



بررسی آخرین وضعیت شیرین سازی آب و روش های دفع کنسانتره در کشورهای مختلف

فاضل محمدی مقدم^۱، مویده طائی^۲، سارا همتی^۲

۱. استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد.

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد.

چکیده

با توجه به رشد سریع جمعیت کره زمین و استفاده بیش از حد از منابع آب شیرین و همچنین ثابت بودن منابع آبی، تقاضای جهانی آب پیوسته در حال افزایش است. تعداد زیادی از کشورهای جهان از جمله ایران و کشورهای نفت خیز عربی با بحران کمبود آب شیرین مواجه‌اند. یکی از راه حل های مطرح برای مقابله با این بحران، شیرین سازی آب های شور و نمک زدایی آن هاست. نمک زدایی همراه با بازیافت آب هر دو اجزای جدایی ناپذیر راه حل بحران آب هستند. یکی از مهم ترین منابع جدید آب در سال ۲۰۱۵ بر اساس مطالعات انجام شده در بانک جهانی، شیرین سازی آب می-باشد. تکنولوژی های شیرین سازی آب های شور با استفاده از منابع تجدید پذیر به دو گروه کلی حرارتی و غشایی تقسیم می شود. یک مسئله مهم در نمک زدایی، دفع پساب های نمکی می باشد که باید به شکل اصولی دفع یا بازیابی گردد، اما در حال حاضر عمدتاً به دریا تخلیه می گردد. از روش های مورد استفاده دیگر می توان ترکیب کنسانتره با فاضلاب شهری، استفاده از برکه های تبخیر، تزریق به چاه های عمیق و تکنولوژی جدید تخلیه صفر پساب ZLD (Zero Liquid Discharge) را نام برد. بنابراین در این مقاله با توجه به تجربیات و روش های مورد استفاده در کشورهای مختلف، راهکارهای پایدار و مناسب برای دفع اصولی پساب نمکی و بازیابی آن به منظور پیشگیری از اثرات منفی این فناوری بر محیط زیست ارائه خواهد شد.

کلمات کلیدی: شیرین سازی آب، دفع کنسانتره، تخلیه صفر پساب

۱- مقدمه

حجم کل آب های زمین در حدود ۱/۳۸۶ میلیارد متر مکعب است که حدود ۷۰ درصد از کره ی زمین را فراگرفته است، ولی کمتر از یک درصد از آب های موجود برای مصارف بهداشتی و کشاورزی قابل استفاده می باشد. آب اقیانوس ها، دریاها و اغلب دریاچه ها به دلیل داشتن املاح معدنی و شوری بیش از حد برای مقاصد کشاورزی، بهداشتی، و صنعتی غیر قابل استفاده است (بازرگان، ۱۳۹۳). اغلب منابع سنتی آب شیرین مانند رودخانه ها، دریاچه ها و آب های زیرزمینی بر اثر استفاده بیش از حد کاهش یافته و یا به آب های شور تبدیل می گردند. هم اکنون بیش از ۲۵ کشور جهان با بحران کمبود آب در جهان مواجه هستند و حدود ۱/۵ میلیارد نفر به آب آشامیدنی سالم دسترسی ندارند. در حال حاضر نزدیک به یک پنجم جمعیت جهان از کمبود آب آشامیدنی رنج می برد. همچنین دو سوم از جمعیت کل جهان تا سال ۲۰۲۵ با کمبود آب مواجه خواهد شد (بازرگان، ۱۳۹۳). راه حل هایی مانند استفاده مجدد از آب و شیرین سازی آب های شور به حفظ نسل های آینده در جهان کمک خواهد کرد. یکی از مهم ترین منابع جدید آب در سال ۲۰۱۵ بر اساس مطالعات انجام شده در بانک جهانی، شیرین سازی آب می باشد. نمک زدایی همراه با بازیافت آب هر



دو اجزای جدایی ناپذیر راه حل بحران آب هستند. با رشد بحران آب به علت تغییرات آب و هوایی انتظار می‌رود استفاده از فن‌آوری‌های شیرین‌سازی آب در سراسر جهان گسترده‌تر و ارزان‌تر شود (Gleick, 2006). تکنولوژی‌های شیرین‌سازی آب‌های شور با استفاده از منابع تجدید پذیر به دو گروه کلی حرارتی (MSF, MED) و غشایی (RO) تقسیم می‌شود. نمک زدایی بیش از ۶۰ درصد آب‌ها با روش حرارتی انجام می‌شود. در این روش همانند چرخه طبیعی آب در طبیعت، به آب شور گرما داده می‌شود و سپس بخار آن به آب خالص تبدیل می‌گردد. در صنعت و آزمایشگاه‌ها، به آب تا نقطه جوش گرما می‌دهند تا بیش‌ترین بازده را داشته باشد (بزی، ۱۳۸۹).

روش (MED) Multi Effect Distillation

این روش برای تولید مقادیر زیاد آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم‌ها مبتنی بر تولید آب در مراحل مختلف هستند. ساده‌ترین نوع آن‌ها، آب شیرین کن تک مرحله‌ای است که برای مصارف صنعتی کاربرد دارد. اصلی‌ترین اجزای این واحد شامل تبخیرکننده، چگالنده و پیش‌گرمکن آب تغذیه است. تبخیرکننده شامل مبدل حرارتی، فضای بخار، حوضچه‌ی آب تبخیر نشده، محل خروج گازهای غیرقابل چگالش، سیستم اسپری آب و یک فیلتر می‌باشد (معطر، ۱۳۹۲).

