معرفی و ارزیابی اقتصادی روشهای مختلف ارائه شده برای شیرین سازی آبهای نامتعارف باتوجه به چالشهای کنونی و آینده برای تامین پایدار آب

نگاربیگی

دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی محیط زیست، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران،

beigi_negar@civileng.iust.ac.ir

مجید حسین زاده

استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران،

Hosseinzadeh_m @iust.ac.ir

چکیده

امروزه نمک زدایی آبهای نامتعارف از جمله آب دریا به عنوان یک راه حل جذاب در جهت بهبود تقاضای فعلی و آینده آب شیرین در درجه اول مورد توجه بوده زیرا ازلحاظ تئوری، با توجه به حجم وسیع آب دریا و اقیانوسها که در سطح زمین گسترده شده اند، پتانسیل افزایش منابع جهانی آب شیرین از طریق نمک زدایی آب دریا بسیار زیاد است. دراین تحقیق با مطالعه و بررسی پژوهش‌های انجام شده در این زمینه در ابتدا با توجه به اهمیت این موضوع و لزوم آشنایی با فرایند نمک زدایی به تشریح روشهای مورد استفاده برای شیرین سازی آب پرداخته می شود و در ادامه مزایا و معایب آنها بررسی میگردد. چراکه بررسی روش‌های گوناگون وآشنایی با چالشهای مربوط به آنها باعث شناخت بهتر و دقیق تر نیازها و خلأهای موجود در این سیستم شده و در نتیجه آن میتوان برای حل مشکلات به صورت پایدار و دستیابی به امنیت آب و هم سوسازی روشهای شیرین سازی آب با انرژی های تجدیدپذیر به راه‌حلهای نوآورانه دست یافت، همچنین با مدیریت بهتر زائدات میتوان نمک زدایی را به عنوان گزینه‌ای مقرون به صرفه و پایدار برای تامین نیازهای آبی مطرح نمود. در بین روشهای بررسی‌شده واحدهای اسمزمعکوس به دلیل کاهش هزینه تولید آب و امکان پذیرش انرژی الکتریکی و باد به عنوان انرژی ورودی به لطف اتخاذ فناوری های تجاری مانند پانل های فتوولتائیک و توربین های بادی، به عنوان یکی از بهترین فناوری موجود برای نمک زدایی که اتصال با منابع تجدید پذیر را ساده می‌کند، معرفی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کمبود آب شیرین، آب نامتعارف، نمک زدایی، انرژی‌های تجدیدپذیر، توسعه پایدار

www.SID.ir

۱- مقدمه:

در شرایطی که در نقاط زیادی از زمین افزایش تقاضای آب و کاهش منابع آب شیرین داریم، جستجوی منابع آب جایگزین امری ضروری است. اهمیت این موضوع زمانی مشخص میشود که بدانیم ما در دنیایی تشنه زندگی می‌کنیم که علیرغم وجود مقدار کافی آب بر روی زمین (1.4×10^9 کیلومتر مکعب)، ۹۷,۵ درصد از این آب شامل آب دریا با میانگین شوری ۳۵۰۰۰ قسمت در میلیون (*ppm*) یا میلی گرم بر لیتر است. این بدان معناست که تنها ۲,۵ درصد آب زمین آب شیرین است، که ۸۰ درصد آن در یخچال های طبیعی قفل شده است، ۲۰درصد باقی مانده (یا ۰,۵ درصد آب شیرین) در رودخانه ها، دریاچه ها و سفره های زیرزمینی جهان موجود است(*Ibrahim, Rashad et al. 2017*).

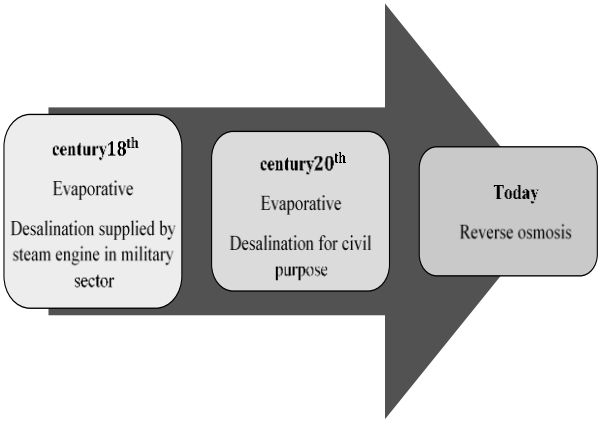
در بسیاری از مناطق جهان، آب شیرین با سرعتی فراتر از میزان شارژ طبیعی استخراج می شود و با افزایش سریع جمعیت و شهرنشینی، انتظار می رود مصرف جهانی آب افزایش یابد. پیش بینی می شود که تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۴۰ درصد از جمعیت جهان در مناطق با تنش شدید آبی زندگی کنند، همچنین ارزیابی کمبود منابع آبهای سطحی و زیرزمینی به صورت ماهانه نشان میدهد که حداقل در یک ماه در سال، حدود ۴,۳ میلیارد نفر تحت شرایط کمبود متوسط تا شدید آب در سطح جهان زندگی خواهندکرد در حالی که تقریباً ۴,۰ میلیارد نفر حداقل یک ماه از سال کمبود شدید آب خواهند داشت، این گزارش همچنین تخمین زده است که حدود ۱,۸ تا۲,۹ میلیارد نفر حداقل ۴ تا ۶ ماه در سال کمبود شدید آب را تجربه می کنند. در همین راستا، برآورد می شود که تقریباً ۵۰۰ میلیون نفر با کمبود شدید آب در طول سال مواجه هستند(*Mekonnen and Hoekstra 2016*). با در نظرگرفتن این شرایط منابع آب نامتعارف، به عنوان یکی از مهم ترین جایگزین ها برای منابع آب شیرین موجود در کره زمین، معرفی شده اند. یکی از مهم ترین منابع آب نامتعارف آب های شور و لب شور به شمار می آیند. با توجه به وجود منابع عظیم آب شور در کره زمین نمک زدایی آب به کلیدی برای کمک به رفع نیازهای آب تبدیل شده است، نمک زدایی فرآیند حذف نمک های اضافی و سایر مواد شیمیایی محلول از آب دریا است این فرایند غلظت نمک را به حد مجاز آب آشامیدنی سازمان بهداشت جهانی میرساند. بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی میزان مطلوب مجموع املاح محلول در آب ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر و میزان مجاز آن ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر است. همچنین در استاندارد ۱۰۵۳ویژگی های آب آشامیدنی ملی کشور، حداکثر مجاز مجموع املاح محلول ۱۵۰۰میلی گرم بر لیتر ذکر شده است. در جدول شماره۱ طبقه بندی آبهای شور ارائه شده است (۱۳۹۷، قدمی، حامد؛ امیرهوشنگ طاهری).

جدول (۱). طبقه بندی آب های شور

مجموع املاح محلول (میلی گرم در لیتر)	طبقه بندی
۰-۱۰۰۰	آب متعارف
۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	آب لب شور
۷۰۰۰۰-۵۰۰۰۰	آب دریا
بیش از ۱۰۰۰۰۰	پساب شور

www.SID.ir

از نظر تاریخی، ایده پشت فرآیند نمک زدایی توسط نیروی دریایی سلطنتی (نیروی جنگی نیروی دریایی انگلستان) در پایان قرن ۱۸ با هدف افزایش خود مختاری ناوبری بدون ذخیره آب بیشتر در کشتی ها مطرح شد(*Rognoni.M 2010*). از آنجا که در آن دوره کشتی ها به موتورهای بخار مجهز بودند، اولین فناوری نمک زدایی تقطیر یک مرحله ای بود که در سالهای بعد به تقطیر چند مرحله ای کارآمدتری تبدیل شد. در اواسط دهه ۱۹۰۰، توسعه فناوری غشایی و به دنبال آن فرایندهای اسمزمعکوس برای کمک به نمک زدایی آغاز شد. در تصویر شماره۱ تغییرات و تکامل فرایندهای شیرین سازی با گذشت زمان نشان داده شده است(*Curto, Franzitta et al. 2021*).



