

شوری زدایی آب برای کشاورزی: ضرورت، اهمیت و محدودیتها

عباس آقاخانی، محمد فیضی، محمود صلحی، مجتبی رضانی اعتدالی^۱

استادیار، شهرک علمی تحقیقاتی اصفهان، a.aghakhani@ag.iut.ac.ir

استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، بخش خاک و آب. Feizim2000@yahoo.com

استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، بخش خاک و آب، msolhi@yahoo.com

دانشجوی دوره دکتری مهندسی آب دانشگاه صنعتی اصفهان، mojtaba.ramezani@ag.iut.ac.ir

دریافت: آبان ۱۳۹۲ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۲

چکیده

امروزه کمبود منابع آب مناسب علی الخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک مشکلات متعددی را ایجاد کرده است. اگر چه بیش از ۷۰ درصد سطح کره زمین را آب فرا گرفته است اما شوری بالای منابع آب سبب شده است تا بشر با محدودیتی جدی در زمینه استفاده از این منابع مواجه شود. لذا امروزه شوری زدایی آب بیش از هر زمانی توجه همگان را به خود معطوف کرده است. در بین مصرف کنندگان آب در کشور، بخش کشاورزی با مصرف حدود ۹۰ درصدی منابع آب کشور بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است اما متأسفانه در بسیاری از بخشهای کشور کمبود منابع آب مناسب کشاورزی هنوز احساس می شود. لذا در این مقاله سعی خواهد شد تا مختصری در مورد روشهای شوری زدایی موجود در دنیا توضیحاتی ارائه گردیده و در نهایت ضرورت، اهمیت و محدودیت کاربرد این روشها در کشور مورد بررسی قرار گیرد.

واژه های کلیدی: آب، پساب، خاک، هزینه

مقدمه

مرکزی کشور آب بسیاری از چاهها بدلیل شور شدن قابلیت استفاده ندارد (حیدری، ۱۳۸۵). شوری آب در کشاورزی نه تنها خود کاهش شدید عملکرد محصول را به دنبال دارد بلکه به مرور زمان سبب سمیت گیاه، شور و سدیک شدن خاک و از بین رفتن آن می شود. با توجه به آمار ارائه شده و تحقیقات صورت گرفته در کل کشور حدود ۶/۸ میلیون هکتار از اراضی کشور دارای خاکهای با درجات مختلف شوری می باشند (مومنی، ۱۳۹۰). در کشاورزی جهت مقابله با شوری راهکارهای متفاوتی مورد استفاده قرار می گیرد که از جمله آنها می توان به استفاده از ارقام مقاوم به شوری، تناوب آبیاری با آب شور و غیر شور، کوتاه کردن دور آبیاری، استفاده از آبشویی خاک، برداشتن

کشور ایران با میانگین بارندگی ۲۵۰ میلیمتر در سال یکی از کشورهای کمربند خشک کره زمین است. در حالیکه 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 (حیدری، ۱۳۸۵). با توجه به اینکه آبهای زیر زمینی در سطح کشور تنها منبع آب موجود در بسیاری از نقاط می باشند استفاده بی رویه از این منابع افت چشمگیری را در سطح سفره های زیر زمینی ایجاد نموده است. این افت چشمگیر شور شدن سطح سفره ها را نیز به همراه داشته است به گونه ای که در بسیاری از نقاط علی الخصوص استانهای

^۱ آدرس نویسنده مسئول: دانشگاه صنعتی اصفهان-دانشکده کشاورزی- گروه آب، کد پستی: ۸۴۱۳۶۸۳۱۱۱

خاک سطحی و استفاده از کودهای مختلف را نام برد. اخیراً برخی محققین کشت گیاه سالیکورنیا در مناطق ساحلی کشور به عنوان یک گیاه نمک دوست برای تولید روغن پیشنهاد کرده اند (بختیاری و صفاری، ۱۳۹۰). اما همه این موارد فقط می تواند تا حدی مشکلات شوری را آن هم در شرایطی که شوری پایین باشد کاهش دهد اما در دراز مدت استفاده از آبهای شور اثرات مضر خود را بر خاک خواهد گذاشت و سبب خواهد شد تا عملاً استفاده از خاک غیر ممکن باشد. توجه به مشکلات موجود نشان می دهد که شوری زدایی آب امروز به عنوان یک ضرورت در کشاورزی کشور مطرح است. زیرا چنانچه روند فعلی ادامه یابد با توجه به روند شور شدن سفره های آبی کشور و فقدان بارندگی مناسب در بسیاری از نقاط کشاورزی با چالشی جدی مواجه خواهد شد. لذا در ادامه ابتدا در مورد روشهای مختلف شوری زدایی توضیحاتی ارائه خواهد شد و در نهایت نیز در مورد استفاده از روشهای شوری زدایی در کشاورزی توضیحاتی ارائه خواهد شد.

شوری زدایی

کلیات

کمبود آب، بیش از ۸۸ کشور در حال توسعه دنیا را که بیش از نیمی از جمعیت جهان را در خود جای داده اند تهدید می کند. در این کشورها حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد بیماری ها و ۳۰ درصد مرگ و میرها به علت کیفیت بد آب است. در طول ۲۵ سال آینده تعداد افرادی که با کمبود آب مواجه خواهند شد تا ۴ برابر افزایش خواهد یافت (لینتر، ۱۹۹۸). لذا روش های شوری زدایی کم هزینه آب های لب شور و آب دریا بسیار مورد توجه خواهد بود. در طول ۶۰ سال اخیر توجه بسیار زیادی به مبحث شوری زدایی شده است. شوری زدایی یک ابزار فنی است برای افزایش منابع آب شیرین، چه در مناطقی که منابع آب

محدود است و یا در مناطقی که منابع آب آنها شور یا لب شور است، مثل آب های شور زیرزمینی، آب های زهکش ها و پساب های شور. با توجه به آمار موجود، در سراسر جهان حدود ۷۵۰۰ میلیون متر مکعب آب شور توسط روش های مختلف شوری زدایی شیرین می شود که حدود ۰/۲ درصد از کل آب مصرفی دنیا است (لینتر، ۱۹۹۸). استحصال آب شیرین از آب دریا توسط بسیاری از کشورهای حوضه مدیترانه و تمدنهای خاور میانه مورد مطالعه قرار گرفته است. اما رشد شوری زدایی مدرن از سال ۱۹۶۰ توسط برخی کشورهای حاشیه خلیج فارس آغاز شده و تحقیقات گسترده جهت تجاری سازی روش های شوری زدایی از سال ۱۹۶۰ در امریکا شروع شده است. (بیروس، ۱۹۹۹).