روش (MFD) Multi Stage Flash Distillation

این روش پرکاربردترین شیوه نمک زدایی است و درصد زیادی از واحدهای تولید آب شیرین را به خود اختصاص داده است. این سیستم‌ها حالت خاصی از آب شیرین کن‌های موثر چند مرحله‌ای تبخیری هستند و بر این اساس کار می‌کنند که ابتدا آب دریا وارد پیش‌گرمکن شده و سپس در یک گرمکن توسط بخار افزایش دما می‌یابد (این مقدار دما بر حسب نوع پیش‌تصفیه می‌تواند تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد برسد). بعد از این مرحله آب تغذیه وارد محفظه‌ای می‌شود که فشاری پایین‌تر از فشار دمای آب تغذیه دارد. آب تغذیه در رویارویی با این افت فشار ناگهانی، مافوق گرم شده و بخشی از آن تبخیر می‌شود و غلظت باقی مانده آب شور افزایش می‌یابد. بخار تشکیل شده از یک فیلتر عبور کرده و در برخورد با لوله‌های پیش‌گرمکن چگالیده می‌شود. این سیستم‌ها شامل سه بخش ورودی حرارت، دفع حرارت و بازیافت حرارت است، بخش‌های دفع و بازیافت حرارت شامل تعدادی محفظه است که به هم مرتبط می‌باشند. آب دریا قبل از ورود به گرمکن از کویل‌های اتاقلک خلا می‌گذرد که این عمل به دو منظور انجام می‌شود: اول پیش‌گرمایش آب سرد دریا قبل از ورود به گرمکن و دوم چگالش بخار در اتاقلک‌ها برای تهیه آب شیرین. انرژی مورد نیاز در این روش شامل انرژی الکتریکی برای پمپ کردن آب شور و انرژی حرارتی برای گرم کردن آب شور می‌باشد. لازم به ذکر است که تبخیر ناگهانی آب بر روی لوله‌های چگالنده ایجاد رسوب می‌کند، در نتیجه این قسمت نیاز به تعویض و تمیز کردن مکرر دارد. اسمز معکوس، نانوفیلتراسیون و الکترودیالیز سه روش فرایندهای غشایی هستند (بازارگان، ۱۳۹۳).

روش‌های غشایی: اسمز معکوس

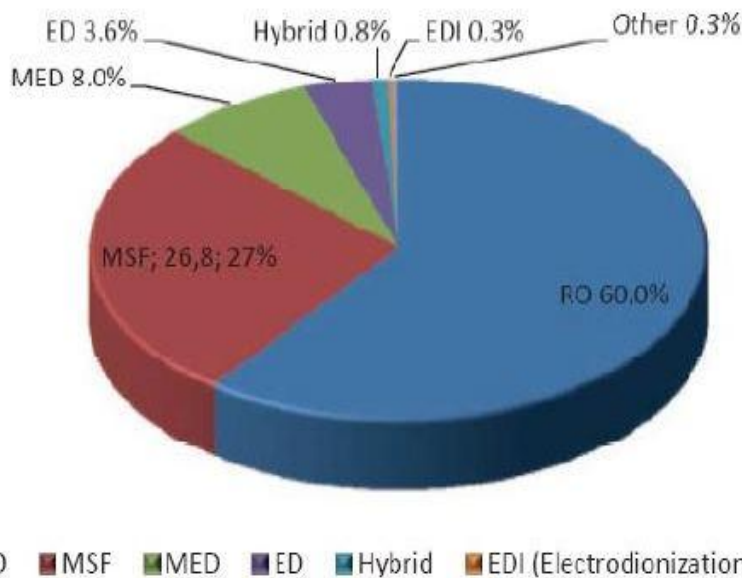
در فرآیند اسمز معکوس از یک دیواره جهت جداسازی آب شیرین از آب شور استفاده می‌شود. آب ورودی از یک دیواره به صورت انتخابی عبور داده شده و نمک آن جدا می‌شود. در این فرآیند فشار آب دریا به میزانی بیش از فشار اتمسفر افزایش داده شده و سپس از یک غشا نیمه تراوا عبور داده می‌شود که طی این فرآیند ذرات جامد نمک جداسازی می‌شوند. واحدهایی که در آن‌ها از فرآیند اسمز معکوس استفاده می‌شود به کیفیت آب ورودی از قبیل میزان شوری، کدورت و دما بسیار حساس بوده در حالی که سایر فرایندها از چنین حساسیتی برخوردار نمی‌باشند. غشای اسمز معکوس برای هر دو نوع یعنی آب دریا و آب شور توسعه یافته و مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lauran F et al). 2009 نانوفیلتراسیون یک فن‌آوری جدید است که از اواسط سال ۱۹۸۰ توسعه یافت و در طیف وسیعی از آب‌های لب شور آزمایش شد. تحقیقات نشان داد که نانو فیلتراسیون‌ها به تنهایی در یک فرآیند نمی‌توانند شوری آب دریا را مطابق



با استانداردهای آب آشامیدنی کاهش دهند اما، در رابطه با آب‌های لب شور موفقیت آمیز بوده اند. با کوپل کردن دو فرایند اسمز معکوس و نانو فیلتراسیون می‌توان برای شیرین سازی آب دریا استفاده کرد. الکترودیالیز تحت یک جریان الکتریکی کار می‌کند که باعث می‌گردد که یون موازی با غشا حرکت کند و به طور معمول در آب شیرین کن های - آب لب شور استفاده می‌گردد. اسمز معکوس تنها نیازمند برق است، این در حالی است که فرآیند شیرین سازی حرارتی (MSF, MED) نیازمند برق و حرارت می‌باشد. فرایند شیرین سازی آب شیرین کن MSF دارای نسبت عملکرد بالاتر، دبی آب خنک کن کمتر و سطح حرارتی مخصوص نسبتا مناسبی در مقایسه با آب شیرین کن MED می‌باشد. از مزایای MED مصرف انرژی الکتریکی کمتر می‌باشد (ارجمندی، ۱۳۹۲).

در شکل ۱ عمده ترین فناوری‌های مورد استفاده برای شیرین سازی آب در جهان و درصد میزان استفاده از هر روش آمده است.

Thermal Technologies	Membrane Technologies
Multi Stage Flash, MSF	Reverse Osmosis, RO
Multi Effect Distillation, MED	Electrodialysis, ED
Vapour Compression, VC	



شکل ۱: عمده ترین فناوری مورد استفاده در فرایند شیرین سازی (گروه نوآوری و توسعه فناوری های برق و انرژی، ۱۳۹۳)