تصویر(۱). تکامل فرایندهای نمک زدایی با گذشت زمان

در بسیاری از کشورهای دارای تنش آبی، آبی که از طریق نمک زدایی به دست می آید بسیار بیشتر از منابع آب شیرین است، از طرفی پیشرفت های تکنولوژیکی اخیر باعث شده است که نمک زدایی در مقیاس جهانی کارآمدتر و مقرون به صرفه تر باشد. برخی ازمواردی که در این امر محقق شده اند عبارتند از بهبود مواد مورد استفاده در نمک زدایی مبتنی بر غشاء با قابلیت بازیابی انرژی دستگاها در جهت کاهش تقاضای برق و ترکیب روشهای مختلف نمک زدایی در طرحهای هیبریدی، همچنین استفاده تدریجی ازمنابع انرژی تجدیدپذیر در واحدهای نمک زدایی درحال انجام است که به پایداری طولانی مدت نمک زدایی کمک می کند. با این حال، هنوز چالش هایی در زمینه کاهش نیازهای بیشتر آب شیرین کن و مدیریت محصولات زائد پس از تصفیه به منظور جلوگیری از اثرات نامطلوب زیست محیطی وجود دارد.

این مقاله به بررسی جامع فرایندهای نمک زدایی و عوامل موثر بر آنها می پردازد همچنین مروری بر فناوری های جدیدی که برای بهبود کارایی کلی فرآیند نمک زدایی تنظیم شده است، ارائه می دهد.

۲- مواد و روش ها

در این مقاله کلیت روشهای شیرین سازی آبهای نامتعارف با بررسی مطالعات صورت گرفته در این زمینه بیان میگردد. برای این منظور قدم اول شناسایی انواع طبقه بندی روشهای مورد استفاده می باشد، در قدم بعدی با توجه به اهمیت هم‌سوسازی فرایندهای نمک زدایی با انرژی‌های تجدیدپذیر و دستیابی به توسعه پایدار، به آشنایی با روش اسمزمعکوس و تقطیر خورشیدی که قابلیت اتصال با انرژیهای تجدیدپذیر را بیشتر از سایر روشها دارند، می پردازیم. در ادامه با توجه به اهمیت قابلیت اجرایی بودن واحدهای شیرین‌سازی به ارزیابی اقتصادی آنها پرداخته میشود و در پایان به جمع بندی و دسته بندی مزایا و معایب روشها پرداخته می‌شود.

www.SID.ir

۱-۲- طبقه‌بندی روشهای نمک‌زدایی

برای شناسایی بهتر روشهای نمکزدایی لازم است با طبقه بندی و گروههایی که هریک از روشها در آن قرار میگیرند آشنا شویم. لازم به ذکر است که به توجه به اصول کار و نوع انرژی ورودی میتوان دسته‌بندی های متفاوتی را برای هریک از روشها در نظر گرفت که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۱-۱-۲-طبقه بندی فناوری های نمک زدایی بر اساس اصول کار: میتوان این گروه را به سه دسته تبخیر-تراکم(فرایندهای حرارتی)، فیلتراسیون(فرایندهای غشایی) و تبلورتقسیم کرد(*Alkaisi, Mossad et al. 2017*). درمورد دسته‌ی اول انرژی گرمایی موردنیاز برای حرارت و تراکم این گروه با استفاده از گرمای حاصل از یک فرایند حرارتی (به عنوان مثال ، گرمای تلف شده یا احتراق سوخت) یا از طریق یک فرایند مکانیکی تولید می‌گردد. در مورد اول، متداول ترین فناوری ها عبارتند ازتقطیرناگهانی چند مرحله ای (*MSF*[1])، تقطیراثر چندگانه (*MED*[2])، فشرده سازی بخار حرارتی (*TVC*) و تقطیر غشایی (*MD*[3]). در حال حاضر رویکردهای دیگر در دست بررسی می باشند که در میان آنها می توان چند راه حل جدید ارائه شده توسط تابش خورشید از جمله تقطیر خورشیدی (*SSD*[4])، دودکش خورشیدی(*SC*[5]) و نمک زدایی رطوبت افزایی -رطوبت زدایی (*HDH*[6]) را نام برد. در مورد فرآیندهای مکانیکی مورد استفاده برای تولید آب شیرین از طریق تبخیر و تراکم آب دریا، تکنیک اصلی فشرده سازی بخار مکانیکی (*MVC*[7]) است.

در مورد فناوری های فیلتراسیون، همه محلول ها اساساً بر روی یک غشای نیمه تراوا، یعنی لایه ای که با توجه به اندازه یا ماهیت مولکول ها، حالت متفاوتی از رفتار عبور را نشان می دهد، ساخته شده اند. تنها استثنا رزین های تبادل یونی (*IXR*[8]) است، جایی که از مواد طبیعی یا مصنوعی برای جذب یونهای محلول به روش شیمیایی استفاده می شود(*Xu 2005*). در این زمینه *RO* بیشترین فناوری مورد استفاده برای نمک زدایی است. الکترودیالیز (*ED*[9]) و رزین تبادل یونی (*IXR*) برای تولید آب با غلظت بسیار محدود نمک‌ها استفاده میشوند. تکنیکهای دیگر، مانند اسمزمستقیم (*FO*[10])، نانوفیلتراسیون (*NF*[11]) و دیونیزاسیون خازنی (*CDI*[12]) در مرحله توسعه هستند.

سرانجام، طبقه تبلور شامل تکنیک هایی است که یخ را به عنوان محصول واسطه استخراج می کند و منجر به تولید آب شیرین میشود. در واقع وقتی که آب یخ زده و منجمد می شود، نمک محلول در آن همانند کریستالهای یخ معمولی قرار نمی گیرد، بنابراین در شرایط کنترل شده ای آب شور به کمک یخ زدن نیز می تواند شیرین سازی شود. برای این منظور قبل از اینکه کل آب خام شور ورودی یخ بزند، مخلوط یخ مربوطه شست وشو و آبکشی شده و به این ترتیب نمک موجود در باقی مانده آب یا نمکی که به یخ چسبیده ،جدا می شود. سپس یخ به منظور تولید آب شیرین

[1] Multi-stage Flash
[2] Multi-effect Distillation
[3] Membrane Distillation
[4] Solar Still Distillation
[5] Solar Chimney
[6] Humidification-Dehumidification
[7] Mechanical Vapor Compression
[8] Ion Exchange resin
[9] Electrodialysis
[10] Forward Osmosis
[11] Nanofiltration
[12] Capacitive Deionization

www.SID.ir

ذوب می گردد. تکنیک های اصلی این روش عبارتند از: نمک زدایی ثانویه مبرد (*SRF*[13])، هیدراتاسیون(*HY*[14]) و انجماد خلاء (*VF*[15]). لازم به ذکر است که به دلیل هزینه زیاد رو شهای سرمایشی در مقابل فرایندهای گرمایشی همه این رویکردها امروزه در دست بررسی هستند(*Patel, Mekala et al. 2013*).

۲-۱-۲-طبقه بندی با در نظر گرفتن نوع انرژی مورد نیاز برای اجرای فرایند:

در این گروه چهار نوع انرژی حرارتی، انرژی مکانیکی، انرژی الکتریکی و انرژی شیمیایی در نظر گرفته شده اند. دسته اول می تواند توسط منابع انرژی گرمایی یا زمین گرمایی خورشیدی تأمین شود. این دسته شامل فناوری های *MSF*، *MED*، *TVC*، *FO*، *MD*، *SC*، *HDH* و *SSD* است.

