

کاربرد فناوری نانودر آب شیرین کن‌های خورشیدی

سال انتشار: ۱۳۹۸

ویرایش نخست



شناسنامه

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهرویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قزایلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
نویسندگان: گروه صنعتی کاربردهای فناوری نانو در صنعت برق و انرژی	report@nano.ir	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
		صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴

فهرست مطالب

۳	آب‌شیرین‌کن خورشیدی
۱۲	چالش‌های موجود در استفاده از آب‌شیرین‌کن خورشیدی و کاربرد فناوری نانو
۱۳	فناوری نانو در آب‌شیرین‌کن خورشیدی
۱۹	محصولات صنعتی
۲۱	خلاصه مدیریتی

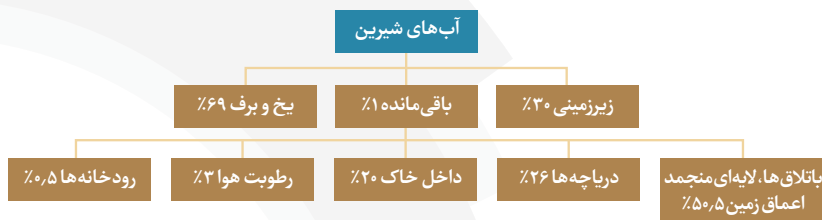
آب شیرین کن خورشیدی

■ مقدمه

آب ماده حیاتی است که به طور یکنواخت در سطح کره زمین موجود نیست و نقاط مختلف کره زمین با کمبود آب مواجه هستند. آب از دو بعد اقتصادی و بهداشتی حائز اهمیت است؛ زیرا به حرکت درآورنده چرخ صنعت و رونق بخش فعال کشاورزی و همچنین آب سالم تضمین کننده سلامت انسان است. با توجه به رشد روزافزون جمعیت جهان و ثابت بودن منابع آبی می توان نتیجه گرفت که معضل کمبود آب به مشکل بزرگی در آینده تبدیل خواهد شد. باید راهکارهای جدید و مطمئنی برای حفظ منابع آبی در دسترس و همچنین تولید و تصفیه آب شیرین در پیش گرفته شود. براساس گزارش منتشرشده از موسسه پاسیفیک اوکلند کالیفرنیا در صورت عدم اتخاذ تصمیمی پیشگیرانه، بیش از ۷۶ میلیون نفر در سال ۲۰۲۰ در اثر بیماری های ناشی از آب های آلوده جان خود را از دست خواهند داد و بیماری های ناشی از آب های آلوده بیشتر از ایدز سلامت جامعه جهانی را تهدید می کند. لذا استفاده از فناوری ها و راهکارهای نوین نظیر استفاده از انرژی تجدیدپذیر خورشیدی برای تهیه آب شیرین امری ضروری است [۱].

■ وضعیت آب در جهان

حجم آب های زمین در حدود ۱,۳۸۶ میلیارد مترمکعب است که حدود ۷۰ درصد از کره زمین را پوشانده است؛ ولی سهم کمی از آب های موجود برای مصارف بهداشتی و کشاورزی قابل استفاده است. آب اقیانوس ها، دریاها و اغلب دریاچه ها به علت شوری بیش از حد و داشتن املاح معدنی، برای مقاصد بهداشتی، کشاورزی و صنعتی غیر قابل استفاده است. تنها ۲,۵ درصد از این آب ها، شیرین است که توزیع آن در حوزه های مختلف در شکل زیر نمایش داده شده است.



▲ شکل ۱- توزیع آب در حوزه های مختلف [۲]

در حال حاضر بیش از ۲۵ کشور در جهان با بحران کمبود آب مواجه هستند و حدود ۱,۵ میلیارد نفر به آب آشامیدنی سالم دسترسی ندارند و ۱,۷ میلیارد نفر نیز در آستانه شرایط بحرانی کمبود آب قرار دارند و تا سال ۲۰۲۵ حدس زده می شود که ۳/۲ از جمعیت کل جهان با کمبود آب مواجه شوند [۲].

