کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
دانشگاه تهران، تهران
۲۶ و ۲۷ بهمن‌ماه ۱۳۹۵

1197P-NWWCE

مقایسه روش‌های اسمزمعکوس و الکترودیالیز در تصفیه آب

فرشته دوربین[۱]، علی شهیدی[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زه‌کشی، دانشگاه بیرجند

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

f.doorbin72@gmail.com

خلاصه

با توجه به کمبود آب در جهان روش‌های متعددی برای جداسازی نمک‌های محلول از آب‌های لب‌شور و آب دریاها ارائه شده است که از این بین می‌توان به روش‌های غشایی شامل الکترودیالیز و اسمزمعکوس اشاره کرد. اسمزمعکوس اساساً یک فرایند غشایی نفوذی است که بر اساس نیرو محرکه فشاری عمل می‌کند فرایند اسمزمعکوس، قادر به حذف جامدات حل‌شده، باکتری‌ها، ویروس‌ها و سایر مواد میکروبی داخل آب می‌باشد و عمدتاً این فرایند برای شیرین سازی آب دریا مورد استفاده قرار می‌گیرد اما عامل تصفیه در الکترودیالیز جریان برق مستقیم است و در این فرایند تنها می‌توان یون‌های آب را کاهش داد به عبارت دیگر اساس این روش جداسازی ذرات باردار است و تنها برای آب‌های لب‌شور کاربرد دارد. در این مقاله با عنایت به نتایج حاصله از مطالعات و تحقیقات روز دنیا در راستای انتخاب روش بهینه سیستم تصفیه آب، از بین سیستم‌های نمک‌زدایی اسمزمعکوس و الکترودیالیز مقایسه‌ای فنی بین این سیستم‌های نمک‌زدایی که پرکابردترین سیستم‌های نمک‌زدایی دنیا می‌باشند، انجام شده است و نتایج بدست آمده به این صورت است که با توجه به اینکه روش الکترودیالیز دارای راندمان نمک‌زدایی بالاتر، گرفتگی غشاء کمتر و پیش‌تصفیه کمتری نسبت به روش اسمزمعکوس است بنابراین توصیه می‌شود از روش الکترودیالیز برای تصفیه آب استفاده کنیم.

کلمات کلیدی: اسمز معکوس، الکترودیالیز، روش غشایی، شوری‌زدایی، غشاء

۱. مقدمه

نیاز به آب در سرتاسر دنیا هم به دلیل رشد جمعیت و هم به دلیل رشد صنعت به‌طور فزاینده‌ای افزایش یافته است و منابع آب به‌سرعت در حال تهی شدن می‌باشند .از سال ۱۹۹۰ بیش از ۸۰ کشور با مشکل کمبود آب مواجه هستند، این در حالی است که بیش از ۷۰ درصد سطح زمین پوشیده از آب است که ۹۷/۵ درصد آن را اقیانوس‌ها تشکیل می‌دهد و تنها یک درصد از این منابع جهت استفاده، مناسب می‌باشد [۱]. کشور ایران با میانگین بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر در سال یکی از کشورهای کمربند خشک کره زمین است. در حالی که میانگین بارندگی کشور از یک سوم میانگین بارندگی جهان کمتر است، فقدان بارندگی مناسب در سال‌های اخیر مشکل آب را در سطح کشور بیش از هر زمانی حاد کرده است [۲]. بر اساس گزارش منتشر شده از موسسه پاسیفیک اوکلند کالیفرنیا در صورت عدم اتخاذ تصمیمی پیشگیرانه، بیش از ۷۶ میلیون نفر در سال ۲۰۲۰ در اثر بیماری‌های ناشی از آب‌های آلوده جان خود را از دست خواهند داد و بیماری‌های ناشی از آب‌های آلوده بیشتر از ایدز سلامت جامعه جهانی را تهدید می‌نماید لذا استفاده از فن‌آوری‌ها و راهکارهای نوین جهت تهیه آب شیرین امری ضروری محسوب می‌شود [۳].