وضعیت شیرین سازی در کشورهای مختلف

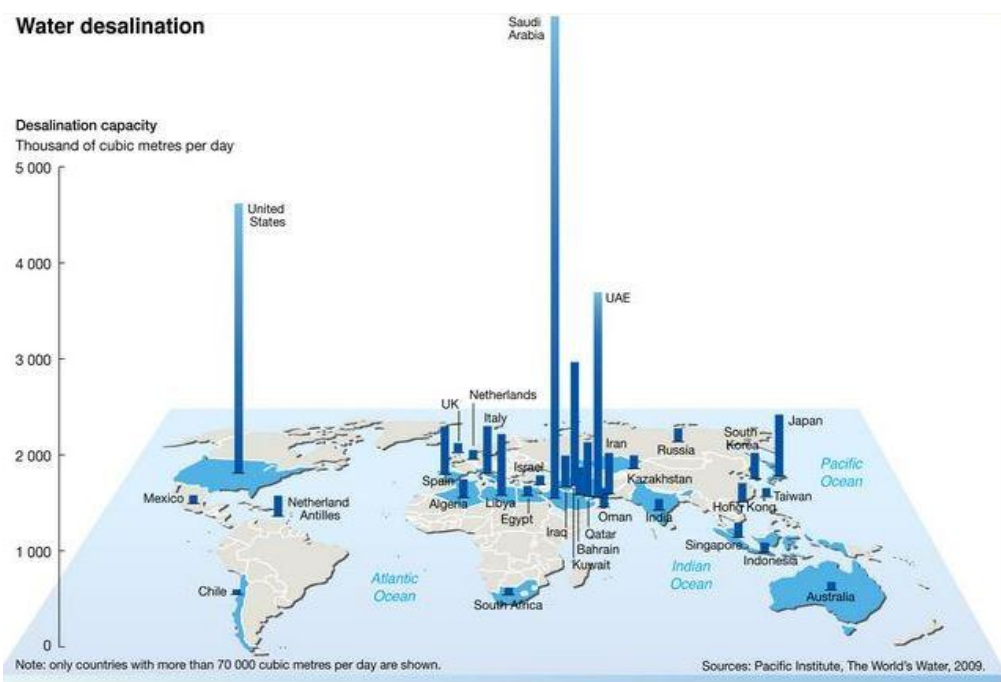


در حال حاضر عربستان سعودی با برداشت روزانه حدود ۲۴ میلیون مترمکعب آب از خلیج فارس راه را برای استفاده از آب شیرین کن‌ها هموار نموده است. حدود ۷۰ درصد آب عربستان سعودی از راه شیرین سازی تامین می‌شود. اما این کشور برنامه‌هایی دارد که در چند دهه آینده به طور کامل آب مصرفی خود را از منابعی مستقل از آب‌های زیرزمینی و انرژی فسیلی تامین کند. هم اکنون عربستان سعودی میزبان بزرگترین کارخانه شیرین سازی آب در جهان است که روزانه ۸۰۰۰۰۰ متر مکعب آب شیرین تولید می‌کند و از خطوط انتقالی حدود ۲۵۰۰ مایل برای انتقال آب به شهرهای داخلی کشور استفاده می‌کند. با افزایش تقاضای آب شیرین و روند رو به کاهش قیمت فناوری‌های انرژی‌های تجدید پذیر، کشورهایی نظیر چین، هند و جزایر کوچک به عنوان بازارهای بالقوه سامانه های شیرین سازی بر پایه انرژی‌های تجدید پذیر محسوب می‌گردند (Erika, 2010), (Picow, 2009), (Omar, 2012).

سرانه منابع آب طبیعی در سراسر کشورهای شورای خلیج فارس ۶۰ - ۳۵۰ مترمکعب است که انتظار می‌رود تا سال‌های آینده ۲۰ درصد کاهش پیدا کند. بنابراین شیرین سازی آب به ستون فقرات این کشورها تبدیل شده تا آنجا که در سال ۲۰۱۲، ۹۹ درصد از نیازهای آب شرب آن‌ها از شیرین سازی تامین می‌شود که به تنهایی نماینده ۵۷ درصد از شیرین سازی جهان است. اولین و ساده‌ترین نمک زدایی از آب را در سال ۱۹۵۰ در ابوظبی در کشور امارات متحده عربی با عبور آب از لایه‌های شن و ماسه -انجام داده اند (IDA, 2012).

در ایران نیز بخصوص در استان‌های مجاور خلیج فارس و عمان ازین آب شیرین کن‌ها به طور کامل استفاده می‌کنند و در حال حاضر سیستم های بخار مثل مجموعه‌های چاپهار به شیرین سازی آب مبادرت می‌کنند. در جزیره قشم نیز از سیستم هیبرید (سیکل ترکیبی + MED + RO) با تولید همزمان برق و آب و ظرفیت شیرین سازی ۱۸ هزار متر مکعب آب در روز بهره برداری به عمل آمده است. دستگاه‌های آب شیرین کن در آذربایجان شرقی با ظرفیت کلی شیرین‌سازی روزانه ۱۰۰ متر مکعب آب با اصلاحات درمورد نوع آلیاژ مقاوم به کار رفته در ساختمان دستگاه و تبخیر آب به کمک نور خورشید و کریستالزه شدن نمک خروجی بزرگترین آب شیرین کن در ایران است (بازارگان، ۱۳۹۳).

در شکل ۲ ظرفیت شیرین سازی آب در کشورهای مختلف جهان با توجه به اقلیم و نوع آب و هوای هر منطقه آورده شده است .