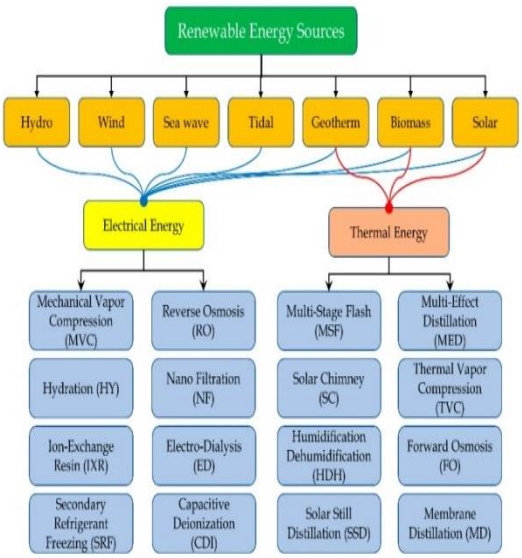
لازم به ذکر است که سه رویکرد آخر برای بهره برداری مستقیم از تابش خورشید طراحی شده اند(*Ullah and Rasul 2019*).

گروه فناوری هایی که به انرژی ورودی از نوع مکانیکی نیاز دارند شامل *MVC*، *RO*، *NF*، *SRF*، *HY* است. همه این تکنیک ها با وجود پمپ ها و کمپرسورهایی مشخص می شوند که نیازمند بخش عمده ای از کل انرژی مورد نیاز برای این فرایند هستند(*Curto, Franzitta et al. 2021*).

دو دسته آخر نمونه های محدودی دارند. الکترودالیز و نمک زدایی خازنی مستلزم ایجاد میدان الکتریکی بین دو الکترود است که توسط یک غشای آنیونی و یک غشای کاتیونی جدا شده است (غشاهای انتخابی که اجازه می دهد یونهای مثبت و منفی به ترتیب عبورکنند). در این مورد، برق تنها راه تأمین فرآیند است. در مورد رزین تبادل یونها، اصل کار جایگزینی شیمیایی یونهای مثبت و منفی است. در مورد *FO*، جایگزینی املاح برای استخراج آب از محلول شور رخ می دهد(*Curto, Franzitta et al. 2021*)

۳-۱-۲-طبقه بندی بر ا ساس پیوند محتمل بین فناوری های نمک زدایی و منابع انرژی تجدید پذیر:

در دسته‌ی اول تولیدکنندگان برق مانند باد، آب، موج، جزر و مد و در دسته دیگر تولیدکنندگان انرژی گرمایی و الکتریکی مانند خورشید، زمین گرمایی و زیست توده قرار گرفته اند. با ترکیب فناوری هایی که از منابع انرژی تجدیدپذیر و راه حل های نمک زدایی استفاده میکنند، طبقه بندی دیگری صورت گرفته و درشکل۲ نشان داده شده است(*Curto, Franzitta et al. 2021*).



تصویر(۲).طبقه‌بندی براساس پیوند محتمل بین فناوری های نمک زدایی و منابع انرژی تجدید پذیر

[13] Secondary Refrigerant Freezing
[14] Hydration
[15] Vacuum Freezing

www.SID.ir

در بین فرایندهای نمک زدایی که با انرژی حرارتی منجر به تولید آب شیرین شده، فرایندهای خورشیدی و در بین فرایندهای غشایی واحدهای اسمزمعکوس به علت امکان استفاده از انرژی تجدید پذیر از اهمیت ویژه ای برخورددار بوده که در ادامه توضیح داده شده‌اند.

۲-۲- فرایند نمک‌زدایی حرارتی- خورشیدی

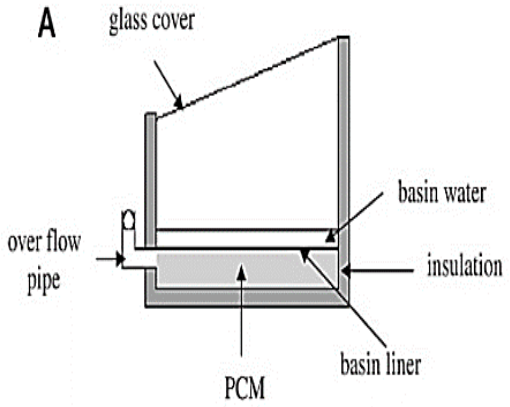
سیستم‌های نمک زدایی خورشیدی در سراسر جهان به دلیل پتانسیل کاهش و یا حذف هزینه‌های انرژی و به واسطه‌ی آن صرفه‌جویی در پول ومصرف سوخت‌های فسیلی، محبوب هستند. دو دسته از سیستم های نمک زدایی آب خورشیدی شامل (۱) شیرین سازی مستقیم خورشیدی و (۲) نمک زدایی غیر مستقیم خورشیدی می‌باشد. در سیستم‌های مستقیم، کل فرایند نمک زدایی حرارتی در یک دستگاه اتفاق می افتد اما در حالت غیرمستقیم واحد به قسمت جمع کننده تابش‌های خورشید و سیستم نمک زدایی تقسیم می‌شود(*Ullah and Rasul 2019*). یکی از رایج‌ترین فناوری‌های خورشیدی "تقطیرکن خورشیدی" *(Solar Still Distillation)* میباشد که از نوع آب شیرین کن مستقیم خورشیدی است(*Ibrahim, Rashad et al. 2017*). طرح اولیه این نوع شیرین کننده شامل حوضچه ای کم عمق با پوشش شیشه‌ای شفاف است. همانطور که تابش خورشید آب موجود در حوضچه را گرم می کند، این آب شروع به تبخیر می کند و نمک های محلول، مواد معدنی و سایر آلاینده ها در ظرف باقی می ماند سپس رطوبت و بخارها بر روی شیشه متراکم می‌شود و به داخل محفظه‌ای که آب نمک زدایی شده در آن جمع آوری می‌شود، مطابق تصویر۳ هدایت می‌شود.

با وجود مزایای *solar stills* ، هنوز چالش هایی مانند بازده کم در حدود ۲۵ درصد وجود دارد(*Shukla, Kant et al. 2017*). از طرفی مشخص شده است که با لایه های نازک آب راندمان افزایش می یابد، اما این روند باعث کاهش بهره وری شبانه روز می شود و نمی توان از این واجدها برای تولید حجم زیادی آب شیرین استفاده کرد به دلیل اینکه نیاز به مساحت بیشتری نسبت به سایر فناوری های شیرین سازی خورشیدی دارند. چالش دیگر یافتن تکنولوژی های ذخیره سازی مؤثرجمع آوری انرژی خورشیدی در زمان و فوصول تابش زیاد، برای ا ستفاده های بعدی میبا شد. مطالعات نشان داده ا ست که مواد تغییر فاز جامد/مایع (*PCM*[16]) (ماده ای که در انتقال فاز انرژی کافی را آزاد/جذب می کند تا گرما/سرمایش مفیدی را ارائه دهد) مانند موم های پارافین آلی می توانند به طور چشمگیری کارایی *solar stills* و سایر سیستمهای نمک زدایی مستقیم خورشید و حتی برخی از سیستم های غیر مستقیم را به طور قابل توجه ای بهبود بخشند(*Shukla, Kant et al. 2017*). *PCM* ها به دلیل ذخیره حرارت نهفته در حین تغییرات فاز، به عنوان یک بافر دمای طبیعی عمل می کنند و در نتیجه هیچ تغییر دمایی در آن دوره ایجاد نمی شود، و متعاقباً می تواند مقادیر زیادی انرژی را با تغییر دمای اندک آزاد کند. این سیستم های

[16] phase change materials

www.SID.ir

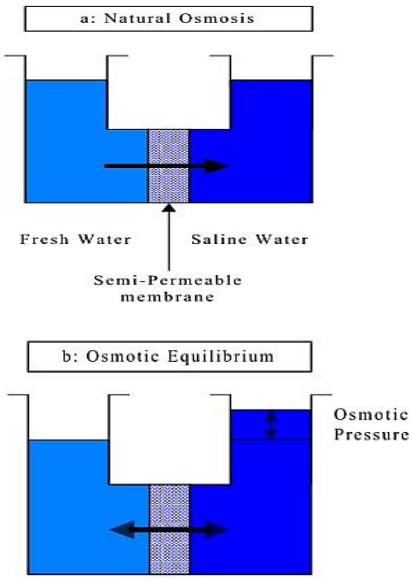
ذخیره گر مای نهفته می توانند هزینه ها را کاهش داده و خروجی را افزایش دهند، بنابراین پتانسیل و کاربرد های صنعتی سیستم های *solar stills* را افزایش می دهد(*Sarwar and Mansoor 2016*).