روشهای عمده شوری زدایی در دنیا

سه روش عمده شوری زدایی در سطح دنیا به صورت زیر است:

اولین تکنیک شوری زدایی که توسعه پیدا کرد روش گرمایی بود که در آن ابتدا آب شور به بخار تبدیل می شود و در ادامه، بخار توسط میعان به آب خالص تبدیل می شود.

تکنیک دوم شوری زدایی، روش غشا (ممبران) بود. در این روش استفاده از ممبرانها سبب می شود تا آب و املاح از هم جدا شوند.

اما تکنیک سوم در شوری زدایی، روش شیمیایی است. این فرایند نسبت به دو روش قبلی تنوع بسیار بیشتری دارد. از جمله مهمترین روش های شوری زدایی شیمیایی می توان به تبادل یون، استخراج مایع-مایع، رسوب زدایی و استخراج گاز-مایع اشاره کرد. لذا در ادامه به هر یک از این روشها اشاره خواهد شد (میلر، ۲۰۰۳).

روشهای گرمایی

روش فلش چند مرحله‌ای

این روش یکی از روش‌های مورد استفاده در خاورمیانه، به ویژه کشورهای عربستان، امارات و کویت، است. حدود ۴۴ درصد شوری زدایی آب دنیا توسط این روش صورت می‌گیرد. فرایند این روش مانند شکل ۱ می‌باشد. در این روش یکسری محفظه های سری وجود دارد که درون آنها عمل میعان صورت گرفته و فشار و دما در امتداد آنها کاهش می‌یابد. در این روش آب شور از طریق یک لوله که از این محفظه ها عبور می‌کند وارد سیستم می‌شود. لذا در حین عبور آب از طریق این لوله در داخل محفظه ها از گرمای ناشی از میعان برای گرم کردن آب استفاده می‌شود. در ادامه گرمای اضافی به آب داده شده و بخار تولید شده دوباره وارد محفظه ها می‌شود. در داخل این محفظه ها دوباره فرایند میعان صورت گرفته و آب شیرین و پساب شور تولید می‌شود (اتونی و همکاران، ۱۹۹۹). در منطقه خلیج فارس، برای استفاده بهتر از انرژی سوخت، معمولاً دستگاه‌های شوری زدایی آب در این روش با توربین-های گاز و بخار کوپل می‌شوند. در این مناطق، از بخار تولید شده توسط توربین برق تولید می‌شود. میزان عملکرد یک واحد شوری زدایی وابسته به میزان آب تولیدی در برابر میزان انرژی مصرفی است. معمولاً این نسبت برای واحدهای شوری زدایی فلش چند مرحله‌ای برابر ۸ می‌باشد. یک سیستم ۲۰ مرحله‌ای برای تولید هر کیلوگرم آب حدود ۲۹۰ کیلوژول انرژی نیاز دارد (اسپیگلر و السید، ۱۹۹۴).

تحقیقات اخیر توسط وانگنیک در سال ۲۰۰۰ نشان دهنده این مطلب است که ۵۹٪ منابع آب مورد استفاده جهت شوری زدایی در این روش‌ها آب های لب شور و ۴۱٪ بقیه آب‌های دریا می‌باشند.

تبخیر چند مرحله ای

مکانیسم این روش که در سال ۱۹۵۰ آغاز شد در شکل ۲ نشان داده شده است. این روش شامل محفظه هایی جداگانه است که در امتداد آنها دما و فشار کاهش می‌یابد. زیرا با تغییرات فشار نقطه جوش آب مطابق جدول شماره ۱ کاهش می‌یابد. ابتدا بخاراز طریق یک لوله وارد محفظه اول می‌شود و در این هنگام همزمان آب شور وارد محفظه می‌شود. در اثر گرمای بخار داخل لوله آب شور بخار شده و بخار داخل لوله مایع می‌شود. در ادامه بخار ایجاد شده از آب شور در محفظه ۱ وارد محفظه بعدی شده و آب شور همزمان وارد آن محفظه می‌شود. در این روش بخار تولیدی در هر مرحله از طریق لوله وارد مرحله بعد شده و جهت تبخیر آب در مرحله بعد مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مهمترین مزایای این روش دمای مورد نیاز پایین، عدم نیاز به تصفیه اولیه آب، هزینه نگهداری پایین و مصرف انرژی کمتر نسبت به سایر روشها می‌باشد. این روش معمولاً با روش‌های دیگر به صورت ترکیبی به کار می‌رود (دیگونزبرگ و لارجر، ۱۹۹۸). در تحقیقی بیان شد که هزینه ثابت تبخیر کننده سه مرحله ای بیشتر از هزینه تبخیر کننده تک مرحله ای با تراکم مجدد بخار بوده و در کل تبخیرکننده سه مرحله ای اقتصادی تر و دارای بازده بیشتری می‌باشد (بختیاری و صبوری، ۱۳۹۰).

روش تراکم بخار

آغاز این روش مربوط به سال ۱۹۶۰ می‌باشد. در این روش، در اثر تراکم بخار گرمای مورد نیاز تبخیر فراهم می‌شود. تراکم بخار نیز به دو صورت مکانیکی و گرمایی می‌باشد. شماتیک روش تراکم بخار به صورت مکانیکی در شکل ۳ نشان داده شده است. روش‌های تراکم بخار دینامیکی فقط قادرند ۳۰۰۰ متر مکعب آب را در روز شیرین کنند.

اما روش‌های تراکم بخار حرارتی قادرند تا ۲۰۰۰۰ متر مکعب آب را در روز شیرین کنند (باروس، ۲۰۰۰).

شوری زدایی به روش انجماد

در این روش دمای آب شور به حد انجماد رسانده می‌شود و در این هنگام آب یخ زده و از املاح توسط شستشو جدا می‌شود. یخهای ایجاد شده دوباره آب شده و آب شیرین تولید می‌شود. این روش نسبت به سایر روشهای گرمایی مزایایی دارد که عبارتند از نیاز به انرژی کمتر، کمترین مشکل رسوب و خوردگی و در نهایت کمترین مشکل در زمینه رسوب فلزات سنگین. در حالیکه برای تبخیر حدود ۶۰۰ کیلو کالری نیاز است اما برای انجماد تنها ۸۰ کیلو کالری نیاز است. در این سیستم جهت افزایش راندمان از گرمای ایجاد شده در مرحله انجماد برای فرایند ذوب کردن یخ استفاده می‌شود.