بیشتر کارخانه‌ها نمک‌زدایی جهان در خاورمیانه یا آفریقای شمالی قرار دارند. در این کشورها به دلایل وجود منابع عظیم انرژی، ساخت واحدهای دو منظوره می‌تواند در تولید آب ارزان تاثیرگذار باشند به گونه‌ای که کشورهای بیابانی خاورمیانه با این تکنولوژی تقریباً مشکل بی‌آبی خود را مدیریت و بر آن غالب گردیده‌اند. در ایالات متحده آمریکا یک افزایش چشمگیر در ایجاد پروژه‌های شیرین‌سازی آب دریا و به دنبال آن افزایش مخالفت‌ها در زمینه‌های زیست محیطی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری و نارضایتی از عدم اطلاع‌رسانی به مردم مشاهده می‌شود. اما سازمان‌های دولتی همچنان روی افزایش شیرین‌سازی برای مناطق کم آب جنوب و غرب تاکید دارند. تجربه طولانی اسپانیا در شیرین‌سازی آب بصورتی است که شرکت‌های اسپانیایی نقش برجسته‌ای در صنعت شیرین‌سازی جهان دارند. علاوه بر افزایش کارخانه‌های شیرین‌سازی در مقیاس‌های بزرگ با ارایه طرح بحث برانگیز انتقال آب از مناطق مرطوب تر به نواحی کم آب داخلی موجب رشد سریع صددرصدی ظرفیت شیرین‌سازی در اسپانیا شده است که حتی برای کشاورزی نیز از شیرین‌سازی آب استفاده می‌شود. در چند ایالت استرالیا کارخانه‌های شیرین‌سازی آب فعال هستند. در مناطق گسترده جنوب و جنوب شرقی آسیا و کشورهایی مثل هند و چین که با مشکل آلودگی آب بهداشتی با مواد شیمیایی مثل آرسینیک روبرو هستند، شیرین‌سازی آب می‌تواند یک راه‌گشایی از این مشکل زیست محیطی باشد (Orflai, 2012). فناوری آب شیرین‌کن‌ها در حال حاضر با چالش‌هایی مثل تخریب محیط زیست و بالا بودن هزینه تمام شده مواجه است. به ازای تولید هر متر مکعب آب شیرین ۵۰ تا ۸۰ سنت هزینه صرف می‌شود. یک مسئله مهم در نمک‌زدایی، دفع پساب‌های نمکی می‌باشد (بازارگان، ۱۳۹۳). که باید به شکل اصولی دفع یا بازیابی گردد، اما در حال حاضر عمدتاً به دریا تخلیه می‌گردد. در این مقاله با توجه به تجربیات و روش‌های مورد استفاده در کشورهای مختلف، راهکارهای پایدار و مناسب برای دفع اصولی پساب نمکی و بازیابی آن به منظور پیشگیری از اثرات منفی این فناوری بر محیط زیست ارائه خواهد شد (Laylin, 2012).

۲- روش کار

چالش‌های پیش رو:

۲-۱ دفع کنسانتره حاصل از اسمز معکوس:

معمول‌ترین روش دفع کنسانتره کارخانه‌های اسمز معکوس آب دریا، تخلیه به همان محل برداشت آب است. اولین نگرانی در مورد نوع سیستم پمپاژ و طول لوله کشی مورد نیاز برای تخلیه پساب شور می‌باشد. کنسانتره‌ها می‌بایست قبل از تخلیه رقیق شده و در طول دریا تخلیه شوند تا تاثیری روی ترکیب آن نداشته باشند. برای آب‌های لب شور در صورت امکان روش دفع در آب‌های سطحی انتخاب می‌شود. دفع سطحی به نواحی ساحلی اطراف کارخانه‌های اسمز معکوس محدود می‌شود و در غیر این صورت نیاز به مقدار زیادی لوله کشی برای انتقال آب به نواحی ساحلی می‌باشد که باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود. برخی نیروگاه‌های اسمز معکوس آب‌های لب شور، کنسانتره خود را به دریاچه‌ها و روخانه‌های محلی تخلیه می‌کنند. برخلاف تخلیه کنسانتره حاصل از اسمز معکوس آب دریا، دفع سطحی کنسانتره حاصل از اسمز معکوس آب‌های لب شور باعث افزایش شوری آب‌های پذیرنده می‌شوند. تغییر شوری آب‌های پذیرنده هم باعث تغییر در مقدار اکسیژن محلول می‌شود و روی زندگی گیاهان و موجودات آبی تاثیرات منفی می‌گذارد. اگر آب‌های زیرزمینی منبع تغذیه نیروگاه‌های اسمز معکوس آب شور هستند، نیروگاه باید قبل از تخلیه کنسانتره به آب‌های سطحی آن را تصفیه کند. چون آب‌های زیرزمینی دارای مقدار زیادی گاز مثل دی‌اکسید کربن، آمونیاک و سولفید هیدروژن می‌باشد که برای بسیاری از آبزیان سمی است.



تصفیه کنسانتره شامل: تنظیم PH، کلرزنی، کلرزدایی و گاززدایی و هوادهی باشد. سطح بالای فلوراید و کلسیم در کنسانتره دارای سمیت مشخص برای موجودات آبی شاخص می‌باشد. اگرچه تصفیه کنسانتره در حذف این غلظت‌ها زیاد موثر نیست (Mickley, 2004).

با افزایش نیاز برای شیرین‌سازی آب در نواحی داخلی و دور از سواحل روش‌های دیگری برای دفع کنسانتره گسترش یافته است (Bloetscher, 2006).

هر روش مزایا و معایب خود را دارا است و از نظر هزینه‌ها، منابع محلی در دسترس، اثرات محیطی و نوع تکنولوژی متفاوت است.

گزینه دیگر برای دفع کنسانتره بعد از تخلیه در آب‌های سطحی ترکیب کردن کنسانتره با فاضلاب شهری است. یک مجرای فاضلاب ترکیبی کنسانتره و دیگر فاضلاب‌ها را به محل تصفیه خانه فاضلاب انتقال می‌دهد. پس از تصفیه ترکیب فاضلاب شهری و آب نمک‌ها، مقداری از املاح به لجن منتقل شده و مقداری نیز با پساب خارج می‌شود. البته سطح بالای نمک در فاضلاب می‌تواند تأثیرات مخربی رو فرایند تصفیه بیولوژیک شود که باعث کاهش کیفیت پساب می‌شود (Mickley, 2004). قوانین محلی، مقیاس نیروگاه‌های شیرین‌سازی و نزدیک بودن به محل تصفیه خانه فاضلاب امکان پذیر بودن این روش دفع را مشخص می‌کند. اگر کنسانتره دارای مقادیر بسیار بالای نمک باشد نمی‌توان آن را با فاضلاب ترکیب و تصفیه کرد.

نیروگاه‌های شیرین‌سازی آب‌های لب شور که در نزدیکی مناطق سرسبز مثل پارک‌ها و زمین‌های گلف و یا در نزدیکی زمین‌های کشاورزی قرار دارند می‌توانند از پساب نمکی حاصل از اسمز معکوس به عنوان آب آبیاری استفاده کنند. اگر چه این گزینه دفع دارای مزیت‌هایی برای نیروگاه‌های شیرین‌سازی می‌باشد اما مشکلاتی نیز به همراه دارد. آبیاری با آب شور می‌تواند باعث شور شدن خاک و آب‌های زیرزمینی شود و روی گیاهان اثرات مخرب دارد (Mickley, 2001).