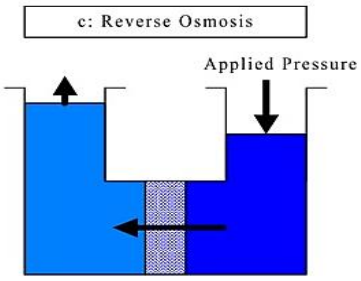
تصویر(۳)، تقطیر خورشیدی تک شیب، مخفف PCM به مواد تغییر فاز جامد - مایع اشاره دارد.

۳-۲- فرایند نمک‌زدایی غشایی - اسمزمعکوس

غشاء یک سد نیمه تراوا می باشد که می تواند به عنوان فازسوم، میان دوفاز قرار گرفته و انتقال جرم میان آنها را کنترل نماید. در حقیقت غشاء به صورت انتخابی اجازهٔ عبور یک فاز مواد موجود در یک سیال را به سیال دیگر می دهد. فن آوری های مبتنی بر غشاء به دلیل مصرف انرژی کمتر، رد پای محیطی کمتر و قابلیت انعطاف پذیری بیشتر در مقایسه با همتا یان حرارتی، امروزه و در مناطقی مانند خاورمیانه رواج بیشتری یافته است در میان این نوع فرایندها، فناوری اسمزمعکوس به صورت گسترده مورد استفاده واقع شده است. دراثر خاصیت اسمزی به تدریج آب از بخشی که حاوی آب خالص است به بخش دارای آب نمک انتقال می یابد و با اعمال فشار روی محلول نمک دار مقدار آب انتقال یافته، بوسیله خاصیت اسمزی کاهش خواهد یافت و در یک نقطه به صفر می رسد. این نقطه فشار تعادلی اسمزی محلول نامیده می شود. با افزایش فشار اعمال شده به محلول نمک دار به بیش از فشار تعادلی اسمزی، آب در جهت مخالف به جریان در می آید که این فرایند اسمزمعکوس نامیده می شود که در تصویر۴ روند آن نمایش داده شده است. مقدار آب خالص عبوری از میان غشاء، تابعی از اختلاف میان فشاراعمال شده با فشار تعادلی اسمزی است. بنابراین اسمز معکوس مبتنی بر اعمال فشار اضافی برای معکوس کردن روند خود به خودی اسمز است، در واحدهای *RO*، این فشار اضافی توسط پمپ های فشار قوی اعمال می شود، که آب دریا را برای نمک زدایی از طریق غشاهای نیمه تراوا عبور دهند (۱۳۹۷،قدمی وطاهری).



www.SID.ir



تصویر (۴). شماتیک فرایند اسمز و اسمزمعکوس

عوامل زیادی بر موفقیت یک واحد آب شیرین کن در یک محل خاص تاثیر می گذارد، از جمله‌ی آنها میتوان به هزینه های قابل توجه برای اجرا، بازده بازیابی فرایند، میزان رسوب غشاء روی سطح، تولید و دفع مواد زائد اشاره کرد(*Darre and Toor 2018*). این عوامل در ادامه مورد بحث قرار گرفته اند.

۱-۳-۲-مصرف انرژی، بهره وری و بازیابی آب

یک مسئله مهم در فرآیند *RO*، بازده بازیابی یعنی نسبت حجم آب شیرین شده‌ی تولید شده به آب ورودی می باشد. فناوری اسمزمعکوس در چند دهه گذشته به میزان قابل توجهی بهبود یافته است، به طوری که بازیابی آب شیرین تولید شده از آب دریا از ۲۵ درصد در دهه ۱۹۸۰ به ۴۵ درصد در سال ۲۰۱۶ افزایش یافته است، متأسفانه بازده بازیابی هنوز در واحدهای آب شیرین کنی که آب ورودی خود را از آبهای بسیار شور مانند دریای سرخ، دریای مدیترانه و خلیج فارس که می توانند تا ۴۰،۰۰۰ ppm شوری داشته باشند، دریافت می کنند پایین است و بازده بازیابی میتواند زیر ۳۰در صد باشد(*Shahzad.MW, Burhan.M et al. 2017*). این درحالی است که واحد های شیرین سازی آب لب شور[17] اسمزمعکوس می توانند حتی به درصد بازیابی ۷۵ تا ۸۵ در صد دست یابند، اما ممکن است به دلیل مقیاس بندی غشاء، تجهیزات و صرفه جویی در انرژی این میزان کمترشود. آب شیرین کن حرارتی می تواند به بازیابی تا ۹۷ درصد دست یابد، که این فرایندها برای عملی شدن اغلب بسیار پر انرژی و هزینه بر هستند(*Blanco-Marigorta, Lozano-Medina et al. 2017*). خبر خوب این است که کارآیی فناوری *RO* در حال بهبود است و به این ترتیب به طور گسترده ای در سراسر جهان توسعه یافته است برای مثال در واحد های اسمز معکوس آب دریا (*SWRO*[18])، دستگاه های بازیابی انرژی (*ERDs*[19]) جزء کلیدی هستند که کمک زیادی به کاهش هزینه‌های عملیات کرده اند. در این سیستمها بخشی از جریان آب دریای ورودی به *ERD* ار سال می شود تا اینکه توسط پمپ فشار قوی تحت فشار قرار گیرد. *ERD* به نوبه خود به جریان آب نمک فشار قوی (پسماند سیستم *RO*) متصل است و انرژی موجود در آب نمک را برای تحت فشار قرار دادن جریان آب در یای ورودی باز یابی می‌کند، آب در یا که اکنون تحت فشار است از طریق یک پمپ گردش معمولی ار سال می شود تا با جریان تحت فشار پمپ فشار قوی مخلوط شود، درآخر کل جریان از طریق سیستم غشای *RO* عبور می کند(*Sim, She et al. 2013*).

۲-۳-۲-گرفتگی غشاء

بزرگترین چالش پیش رو در سیستم *RO* رسوب گذاری غشاها است. رسوب گذاری، رسوب ماده ای است که در سطح غشا یا منافذ آن منجر به تغییر در رفتار غشا یا حتی

[17] Brackish Water
[18] Seawater Reverse Osmosis
[19] Energy Recovery Devices

www.SID.ir

گرفتگی کامل حفره های غشا می شود. چهار نوع رسوب گذاری مواد زیستی، پوسته پوسته شدن، رسوب ارگانیک و کلوئیدی بر روی غشاها مشاهده شده و وجود دارد.

۳-۳-۲-ضایعات محصول و سایر نگرانی‌های زیست محیطی

گذشته از هزینه های انرژی و نگهداری، یکی دیگر از دغدغه های مشترک واحدهای آب شیرین کن مدیریت و دفع محصول زائد اصلی آن، یعنی شورآب است. کمیت و کیفیت شورآب بستگی به کیفیت آب ورودی، فرایندهای پیش تصفیه، نوع فرآیند نمک زدایی مورد استفاده و درصد بازیابی آب دارد(*Xu, Cath et al. 2013*).