شوری زدایی توسط خورشید

در این روش از گرمای خورشید جهت تبخیر آب استفاده شده و نهایتاً با میعان بخار ایجاد شده آب شیرین تولید می‌شود.

روش‌های ممبرانی

اسمز معکوس

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 شوری زدایی اسمز معکوس، به علت فشار ورودی به آب شور، آب از غلظت بیشتر به غلظت کمتر می‌رود و حرکت عمومی آب بر خلاف شیب غلظت املاح و جهت طبیعی اسمز است. در نتیجه، آب خالص از غشا عبور کرده و املاح در طرف دیگر غشا باقی می‌مانند. نمای این روش در شکل (۴) نشان داده شده است.

در ایالات متحده آمریکا، که بیش از ۱۷٪ شوری زدایی دنیا را به خود اختصاص داده، روش غالب شوری زدایی اسمز معکوس است. در این کشور، از ۲۳۰ واحد بزرگ شوری زدایی، حدود ۱۸۰ واحد به روش اسمز معکوس عمل می‌کنند. روش اسمز معکوس بیشتر برای شوری زدایی آب‌های لب شور استفاده می‌شود و میزان انرژی مورد نیاز آن به مراتب از روش گرمایی کمتر است (اتحادیه امور آب آمریکا، ۲۰۰۴). هر چند کیفیت آب ایجاد شده در مراحل شوری زدایی وابسته به کیفیت آب ورودی و فشار وارد شده به سیستم است ولی در این فرایند بجز یون‌های شوری، سایر مواد موجود در آب مانند ذرات معلق، ویروس‌ها، مواد معدنی، مواد آلی و میکروب‌ها نیز از آب جدا می‌شوند. در این روش، هرچه 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 به طور متوسط راندمان شوری زدایی آب دریا در آن حدود ۴۰٪ می‌باشد (اسپیگلر، ۱۹۹۴، باروس، ۲۰۰۰، پیگو، ۲۰۰۰). یکی از مشکلات بزرگ در زمینه شوری زدایی این روش، گرفتگی ممبران‌هاست که باعث می‌شود راندمان عملکرد ممبران با کاهش چشمگیری روبرو شود. برای حل مشکل گرفتگی معمولاً 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 هم بچسبند و تشکیل ذرات درشت‌تر بدهند (اولانتیس، ۲۰۰۳). 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.

اساس این روش مانند اسمز معکوس است. یعنی شوری زدایی بر اساس تغییر غلظت در دو طرف غشا نیمه تراوا صورت می گیرد. ولی بر خلاف اسمز معکوس که در آن آب تحت فشار خارجی از غلظت بیشتر به طرف غلظت کمتر می رود در این روش فرایند طبیعی اسمز برقرار است و آب از غلظت کمتر به سمت غلظت بیشتر حرکت می کند. در این روش در یک طرف غشا آب شور و در طرف دیگر ماده ای قرار دارد که پتانسیل اسمزی آن از طرف دیگر غشا کمتر است و در واقع آب محل آب شور به طرف مایع موجود در طرف دیگر غشا حرکت می کند. در ادامه توسط یکسری مکانیسم آب شیرین شده از مایع موجود جدا می شود. از مهمترین مزایای سیستم اسمز پیش رونده نسبت به اسمز معکوس حذف هزینه انرژی می باشد (نیکول، ۲۰۱۲).

شوری زدایی به روشهای شیمیایی

مهمترین روش شوری زدایی شیمیایی استفاده از رزینهای تبادل یون می باشد. رزینها ذرات جامدی هستند که می توانند یونهای نامطلوب در محلول را با همان مقدار اکوالان از یون مطلوب با بار الکتریکی مشابه جایگزین کنند. در سال ۱۹۴۴، رزینهای تعویض آنیونی برای بهبود فناوری تصفیه آب تولید شد. رزینهای تعویض یونی شامل بار مثبت کاتیونی و بار منفی آنیونی می باشند. به گونه ای که از نظر الکتریکی خنثی هستند. در اثر تعویض یون، کاتیونها یا آنیونهای موجود در محلول با کاتیونها و آنیونهای موجود در رزین تعویض می شود. به گونه ای که هم محلول و هم رزین از نظر الکتریکی خنثی باقی می ماند. برای آن که یک تعویض کننده یونی جامد مفید باشد باید دارای شرایط زیر باشد:

شماتیک این روش در شکل (۵) نشان داده شده است. در این روش، یکسری مجاری آب وجود دارد که توسط غشاهای ممبرانی آنیونی و کاتیونی از هم جدا می شوند. از آنجا که اساس این روش جدا سازی ذرات باردار می باشد، لذا در آن فقط ذرات باردار از آب جدا می شوند. در الکترودیالیز، کاتیونها و آنیونهای آب شور به سمت الکتروود با بار مخالف حرکت می کنند. لذا در هنگام حرکت یونها به سمت الکتروودها ممبرانهای کاتیونی مانع حرکت کاتیونها شده و ممبرانهای آنیونی نیز مانع حرکت آنیونها می شوند. لذا به صورت یک در میان ممبرانهای آنیونی و کاتیونی قرار گرفته و به صورت یک در میان آب شیرین و زه آب شور در بین ممبرانها تشکیل می شود. هر چه آب دارای املاح بیشتری باشد، انرژی مورد نیاز نیز بیشتر خواهد بود. این روش فقط برای آبهای لب شور کاربرد داشته و برای شوری زدایی آبهای دریا مناسب نیست. یکی از مشکلات این روش خطر رسوب مواد روی ممبرانهاست که باید قبل از ورود آب به این سیستمها یک تصفیه مقدماتی روی آنها صورت گیرد. 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 بار قطب های مثبت و منفی به تناوب عوض می شود. 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 و مهمترین محدودیت آن کاربرد آن در شوریهایی بالا می باشد. این روش نیز نیازمند پیش تصفیه آب است (اسپیگلر، ۱۹۹۴، باروس، ۲۰۰۰، رال، ۲۰۰۸).