اغلب برکه‌های تبخیر که با توجه به کافی بودن فضا ساخت آن نسبتاً ارزان است، به عنوان گزینه مدیریت کنسانتره در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این که مقرات بر روی حفاظت از خاک و آب‌های زیرزمینی از نمک‌ها و دیگر مواد شیمیایی بالقوه متمرکز شده است برکه‌های تثبیت می‌توانند مانند یک صافی عمل کنند (Nicot et al, 2007). حوضچه‌های تبخیر عمدتاً در خاور میانه و استرالیا و برخی نقاط آمریکا مثل تگزاس استفاده می‌شود. تحقیقات انجام شده در کشورهای خاور میانه مثل اومان، امارات متحده عربی و اسرائیل حاکی از این است که در استفاده از برکه‌های تبخیر، پایش نشت حوضچه‌های تبخیر و استراتژی‌های افزایش تبخیر نیاز است (Lauran F et al, 2009).

در ایالات متحده، آب و هوای مناسب و در دسترس بودن زمین در تگزاس باعث شده که استفاده از برکه‌های تبخیر امکان پذیر باشد. بر خلاف سایر ایالت‌ها مثل کالیفرنیا، سواحل شرقی و فلوریدا که آب و هوا یا زمین مورد نیاز برای ساختن برکه‌های تبخیر را ندارند معمولاً دو گزینه برکه تبخیر و آبیاری به عنوان روش دفع برای نیروگاه‌های کوچک اسمز معکوس با دبی کمتر از ۴۰۰ مترمکعب در روز قابل استفاده هستند (Mickely, 2004). گزینه دیگر برای دفع تزریق به چاه‌های عمیق است که در این روش کنسانتره به اعماق چند صد یا چند هزار متری تا زیر سفره‌های آب زیر-زمینی تزریق می‌شود. این روش در سرتاسر جهان برای دفع انواع فاضلاب استفاده شده است و اقتصادی‌ترین راه حل برای نیروگاه‌های داخلی کشورها است. این روش برای فلوریدا و تگزاس به صورت موفقیت آمیزی استفاده شده است. اما هنوز نیاز به بحث دارد. نگرانی‌های این روش شامل انتخاب محل مناسب، کنسانتره و مواد شیمیایی، خوردگی و نشت از چاه، احتمال فعالیت مخرب زلزله، ندانستن عمر مفید چاه و همچنین مشکل ته‌نشینی نمک‌های محلول می‌باشد (Lauran F et al, 2009).

این روش هنوز برای زمان کافی استفاده نشده که بدانیم آیا بر روی سفره آب زیرزمینی بالایی اثر منفی دارد یا خیر؟ (Mickely, 2004)



در تمام روش‌های دفع کنسانتره کارخانه‌های اسمز معکوس آب‌های لب شور باید از دست دادن تمام آب استفاده شده در طول دفع کنسانتره و هزینه‌های اضافی کارخانه ای را در نظر گرفت. علاوه بر تمام جنبه‌های منفی این روش‌های دفع کنسانتره هر کدام در مقابل استفاده مجدد از آب (بازیابی آب) پر هزینه هستند. به این صورت که در روش‌های برکه‌های تبخیر، تخلیه به فاضلاب، استفاده ثاتویه و تزریق به چاه‌ها آب موجود در کنسانتره به عنوان آب اشامیدنی بازیابی نمی‌شود. علاوه بر این بسیاری از روش‌های متداول دفع کنسانتره به جز روش تزریق در چاه عمیق برای کارخانه‌های شیرین سازی آب شور با اسمز معکوس که امروزه در نواحی داخلی و در مقیاس بزرگ طراحی شده‌اند کاربردی نیست (Glater and Cohen, 2003). دستاورد نهایی موجود در دفع کنسانتره و بازیابی اسمز معکوس بکارگیری سیستم با تخلیه مایع صفر یا zero liquid discharge می‌باشد. که در آن بازیابی نزدیک به ۱۰۰٪ رسیده است. در روش ZLD با جداسازی کامل نمک از آب بیشترین مقدار آب موجود در کنسانتره به عنوان محصول نهایی بازیابی می‌شود. سیستم ZLD شامل تبخیر حرارتی، متبلور کننده، تغلیظ نمک و اسپری خشک‌کن می‌شود. یک سیستم ZLD همرا با سیستم اسمز معکوس برای آب شور با می‌تواند محصولی با TDS کمتر از ۱۰ میلی گرم در لیتر تولید کند. سیستم ZLD را می‌توان در هر موقعیت جغرافیای استفاده کرد و به دلیل اثرات مثبت زیست محیطی و حداقل زباله تولیدی اغلب به راحتی توسط جامعه مورد قبول واقع می‌شود. در حالی که تکنولوژی‌های این سیستم در دسترس هستند اما هزینه‌های آن‌ها بالاست، به علاوه انرژی مورد نیاز برای رسیدن به بهبود نزدیک به ۱۰۰٪ در سیستم ZLD بسیار زیاد است و اغلب بجز در کارخانه‌های شیرین سازی در مقیاس‌های کوچک از لحاظ مالی ممکن نیست. تاحدودی می‌توان با ترکیب کردن ZLD با برکه‌های تبخیر هزینه‌ها را کاهش داد. امروزه تلاش‌ها برای کاهش هزینه‌های تکنولوژی ZLD ادامه دارد (Mickely, 2004). در شکل ۳ تجمع کریستال‌های نمکی را در سواحل دریای سیاه مشاهده می‌کنیم.



شکل ۳: افزایش دفع کنسانتره به دریای سیاه و افزایش شوری و تخریب اکوسیستم دریا (Phil Dickie, 2007)

۲-۲ منابع انرژی تجدید پذیر:

با وجود اینکه عمده واحدهای شیرین سازی تاکنون در مناطقی احداث شده اند که امکان دسترسی به آب و انرژی‌های تجدید پذیر وجود داشته است تنها یک درصد این واحدها از منابع تجدید پذیر به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کنند. با افزایش تقاضای آب شیرین و روند رو به کاهش قیمت فناوری‌های انرژی‌های تجدید پذیر، کشورهای نظیر چین، هند و جزایر کوچک به عنوان بازارهای بالقوه سامانه‌های شیرین سازی بر پایه انرژی‌های تجدید پذیر محسوب می‌گردند (Phil Dickie, 2007).

