد بدست آمده است (۱۸). برای آب آشامیدنی شهرها و صنایع، و همچنین آب‌های سطحی و زیرزمینی هم از نانوفیلتراسیون استفاده شده، که راندمان قابل قبولی جهت حذف ارسنیک داشته است (۱۹).

عملکرد فرآیند نانوفیلتراسیون با صافی‌های ماسه‌ای تند نیز برای حذف ارسنیک بکار رفته است که نتایج نشان دهنده‌ی آن است که در غلظت زیر ۵۰ میکروگرم ارسنیک، بدون توجه به کدورت، این فرآیند قادر به کاهش آن تا حد رسیدن به رهنمود WHO است. از طرف دیگر، نانوفیلتر می‌تواند تا ۹۵ درصد ارسنات و ۷۵ درصد ارسنیت را حذف کند، در حالی که صافی ماسه‌ای تند قادر به حذف ارسنیت نمی‌باشد (۸). از انواع دیگر نانوفیلتراسیون با قطر منافذ مختلف نیز استفاده شده است و در آن تغییرات pH، غلظت ارسنیک ورودی و حضور الکتروولت بررسی شده است. نتیجه‌ی به دست آمده نشان دهنده‌ی راندمان حذف بالای ۸۰ درصد است (۲۰). به منظور حذف ارسنیک، از غشاهای رسی (مونتموریلونیتو کائولینیت) استفاده شده، در آن توانایی این نوع غشا، برای حذف ارسنیک در غلظت‌های مختلف و قدرت یونی کنترل شده با کلرید سدیم مورد ارزیابی قرار گرفته، راندمان به دست آمده، بیش از ۹۰ درصد بوده است (۲۱). غشای مورد استفاده دیگر جهت این منظور، مدول غشایی ZW-1000 همراه با پیش تصفیه‌ی اکسیداسیون با پرمنگنات و انعقاد بوده

افزایش غلظت، تاثیر زیادی بر میزان فلاکس نفوذی و راندمان حذف نداشته، و ثابت باقی می ماند (۱۳). همان طوری که در نمودار ۴ مشاهده می شود، pH تاثیر چندانی در راندمان حذف ندارد. تغییرات مختصر ملاحظه شده، مربوط به تغییر شکل آنیون های آرسنیک موجود در محلول و بار آنهاست. در محدوده ی pH ، ۴ تا ۱۰، یون های ۵ ظرفیتی آرسنات به اشکال H_2AsO_4^- و HAsO_4^{2-} می باشند. به طوری که تا pH ۶/۷ به شکل H_2AsO_4^- و بعد از آن به صورت HAsO_4^{2-} می باشد (۲۶). از طرفی با توجه به این که غشای RO مورد استفاده دارای شارژ منفی می باشد، لذا طبیعی است که در محدوده ی pH پایین تر از ۶/۷، نسبت به pH های بالاتر، به مقدار کمتری حذف گردد. در ضمن باید به این مسئله توجه داشت که میزان بار سطحی غشا، تابع جنس غشا و نیز pH و قدرت یونی محلول مجاور با غشا است. بیشترین میزان فلاکس نفوذی و نیز بیشترین میزان قدرت نگهدارندگی غشا را زمانی می توان انتظار داشت که بار الکتریکی سطح غشا با بار الکتریکی مولکول های حل شده هم نام باشد (۱۳). در رابطه با تاثیر دما، با توجه به نمودار ۵، با افزایش دمای محلول ورودی به غشا در ابتدا میزان فلاکس عبوری افزایش می یابد. البته تغییرات فلاکس جریان تا محدوده ای ادامه می یابد، سپس منحنی به صورت خط افقی در می آید. به عبارتی جنس غشا، عامل محدود کننده ی تاثیر دما روی افزایش فلاکس می باشد. از طرف دیگر، افزایش دما به طور معمول باعث کاهش ویسکوزیته ی سیال و افزایش نفوذپذیری می گردد و این امر به افزایش فلاکس نفوذی کمک می کند (۱۳ و ۲۵).