متداول ترین روش دفع شورآب در سراسر جهان، تخلیه مستقیم آن از طریق نقاط تزریق به آب محیط است، شوری و چگالی بیشتر جریان خروجی باعث ایجاد جریان آب نمک[20]" می‌شود که کاهش سطح اکسیژن محلول(*DO*) ناشی از این نوع جریان باعث تخریب زیستگاه، به ویژه برای موجودات کفزی[21](که در قسمت پایین زیستگاه های آبی زندگی می کنند) می شود و به نوبه خود می تواند منجر به کاهش تعداد باکتری های بنتیک، فیتوپلانکتون، بی مهرگان و ماهی ها شود(*Frank, Rahav et al. 2017*). علاوه بر این، مواد شیمیایی اضافه شده برای پیش تصفیه آب ورودی به سیستم (به عنوان مثال منعقد کننده ها) ممکن است حاوی مواد شیمیایی سمی باشد که در مراحل بعدی همیشه به اندازه کافی حذف نمی شوند، به عنوان مثال غلظت آلاینده هایی مانند نیترات، آرسنیک و مواد رادیواکتیو طبیعی می تواند در شورآب ۴ تا ۱۰ برابر بیشتر از آب منبع باشد(*Xu, Cath et al. 2013*).

به غیر از تخلیه آب سطحی، سایر گزینه های رایج دفع شورآب عبارتند از تزریق به چاه‌های عمیق، کاربرد زمین و حوضچه های تبخیر که این موارد میتوانند گزینه های مطلوب تری برای واحدهای آب شیرین کنی که در موقعت های داخل شهری واقع شده اند، باشند. گزینه دیگر مخلوط کردن آب نمک با فاضلاب صنعتی یا شهری قبل از انتقال به تصفیه خانه های عمومی است، گزینه‌ی دیگر برای کاهش حجم آب نمک تولید شده و هزینه های دفع آن، تخلیه مایع صفر (*ZLD*[22]) و فناوری های نزدیک به آن است. این فناوری اجازه می دهد تا آب ورودی ۹۵ تا ۹۸ درصد با روشهای شیمیایی بازیابی شود. این فناوری ها از آن جهت مفید هستند که نیازی به مجوز ندارند و تأثیر کمتری بر محیط زیست دارند(*Xu, Cath et al. 2013*). با این حال، به دلیل نیاز بالای سرمایه و انرژی و دفع شورآب نهایی بسیار پرهزینه هستند برخی از فناوری ها همچنین بر استخراج نمک از شور آب تمرکز می کنند تا بتوان از آنها برای کاربردهای مفید دیگر استفاده کرد. به عنوان مثال، شرکت آب مکوروت[23]در اسرائیل یک واحد *SWRO* را اداره می کند که هم آب آشامیدنی و هم نمک غذایی درجه یک تولید می کند همچنین در ژاپن، از فناوری های مبتنی بر

[20] Brine Underflows
[21] Benthic
[22] Zero Liquid Discharge
[23] The Mekorot Water Company

www.SID.ir

الکترودیالیز برای بازیابی نمک سفره و اسیدها و بازها از آب نمک استفاده می شود.مطلوب ترین گزینه و راحل دفع شورآبها بستگی به مقدار و کیفیت آب نمک، فناوری های موجود، در دسترس بودن زمین، هزینه های دفع، الزامات مجوز و اثرات بالقوه زیست محیطی دارد، به عنوان مثال حوضچه های تبخیر بیشتر برای حجم های کم شورآب و مناطق گرم و خشک با نرخ تبخیر بالا مناسب هستند.

علاوه بر تولید و دفع آب نمک، نگرانی های زیست محیطی دیگری نیز در باره واحد های نمک زدایی وجود دارد. به عنوان مثال، موجودات دریایی مانند جلبک ها و پلانکتون ها می توانند در حین کار پمپ های ورودی آب شیرین کن به دام بیافتند، علاوه بر این مقدار زیادی از انرژی مورد نیاز برای تأمین نیروگاه های آب شیرین کن اغلب از سوخت های فسیلی تامین می شود، که سبب انتشار قابل توجهی از آلاینده های هوا مانند گازهای گلخانه ای شده، که کیفیت هوا را کاهش می دهد و تغییرات آب و هوایی را تشدید میکند.

فرایندهای نمک زدایی نگرانی های بهداشت عمومی را نیز افزایش می دهد، سلامت عمومی با کیفیت و کمیت آب ارتباط تنگاتنگی دارد که می تواند بر دیگر منابع طبیعی، غذایی و مالی کشور تأثیر بگذارد. معیشت مردم در بسیاری از مناطق که واحدهای نمک زدایی در آن قرار دارد به شدت وابسته به شبکه های غذایی دریایی و ماهیگیری سالم است. اگر شبکه غذایی دریایی تحت تأثیر *DO* پایین و شوری زیاد آب نمک قرار گیرد، غذای کمتری در دسترس محلی خواهد بود و بر سلامت عمومی و رفاه اقتصادی جامعه ساحلی تأثیر می گذارد(*Darre and Toor 2018*).

یکی دیگر از نگرانی های در رابطه با سلامتی این است که آب شیرین شده ممکن است دارای کمبود در برخی از مواد معدنی ضروری مانند *Na*، *K*، *Mg* و *Ca* باشد بنابراین، مصرف این آب می تواند منجر به اختلالات الکترولیتی مانند هیپوناترمی و هیپوکالمی شود که با برخی سرطان ها ارتباط دارد، اما رابطه مشخصی بین بلعیدن این آب و بدخیم بودن سرطان ها، هنوز به خوبی شناخته نشده است(*Nriagu, Darroudi et al. 2016*). با این حال این آب می تواند جایگزین بسیار بهتری در بسیاری از کشورهای کم آب که به کشاورزی وابسته‌اند باشند، جایی که محصولات اغلب با فاضلاب بازیافتی(پساب)، آبهای زیرزمینی لب شور یا سایر آبهای با کیفیت پایین آبیاری می شوند. برنامه ریزی مناسب برای نگهداری واحد های نمک زدایی به منظور کاهش خطرات زیست محیطی ضروری است.

۴-۲-ارزیابی اقتصادی روشهای نمک زدایی

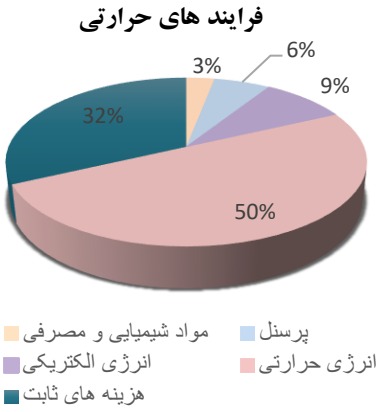
یکی از مهمترین عوامل تعیین موفقیت نهایی و میزان ظرفیت آب شیرین کن ها هزینه های جاری و عملیاتی می باشد. توسعه اینگونه فرایندها به بار مالی، انرژی مورد نیاز، پیامدهای زیست محیطی، قابلیت اطمینان و تبعات اجتماعی گره خورده است. در ادامه ارتباط و برآورد هزینه با توجه به نوع فرایندهای نمک زدایی و عوامل مهم تاثیر گذار بر روی آن شامل نوع آب آشامیدنی، نوع انرژی مورد استفاده،

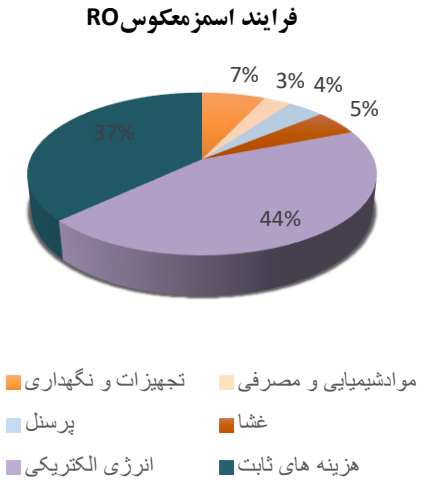
www.SID.ir

روشهای ترکیبی به کارگرفته شده برای نمک زدایی و سایر عوامل به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته اند.