۲-۲-۱ آب دریا:



امروزه منابع انرژی تجدید پذیر و کارخانه های آب شیرین کن اسمز معکوس هر دو بسیار مورد توجه قرار گرفته و پیشرفت زیادی کرده اند (Mathioulakis et al., 2007). البته منابع انرژی تجدید پذیر هنوز هم گران تر از منابع سنتی مورد استفاده هستند (Helal, 2008). بنابراین هزینه های مربوط به اسمز معکوس با انرژی تجدید پذیر بیشتر از کارخانه های اسمز معکوس معمولی است. استفاده از سیستم های اسمز معکوس همراه با انرژی تجدید پذیر در مناطق روستایی سودمند است زیرا در این مناطق منابع مالی و پرسنل تخصصی نگهداری و تعمیر برای انرژی های سنتی محدود است. عواملی چون هزینه سرمایه گذاری، تکنولوژی پایدار، عملیات فنی، پذیرش اجتماعی و در دسترس بودن منابع، رشد آهسته استفاده از سیستم RO همراه با انرژی های تجدید پذیر را کنترل می کند (Mathioulakis et al., 2007).

انرژی خورشیدی (حرارتی و فتوولتاییک)، انرژی باد و انرژی زمین گرمایی سه منبع اصلی انرژی تجدیدپذیر هستند. اغلب منابع انرژی حرارتی برای آب شیرین کن های تقطیری استفاده می شود در حالی که انرژی بادی و فتوولتاییک معمولاً برای سیستم اسمز معکوس استفاده می شود. به طور کلی بیشترین منبع انرژی که اغلب استفاده می شود انرژی خورشیدی است (۷۰٪ بازار) و سیستم اسمز معکوس اکثراً (۶۰٪) همراه با انرژی تجدید پذیر استفاده شده است (Mathioulakis et al., 2007). آب شیرین کن های خورشیدی بهترین انتخاب و استفاده انرژی های جایگزین می باشد که برای هردو سیستم حرارتی و غشایی قابل کاربرد است. مخصوصاً کشور هایی چون اسپانیا، ایتالیا و عربستان سعودی با موفقیت انرژی خورشیدی فتوولتاییک را همراه با سیستم اسمز معکوس برای شیرین سازی آب دریا استفاده کرده اند. در سلول های خورشیدی فتوولتاییک، انرژی خورشید به طور مستقیم به الکتریسیته تبدیل می شود و یک منبع انرژی مستقیم را برای راه اندازی سیستم اسمز معکوس در اختیار قرار می دهد. گزارش ها نشان می دهد ظرفیت تولید آب شیرین از آب دریا با سیستم اسمز معکوس همراه با انرژی خورشیدی ۱۲۰-۵ مترمکعب در روز می باشد (Garcia, 2003). اسپانیا رهبر نمک زدایی در اروپا یک کارخانه اسمز معکوس همراه با یک مزرعه بادی در جزایر قناری ترکیب کرده است. چهار ژنراتور بادی می توانند ۵۰۰۰ مترمکعب در روز انرژی تولید کنند که برای زمان های مختلف سال متفاوت است و به شرایط فصلی بستگی دارد (Lauran F et al 2009). در جدول شماره ۱ ترکیب فناوری های انرژی های تجدید پذیر و فناوری های شیرین سازی که بیشترین کاربرد را در جهان دارن آورده شده است.

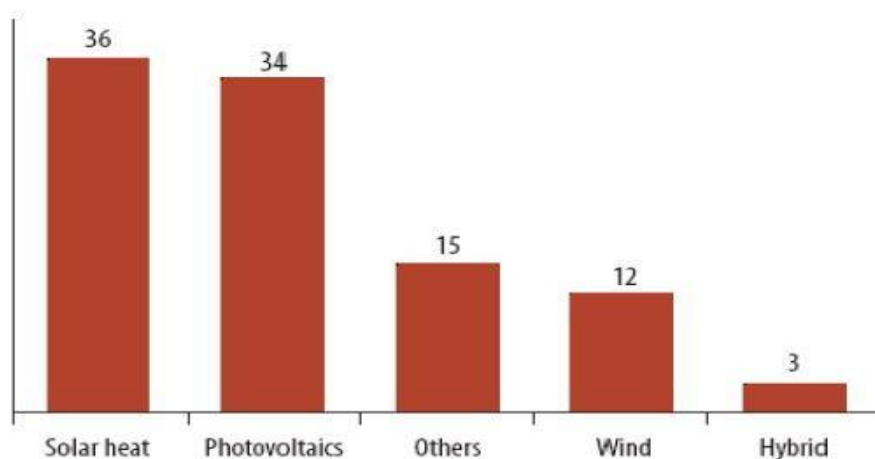
جدول ۱: ترکیب فناوری های انرژی های تجدید پذیر و فناوری های شیرین (گروه نوآوری و توسعه فناوری های

برق و انرژی، ۱۳۹۳)



Thermal Technologies	Membrane Technologies				
	MSF	MED	VC	RO	ED
Renewable Technologies	●	●	●	●	●
Solar thermal			●	●	●
Solar PV			●	●	●
Wind	●	●	●	●	●
Geothermal	●	●	●	●	●

در نمودار ۱ نیز درصد کاربرد فناوری شیرین سازی آب بر پایه انرژی‌های تجدید پذیر بر اساس نوع فناوری مشاهده می‌شود.



Source: ProDes 2010.

نمودار ۱: وضعیت جهانی کاربرد فناوری شیرین سازی آب بر پایه انرژی‌های تجدید پذیر بر اساس نوع فناوری (درصد) (گروه نوآوری و توسعه فناوری های برق و انرژی، ۱۳۹۳)

۲-۳ آب لب شور :

منابع انرژی تجدید پذیر برای شیرین سازی با روش اسمز معکوس آب های لب شور نیز استفاده می شود . در استرالیا یک نیروگاه نمک زدایی با سیستم اسمز معکوس کوچک در مقیاس ۰/۴-۱ مترمکعب در روز با انرژی خورشیدی راه اندازی شده است. این سیستم ها در مناطق دور از ساحل و مرکزی که با محدودیت آب روبه رو هستند، مورد استفاده قرار می گیرند. برعکس نواحی ساحلی که در آنها کارخانه های بزرگ شیرین سازی اهمیت دارد، در نواحی داخلی و روستایی که با محدودیت آب رو به رو هستند، کارخانه های کوچک اسمز معکوس با طراحی ساده تر و استفاده از انرژی-



های تجدید پذیر می‌تواند با موفقیت و با هزینه‌های کمتر برای این جوامع کوچک آب تامین کند. مطالعات نشان می‌دهد که ظرفیت شیرین سازی آب‌های لب شور با استفاده از انرژی خورشیدی ۶۰-۰/۱ متر مکعب در روز است.