روش‌های متعددی برای جداسازی نمک‌های محلول از آب ارائه شده است که می‌توان آن‌ها را در دو گروه اصلی فرآیندهای غشایی و فرآیندهای حرارتی تقسیم‌بندی نمود. این تقسیم‌بندی بر اساس مکانیزم‌های مورد استفاده در جداسازی جامدات محلول از آب است. از این بین می‌توان به روش‌های غشایی شامل الکترودیالیز و اسمزمعکوس اشاره کرد.[۴].

فرآیند غشایی دارای مزایای متنوع زیر می‌باشد:

۱. صرفه‌جویی در مصرف انرژی به دلیل عدم تغییر فاز
۲. کاهش فضای مورد نیاز به علت کم حجم بودن مدولهای غشایی

۳. سریع تر بودن فرآیند به دلیل نازک بودن غشاء وبالا بودن سرعت انتقال جرم درآن
۴. توانایی انجام دردمای پایین که مزیت بالایی برای محلولهای حساس به گرماست
۵. پایین بودن هزینه سرمایه گذاری درمقایسه با سایر روشها درسطح جهانی
۶. سهولت درگسترش دادن سیستم [۵].

از میان روش های غشایی اسمز معکوس و الکترودیالیز معمول ترین روش ها برای شیرین سازی آب است انرژی مصرفی در این روشها به مقدار یونی بستگی دارد که باید جدا شود [۶].

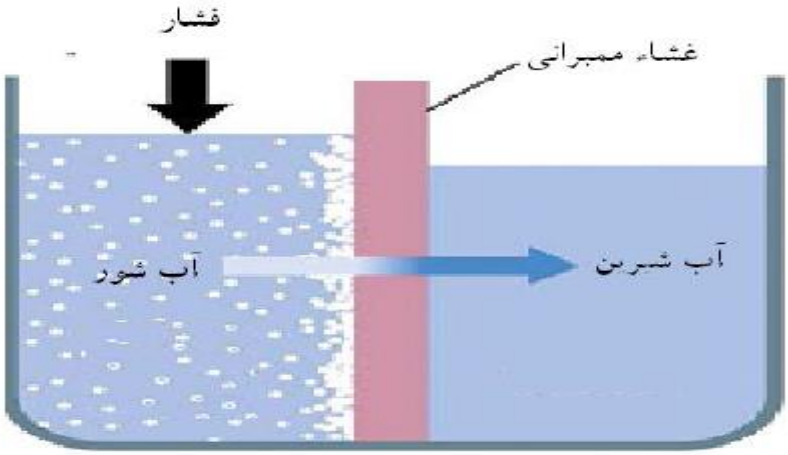
۲. مروری بر کارهای گذشته

آب دریا ترکیبات شیمیایی پیچیده‌ای دارد که بیش از ۷۰ درصد عناصر شیمیایی را شامل می‌شود. اغلب عناصر با غلظت‌های بسیار کم وجود دارند در حالی که ۹۹٪ جامدات محلول را ۸ عنصر تشکیل می‌دهد. این عناصر در آب دریا بصورت با یونی مثبت یا منفی حضور داشته و در اصطلاح عمومی نمک نامیده می‌شوند [۷]. در نمک‌زدایی آب دریا، غلظت یون‌ها به صورت جداگانه مورد نظر نیست، بلکه مجموع شوری مهم است [۸].

۱،۲. روش اسمزمعکوس

اگر یک غشاء نیمه تراوا بین دو محلول با غلظت های متفاوت قرار گیرد، یک اختلاف پتانسیل شیمیایی در سرتاسر غشاء وجود دارد بنابراین آب تمایل دارد تا از طرف (غلظت کمتر) پتانسیل بالاتر (به طرف غلظت بیشتر) پتانسیل کمتر غشاء انتشار یابد. این جریان تا زمانی ادامه می یابد تا به حالت تعادل برسد یعنی بین اختلاف فشار و اختلاف پتانسیل شیمیایی تعادل برقرار گردد .این تعادل اختلاف فشار را فشار اسمزی می نامند .فشار اسمزی به غلظت و خصوصیات جزء حل‌شده یا ناخالصی و دما بستگی دارد .اعمال فشار در جهت مخالف و بیش از فشار اسمزی موجب عبور آب از میان غشاء در خلاف جهت اسمز خواهد شد به عبارتی جریان از طرف غلیظ تر به طرف غلظت کمتر از میان غشاء عبور می‌کند که این پدیده را اسمز معکوس می نامند [۹].