۱-۴-۲-هزینه نمک زدایی از آب برای روشهای مختلف نمک زدایی آب

اگر در قدم اول به بررسی هزینه های مربوط به هریک از عوامل موثر در فرایندهای نمک زدایی در ۲ گروه فرایندهای حرارتی و غشایی به صورت جزیی تر فرایند اسمزمعکوس، بپردازیم میتوان به نمودارهای شماره ۵ دست یافت که به صورت مجزا شمای کلی از درصد عوامل مؤثر در هزینه این نوع فرایندها در آن مشخص شده است(۱۳۸۷، افراسیابی واحتشامی). بنابر محاسبات موجود، انرژی مورد نیاز (حرارتی، الکتریکی) برای نمک زدایی از آب های شور، بالاترین درصد هزینه های مربوط به این فرآیندها را که چیزی مابین ۳۵ تا ۶۰ درصد از کل هزینه ها می باشد ،به خود اختصاص داده است(*Ghaffour, Missimer et al. 2013*).





تصویر(۵) هزینه های تقریبی مربوط به نمک زدایی از آب های شور در فرآیند اسمز معکوس و فرآیند های حرارتی

بدین ترتیب به نظر می رسد که به طور کلی هزینه نمک زدایی تابعی از قیمت انرژی باشد و با وجودکاهش چشمگیر تقاضای انرژی فن آوری های نمک زدایی در طول سالها، انرژی هنوز بزرگترین مؤلفه هزینه مکرر سیستم های نمک زدایی است. این نیازهای انرژی به طور معمول بین یک سوم تا حدود نیمی برای SWRO و بین دو سوم تا سه چهارم برای سیستم های آب شیرین کن حرارتی متغیر است.با توجه به طبقه‌بندی های انجام شده متداول ترین رو شهای حرارتی شامل تقطیراثر چندگانه (MED) ، تبخیر ناگهانی چند مرحله ای (MSF) و فشرده سازی بخار (VC) می باشند، در حالی که در بین روش های غشایی اسمز معکوس (RO) محبوب ترین فرایند نمک زدایی است. مجموعه هزینه‌های برگرفته از پایگاه داده مطالعه بیش از ۵۰ پروژه نمک زدایی

www.SID.ir

در سراسر جهان طی دو دهه گذشته در جدول ۲ نشان داده شده است که برای ارزیابی اقتصادی روشهای مجزا و یا ترکیبی فرایند نمک زدایی به آن پرداخته می‌شود. این جدول هزینه های سالانه *CAPEX*[۲۴] و *OPEX*[۲۵]، که چارچوبی از هزینه کل آب تولید شده در پروژه های نمک زدایی است را بر اساس چندین متغیر مرتبط به مکان تاسیسات نشان می دهد، قیمتها به طور قابل توجهی در هر پروژه متفاوت است و متناسب با اندازه ظرفیت واحدها (معمولاً زیر یا بالاتر از ۱۰۰ میلیون لیتر در روز (*MLD*)) می باشد(*Aende, Gardy et al. 2020*).

جدول(۲). هزینه نمک زدایی آب دریا در سراسر دنیا

Desalination Method		Capital Costs (Million US$/MLD)		O&M(US$/$m^3$)		Cost of Water Production(US $/$m^3$)	
		Range	Average	Range	Average	Range	Average
MSF		1.7-3.1	2.1	0.22-0.30	0.26	1.02-1.74	1.44
MED_TVC		1.2-2.3	1.4	0.11-0.20	0.14	1.12-1.50	1.39
SWRO Mediterranean sea		0.8-2.2	1.2	0.25-0.74	0.35	0.64-1.62	0.98
SWRO Persian Gulf		1.2-1.8	1.5	0.36-1.01	0.64	0.96-1.92	1.35
SWRO Red sea		1.2-2.3	1.5	0.41-0.96	0.51	1.14-1.70	1.38
SWRO Atlantic and Pacific oceanic		1.3-7.6	4.1	0.71-0.41	0.21	0.88-2.86	1.82
Hybrid	MSF/ MED	1.5-2.2	1.8	0.41-0.25	0.23	0.95-1.37	1.15
	SWRO	1.2-2.4	1.3	0.29-0.44	0.35	0.85-1.12	1.03

Costs are at 2016 values. MLD = million liters per day; O&M= operation and maintenance

روشهای حرارتی به دلیل حجم زیاد سوخت مورد نیاز برای تبخیر نمک آب از لحاظ اقتصادی و زیست محیطی به صرفه نمی باشند و روشهای غشایی(عمدتا RO) که می توانند آب شور را تا حدودی اقتصادی تر نمک زدایی کنند، جایگزین روشهای حرارتی برای نمک زدایی آب شور شده اند. با این حال به دلیل هزینه بالای جایگزینی غشا، روشهای غشایی برای نمک زدایی آب دریا کمتر مناسب هستند. از طرفی پیشرفت تکنولوژیکی همچنین با بهبود کارایی انرژی (تقطیر چند مرحله ای یا سیستم های ترکیبی)، با تسهیل فرآیندهای انتقال یا بازیافت انرژی (فرآیند تولید همزمان)، باعث کاهش هزینه کل نمک زدایی شده است.

۲-۴-۲-هزینه نمک زدایی آب در ارتباط با نوع آب آشامیدنی و اندازه ظرفیت واحدها

با توجه به اطلاعات *AMTA*[۲۶] نمک زدایی از آب شور بین ۰,۳۸ تا ۰,۷۵ دلار برای هر متر مکعب و از آب در یا بین ۰,۷۵ تا ۲,۰۰ دلار برای هر متر مکعب هزینه دارد. بنابراین مجموع مواد جامد محلول در آب شور (*TDS*) که بین ۲۰۰۰ تا حدود (ppm) ۱۰۰۰۰ متغیر است، بر روی هزینه آب شیرین تولید شده تاثیر میگذارد. با توجه به جدول۳ میتوان اینگونه گفت که مقیاس های اقتصادی مرتبط با اندازه تاسیسات است. سیستم های بزرگ نمک زدایی در خیلی از کشور ها مثل چین و کشور های خاور میانه که میتوانند به تصفیه روزانه ۵۰۰هزار متر مکعب بر سند عمدتا از رو شهای

[24] Capital expenditures
[25] Operating expenses
[26] *American Membrane Technology Association*

www.SID.ir

نمک زدایی گرمایی استفاده میکنند. در این موارد هزینه آب شیرین تولید شده بین ۰,۵۰ و ۱,۰۰ دلار بر متر مکعب متغیر است. برای سیستم ها با سایز متوسط (۱۲۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰ متر مکعب در روز) هزینه نمک زدایی آب در یا تنوع بیشتری بین ۰,۴۴ تا ۱,۶۲ دلار بر متر مکعب را نشان میدهد. برای واحد های نمک زدایی کوچک تر (ظرفیت روزانه بین ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر مکعب) RO روش غالب است مخصوصا برای تاسیسات جدید و هزینه نمک زدایی آب در یا در بازه ۰,۵۶ تا ۳,۱۵ یورو برای هر متر مکعب قرار دارد.(*Karagiannis and Soldatos 2008*)

برای واحد های نمک زدایی آب دریا با ظرفیت مشخص (از چند متر مکعب تا ۱۰۰۰ متر مکعب)، هزینه حتی میتواند بیشتر باشد (۱,۷۸ تا ۹ یورو به ازای هر متر مکعب). سیستم های کوچک عمدتا از انرژی های تجدید پذیر استفاده میکنند و به همین علت،هزینه ها بسیار زیاد میشود. نتایج بالا در جدول۳ خلاصه شده اند.