■ طبقه بندی میزان آب شیرین

معمولاً مصارف آب شیرین را به سه دسته کلی زیر تقسیم بندی می کنند:

■ مصارف خانگی (نوشیدن، پخت و پز و بهداشت): تنها ۸ تا ۱۰ درصد از مصرف جهانی را به خود اختصاص می‌دهد.

■ مصارف صنعتی: حدود ۲۰ درصد از مصرف جهانی آب شیرین را به خود اختصاص داده است و از سال ۱۹۵۰ مصرف این حوزه رو به افزایش است.

■ مصارف کشاورزی: بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب شیرین دنیا است و از آغاز قرن ۲۰ تاکنون مصرف آب شیرین این حوزه در دنیا به علت افزایش جمعیت جهان تقریباً ۷ برابر شده است. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ نیاز آب برای بخش کشاورزی ۲۰ درصد افزایش یابد [۳].

■ وضعیت منابع و سرانه آب در ایران

کشور ایران ۱٫۱ درصد از مساحت کل جهان را به خود اختصاص داده است اما فقط ۰٫۳۴ درصد از آب‌های موجود در جهان را در اختیار دارد. ایران دارای اقلیم آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک است و میزان بارندگی در آن یک‌چهارم بارندگی متوسط در جهان است. با توجه به ارقام بالا ایران یکی از فقیرترین کشورها از لحاظ منابع آبی سرانه در جهان است [۴].

روش‌های مبارزه با بحران آب در کشور عبارت‌اند از:

■ اصلاح مصرف آب در کشور به‌گونه‌ای تغییر یابد که سهم مصرف آب کشاورزی از ۹۲ درصد به ۸۷ درصد در بیست سال آتی کاهش یابد.

■ بازدهی آب در بخش کشاورزی به ازای هر مترمکعب آب از وضع فعلی به دو برابر در بیست سال آتی افزایش یابد.

■ اولویت مصرف آب به‌ترتیب برای شرب، بهداشت، صنعت و کشاورزی اختصاص یابد.

■ رعایت استانداردهای ملی حفاظت کیفی منابع آب توسط مصرف‌کنندگان الزامی شود.

■ استفاده از شیوه نمک‌زدایی و سایر روش‌های نوین برای تولید آب شیرین رایج شود.

■ آب شرب از سایر آب‌ها تفکیک شود [۳].

■ استفاده از شیوه نمک‌زدایی برای تأمین آب شیرین در کشور

برای مقابله با مشکل تأمین آب شرب ایران، برای مناطقی که نیاز به آب شرب دارند با روش‌های معمول نمی‌توان آب شیرین را از آب‌های سطحی و زیرزمینی تأمین کرد، زیرا در بسیاری موارد باید هزینه‌های زیادی صرف کرد.

امروزه برای شیرین کردن آب شور رودخانه، دریا و آب‌های زیرزمین از آب شیرین‌کن‌ها استفاده می‌شود. بخش‌هایی از جنوب کشور به‌خصوص استان‌های حاشیه خلیج فارس و دریای عمان از این آب شیرین‌کن‌ها به‌طور کامل استفاده می‌کنند و میزان قابل‌توجهی از آب مصرفی مناطق از این طریق تأمین می‌شود. در حال حاضر سیستم‌های بخار، مثل مجموعه‌های چابهار به شیرین‌سازی آب شور مبادرت می‌کنند و هم‌اکنون روش‌های جدید و پیشرفته‌ای در کشور برای شیرین‌سازی آب‌های شور در حال ساخت و راه‌اندازی است.

فناوری آب شیرین‌کن‌ها در حال حاضر با سه چالش تخریب محیط زیست، بالا بودن هزینه تمام‌شده و

وابستگی تجهیزات به خارج از کشور مواجه است. تولید هر مترمکعب آب شیرین ۵۰ تا ۸۰ سنت هزینه دارد که این به طور مستمر در حال کاهش است [۱].