4-Weak Base Anion (WBA)

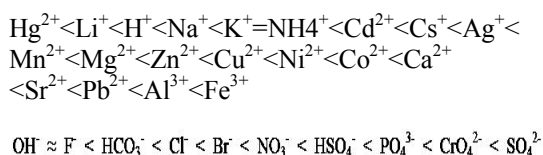
رزین‌های SAC می‌توانند نمک‌های طبیعی را به اسیدهای مرتبط با آنها تبدیل کنند. رزین‌های SBA نیز می‌توانند نمک‌های طبیعی را به ترکیبات پایه آنها تبدیل کنند. در کلیه استفاده‌های صورت گرفته از پدیده تبادل یون مانند سختی‌گیری آب، معمولاً رزین‌های WAC و WBA به کار می‌روند. رزین‌های SAC در تمامی pH ها کاربرد دارند. عامل این رزین‌ها گروه اسیدی سولفونیک (HSO_3^-) است. اما در رزین‌های کاتیونی ضعیف (WAC) گروه عامل گروه کربوکسیلیک (COOH) است. کارکرد این رزین‌ها وابسته به pH است. مهمترین مزیت این رزین‌ها این است که نیاز به اسید برای احیای آنها را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. با ترکیب این رزین‌ها با رزین‌های SAC می‌توان تمام کاتیون‌ها را با راندمان بالایی حذف نمود. گروه عاملی رزین‌های SBA گروه آمونیوم چهار گوشه است. از آنجا که دو نوع گروه آمونیوم چهار گوشه وجود دارد، لذا این رزین‌ها دو نوع دارند. اگر گروه متغیر این رزین‌ها OH باشد، خواهند توانست کلیه آنیون‌ها را خارج کنند. رزین‌های WBA دارای گروه عامل اصلی (R-NH_2)، گروه ثانویه (R-NHR) و گروه سوم $\text{R-NR}'_2$ می‌باشند. این رزین‌ها فقط سولفات، نترات و کلر را خارج می‌کنند. استفاده از رزین‌های تبادل یون برای جداسازی ترکیبات فلزی از محلول‌ها امروزه توجه زیادی را به خود معطوف کرده است. مطالعات صورت گرفته حکایت از آن دارد که فرایند جذب توسط رزین‌ها فرایند بسیار ساده و مؤثر است. اما در حال حاضر بعلاوه هزینه‌های بالای این روش از رزین‌ها بیشتر برای سختی‌گیری و شیرین‌سازی آب‌های با شوری خیلی کم استفاده می‌شود. لازم به ذکر است در برخی تحقیقات نیز به شیرین‌سازی آب توسط تشکیل هیدرات گازی در آب توسط گاز دی‌اکسید کربن و شوری زدایی به روش پراکنش نیز اشاره شده

خود دارای یون باشد.

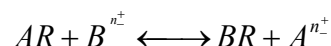
در آب غیر محلول باشد.

فضای کافی در شبکه تعویض یونی داشته باشد. به طوری که یون‌ها بتوانند به سهولت در شبکه جامد رزین وارد و یا از آن خارج شوند.

رزین‌ها ذرات کروی شکل با قطر ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر هستند. اگر چه این رزین‌ها در حالت عادی به صورت ذرات جامد ریز هستند اما ساختار میکروسکوپی آنها بسیار باز است. میل ترکیبی رزین برای جذب کاتیون‌ها و آنیون‌ها با توجه به ظرفیت و شعاع کاتیون یا آنیون متفاوت است. تمایل جذب رزین نسبت به کاتیون‌ها و آنیون‌های مختلف به صورت زیر است:



همانگونه که مشاهده می‌شود، چنانچه رزینی دارای یون H^+ یا OH^- باشد خواهد توانست اکثریت کاتیون‌ها و آنیون‌ها را از محلول جذب کرده و جایگزین نماید. بنابراین چنانچه میزان تمایل رزین به جذب یون B بیشتر از یون A باشد و رزین دارای یون A و محلول دارای یون B باشد با عبور محلول از رزین واکنش زیر صورت خواهد گرفت:



در این معادله R نشانه رزین است. یکی از مشکلات بزرگ رزین‌ها اشباع شدن ظرفیت آنهاست. در این زمان، معمولاً رزین‌ها برای استفاده مجدد احیا می‌گردند. ترکیبات آلی با نشست روی رزین‌ها قابلیت کاربرد آنها را کاهش می‌دهند.

طبقه بندی رزین‌ها

اصولاً کلیه رزین‌های صنعتی به چهار گروه تقسیم می‌شوند:

- 1-Strong Acid Cation (SAC)
- 2-Weak Acid Cation (WAC)
- 3-Strong Base Anion (SBA)

است (اسماعیلی و محمد زاده میلانی، ۱۳۹۰. منتظری و بناکار، ۱۳۹۰).

برآورد هزینه سیستم های شوری زدایی

هزینه سیستم های شوری زدایی شامل دو هزینه ثابت و جاری می باشد. هزینه های ثابت هزینه هایی هستند که به صورت سرمایه گذاری اولیه بوده و با توجه به نوع سیستم انتخابی باید صرف شوند ولی هزینه های جاری هزینه هایی هستند که در طول دوره بهره برداری باید هزینه شوند. هزینه شوری زدایی وابسته به نوع روش شوری زدایی، کیفیت آب ورودی و خروجی، ظرفیت آب شیرین کن و پتانسیل موجود برای دفع پساب می باشد. با توجه به تحقیقات صورت گرفته امروزه روشهای تبخیری فلشهای چند مرحله ای و روش اسمز معکوس از بین کلیه روشهای شوری زدایی بهترین روشها می باشند. هزینه آب شیرین کنها بیشتر برای آبهای شرب و صنعت برآورد شده است و برای مصارف کشاورزی برآورد چندانی در مورد آنها وجود ندارد. عمده هزینه این روشها شامل موارد زیر است.

هزینه سرمایه گذاری اولیه مانند هزینه تهیه زمین، تاسیسات مربوط به شوری زدایی و احداث ساختمانهای مورد نیاز

هزینه های جاری مانند هزینه انرژی، مواد شیمیایی مورد نیاز و نیروی کار. معمولا نیمی از هزینه های جاری طرح صرف هزینه انرژی می شود.

هزینه های زیست محیطی که شامل هزینه های دفع صحیح پساب می باشد.

هزینه های غیر مستقیم مانند هزینه بیمه

با توجه به نتایج منتشر شده توسط طرحهای مختلف شوری زدایی در دنیا برای شیرین کردن آب دریا در مقیاس بزرگ با روشهای تبخیری هزینه شیرین سازی هر متر مکعب آب بین ۱ تا ۱/۵ دلار، برای روشهای اسمز معکوس این هزینه بیش از ۱/۵

دلار برای مقیاس کم، ۱ تا ۱/۵ دلار برای مقیاس متوسط و کمتر از یک دلار برای مقیاس بزرگ می باشد. هزینه شیرین کردن هر متر مکعب آب های لب شور توسط روش اسمز معکوس نیز کمتر از ۰/۵ دلار می باشد. تحقیقات جدید نشان دهنده این مطلب است که هزینه روشهای تبخیری به علت وسعت بالای آنها و هزینه های روش اسمز معکوس بعلاوه تکنولوژی جدید در روشهای ممبران به سرعت رو به کاهش است (فائو، ۲۰۰۴). در تحقیقی در سال ۱۳۹۰ توسط عبدالمجیدی و همکاران هزینه شیرینسازی آب دریای خزر به روش اسمز معکوس، با استفاده از مدل ارزیابی اقتصادی شیرینسازی DEEP4 بررسی شد و نتایج نشان داد که قیمت تمام شده ی تولید یک مترمکعب آب شیرین در سایتی با ظرفیت ۲۸۰۰۰۰ مترمکعب بر روز و شوری آب دریای خزر که بین ۱۲۰۰۰ تا ۱۳۰۰۰ میلی گرم بر لیتر می باشد حدود ۰/۷۷ دلار می باشد.