جدول(۳). ظرفیت واحدهای شیرین سازی و هزینه تولید آب شیرین (Karagiannis and Soldatos 2008)

Type of feed water	Size of plant (m^3/day)	Cost (per m^3)
Brackish	<1000	0.63€-1.06€ (0.78-1.33)
	5000-60000	0.21€-0.43€ (0.26-0.54)
Seawater	<1000	1.78€-9.00€
	1000-5000	0.56€-3.15€
	12000-60000	0.35€-1.3€ (0.44-1.62)
	>60000	0.40€-0.80€ (0.50-1.00)

۳-۴-۲-نوع انرژی ا ستفاده شده و هزینه نمک زدایی مرتبط به آن

سیستم های نمک زدایی که از منابع انرژی تجدید پذیر ا ستفاده می کنند بر خلاف سیستم های مبتنی بر انرژی های سنتی میتوانند برای کاهش اثرات زیست محیطی به دلیل مصرف کمتر انرژی های سنتی و انتشار گاز کمتر یک راه حل جذاب با شند. عمده ی این سیستم ها به ۳ د سته تقسیم میشوند : الف) بادی ب)خور شیدی(فتوولتائیک یا کلکتور های خورشیدی[۲۷]) ج) آن هایی که از انرژی زمین گرمایی استفاده میکنند در جدول۴ نتایج به صورت دسته بندی شده قابل مشاهده است، در این جدول هزینه تولید آب شیرین زمانی که واحد های نمک زدایی از منابع مختلف انرژی تغذیه میشوند خلاصه شده است.

جدول(۴). انواع انرژی های مورد استفاده در واحدهای نمک زدایی و هزینه های مربوط به تولید آب شیرین (Karagiannis and Soldatos 2008)

Type of feedwater	Type of energy used	Cost (per m^3)
Brackish	Conventional	0.21€-1.06€ (0.26-1.33)
	Photovoltaics	4.50€-10.32€
	Geothermal	2.00€
Seawater	Conventional	0.35€-2.70€
	Wind	1.00€-5.00€
	Photovoltaics	3.14€-9.00€
	Solar collectors	3.50€-8.00€

به راحتی قابل درک است که هزینه آب تصفیه شده توسط سیستم های نمک زدایی که از منابع سنتی انرژی استفاده

[۲۷] Photovoltaics or Solar Collectors

www.SID.ir

میکنند(گاز و نفت و برق) بسیار پایین تر است. برای سیستم های آب شور و منابع سنتی انرژی، قیمت در بازه بین ۰,۲۶ تا ۱,۳۳ دلار برای هر متر مکعب وقتی از واحدهای بسیار کوچک استفاده میشود، قرار دارد. به طور مشابه، هزینه تاسیسات نمک زدایی از آب دریا بین ۰,۳۵ تا ۰,۴۴ یورو برای هر متر مکعب متغیراست و تنها هنگامی که واحد نمک زدایی بسیار کوچک باشد(تصفیه ی ۲ تا ۳ متر مکعب در روز) هزینه میتواند تا ۵,۵۰ یورو برای هر متر مکعب افزایش یابد(*Karagiannis and Soldatos 2008*).

۴-۴-۲-سیستمهای ترکیبی و هزینه نمک زدایی آب

واحدهای نمک زدایی می توانند از سیستمهای ترکیبی برای افزایش بهره وری و یا کاهش هزینه استفاده کنند. یک واحد نمک زدایی را می توان نه تنها با توجه به منبع انرژی، بلکه همچنین با روش نمک زدایی متفاوت، ترکیبی کرد.

(*Turek and Dydo 2003*) ادعا می کنند که عملکرد نمک زدایی و غلظت در سیستم های ترکیبی غشایی-حرارتی ، به نظر می رسد بیشتر از عملکرد سیستم های نمک زدایی غشایی است. همچنین سیستمهای تبلور ترکیبی *NF-RO-MSF* به علت بازیابی زیاد آب (۷۷,۲ درصد) و هزینه کم تصفیه آب تا ۰,۳۰ یورو برای هر متر مکعب، عملکرد بسیار امیدوارکننده ای را ارائه می دهند، همچنین روش هایی که از منابع انرژی تجدیدپذیر برای شیرین سازی آب استفاده میکنند، میتوانند تا حداکثر ۱۰,۳۲ دلار برای هر متر مکعب هزینه بر باشند.

۳- نتایج و بحث

با توجه به جدول شماره ۵ که در پیوست ارائه شده است مزایا و معایب روشهای نمک‌زدایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مطابق این نتایج بسیاری از فناوری های موجود در بازار، محصولاتی با کیفیت متفاوت را تضمین می کنند که از نظر کارآیی متمایز هستند. واحد *RO* به دلیل کاهش هزینه تولید آب، همچنین امکان پذیرش انرژی الکتریکی و بادی و در نتیجه‌ی آن اتصال با منابع تجدیدپذیر، به عنوان بهترین فناوری موجود برای نمک زدایی معرفی می‌گردد. علاوه بر این، از نظر زیست محیطی، روش *RO* نسبت به سیستمهای حرارتی مانند *MSF* و *MED* سازگاری بیشتری دارد و همچنین به دلیل کارکرد روش *RO* در دمای پایین، سرعت خوردگی در دستگاهها کاهش میابد. بزرگترین مشکل سیستم *RO* نسبت به سیستمهای مورد بررسی، گرفتگی غشاءهای آن است که البته با پیش تصفیه مناسب تا حد زیادی میتوان بر این مشکل غلبه کرد. (۱۳۸۷، افراسیابی واحتشامی)

در رابطه با روشهای نمک زدایی با توجه به گستردگی فرایندهای غشایی مانند اسمزمعکوس میتوان با مطالعه‌ی دقیق انواع پیکربندی های سیستم اسمز معکوس و همچنین ترکیبات غشا های مورد استفاده برای بهینه سازی و همسو سازی آنها با توسعه پایدار برای رفع نیاز مهم و حیاتی انسان و دست‌یابی به امنیت آب و غذایی، قدم برداشت. همچنین میتوان با طرح‌های هیبریدی نمک زدایی در راستای

www.SID.ir

کاهش هزینه های بهره‌برداری و عملیاتی، به مطالعه و تحقیق بیشتر پرداخت.

۴- نتیجه گیری

فن آوری‌های نمک زدایی پتانسیل زیادی برای تأمین آب شیرین جمعیت رو به رشد جهان دارد و میتواند به کاهش استخراج آبهای زیرزمینی و کاهش مشکلات بهداشت عمومی ناشی از نوشیدن آبهای سطحی آلوده و حتی کاهش تنش در داخل و بین کشورها بر سر حق تخصیص آب کمک کند. بنابراین، این فناوری باید همچنان در حال پیشرفت باشد و همچنین باید به دنبال به حداقل رساندن اثرات محیطی و بهداشتی منحصر به فرد مرتبط با آن باشیم. مدیریت بهتر زائدات آب نمک همراه با بهبود کارایی دستگاه های آب شیرین کن کمک می کند تا نمک زدایی به عنوان گزینه ای مقرون به صرفه و پایدار برای تامین نیازهای آب در سراسر جهان برای افزایش جمعیت جهان مطرح شود.

لازم به ذکر است با اینکه که نمک زدایی یکی از روشهای پرهزینه حل مشکل کم آبی است، اما به طور قطع بخشی از پازل مدیریت آب می باشد. در نهایت، تصمیم در مورد توسعه نمک زدایی به عوامل متعدد محیط زیستی، اقتصادی، سیاسی و اجتماعی وابسته می باشد. با این وجود با توجه به قرار گرفتن کشورمان ایران در ناحیه خشک و کم بارش توجه ویژه به این صنعت ضروری به نظر میرسد.