اساس این روش بر اساس فرایند اسمز است. زیرا در فرایند اسمز، آب در برابر یک غشای نیمه تراوا از غلظت کمتر به غلظت بیشتر حرکت می‌کند. در روش شوری‌زدایی اسمزمعکوس، به علت فشار ورودی به آب شور، آب از غلظت بیشتر به غلظت کمتر می‌رود و حرکت عمودی آب بر خلاف شیب غلظت املاح و جهت طبیعی اسمز است. در نتیجه، آب خالص از غشاء عبور کرده و املاح در طرف دیگر غشاء باقی می‌مانند. نمای این روش در شکل۱ نشان داده شده است [۱۰].



شکل ۱- نمایی از شوری زدایی به روش اسمز معکوس [۱۰]

کیفیت آب ایجاد شده در مراحل شوری زدایی وابسته به کیفیت آب ورودی و فشار وارد شده به سیستم است. در این روش، هر چه غلظت املاح آب بیشتر باشد فشار مورد نیاز برای شوری زدایی نیز بیشتر خواهد شد. بنابراین برای شوری زدایی آب‌های لب شور فشار مورد نیاز حدود ۱۵ تا ۲۵ بار و برای شیرین سازی آب دریا حدود ۵۴ تا ۸۰ بار می‌باشد. در این روش فقط، بخشی از آب شور شیرین می‌شود و به‌طور متوسط راندمان شوری زدایی آب دریا در آن حدود ۴۰ درصد می‌باشد [۱۱،۱۲،۱۳].

تقریبا تمامی غشاهای اسمز معکوس، از جنس پلیمرهایی با ترکیبات پلی‌آمیدی و استات سلولز می‌باشند. غشاهای فرآیند اسمز معکوس معمولا در دو نوع غشاهای نامتقارن و غشاهای کامپوزیتی نازک فیلمی هستند. این غشاها، کوچکترین ساختار حفرات را با اندازه قطر حفرات در محدوده ۰,۵ تا ۱,۵ نانومتر را دارا هستند. در این غشاها بیشتر از ۹۵ تا ۹۹ درصد از نمک‌های معدنی و ترکیبات آلی باردار شده به دلیل دافعه بار الکتریکی سطح غشاء، دفع می‌شوند. کاربرد این روش در صنایع آب آشامیدنی، صنایع غذایی، صنایع الکترونیکی، کاغذسازی و بسیاری از موارد دیگر است [۱۴].

اولین مرحله فرایند یک سیستم اسمز معکوس پیش تصفیه می‌باشد. پیش تصفیه برای سیستم‌های اسمز معکوس معمولا شامل مراحلی نظیر کلرناسیون برای جلوگیری از خطر بیوفولینگ آب، فیلتراسیون از درون فیلترهای مولتی مدیا برای حفاظت غشاها و پمپ‌های فشار قوی از ذرات معلق، کلرناسیون برای حذف مواد اکسنده استفاده شده برای ضد عفونی، تزریق مواد ضد رسوب و تزریق اسید برای جلوگیری از فولینگ غشاها و فیلتراسیون از درون فیلترهای کارتریج برای حفاظت پمپ‌های فشار قوی و غشاها از ذرات معلق، می‌باشد. بعد از پیش تصفیه آب با فشار به درون محفظه‌ای که درون آن غشاء قرار دارد، رانده می‌شود. بخشی از آب از غشاء عبور می‌کند و از آنجاییکه فقط آب خالص می‌تواند از غشاء عبور کند، به این ترتیب آب خالص تولید می‌گردد. بخشی از آب که ناخالصی‌های در آن تغلیظ شده‌اند به عنوان زیرآب تحت فشار از سیستم دفع می‌گردد [۱].

۱،۱،۲. مزایای روش اسمزمعکوس

۱- در این فرایند به جز یون‌های شوری، سایر مواد موجود در آب مانند ذرات معلق، ویروس‌ها، مواد معدنی، مواد آلی و میکروب‌ها نیز از آب جدا می‌شوند.