بین کلیه روشهای شوری زدایی دو روش اسمز معکوس و تبخیر چند تاثیر ارزان ترین روشهای شوری زدایی می باشند. در روش اسمز معکوس حدود ۵۴ درصد از کل هزینه مربوط به هزینه تاسیسات اولیه است. برای شوری زدایی آب های لب شور توسط این روش حدود ۱۱ درصد هزینه ها مربوط به انرژی است. ۱۰ درصد کل هزینه مربوط به هزینه مواد شیمیایی مورد نیاز بوده و حدود ۷ درصد هزینه به عنوان هزینه تعویض غشاها می باشد. حدود ۱۸ درصد هزینه باقیمانده نیز مربوط به هزینه نگهداری می باشد. در روش اسمز معکوس غشاها هر سه سال یکبار باید جایگزین گردند. لازم به ذکر است که هزینه های فوق بدون در نظر گرفتن هزینه های پیش تصفیه اولیه و هزینه تخلیه پساب شور می باشد. اما در مورد شوری زدایی آب دریا توسط این روش حدود ۳۷ درصد کل هزینه ها مربوط به هزینه های ثابت است. ۴۴ درصد هزینه ها

به شوری آب ورودی و تعداد مراحل فرایند شوری زدایی دارد.

مهمترین راههایی که برای تخلیه پساب شور وجود دارد به صورت زیر است:

تخلیه به دریا

این روش یکی از بهترین روشهای دفع پساب شور است که معمولاً سایت‌های نزدیک دریا پساب شور خود را مستقیماً به دریا می‌ریزند.

تزریق پساب شور به منابع آب زیرزمینی

پساب شور یا به آب‌های زیرزمینی با شوری بیشتر پمپاژ می‌شود و یا با حفر چاه‌هایی به اعماق پایین‌تر از آب‌های زیرزمینی موجود منتقل می‌شود. هنگامی که پساب شور به منابع آب زیرزمینی اضافه می‌شود حتماً باید یکسری چاه مشاهده‌ای در نزدیکی چاه تزریق احداث شود تا کیفیت آب‌های زیرزمینی در محل تزریق سنجیده شود. تزریق پساب شور به زیر زمین از گرانترین روش‌های دفع پساب شور است.

تخلیه به منابع آب سطحی

تخلیه پساب شور به منابع آب سطحی یکی دیگر از راه‌های دفع پساب می‌باشد. اگر چه دفع پساب شور در منابع سطحی مانند رودخانه‌ها همواره محدودیت‌های زیادی را به همراه دارد، اما مهمترین نکته‌ای که باید در اینجا مورد توجه قرار گیرد اینست که این پساب شور کیفیت آب سطحی را بیش از ۱۰ درصد تغییر ندهد (کمسیون ساحلی کالیفرنیا، ۲۰۰۴)..

احداث حوضچه‌های تبخیر

یکی دیگر از راه‌های دفع پساب، احداث حوضچه‌های تبخیر، بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، است. در احداث حوضچه‌های تبخیر باید به این مورد توجه شود که حتماً زیر آنها نفوذناپذیر باشد تا از نفوذ پساب شور به اعماق جلوگیری شود. این روش نه تنها سطح زیادی را

نیز هزینه انرژی بوده و حدود ۱۹ درصد کل هزینه‌ها مربوط به هزینه نگهداری می‌باشد (پیتتر، ۱۹۹۳). در مبحث هزینه‌های روش تبخیری چند اثره نیز هزینه سوخت حدود ۲۷ درصد کل هزینه‌ها، هزینه تاسیسات اولیه حدود ۳۷ درصد کل هزینه‌ها بوده و مابقی هزینه‌ها مربوط به هزینه تعمیر و نگهداری است. جدول شماره (۲) نتیجه تحقیقات مختلف در مورد هزینه شوری زدایی آب‌های با کیفیت مختلف را در روش‌های مختلف شوری زدایی به ازای دلار برای هر متر مکعب آب نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که داده‌های این جدول مربوط به مناطق مختلف است که در آنها ممکن است هزینه انرژی، زمین، خرید تاسیسات، شرایط دفع پساب و کیفیت آب موجود به کلی با مناطق دیگر متفاوت باشد (میلر، ۲۰۰۳).

برای تعیین روش مناسب شوری زدایی بررسی فاکتورهایی مانند کیفیت آب ورودی، کیفیت آب خروجی، میزان منابع انرژی موجود، شرایط دفع پساب، زمین، تاسیسات و سایر منابع قابل دسترس ضروری است.

تأثیرات زیست محیطی شوری زدایی

یکی از مهمترین مشکلات روش‌های شوری زدایی، دفع پساب شور تولیدی است. یعنی در حین فرایند شوری زدایی آبی را تولید می‌کنند که به مراتب نسبت به آب ورودی دارای شوری بیشتری می‌باشد و دفع صحیح این پساب یکی از مشکلات عدیده اغلب روش‌های شوری زدایی است. شوری زدایی آب دریا، پساب با شوری دو برابر آب ورودی ایجاد خواهد کرد که میزان این پساب ۵۰ تا ۶۵ درصد آب ورودی است. شوری زدایی آب لب شور، میزان پساب شوری حدود ۱۰ تا ۵۰ درصد آب ورودی تولید خواهد کرد که میزان شوری این پساب بستگی

در گذشته هزینه بالای سرمایه گذاری اولیه شوری زدایی و انرژی مهمترین مشکل شیرین کردن آب های شور و لب شور در مقیاس وسیع بود. استفاده از آب شیرین کنها برای مصارف شرب به علت میزان کمتر آب مورد نیاز نسبت به کشاورزی و به علت کاهش هزینه ها به خاطر رشد تکنولوژی و از طرفی افزایش هزینه استخراج آبهای سطحی و زیرزمینی روز به روز افزایش یافت. با همه این تفاسیر بازهم هزینه استفاده از این آبها برای تامین مصارف کامل کشاورزی بسیار بالاست و فقط استفاده از آن برای تولید گیاهان با ارزش گلخانه ای مقرون به صرفه است. برای مصارف کشاورزی بهترین روش آب شیرین کردن استفاده از روش اسمز معکوس است زیرا با توسعه ممبرانها این روش کم هزینه ترین روش شوری زدایی در سالیان جدید است. اسپانیا یکی از نمونه های بارز استفاده از آب شیرین کنها برای کشاورزی است. در اسپانیا ۲۲/۴ درصد آب های تولید شده توسط آب شیرین کنها برای کشاورزی استفاده می شوند. ۹۰ درصد آبهای مورد استفاده برای آب شیرین کنها نیز آبهای لب شور بوده و تنها ۱۰ درصد آنها آب دریاست (فائو، ۲۰۰۳).