■ انواع روش های تولید آب شیرین

روش های مختلفی برای تولید آب شیرین وجود دارد که در این بخش به معرفی روش های متداول می پردازیم. روش های تولید آب شیرین می توانند در ۲ دسته بندی کلی زیر جای گیرند [۴]:

■ روش حرارتی^۱ (تغییر فاز)

■ روش های غشایی^۲

در ادامه هر یک از روش های تولید آب شیرین به طور کامل توضیح داده می شود.

■ روش های حرارتی تولید آب شیرین (تبخیری-تقطیری)

روش حرارتی تولید آب شیرین، بر اساس اصل تبخیر و تقطیر است. دمای آب بالا می رود تا به دمای تبخیر برسد و آب تبخیر می شود و نمک باقی می ماند و بخار تولید شده در مبدل دیگری، مایع می شود و آب شیرین تولید می شود.

انرژی حرارتی لازم در این روش توسط توربین های بخار نیروگاه، بویلرهای حرارتی و یا منابع تجدیدپذیر مثل انرژی خورشیدی تأمین می شود. فرایندهای رایج در روش حرارتی تولید آب شیرین عبارتند از [۵]:

■ تقطیر ناگهانی چند مرحله ای (MSF)^۳

■ تقطیر مؤثر چند مرحله ای (MED)^۴

■ متراکم سازی بخار (VC)^۵

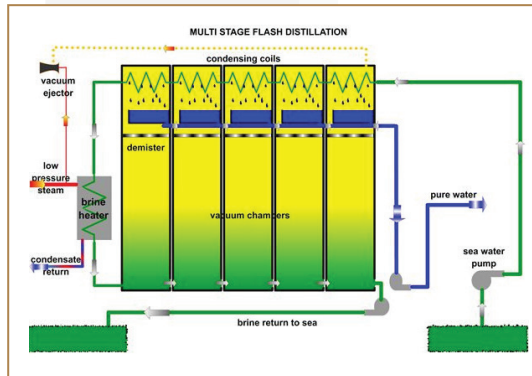
■ تقطیر به کمک انرژی خورشیدی^۶

■ روش تقطیر ناگهانی چند مرحله ای

پرکاربردترین شیوه نمک زدایی است و درصد زیادی از واحدهای تولید آب شیرین را به خود اختصاص داده است. این سیستم همان طور که در شکل ۲ نمایش داده شده است، بر این اساس کار می کند که ابتدا آب دریا وارد پیش گرمکن شده و سپس در یک گرمکن توسط بخار افزایش دما می یابد (این مقدار دما برحسب نوع پیش تصفیه می تواند تا ۱۲۰ درجه سانتی گراد برسد). بعد از این مرحله آب تغذیه وارد محفظه ای می شود که فشاری پایین تر از فشار دمای آب تغذیه دارد. آب تغذیه در رویارویی با این افت فشار ناگهانی، مافوق گرم شده و قسمتی از آن تبخیر می شود و غلظت باقی مانده آب شور افزایش می یابد. بخار تشکیل شده از یک فیلتر عبور کرده و در برخورد با لوله های پیش گرمکن چگالیده می شود [۶].

این سیستم ها شامل سه بخش ورودی حرارت، دفع حرارت و بازیافت حرارت است، بخش های دفع و بازیافت حرارت شامل تعدادی محفظه است که به هم مرتبط می شوند. آب دریا قبل از ورود به گرمکن از کوئل های اتاقک خلأ می گذرد که این عمل به دو منظور انجام می شود:

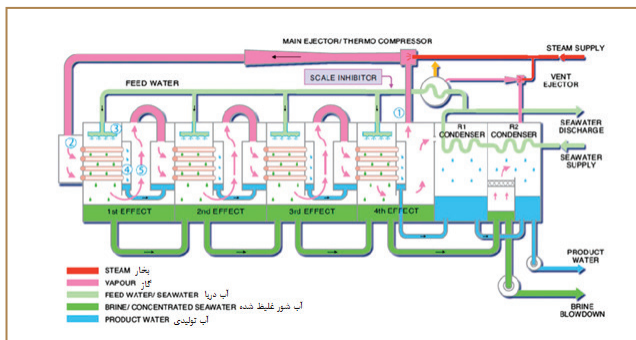
■ پیش گرمایش آب سرد دریا قبل از ورود به گرمکن



شکل ۲- تولید آب شیرین باروش تقطیر ناگهانی چندمرحله ای [۶]

چگالش بخار در اتاقک ها برای تهیه آب شیرین انرژی مورد نیاز این روش شامل انرژی الکتریکی برای پمپ کردن آب شور و انرژی حرارتی برای گرم کردن آب شور است. لازم به ذکر است که تبخیر ناگهانی آب بر روی لوله های چگالنده ایجاد رسوب می کند، در نتیجه این قسمت نیاز به تعویض و تمیز کردن مکرر دارد [۳].

روش تقطیر مؤثر چند مرحله ای این روش برای تولید مقادیر زیاد آب مورد استفاده قرار می گیرد. این سیستم ها مبتنی بر تولید آب در مراحل مختلف هستند. ساده ترین نوع آن ها، آب شیرین کن تک مرحله ای است که برای مصارف صنعتی کاربرد دارد. اصلی ترین اجزای این واحد شامل تبخیر کننده، چگالنده و پیش گرمکن آب تغذیه است. تبخیر کننده شامل مبدل حرارتی، فضای بخار، حوضچه آب تبخیر نشده، محل خروج گازهای غیر قابل چگالش، سیستم اسپری آب و یک فیلتر است [۳].



شکل ۳- تولید آب شیرین باروش تقطیر مؤثر چندمرحله ای [۳]

روش متراکم سازی بخار

این روش عموماً برای واحدهای نمک زدایی کوچک و یا متوسط کاربرد دارد. در این روش برخلاف روش تقطیری چند مرحله ای، گرمای لازم برای تبخیر از مبادله مستقیم گرما با بخار آب تولیدی بویلر به دست نمی آید؛ بلکه از طریق فشرده سازی بخار به دست می آید. از کمپرسورهای مکانیکی و حرارتی برای استفاده از گرمای حاصل از چگالش برای تبخیر آب شور استفاده می شود.

در سیستم های متراکم ساز با کمپرسورهای مکانیکی ابتدا کمپرسور، خلائی را در محفظه اصلی ایجاد می کند، در نتیجه دمای بخار بالا می رود و بعد به داخل دسته لوله هایی که در داخل همین محفظه تعبیه شده است هدایت و باعث داغ شدن سطح لوله ها می شود؛ آنگاه آب دریا بر روی این دسته لوله های داغ اسپری می شود که در نتیجه قسمتی از آب دریا تبخیر و بخار آب حاصل به آب خالص تبدیل می شود.

در سیستم های متراکم ساز با کمپرسورهای حرارتی ابتدا بخار ورودی از طریق نازل وارد کمپرسور می شود و انبساط آن باعث می شود تا در لوله اصلی فشار پایین آید و بخار از محفظه به داخل کمپرسور مکیده شود. حال این دو بخار باهم ترکیب شده و سپس فشرده می شوند و بعد وارد دسته لوله ها می شوند که در اثر تقطیر گرمای لازم برای تبخیر آب دریا که با سطح لوله ها در تماس است را ایجاد می کنند [۶].

روش های غشایی تولید آب شیرین

در طبیعت، غشاهای نقش مهمی در جداسازی یون های نمک از آب ایفا می کنند و در دوروش تجاری به نام الکترو دیالیز و اسمز استفاده می شود [۳].