۲- ویژگی برجسته روش اسمز معکوس، این است که هیچ تغییر فازی در آن وجود نداشته و مصرف انرژی نسبتا پایینی دارد [۱۱، ۱۲، ۱۳].

۳- اقتصادی بودن نسبت به روش‌های دیگر

۴- امکان کار مداوم بدون نیاز به توقف دوره‌ای

۵- بهره‌برداری آسان، کنترل کاملا اتوماتیک و کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری

۶- میزان بازدهی بالا در کل سیستم

۷- تولید آب با کیفیت مطابق استانداردها [۱۵].

۸- غشاهای اسمز معکوس می‌تواند برای نمک زدایی آب‌های لب شور، آب اقیانوس‌ها، نرم سازی، حذف مواد آلی طبیعی و حذف آلاینده‌های خاص مورد استفاده قرار گیرد [۱۶].

۲.۱.۲. معایب روش اسمز معکوس

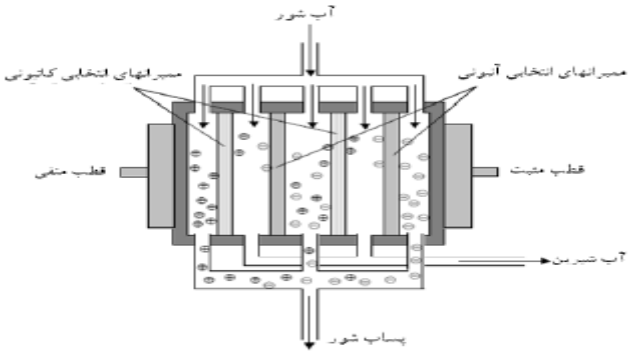
۱- یکی از مشکلات بزرگ در زمینه شوری زدایی به روش اسمز معکوس، گرفتگی ممبران‌هاست که باعث می‌شود راندمان عملکرد ممبران با کاهش چشمگیری روبرو شود. برای حل این مشکل گرفتگی معمولا یک پیش تصفیه مقدماتی روی آب صورت می‌گیرد. در این مرحله ممکن است مواد منعقد کننده نیز به آب اضافه شود تا ذرات ریزتر به بچسبند و تشکیل ذرات درشت‌تر بدهند [۱۷].

۲- یکی دیگر از مشکلاتی که ممکن است برای ممبران‌ها ایجاد شود رسوب کربنات کلسیم و سولفات کلسیم روی آنهاست که برای حل این مشکل باید به سیستم اسید اضافه شود [۱۸].

۲,۲. الکترودیالیز

شماتیک این روش در شکل ۲ نشان داده شده است. در این روش،یکسری مجاری آب وجود دارد که توسط غشاهای ممبرانی آنیونی و کاتیونی از هم جدا می‌شوند. از آنجا که اساس این روش جدا سازی ذرات باردار می‌باشد، لذا در آن فقط ذرات باردار از آب جدا می‌شوند. در الکترودیالیز، کاتیون‌ها و آنیون‌های آب شور به سمت الکترود با بار مخالف حرکت می‌کنند. لذا در هنگام حرکت یون‌ها به سمت الکترودها ممبران‌های کاتیونی مانع حرکت کاتیونها شده و ممبران‌های آنیونی نیز مانع حرکت آنیون‌ها می‌شوند. لذا به صورت یک در میان ممبرانهای آنیونی و کاتیونی قرار گرفته و به صورت یک در میان آب شیرین و زه‌آب شور در بین ممبران‌ها تشکیل می‌شود. هر چه آب دارای املاح بیشتری باشد، انرژی مورد نیاز نیز بیشتر خواهد بود.