شوری زدایی جهت مصارف آب جهت کشاورزی

کاربرد آب شیرین کنها جهت مصارف شرب اجتناب ناپذیر بوده و در مورد صنعت در برخی موارد اجتناب ناپذیر و در برخی موارد دیگر توجه اقتصادی دارد. اما در مورد کاربرد این سیستم ها در کشاورزی ملاحظات خاصی مانند توجه اقتصادی و مشکلات جانبی ناشی از کاربرد آبشیرین کن باید مورد توجه قرار گیرد. آبهای لب شور را می توان با استفاده از آبشویی خاک و زهکشی و کنترل شوری خاک در محیط ریشه تا حدودی برای کشاورزی استفاده کرد. اما در مناطقی که آب های شور تنها منبع مورد استفاده برای کشاورزی است یک شوری زدایی

اشغال می کند، بلکه در بسیاری از مناطق مرطوب که میانگین دمای آنها پایین است و یا دارای ساعات آفتابی کمی هستند چندان کاربردی نیست.

تخلیه پساب در برکه ها و باتلاقها

تخلیه پساب شور به برکه ها و مردابها سبب می شود به مرور زمان میزان غلظت نمکها در این برکه ها افزایش یابد به حدی که دیگر حیات برای بسیاری از جانداران موجود در این برکه ها امکان پذیر نخواهد بود. ضمناً، افزایش شوری آب این برکه ها سبب کاهش اکسیژن محلول آب شده که تا حدود زیادی در مرگ آبزیان موجود در آنها مؤثر خواهد بود.

استفاده از پساب شور برای آبیاری گیاهان نمک دوست

این گیاهان در مقابل شوری زیاد خاک مقاومت خوبی داشته و عملاً با تبخیر و تعرق بخش زیادی از پساب شور را به صورت بخار به اتمسفر بر می گردانند. اما مشکل اصلی این روش دفع پساب نیز اینست که اولاً سطحی که این گیاهان در آن کشت شده اند کاملاً نمک زار می شود و از طرف دیگر امکان نفوذ پسابهای شور به آبهای زیرزمینی وجود دارد. در آمریکا ۴۵٪ از کل پسابهای شور به آبهای سطحی تخلیه می شوند، ۱۲٪ آنها توسط حوضچه های تبخیر دفع شده، ۱۳٪ به آبهای زیرزمینی تخلیه می شوند و ۲۷ درصد بقیه نیز توسط سایر روشها دفع می گردند (کمیسون ساحلی کالیفرنیا، ۲۰۰۴).

اما مهمترین نگرانی های زیست محیطی که در ارتباط با دفع پساب شور وجود دارد به صورت زیر است:

شوری زیاد پساب، وجود ترکیبات سمی در پساب، از بین بردن برخی موجودات و ایجاد سروصدا و انتشار گازهای گلخانه ای.

خصوص کشاورزانی که منبع تامین آب آنها منابع آب زیر زمینی است قابل هضم نیست.

دفع پساب شور

سومین مشکل بزرگ در زمینه شوری زدایی در بخش کشاورزی دفع پساب شور است. از آنجا که در بیشتر روشهای شوری زدایی یک پساب شور ایجاد می شود که این پساب نه تنها دارای شوری بسیار بالایی است بلکه ممکن است دارای مواد مختلفی باشد که برای شستشوی سیستم مورد استفاده قرار می گیرند که برخی از این مواد نیز دارای ترکیبات سمی می باشند. هر چند امروزه روشهای مختلفی برای دفع این پساب پیشنهاد شده است اما در اراضی کشاورزی به خصوص در مقیاس کوچک هر کدام از این روشها با محدودیت های زیادی مواجه می باشند و از طرف دیگر این دفع پساب نیز هزینه های زیادی را بر کشاورزان تحمیل می نماید (فائو، ۲۰۰۴). آبهای شیرین شده به مراتب نسبت به سایر آبهای مورد استفاده در کشاورزی گرانتر می باشند و به همین دلیل برای بسیاری از گیاهان قابل توصیه نیستند. استفاده از این آبها فقط برای گیاهان با ارزش اقتصادی بالا توصیه می شود. با توجه به بحثهای اقتصادی شیرین کردن آبهای لب شور برای کشاورزی به مراتب مناسب تر از شیرین کردن آب دریاست. هرچه تاسیسات شوری زدایی به نقطه مصرف آب نزدیکتر باشند و هر چه قدر مقیاس سایت آب شیرین کن بزرگتر باشد هزینه های هر متر مکعب آب کاهش بیشتری خواهد داشت. اما کارشناسان توصیه می کنند که استفاده از سیستم های آب شیرین کن با مدیریت مناسب آبیاری باید همراه باشد تا بهترین نتیجه حاصل شود.

نتیجه گیری

با توجه به موارد فوق الذکر در مورد روشهای مختلف شوری زدایی توضیحات کاملی ارائه

اولیه مورد نیاز است. اگر چه ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز برای صنعت و شرب در کشورهای قطر و کویت و ۴۰ درصد آب مورد نیاز برای مصارف شرب و صنعت در کشورهای بحرین، عمان، عربستان و امارات توسط آب شیرین کنها تولید می شود، اما استفاده از آب شیرین کنها در این کشورها برای کشاورزی به علت عدم توجیه اقتصادی محدود است. مهمترین دغدغه های موجود در مورد عدم توسعه روشهای شوری زدایی در بخش کشاورزی به صورت زیر است.