۲-۳ هزینه‌ها :

بررسی‌ها نشان می‌دهد که نوع آب ورودی (آب دریا یا آب لب شور) ، اندازه کارخانه و منبع انرژی نقش مهمی را در هزینه‌های شیرین سازی دارند. هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای واحدهای شیرین‌سازی آب دریا به مراتب بالاتر از هزینه‌های شیرین سازی آب‌های لب شور است. هزینه سرمایه‌گذاری برای نمک زدایی از آب دریا بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ دلار به ازای هر مترمکعب در روز و برای نمک زدایی آب‌های لب شور ۲۴۰ تا ۴۰۰ دلار به ازای هر مترمکعب در روز می‌باشد (Lauran F et al, 2009).

۲-۴ چالش‌های فنی و آینده اسمز معکوس :

امروزه شاهد افزایش چشمگیر استفاده از غشاهای اسمز معکوس در تصفیه فاضلاب به دلیل توانایی بالای این روش در حذف انواع آلاینده‌ها مخصوصاً ترکیبات آلی آب دوست و بسیاری از عوامل بیماری‌زا و دارویی بوده‌ایم. اما چالش پیش رو پدیده بارش فسفات کلسیم و افزایش مقدار کربن آلی در محصول نهایی تصفیه است. رسوب گذاری غشا و طراحی تصفیه‌مقدماتی از دیگر چالش‌های استفاده از این سیستم برای تصفیه فاضلاب است (Richardson, 2007). توسعه دستگاه‌های بازیابی انرژی و کارخانه‌های هیدرید شیرین سازی موجب افزایش چشمگیر بازیابی انرژی شده است. پیشرفت تحقیقات و فناوری در بازیابی انرژی و طراحی سیستم باعث منافع اضافی در بازیابی انرژی و کاهش هزینه‌ها شده است، (Lauran F et al 2009). یکی از محدودیت‌های غشاهای پلی آمیدی و طراحی سیستم تصفیه تماس با کلر که گندزدای متداول آب و فاضلاب است می‌باشد (Park, 2008). امروزه استفاده از غشاهای دارای مقاومت به کلر در حال افزایش است. نتایج آزمایشات در مقیاس پایلوت نشان داده که تنظیم pH و اضافه کردن مواد شیمیایی می‌تواند باعث افزایش کارایی غشا و کاهش هزینه‌ها شود. استاندارد کیفیت آب‌های سخت نیازمند پیشرفت و بهینه سازی بیشتر غشاهای اسمز معکوس شود. مخصوصاً در مورد استاندارد بور که به بیش از یک مرحله اسمز معکوس نیاز دارد. در آینده غشاهایی استفاده می‌شوند که تمرکز بیشتری روی حذف آلاینده‌هایی چون بور، گند زدها و ... دارند. توسعه گسترده کارخانه‌های شیرین سازی ساحلی با روش دفع کنسانتره به صورت تخلیه در آب‌های سطحی موجب اثرات منفی بالقوه روی آب‌های سطحی پذیرنده و سایر آب‌های پیرامون سواحل شده است. مدلسازی شور شدن آب‌های خلیج فارس نشان می‌دهد که افزایش تعداد کارخانه‌های ساحلی شیرین سازی ارتباط معناداری با افزایش شوری خلیج فارس و تغییرات محلی در میزان اکسیژن و دمای آب دارد. بنابراین همچنان که استفاده از آب شیرین کن‌ها افزایش می‌یابد، باید تاثیرات آن‌ها بر نحتوای آب ارزیابی شود و تاثیرات منفی آن‌ها به حداقل برسد. استفاده از فیلترها و غشاها قبل از غشای اسمز معکوس مخصوصاً برای آب‌های سطحی دارای ذرات کلوییدی و رسوب شونده می‌تواند به عنوان یک روش پیش تصفیه باعث بهبود عملکرد سیستم اسمز معکوس و کاهش هزینه‌ها شود (Lauran F et al, 2009).

۳- بحث و نتیجه گیری

نمک زدایی از آب شور دریاها و اقیانوس‌ها از متداول ترین روش‌هایی است که اکثر کشورهای جهان برای تامین بخشی از آب مصرفی خود و همچنین مقابله با کمبود منابع آب شیرین از آن استفاده می‌کنند. تقطیر، تبادل یونی، انجماد و روش‌های غشایی از جمله روش‌های متداول نمک زدایی از آب دریا هستند که امروزه اکثر کشورها از آنها