۵- تشکرو قدردانی

از استاد فاضل و اندیشمند جناب دکتر مجید حسین‌زاده به عنوان استاد راهنما که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده‌اند، کمال تشکر را دارم.

www.SID.ir

۶-پیوست ها

جدول (۵). مزایا و معایب مهم ترین فناوری های نمک زدایی (Curto.D, Franzitta.V et al.2021)

Advantages and disadvantages of the most important desalination technologies

وضعیت	معایب	مزایا	تکنولوژی
تجاری	پوسته پوسته شدن داخل لوله ها	کیفیت بالای آب مصرف انرژی پایین	MED
تجاری	تقاضای بالای انرژی نیاز به سرمایه گذاری عظیم مشکل خوردگی در سیستم راه اندازی آهسته کل واحد برای تعمیر باید متوقف شد	عملیات تعمیر ونگهداری سیستم برای حذف پوسته ها ساده تر از *MED* است دارای ظرفیت بالاتر کیفیت بالای آب	MSF
تجاری	ظرفیت تولید پایین	کیفیت بالای آب، مصرف انرژی پایین	MVC
تجاری	فقط برای آب لب شور (تا ۲۰۰۰ *ppm*) آلودگی های باکتریایی که توسط سیستم حذف نشده اند	خلوص بالای آب شیرین مصرف انرژی متناسب با غلظت نمک	ED
تجاری برای کاربردهای غذایی	امکان رسوب گذاری روی غشاء پیش تصفیه نیاز است	بدون اعمال فشار دمای کارکرد پایین	MD
تجاری برای آب غیر معدنی	مورد استفاده فقط برای آب لب شور	انرژی برق فقط برای پمپ آب	IXR
تجاری برای مقیاس های کوچک	فقط برای کاربردهای کوچک قابل استفاده است	کارکرد با تابش خورشید قابل اجرا با مواد ضعیف	SSD
تجاری	کیفیت پایین آب هزینه زیاد برای غشاها و مواد شیمیایی در معرض رسوب زیستی	فقط نیازمند انرژی برق نیاز به سرمایه گذاری کم همراه و همراستا با بسیاری از منابع انرژی تجدید پذیر ساختار مدولار واحد نمک زدایی	RO
کاربرد ویژه (کیسه های هیدراتاسیون) در حال توسعه	عدم مصرف آشامیدنی (دی اکسید کربن آمونیاک) در تولیدات صنعتی	نیازمند انرژی حرارتی کم	FO

www.SID.ir

۷-منابع:

افراسیابی نیما و احتشامی مجید. (۱۳۸۷). "مروری بر سیستم های نمکزدایی آب" اولین کنفرانس پتروشیمی ایران شرکت ملی صنایع پتروشیمی.

قدمی حامد و طاهری امیرهوشنگ. (۱۳۹۷). "مروری بر فرآیند نمک زدایی آب های شور و لب شور به عنوان روش جایگزین تامین آب با درنظرگرفتن ملاحظات زیست محیطی" اولین کنفرانس فرصتها و چالشهای مهندسی،استان البرز.

Aende, A., et al. (2020). "Seawater Desalination: A Review of Forward Osmosis Technique, Its Challenges, and Future Prospects." Processes **8**(8): 901.

Alkaisi, A., et al. (2017). "A Review of the Water Desalination Systems Integrated with Renewable Energy." Energy Procedia **110**: 268-274.

Blanco-Marigorta, A., et al. (2017). "The exergetic efficiency as a performance evaluation tool in reverse osmosis desalination plants in operation." Desalination **413**: 19-28.

Curto, D., et al. (2021). "A Review of the Water Desalination Technologies." Applied Sciences **11**(2): 670.

Darre, N. C. and G. S. Toor (2018). "Desalination of Water: a Review." Current Pollution Reports **4**(2): 104-111.

Frank, H., et al. (2017). "Short-term effects of SWRO desalination brine on benthic heterotrophic microbial communities." Desalination **417**: 52-59.

Ghaffour, N., et al. (2013). "Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability." Desalination **309**: 197-207.

Ibrahim, A. G. M., et al. (2017). "Exergoeconomic analysis for cost optimization of a solar distillation system."Solar Energy **151**: 22-32.

Karagiannis, I. C. and P. G. Soldatos (2008). "Water desalination cost literature: review and assessment." Desalination **223**(1): 448-456.

Mekonnen, M. M. and A. Y. Hoekstra (2016). "Four billion people facing severe water scarcity." Sci Adv **2**(2): e1500323.

Nriagu, J., et al. (2016). "Health effects of desalinated water: Role of electrolyte disturbance in cancer development." Environmental Research **150**: 191-204.

Patel, R. S., et al. (2013). DESALINATION OF SEAWATER USING GAS HYDRATE TECHNOLOGY – CURRENT STATUS AND FUTURE DIRECTION.

Rognoni.M (2010). "La Dissalazione Dell'acqua di Mare.Descrizione, Analisi e Valutazione Delle Principali Tecnologie, 1st ed.; Dario Flaccovio Editore s.r.l.: Palermo, Italy, ISBN 9788857900308.".

Sarwar, J. and B. Mansoor (2016). "Characterization of thermophysical properties of phase change materials for non-membrane based indirect solar desalination application." Energy Conversion and Management **120**: 247-256.

www.SID.ir

Shahzad.MW, et al. (2017). " Pushing desalination recovery to the maximum limit: Membrane and thermal processes integration. Desalination." **416**: 54-64.

Shukla, A., et al. (2017). "Solar still with latent heat energy storage: A review." Innovative Food Science & Emerging Technologies **41**: 34-46.

Sim, V. S. T., et al. (2013). "Strategic Co-Location in a Hybrid Process Involving Desalination and Pressure Retarded Osmosis (PRO)." Membranes **3**(3).

Subramani, A., et al. (2015). "Emerging desalination technologies for water treatment: A critical review.USA."

Turek, M. and P. Dydo (2003). "Hybrid membrane - Thermal versus simple membrane systems." Desalination **157**: 51-56.

Ullah, I. and M. G. Rasul (2019). "Recent Developments in Solar Thermal Desalination Technologies: A Review." Energies **12**(1).

Wei, Q. J., et al. (2017). "Saving energy with an optimized two-stage reverse osmosis system." Environmental Science: Water Research & Technology **3**(4): 659-670.

Xu, P., et al. (2013). "Critical Review of Desalination Concentrate Management, Treatment and Beneficial Use." Environmental Engineering Science **30**: 502-514.

Xu, T. (2005). "Ion exchange membranes: State of their development and perspective." Journal of Membrane Science **263**(1): 1-29.

Abstract

Nowadays, desalination of unconventional waters, including seawater, is primarily considered an attractive solution to improve the current and future demand for freshwater, due to the large volume of seawater and oceans that are spread over the surface of the earth. The potential for increasing global freshwater resources through seawater desalination is enormous. In this research, by exploring and reviewing the researches done in this field, first, considering the importance of this issue and the necessity of familiarity with the desalination process, the methods used for water desalination are explained and then their advantages and disadvantages are examined. Because the study of various methods and familiarity with the challenges associated with them has led to a better and more accurate knowledge of the needs and gaps in this system and as a result it can be used to solve problems sustainably and achieve water security and aligning water desalination methods with Renewable energy with the help of innovative solutions. desalination management can also be considered as a cost-effective and sustainable option to meet water needs. Among the methods studied, reverse osmosis units will be introduced as one of the best available technologies for desalination simplifying connection with renewable sources. this technology offers the advantage of cost effectiveness and enjoying renewable energy at the same time due to the reduction of water production costs and the possibility of accepting electrical energy as input energy, thanks to the adoption of commercial technologies such as photovoltaic panels and wind turbines.

Keywords: Freshwater Shortage, Unconventional Water, Desalination, Renewable Energy, Sustainable Development

www.SID.ir