هزینه سرمایه گذاری اولیه و جاری بالا

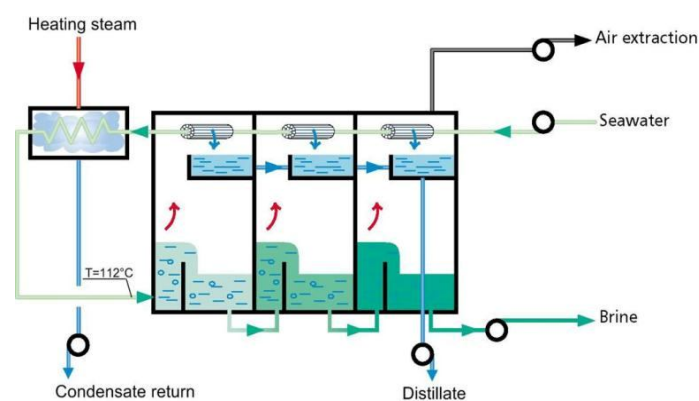
این مشکل یکی از اساسی ترین موارد در عدم توسعه روشهای شوری زدایی برای کشاورزی است. زیرا زمانی استفاده از روشهای شوری زدایی جهت کشاورزی توجیه اقتصادی دارد که هزینه های شوری زدایی کمتر از منافع حاصل از شوری زدایی باشد. در حال حاضر برای بسیاری از محصولات کشاورزی استفاده از آب شیرین کنها با توجه به وضعیت فعلی هزینه ها بخصوص هزینه بالای انرژی توجیه اقتصادی ندارد.

از دسترس خارج شدن بخشی از آب از چرخه مصرف

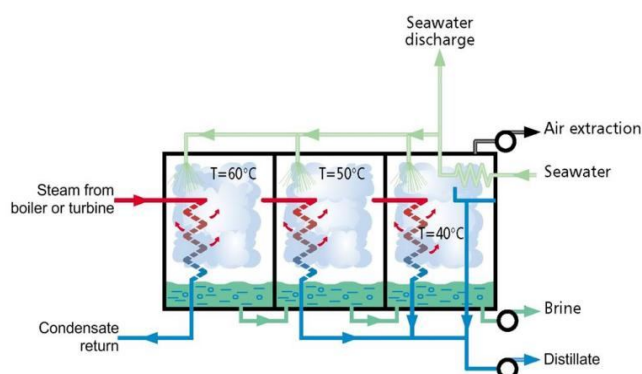
دومین محدودیت بزرگ در کاربرد روشهای شوری زدایی برای کشاورزی از دسترس خارج شدن بخشی از آب از چرخه مصرف می باشد. زیرا امروزه در تمامی روشهای شوری زدایی بخشی از آب به پساب با شوری بسیار بالاتر تبدیل می شود که عملاً قابلیت استفاده ندارد. این مسئله بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک که به شدت با بحران آب مواجهند بسیار سخت و مشکل است. با توجه به کیفیت آب موجود و نوع روش شوری زدایی مورد استفاده معمولاً بین ۱۰ تا ۵۰ درصد آب تلف می شود که این رقم بالا برای بسیاری از کشاورزان به

را به همراه خواهد داشت. از طرف دیگر از آنجا که قسمت اعظم کشور آب مورد نیاز کشاورزی خود را از منابع آب زیر زمینی بدست می آورند لذا عملاً تبدیل شدن بخشی از این آب به پساب نیز مخالفتهای زیادی را بین کشاورزان ایجاد خواهد کرد. بنابراین ضروری است تا اولاً مطالعات کاملی در زمینه کاهش هزینه روشهای شوری زدایی با توجه به پتانسیل کشور صورت گیرد و از طرف دیگر سعی شود تا مشکل پساب شور این روشها نیز به صورت موثری حل گردد تا این روشها قابلیت کاربرد در بخش کشاورزی کشور را داشته باشند.

شد ولی نکته ای که باید در این قسمت مورد توجه قرار گیرد اینست که در انتخاب روش مناسب شوری زدایی باید معیارهای متفاوتی در نظر گرفته شود. کاربرد این روشها در کشاورزی با محدودیتهای زیادی روبرو می باشد که از جمله آنها هزینه روش انتخابی و مساله تولید پساب است. در مبحث هزینه ها اشاره به این نکته ضروری است که هر چه میزان ظرفیت سیستم بالاتر باشد هزینه روش کمتر خواهد شد. اما متأسفانه در مبحث کشاورزی در کشور از آنجا که قسمت اعظم کشاورزی کشور خرده مالکیت می باشد لذا عملاً کاربرد روشهای فعلی شوری زدایی با توجه به مقیاس کوچک اکثر اراضی کشور هزینه های بالایی



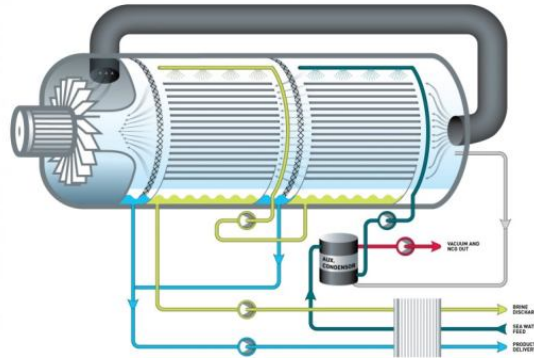
شکل ۱- نمایی از روش شوری زدایی فلش چند مرحله ای



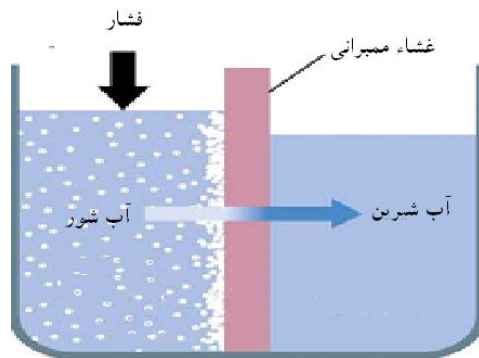
شکل ۲- نمایی از شوری زدایی به روش تبخیر چند محفظه ای (الشمیری و صفری، ۱۹۹۹).

جدول ۱- تغییرات نقطه جوش آب بر اثر تغییرات فشار (دیگونیبرگ و لارجر، ۱۹۹۸).