مزایا: اگر نگهداری یک سیستم ممبران مناسب باشد ممبرانها خواهند توانست حدود ۱۲ تا ۱۵ سال کار کنند. برای رفع گرفتگی ممبرانها نیز سیستم جدید الکترودیالیز برگشتی توسعه یافته است که در آن قطب‌های مثبت و منفی به تناوب عوض می‌شود. مهمترین مزایای این روش عبارتند از کار کردن با کمترین گرفتگی ممبرانها، فشار کم مورد نیاز، عدم تاثیر پذیری توسط ترکیبات غیر یونی، نیاز به پیش تصفیه کمتر نسبت به RO [۱۱،۱۳،۱۹]. درصد تبدیل آب خام به آب تصفیه شده در الکترودیالیز حدود ۹۰ درصد می‌باشد. یعنی ۹۰ درصد آب ورودی یون‌زدایی شده و یون‌ها در ۱۰ درصد باقی مانده تجمع پیدا می‌کنند که این فاضلاب تولیدی باید به نحوی مناسب دفع گردد، چون ممکن است اثرات زیست محیطی نامطلوبی در برداشته باشد [۲۰].



شکل ۲- شماتیک تصفیه آب به روش الکترودیالیز

۱,۲,۲. مشکلات و معایب فرایند الکترودیالیز

۱. با توجه به اینکه جنس غشاءها در فرایند الکترودیالیز از جنس رزین‌های تبادل یون می‌باشد که معمولا به شکل صفحاتی به طول یک متر به کار می روند (رزین‌های تبادل یون، ذرات جامدی هستند که می‌توانند یون‌های نامطلوب در محلول را با همان مقدار اکی‌والان یون مطلوب و با بار مشابه جایگزین کنند) لذا خواص آن‌ها با غلظت محیط و دما و حتی نوع یون دستخوش تغییر می‌گردد که این امر موجب تغییر در میزان کارایی غشاءها می‌گردد. همچنین به علت ایجاد سوراخ‌های سوزنی در غشاء خاصیت انتخابگری غشاءها تغییر کرده و مثلا تعدادی از آنیون‌ها از غشاء کاتیونی عبور کرده و برعکس.

۲. این فرایند فقط قادر به حذف مواد معدنی محلول بوده [۲۰] و از طرفی یکی از مشکلات این روش خطر رسوب مواد روی ممبران‌ها است لذا آب باید مراحل پیش تصفیه را گذرانده باشد و فاقد هر گونه مواد جامد معلق باشد [۱۱،۱۳،۱۹].

۳. فرایند الکترودیالیز سیستم مدرنی بوده و نیاز به نگهداری و نظافت ماهرانه دارد.

۴. این فرایند به دلیل ارتباط مستقیم TDS با برق مصرفی، برای تصفیه آب‌هایی با TDS بالاتر از ۲۵۰۰ میلیگرم مناسب نمی‌باشد، لذا آب دریاها و اقیانوس‌ها را به علت بالا بودن جامدات محلول نمی‌تواند تصفیه کند.
۵. آب‌های دارای سولفات بالا با این روش به سختی تصفیه می‌شوند چون خاصیت انتخاب پذیری و اولویت‌بندی یون‌ها باعث می‌شود یون‌های کلرور سهل‌تر و زودتر از غشاء عبور کنند.
۶. به علت تشکیل گاز هیدروژن و سود (NaOH) در کاتد لازم است با یک جریان اسیدی، سود تولیدی را خنثی کرد.
۷. برای دستگاه‌های الکترودیالیز نیاز به جریان برق مستقیم با میزان ولتاژ بالایی می‌باشد که چنین ولتاژی کاملا خطرآفرین است، لذا لازم است محیط کاملاً از نظر الکتریکی عایق باشد. از طرفی جریان‌های نشتی در اطراف دستگاه الکترودیالیز می‌تواند باعث خوردگی شدید شوند لذا باید از اتصال به زمین دستگاه مطمئن شد [۲۰].