نتیجه گیری

با توجه به مطالعه ی حاضر می توان نتیجه گیری نمود که از بین غشاهای مختلف، اسمز معکوس بهترین راندمان را برای حذف آرسنیک دارا می باشد و راندمان حذف آرسنیک در

است که برای تصفیه ی آب چاه با میزان آرسنیک ۲۰۰ تا ۳۰۰ میکروگرم در لیتر استفاده شده است. با کمک این روش، میزان حذف به حد استانداردهای موجود رسیده است (۲۲). از روش های دیگر حذف آرسنیک، استفاده از روش انعقاد اصلاح شده با یون های آهن و کلسیت درشت دانه، و متعاقب آن حذف لخته توسط غشای میکروفیلتراسیون بود. با این روش سرعت ته نشینی افزایش یافته، و راندمان حذف تا بیش از ۹۹ درصد افزایش می یابد (۲۳ و ۲۴). با توجه به نتایج به دست آمده در نمودار ۱، با افزایش فشار نمونه ی ورودی به غشا، میزان فلاکس جریان عبوری از سطح غشا، و همچنین درصد حذف آرسنیک افزایش می یابد ($r=0/878$ ، $\alpha=0/01$). دلیل افزایش فلاکس با افزایش فشار، غلبه ی فشار اعمال شده بر فشار اسمزی محلول ورودی می باشد. همچنین دلیل افزایش میزان حذف با افزایش فشار، کاهش قطر منافذ سطح غشا به واسطه ی تجمع آرسنیک، نسبت به زمان است.

لازم به ذکر است که TDS آب ورودی هر چه بالاتر باشد، نیروی مولکولی بالایی را خواهد داشت و پیش از آن که مولکول های آن شروع به جدا شدن از آب نموده، و از مقطع غشا عبور کنند، این نیروهای مولکولی باید توسط فشار محلول ورودی شکسته شوند. هر ۱۰۰ میلی گرم در لیتر از TDS نیازمند ۱ psi فشار برای غلبه بر فشار اسمزی می باشد (۲۵). با توجه به نمودار ۳ و ۲، افزایش غلظت تاثیر چندانی در افزایش فلاکس جریان و درصد حذف ندارد ($\alpha=0/05$ ، $r=0/307$). از طرف دیگر، غلظت ورودی به طور معمول باعث کاهش فلاکس نفوذی در فرآیند صاف سازی غشا می گردد و در برخی موارد رفتار تغییرات فلاکس با غلظت همانند پیش بینی های اغلب مدل های پلاریزاسیون غلظتی به صورت لگاریتمی می باشد. به عبارت دیگر، بین فلاکس و لگاریتم غلظت ورودی رابطه ی خطی مشاهده می شود. چنین رابطه ای عمدتاً در شرایطی حاصل می گردد که سرعت جریان ورودی از روی سطح غشا نسبتاً کم باشد. در سرعت های زیاد

خدمات بهداشتی - درمانی ایران انجام گردیده است که به این وسیله، نویسندگان مقاله، مراتب تقدیر و تشکر خود را از مسئولین آن مرکز و کلیه‌ی پرسنل محترم آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشکده‌ی بهداشت ابراز می‌دارند.

شرایط بهینه‌ی عملکرد سیستم (فشار ۱۹۰ psi، دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و pH ۶/۹) تا بیش از ۹۹ درصد می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی و

منابع

- 1- WHO. Guidelines for drinking water quality, recommendations. WHO. 2004; 306-8.
- 2- WHO, Environmental Health Criteria, arsenic and arsenic compounds. WHO. 2001.
- 3- Choong TSY, Chuah TG, Robiah Y, Koay FLG, Azni I. Arsenic toxicity, health hazards and removal techniques from water: an overview. *Desalination*. 2007; 217: 139-66.
- 4- Lin CF, Wu CH, Lai HT. Dissolved organic matter and arsenic removal with coupled chitosan/UF operation. *Separation and Purification Technology*. 2008; 60: 292-98.
- 5- Shih MC. An overview of arsenic removal by pressure-driven membrane processes. *Desalination*. 2005; 172: 85-97.
- 6- Garelick H, Dybowska A, Valsami-Jones E, Priest ND. Remediation technologies for arsenic contaminated drinking waters. *J Soils Sediments*. 2005; 5: 182-90.
- 7- Brandhuber P, Amy G. Alternative methods for membrane filtration of arsenic from drinking water. *Desalination*. 1998; 117: 1-10.
- 8- Sato Y, Kang M, Kamei T, Magara Y. Performance of nanofiltration for arsenic removal. *Water Res*. 2002; 36: 3371-7.
- 9- Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Physical and chemical characteristic of drinking water. Iran: Institute of Standards and Industrial Research Pub; 1997.
- 10- Bissen M, Frimmel FH. Arsenic—a review. Part II: Oxidation of arsenic and its removal in water treatment. *Acta Hydrochimica Et Hydrobiologica*. 2003; 31: 97-107.
- 11- Kartinen EO, Martin JC. An overview of arsenic removal processes. *Desalination*. 1995; 103: 79-88.
- 12- Mosaferi M. Arsenic present in Kurdistan province drinking water [dissertation], Tehran: Tehran University of Medical Sciences; 2002.
- 13- Gholami M, Nasserli S, Alizadeh-Fard M, Matssura T, Feng C, Kulbi M. Textile dye removal by membrane technology and biological oxidation. *Water Qual Res J Canada*. 2003; 38: 379-91.
- 14- APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for Water and Wastewater Examination. 2001.
- 15- Iqbal J, Kim HJ, Yang JS, Baek K, Yang JW.