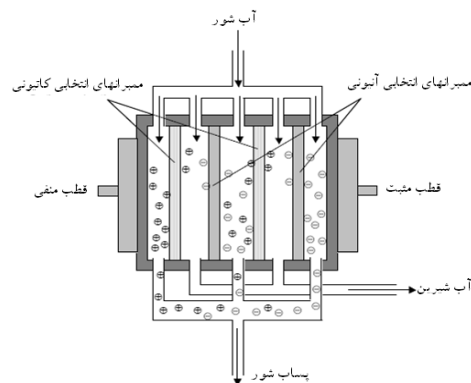
۰/۱	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۴۷	۱	میزان فشار (بار)
۴۵	۶۵	۷۰	۸۰	۱۰۰	دمای نقطه جوش



شکل ۳- شماتیک تراکم بخار به روش مکانیکی



شکل ۴- نمایی از شوری زدایی به روش اسمز معکوس (اتحادیه امور آب امریکا، ۲۰۰۴)



شکل (۵). شماتیک شوری زدایی به روش الکترودیالیز

جدول ۲- هزینه شوری زدایی هر متر مکعب آب بر حسب دلار توسط روشهای مختلف

فلش چند مرحله ای	تبخیر چند مرحله ای	تراکم بخار	اسمز معکوس آب دریا	اسمز معکوس آب لب شور	الکترودیالیز آب لب شور
۱/۵-۱/۱	۰/۸۵-۰/۴۶	۰/۹۲-۰/۰۸۷	۰/۹۲-۰/۴۵	۰/۳۵-۰/۲۰	
۰/۸	۰/۴۵		۰/۹۳-۰/۷۲		
۰/۸۹	۰/۵۶-۰/۲۷		۰/۶۸		
۰/۷۵-۰/۷			۰/۴۵-۰/۸۵	۰/۶-۰/۲۵	
			۱/۵۴	۰/۳۵	
			۱.۵	۰/۷-۰/۳۷	۰/۵۸
۵/۳۶-۱/۳۱			۶/۵۶-۱/۵۴		
۱/۸۶	۱/۴۹				
	۱/۳۵		۱/۰۶		
			۱/۲۵		
۱/۲۲					
				۰/۵۶-۰/۱۸	
		۰/۴۶	۱/۱۸		
	۱/۱۷				
		۱/۲۱-۰/۹۹			
			۰/۸-۰/۵۵	۰/۲۵-۰/۲۸	
			۱/۶۲-۰/۵۹		
			۱/۵۱-۱/۳۸		
			۰/۶۳-۰/۵۵		
			۰/۸-۰/۷		
				۰/۲۷	
			۰/۵۲		

فهرست منابع

۱. اسماعیلی، س. و ج. محمدزاده ی میلانی. ۱۳۹۱. تغلیظ و شوری زدایی از آب دریا با استفاده از فرایند تشکیل هیدرات های گازی. اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی.
۲. بختیاری، ب. و م. صفاری. ۱۳۹۰. بهره وری از سواحل دریا در کشاورزی. کنفرانس ملی بهره برداری از آب دریا.
۳. بختیاری، ل. و ر. صبوری. ۱۳۹۰. شیرین سازی آب خلیج فارس همزمان با تولید نمک. کنفرانس ملی بهره برداری از آب دریا.
۴. حیدری، ن، ۱۳۸۵. مدیریت و بهره وری پایدار آب در شبکه های آبیاری حوزه های آبریز تحت تنش آبی (مطالعه موردی شبکه آبیاری زاینده رود اصفهان). کارگاه فنی مدیریت، بهره برداری و نگهداری شبکه های آبیاری و زهکشی.
۵. عبدالمجیدی، ح. م. حسام، ا. هزارجریبی، و ا. ا. دهقانی. ۱۳۹۰. ارزیابی اقتصادی شیرین سازی آب دریای خزر به روش اسمز معکوس، جهت مصرف شرب استان گلستان. کنفرانس ملی بهره برداری از آب دریا.
۶. منتظری، م. و ا. بناکار. ۱۳۹۰. استفاده از تلفات حرارتی نیروگاه به عنوان منبع انرژی در فرایند جدید نمکزدایی آب دریا به روش پراکنش (DDD). کنفرانس ملی بهره برداری از آب دریا.
۷. مومنی، ع. ۱۳۹۰. تهیه و کاربرد نقشه پراکنش جغرافیایی خصوصیات ذاتی و تابع-مدیریتی خاک. نشریه فنی شماره ۵۰۸ موسسه تحقیقات خاک و آب.
8. Al-Shammiri, M. and M. Safar. 1999. Multiple-effect distillation plants: State of the art. *Desalination* 126: 45-49.
9. American Water Works Association: Membrane Residuals Management Subcommittee. "Current Perspectives on Residuals Management for Desalting Membranes." In *Journal of American Water Works Association*, Volume 96, Number 12, December 2004.
10. Avlontis, S.A., K. Kouroumbas, and N. Vlachakis. 2003. "Energy Consumption and Membrane Replacement Cost for Seawater RO Desalination Plants," *Desalination* 157 151-158.
11. Buros, O.K. 1999. The ABCs of desalting. 2nd Edition, International Desalination Association, Topsfield, Mass.
12. California Coastal Commission. Seawater Desalination and the California Coastal Act, 2004. www.coastal.ca.gov/energy/14a-3-2004-desalination.pdf.
13. De Gunzbourg, J. and D. Larger. 1998. Cogeneration applied to very high efficiency thermal seawater desalination plants: A concept. *International Desalination and Water Reuse Quarterly* 7: 38-41.
14. Ettouney, H.M., H.T. El-Dessouky and I. Alatiqi. 1999. Understand thermal desalination. *Chemical Engineering Progress* 95: 43-54.
15. FAO. 2003. Desalination of Brackish Waters and Seawater, Status in California and the USA. K. Tanji, Draft Report, Rome.
16. FAO Expert Consultation. 2004. Water desalination for agricultural applications. Land and Water Discussion Paper 5.
17. Miller, J.E. 2003. Review of Water Resources and Desalination Technologies. Materials Chemistry Department, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM.
18. Leitner, G.F. 1998. Is there a water crisis? *International Desalination and Water Reuse Quarterly* 7: 10-21. G.A. Pittner in Reverse Osmosis, Z. Amjad, ed. Chapman Hall, New York (1993).

19. Nicoll, P. 2012. Forward osmosis applied to desalination and evaporative cooling make up water. Modern Water, 3rd osmosis summit.
20. Pique, G.G. 2000. New device shatters seawater conversion conceptual. Barriers of Water Conditioning and Purification, July 2000.
21. Reahl, E. R., 2008. "Half A Century of Desalination with Electrodialysis." from http://www.gewater.com/pdf/Technical_Papers_Cust/Americas/English/TP1038EN.pdf.
22. Spiegler, K.S. and Y.M. El-Sayed. 1994. A Desalination Primer. Balaban Desalination Publications, Santa Maria Imbaro, Italy.
23. Wangnick, K. 2000. A global overview of water desalination technology and the perspectives. <http://www.us.es>.