۲,۲,۲. نکات مهم در طراحی و بهره‌برداری از سیستم الکترودیالیز

۱. کیفیت آب ورودی بیشترین اهمیت را در ثابت نگه داشتن مشخصات آب خروجی دارد. یون‌های مهم در تصفیه آب شامل سدیم، کلسیم، منیزیم، آهن، سیلیس، کلرید و بی‌کربنات می‌باشد.هر چند تغییر در مشخصات آب ورودی موجب تغییر در کیفیت آب خروجی می‌گردد.
۲. دمای آب ورودی اثر فوق‌العاده مهمی بر روی بازده دستگاه و کیفیت محصول دارد. به‌طور معمول دمای آب نباید از ۱۰ درجه سانتی گراد کمتر و از ۴۵ درجه سانتی گراد بیشتر باشد.
۳. حد مجاز آهن در آب ورودی به‌طور معمول حدود ۰/۲ ppm می‌باشد زیرا بیشتر از این مقدار موجب اشکال در فرایند می‌گردد. یکی از اثرهای منفی یون‌های آهن و یا آهن معلق، افزایش مقاومت الکتریکی غشاها می‌باشد که در اثر رسوب بر روی غشاها یک لایه نارنجی رنگ بوجود می‌آورند و موجب کاهش کیفیت تولید آب و تغییر در ولتاژ و آمپر مورد استفاده می‌شود.
۴. وجود کلرین در آب ورودی موجب آسیب دیدگی سیستم می‌شود لذا نباید سیستم راه‌اندازی شود.
۵. وجود هیدروژن سولفاید در آب ورودی موجب آسیب رسیدن به غشا می‌شود و لذا نباید سیستم راه‌اندازی شود.
۶. در سیستم‌های الکترودیالیز اتوماتیک، هر پانزده دقیقه یک مرتبه پلاریته الکتریکی و مسیرهای الکتریکی تعویض می‌شوند و این عمل با تعویض قطب کاتد و آند انجام می‌گیرد که هیچ یک از قطب‌ها با آب نمک غلیظ برای مدت بیش از پانزده دقیقه در تماس نباشند و نمک انباشته شده را به‌سرعت حل می‌نماید و از سیستم خارج می‌سازند.
۷. محیط آند همیشه در اثر تجمع H^+ اسیدی می‌باشد، لذا مناسب است که آب در اطراف قطب آند، حالت سکون داشته باشد تا رسوباتی که در این قطب به وجود آمده است حل و در زمان تخلیه خارج شوند و یا به عبارت دیگر عمل شست و شوی اسیدی در قطب آند انجام شود. به دلیل تعویض قطب‌ها در هر ۱۵ دقیقه یک مرتبه این روش کمک فراوانی به تمیز شدن الکترودها می‌نماید.
۸. به‌طور معمول حداقل فشار سیستم الکترودیالیز ۰/۱۵atm و حداکثر ۱/۵atm طراحی می‌شود.
۹. جهت کنترل کیفیت آب تولیدی دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در قسمت خروجی آب تصفیه شده نصب می‌شود.
۱۰. در صورت توقف بیش از سی دقیقه در سیستم‌های الکترودیالیز که به شیوه‌های دستی یا اتوماتیک عمل می‌نمایند لازم است در حدود چهار الی هشت دقیقه آبکشی شوند تا نمک‌های باقی مانده تخلیه شوند و از ایجاد رسوب بر روی غشاها جلوگیری گردد [۲۰].

۳,۲. مقایسه فنی سیستم‌های اسمزمعکوس و الکترودیالیز در تصفیه آب

در جدول ۱ مقایسه فنی بین روش‌های اسمزمعکوس و الکترودیالیز ارائه شده است. مشاهده می‌گردد که سیستم اسمزمعکوس برای شوری‌زدایی آب دریا و آب سطحی مناسب است در حالی که روش الکترودیالیز فقط برای شوری زدایی آب‌های سطحی کاربرد دارد.

جدول ۱- مقایسه فنی سیستم‌های اسمزمعکوس و الکترودیالیز در تصفیه آب[۲۳،۲۲،۲۱،۱۵،٦،٤]