- Removal of arsenic from groundwater by micellar-enhanced ultrafiltration (MEUF). *Chemosphere*. 2007; 66: 970-6.
- 16- Weng YH, Chaung-Hsieh LH, Lee HH, Li KC, Huang CP. Removal of arsenic and humic substances (HSs) by electro-ultrafiltration (EUF). *J Hazardous Materials*. 2005; 122: 171-6.
- 17- Volchek K. New membrane-based processes remove arsenic from water: Aquatic Arsenic Toxicity And Treatment. Ottawa: Backhuys Pub; 2003.
- 18- Nguyen TV, Vigneswaran S, Ngo HH, Pokhrel D, Viraraghavan T. Specific treatment technologies for removing arsenic from water. *Eng Life Sci*. 2006; 6: 86-90.
- 19- Van der Bruggen B, Vandecasteele C. Removal of pollutants from surface water and groundwater by nanofiltration: overview of possible applications in the drinking water industry. *Environ Pollut*. 2003; 122: 435-45.
- 20- Vrijenhoek EM, Waypa JJ. Arsenic removal from drinking water by a "loose" nanofiltration membrane. *Desalination*. 2000; 130: 265-77.
- 21- Fang J, Deng BL, Whitworth TM. Arsenic removal from drinking water using clay membranes. *Advances In Arsenic Research Book Series. ACS Symp Ser Am Chem Soc*. 2005; 915: 294-305.
- 22- Floch J, Hideg M. Application of ZW-1000 membranes for arsenic removal from water sources. *Desalination*. 2004; 162: 75-83.
- 23- Song S, Lopez-Valdivieso A, Hernandez-Campos DJ, Peng C, Monroy-Fernandez MG, Razo-Soto I. Arsenic removal from high-arsenic water by enhanced coagulation with ferric ions and coarse calcite. *Water Res*. 2006; 40: 364-72.
- 24- Hana B, Runnellsb T, Zimbronb T, Wickramasinghea R. Arsenic removal from drinking water by flocculation and microfiltration. *Desalination*. 2002; 145: 293-98.
- 25- Takashi A. Wastewater reclamation and reuse. India: Technomic Pub Co; 1998.
- 26- Kang M, Kawasaki M, Tamada S, Kamei T, Magara T. Effect of pH on the removal of arsenic and antimony using reverse osmosis membranes. *Desalination*. 2000; 131: 293-8.

Application of Reverse Osmosis Technology for Arsenic Removal from Drinking Water

Golami M¹, Mohammadi H², Mokhtari SA³

¹Faculty of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

²Faculty of Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran.

³Health Deputy, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

Corresponding Author: Golami M, Faculty of Public health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

E-mail: GolamiM@Iums.ac.ir

Received: 15 Sep 2008 **Accepted:** 2 Aug 2009

Background and Objective: Arsenic (As) is a highly toxic metalloid found in ground and surface waters. Arsenic contamination in drinking water leads to harmful effects on human health. In this study, the efficacy of Reverse Osmosis (RO) membrane technology was evaluated for arsenic removal from drinking water.

Materials and Methods: This experimental study was carried out on RO membrane spiral- wound module (model: 2521 TE, CSM Co. Korea) in pilot scale. After preparation of sodium arsenate solution in the laboratory, performance of RO membrane system in arsenic (As) removal was investigated. Experiments were conducted with five different pressures (100, 130, 160, 190, 210 Psi), pH (4, 5.5, 7, 8.5, 10), temperature (20, 25, 30, 35, 40°C) and an initial As concentration of 0.2 mg/L. The influence of different feed concentrations (0.2, 0.5, 1, 1.5, 2 mg/L) on As removal efficiency was also examined. In each step, flux was measured and after 30 minutes samples were taken. Arsenic amount in feed and permeate were measured by silver diethyldithiocarbamate (AgDDTC) method.

Results: The results of this study demonstrated that greater than 90% of As can be eliminated from drinking water. Also the results showed that the pressure of 190 psi, As concentration of 0.2-0.5mg/L, temperature of 25-30°C and pH = 6-8 were the optimal conditions.

Conclusion: Arsenic removal efficiency in optimal conditions of system performance was up to 99%.

Key words: Arsenic removal, Drinking water treatment, Reverse osmosis membrane filtration