استفاده می‌کنند. استفاده از هر یک از این روش‌ها به احداث تاسیسات بزرگ و پرهزینه، تامین مقدار زیاد انرژی برای کار دستگاه‌ها، هزینه‌های مربوط به نگهداری و تعمیر قطعات و به کارگیری افراد متخصص نیاز دارد. همچنین فعالیت این دستگاه‌ها به ایجاد آلودگی حرارتی در آب و به هم خوردن تعادل زیستگاه آبیان می‌شود. بنابراین شیرین‌سازی آب‌های شور در مقیاس‌های وسیع بسیار پرهزینه است. ساخت کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن کم‌هزینه‌تر در گرو توسعه تکنولوژی ساخت غشاهای کارآمدتر است. در این جهت طراحی و ساخت کارخانه‌های کوچک‌تر و کارآمدتر هم در دستور کار قرار دارد تا امکان تهیه آب شیرین اقتصادی برای مناطق کم جمعیت یا گروه‌های کاری کوچک در مناطق دورافتاده فراهم شود. راه دیگر برای کاهش هزینه‌ها و بهبود عملکرد کارخانه‌های آب‌شیرین‌کن، سرمایه‌گذاری بیشتر در بخش تحقیقات است. اما در حال حاضر به نظر می‌رسد که چنین سرمایه‌گذاری‌هایی حتی در کشورهای پیشرفته و صاحب فناوری نیز کم و ناکارآمد است. به نظر می‌رسد، اگر کارخانه به اقیانوس نزدیک باشد مشکلی وجود ندارد و آب شور را می‌توان البته با دقت و احتیاط کامل و طی فرآیند کاملاً مشخصی مجدداً به دریا یا اقیانوس بازگرداند. در برخی مناطق حتی امکان تزریق این محلول به بخش‌های زیرین زمین، به دلیل مشکل آبهای زیرزمینی وجود ندارد. دستاورد نهایی موجود در دفع کنسانتره، بکارگیری سیستم با تخلیه مایع صفر یا zero liquid discharge می‌باشد. در روش ZLD با جداسازی کامل نمک از آب، بیشترین مقدار آب موجود در کنسانتره به عنوان محصول نهایی بازیابی می‌شود. سیستم ZLD را می‌توان در هر موقعیت جغرافیایی استفاده کرد و به دلیل اثرات مثبت زیست محیطی و حداقل زباله تولیدی اغلب به راحتی مورد قبول واقع می‌شود. در حالی که تکنولوژی‌های این سیستم در دسترس هستند، اما هزینه‌های آن‌ها بالاست، به علاوه انرژی مورد نیاز برای رسیدن به بهبود نزدیک به ۱۰۰٪ در سیستم ZLD بسیار زیاد است و اغلب بجز در کارخانه‌های شیرین‌سازی در مقیاس‌های کوچک از لحاظ مالی ممکن نیست. روش‌های دیگری نیز برای شیرین کردن آب وجود دارد که برخی کم‌هزینه‌تر و برخی پرهزینه‌تر هستند و دارای عوارض نامطلوبی می‌باشند. بنابراین برای انتخاب نهایی باید تمامی جنبه‌های مادی و زیست محیطی طرح‌ها را به صورت موشکافانه در نظر گرفت و چشم بسته اقدام به سرمایه‌گذاری کلان برای آینده نکرد.

منابع

- ارجمندی، م، پاکیزه، م. ۱۳۹۲. طراحی و مدل‌سازی ریاضی سیستم آب شیرین‌کن چند مرحله‌ای (MED) با قابلیت کاربرد در نیروگاه بخاری و صنایع مشابه. فصلنامه تخصصی-علمی ترویجی، صفحه ۳۶
- بزی، خ، خسروی، س، جوادی، م، حسین‌نژاد، م. ۱۳۸۹. بحران آب در خاورمیانه (چالش‌ها و راهکارها). چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام.
- بازارگان، م، احمدی علی بیگلویی، م. ۱۳۹۳. تولید آب شیرین با استفاده از سرمایه‌های زیرزمینی هوای مرطوب و انرژی خورشید. شماره اول. فصل‌نامه علمی-تخصصی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو.
- معطر، م، عتابی، ف، درویش، ن. ۱۳۹۲. شیرین‌سازی آب دریای خزر با نانوذرات سیلیس برای مصارف کشاورزی. نشریه محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران، (۴): ۴۵۳-۴۴۵
- شیرین‌سازی آب با استفاده از فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر. گروه نوآوری و توسعه فناوری‌های برق و انرژی. ۱۳۹۳.
- Polar, J, Laas, M, Bloetscher, F, Meeroff, D.E, Wright, M.E, Yang, D, Rojas, R, Fiekle, C, 2006. Defining the concentrate Bieler, B, Sakura-Lemessy, D-M, Aziz, S.A, Journal identifying potential solutions. Florida Water Resources disposal problem and 25-30.58 (4)



- Desalination: option or distraction for a thirsty world? 2007. Report of WWF's Global Freshwater Programme by Phil Dickie (www.melaleucamedia.com). -
- Erika, L, Saudi, A. Desalination (December 23, 2010). Retrieved from <http://hir.harvard.edu/pressing-change/saudi-arabia-and-desalination>. -
- Grid-Arendal. Water Desalination (February 21 2012). from http://www.grida.no/graphicslib/detail/water-desalination_11e4 -
- Garcia, R, guez, L, 2003. Renewable energy applications in desalination: state of the art. *Solar Energy* 75, 381–393. -
- Helal, A.M., Al-Malek, S.A, Al-Katheeri, E.S, 2008. Economic feasibility of alternative designs of a PV-RO desalination unit for remote areas in the United Arab Emirates. *Desalination* 221(1–3), 1–16. -
- IDA. *IDA Desalination Yearbook 2012-2013*. Rep. Oxford: Media Analytics, 2012. Print. -
- Lauren, G, Desmond, L, Lawler, Benny, F, Benoit, M, Philippe, M. 2009. Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water research*. 43(9): 2317-2348. -
- Laylin, T. 2012. Qatar to Spend Up to \$20 Billion on Solar. *Green Prophet*. Green ProphetWeb. -
- Mathioulakis, E, Belessiotis, V, Delyannis, E, 2007. Desalination by using alternative energy: review and state-of-the-art. *Desalination* 203, 346–365. -
- Mickley, M.C, 2004. Review of Concentrate management options, ground water report 363. Technical Papers, Case Studies and Desalination Technology Resources. In: *The Future of Desalination in Texas*, vol. 2. Texas Water Development Board. Available from: <http://www.twdb.state.tx.us/iwt/desal/docs/Volume2Main.asp> (accessed 21.05.08.). -
- Mickley, M.C, 2001. Membrane Concentrate Disposal: Practic Regulation. U.S. Reclamation, Mickley & Associates. and r, Bureau o Department of the Interio es -
- Nicot, J.P, Gross, B, Walden, S, Baier, R, 2007. Self-Sealing Evaporation Ponds for Desalination Facilities in Texas. TexasWater Development Board. -
- Omar, S. 2012. The Future Outlook of Desalination in the Gulf: Challenges & opportunities faced by Qatar & the UAE. pages; 2-41. -
- Orfali, R. 2012. Desalination in the Gulf. Personal interview. -
- Park, H.B, Freeman, B.D, Zhang, Z.B, Sankir, M, McGrath, J.E, 2008. Highly chlorine-tolerant polymers for desalination. *Angewandte Chemie-International Edition* 47 (32): 6019–6024. -
- Picow, M. Saudi Arabia Opens Worlds Largest Desalination Plant (May 14, 2009). Retrieved from <http://www.greenprophet.com/2009/05/saudi-arabia-desalination>. -
- Richardson, S.D, Plewa, M.J, Wagner, E.D, Schoeny, R, DeMarini, D.M, 2007. Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection byproducts in drinking water: a review and roadmap for research. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research* 636 (1–3), 178. -