پارامتر	روش تصفیه	اسمزمعکوس	الکترودیالیز
محدوده دمای بهره برداری(°C)		۱۵-۴۰	۱۰-۴۵
محدوده فشار بهره برداری		برای آب‌های لب شور حدود ۱۵ تا ۲۵ بار و برای آب دریا حدود ۵۴ تا ۸۰ بار می‌باشد	حداقل فشار ۰,۱۵atm و حداکثر ۱,۵atm
حساسیت نسبت به کیفیت آب ورودی		بالا	متوسط تا بالا
نیاز نسبت به پیش تصفیه		وابسته به شرایط	کم
محدوده آب ورودی با توجه به شوری آب (ppm)		آب دریا و آب سطحی ۱۵۰۰-۴۵۰۰۰	سطحی آب ۵۰۰-۲۵۰۰
کیفیت آب محصول (ppm)		۱۰۰-۵۰۰	۲۵۰-۵۰۰
پتانسیل گرفتگی و خوردگی		کم تا متوسط	کم
نیاز به نگهداری		بالا	متوسط
نیاز به مهارت‌های بهره برداری		متوسط	متوسط
پتانسیل گسترش فرایند		بالا	کم تا متوسط
حذف آلودگی باکتریایی		ممکن	با پیش تصفیه
راندمان شوری‌زدایی		برای آب دریا حدود ۴۰ درصد	۹۰ درصد
برای تصفیه کدام آب‌ها کاربرد دارد		برای آب‌های لب شور و آب دریاها و اقیانوسها	برای آب‌های لب شور
جنس غشاء		از جنس پلیمرهایی با ترکیبات پلی‌آمیدی و استات سلولز می‌باشند	این غشاءها معمولا از پلی استایرن با اتصالات سولفاته تشکیل شده‌اند

۴.۲. مقایسه اقتصادی سیستم‌های اسمزمعکوس و الکترودیالیز در تصفیه آب

هزینه تصفیه آب صنعتی شامل این سه قلم اصلی است:۱- سرمایه گذاری اولیه ، ۲- جایگزینی غشا و ۳- هزینه انرژی و مواد شیمیایی، البته عمر مفید ممبران در اسمز معکوس چه از جنس استات سلولز و چه از جنس پلی آمید برای تصفیه آب های تا ۵۰۰۰ میلی گرم بر لیتر در شرایط عادی کمتر از ۳ سال است. طراحی سیستم اسمز معکوس در فرایند تصفیه آب صنعتی به دلیل حساست های اقتصادی جهت کنترل فشارها در نقاط مختلف یک عامل مهم هم در بهبود هزینه ها و هم در بهبود کیفیت کاری اثر گذار است. هزینه تصفیه آب در روش های اسمز معکوس و الکترودیالیز بستگی به میزان و نوع سختی آب دارد اما بطور متوسط هزینه تصفیه آب (واحد حجم) در روش الکترودیالیز ۴۰٪ کمتر از روش اسمز معکوس در یک دوره زمانی سه ساله می باشد.

۳. نتیجه‌گیری

با عنایت به مطالب طرح شده در بخش ۲ این مقاله ، در خصوص انتخاب روش مناسب برای تصفیه آب ، نتایج ذیل بدست آمد:

- برای نمک‌زدایی از آب دریا توصیه می‌کنیم بهتر است از روش اسمزمعکوس استفاده کنیم.
- برای نمک‌زدایی از آب‌های سطحی از هر دو روش اسمزمعکوس و الکترودیالیز می‌توانیم استفاده کنیم.
- در صورتی که کیفیت آب خروجی ۱۰۰ppm تا ۲۵۰ppm مدنظر باشد توصیه می‌کنیم فقط از روش اسمزمعکوس استفاده کنیم.
- بزرگترین مشکل سیستم اسمزمعکوس نسبت به سیستم الکترودیالیز ، گرفتگی غشاءهای آن می‌باشد که البته با پیش‌تصفیه مناسب تا حد زیادی می‌توان بر این مشکل غلبه کرد بنابراین توصیه می‌کنیم در صورتی که آب دارای املاح زیادی باشد بهتر است از روش الکترودیالیز برای تصفیه آب استفاده کنیم.

- با توجه به اینکه روش الکترودیالیز دارای راندمان نمک‌زدایی بالاتر است و به پیش‌تصفیه کمتری نیاز دارد توصیه می‌کنیم بهتر است از این روش برای تصفیه آب استفاده کنیم.

۴. مراجع

۱. حق پرست، ح. دستخوان،ر. (۱۳۸۷). استفاده از توربین پمپ‌های بازیاب در تصفیه آب به روش اسمز معکوس، بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو.

۲. حیدری، ن. (۱۳۸۵). مدیریت و بهره‌وری پایدار آب در شبکه‌های آبیاری حوزه‌های آبریز تحت تنش آبی (مطالعه موردی شبکه آبیاری زاینده رود اصفهان)، *کارگاه فنی مدیریت، بهره برداری و نگهداری شبکه های آبیاری و زهکشی*، تهران، کمیته ملی آبیاری و زهکشی.

۳. محمدی، ع. (۱۳۹۱). تولید آب با استفاده از تقطیر هوا در لوله‌های مدفون در زیرزمین، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۴. بدلیانس قلی‌کندی، گ. وخشوری، م. آرشی، ا.ر. (۱۳۹۱). بررسی کاربردی عملکرد سامانه الکترودیالیز، ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست ایران، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

۵. میرزاخانی سیاهکلرودی، م.، ۱۳۸۸. فرایندهای شیرین‌سازی آب. مجله ی آب و محیط زیست. ۶۴: ۱۲-۱.

۶. یوسفوند، ا. معاضد، ه. یوسفوند، م. (۱۳۹۳). شیرین سازی آب به روش الکترودیالیز، کنفرانس ملی علوم و مهندسی محیط زیست ایران، اهواز، مرکز رشد فن آوری شرکت تعاونی مهندسین مشاور سروستان سازان فردا، دانشگاه شهید چمران اهواز.

7. Sukhatme, S.P., (1991). Solar Energy (principles of thermal collection andstorage). *McGraw-Hill Company Limited New Delhi*.
8. Alamdari, P., Nematollahi, O. and Alemarajabi, A.A., (2013). Solar energy potentials in Iran: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21, pp. 778-788.
9. Crittenden, J.C., Rhodes, T.R., Hand, D.W., Howe, K.J. and Tchobanoglous, G., (2005). Water Treatment: Principles and Design. 2nd edition. John Wiley & Sons Inc.
10. FAO Expert Consultation, (2004). Water desalination for agricultural applications. Land and Water Discussion, pp.5.
11. Spiegler, K.S. and El-Sayed, Y.M, (1994). A Desalination Primer. Balaban Desalination Publications, Santa Maria Imbaro, Italy.
12. Pique, G.G., (2000). New device shatters seawater conversion conceptual. Barriers of Water Conditioning and Purification, July, 2000.
13. Buros, O.K., (1999). The ABCs of desalting. 2nd Edition. International Desalination Association,Topsfield, Mass.
14. Srikanth, G., (2008). Membrane Separation Processes Technology and Business Opportunities, Water Conditioning & Purification, pp. 1- 4.

۱۵. فلاح علمداری، ع. (۱۳۸۸). بررسی انواع آب شیرین‌کن‌های متداول و طراحی یک نمونه آب شیرین‌کن خورشیدی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

16. Crittenden, J.C., Rhodes, T.R., Hand, D.W., Howe, K.J. and Tchobanoglous, G., (2005). Water Treatment: Principles and Design. 2nd edition. John Wiley & Sons Inc.

17. Avlontis, S.A., Kouroumbas, K. and Vlachakis, N., (2003). Energy Consumption and Membrane Replacement Cost for Seawater RO Desalination Plants, *Desalination* 157 151-158.

۱۸. آقاخانی، ع. فیضی، م. صلحی، م. رمضانی اعتدالی، م. (۱۳۹۲). " شوری‌زدایی آب برای کشاورزی: ضرورت، اهمیت و محدودیت‌ها (نشریه شماره۱-۱) " ، نشریه مدیریت اراضی.

19. Reahl, E.R., (2008). Half A Century of Desalination with Electrodialysis. From http://www.gewater.com/pdf/Technical Papers_Cust/Americas/English/TP1038EN.pdf.

۲۰. بدلیانس قلی‌کندی، گ. وخشوری، م. آرشی، ا.ر. (۱۳۹۱). بررسی کاربردی عملکرد سامانه الکترودیالیز، ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست ایران، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

21. Tinker, S.W. and Jackson, J.A., (2006). A desalination database for Texas , Texas water development board, pp.7.

22. RosTek Association Inc, (2003). Desalting handbook for planners , 3rd ed.,U.S. department of the interior , Water treatmentengineering and research group, pp.50-88&138.

23. Younos, T., (2004). the feasibility of using desalination to supplement drinking water supplies in eastern Virginia, Virginia water resource research center, pp.5-15.