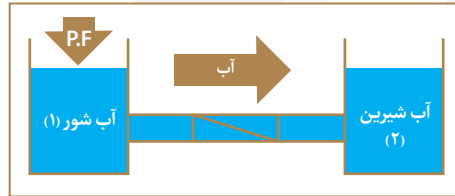
اسمز معکوس (RO)

دو ظرف مطابق شکل ۴ یکی حاوی آب نمک و دیگری حاوی آب خالص که توسط یک لوله به یکدیگر متصل بوده و هر دو دارای ارتفاع مساوی از آب باشند، فرض کنید. برای برقراری تعادل در یون های سدیم و کلرید از ظرف آب نمک، یون های نمک به صورت نفوذ مولکولی به ظرف آب خالص انتقال یافته تا تعادل غلظت بین هر دو ظرف برقرار شود؛ اما اگر بین این دو ظرف و در مسیر جریان آب، یک غشا قرار گیرد که فقط اجازه عبور مولکول های آب را دهد، یون های نمک اجازه عبور نخواهند داشت؛ لذا برای برقراری تعادل در غلظت، آب خالص از ظرف شماره دو به ظرف شماره یک انتقال می یابد و این عمل تا آنجایی ادامه می یابد که افزایش ارتفاع حاصله در ظرف آب نمک، فشار مضاعف ایجاد کرده و اجازه انتقال آب از ظرف شماره دو به شماره یک را ندهد، این فشار را فشار اسمزی می گویند.



شکل ۴- تعادل یون های نمک و آب [۷]

چنانچه جریان را برعکس کرده یعنی از ظرف شماره یک به ظرف شماره دو انتقال دهیم، لازم است فشاری بیشتر از فشار اسمزی به محلول آب نمک اعمال کنیم که این فشار را فشار عملیاتی می‌گویند و آن را با P نمایش می‌دهند؛ لذا مقدار فشار خالص که باعث می‌شود آب از ظرف آب نمک به ظرف آب خالص انتقال یابد برابر $P-F$ است و فشار محرکه نامیده می‌شود.



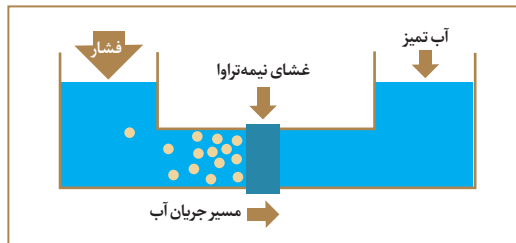
شکل ۵- اسمز معکوس [۷]

در مثال مذکور فرایند اسمز معکوس تشریح شد؛ اما در صنعت لازم است تصفیه آب به صورت پیوسته انجام شود و اگر بخواهیم مطابق با این مثال عمل تصفیه را انجام دهیم، افزایش غلظت نمک در ظرف یک باعث ازدیاد فشار اسمز معکوس می‌شود؛ لذا بایستی فشار عملیاتی را دائماً زیاد کرده و برای جلوگیری از این مشکل همواره جریانی از قسمت محلول غلیظ از دستگاه خارج کنیم تا غلظت ثابت بماند [۷].

□ الکترو دیالیز (ED)

در روش الکترو دیالیز از پتانسیل الکتریکی برای جداسازی آب و نمک استفاده می‌شود به طوری که نمک را از یک غشا عبور داده و آب در پشت غشا باقی بماند. در حالی که در روش اسمز همان طور که گفته شد به جای پتانسیل الکتریکی از فشار استفاده می‌شود.

در این روش از ورقه‌های فلزی استفاده می‌شود که نقش رزین‌های تبادل کننده یونی را بازی می‌کنند؛ یعنی ورقه‌هایی نقش آنیون و ورقه‌هایی نقش کاتیون را به عهده دارند. اصل اساسی در این فرایند، انتخاب یون‌های موجود در آب است و با پیل‌های راه‌انداز جریان الکتریسیته مستقیم کار می‌کنند. بدین صورت که اگر آب نمک از بین دو ورقه آنیون و کاتیون عبور کند و جریان الکتریسیته مستقیمی از محلول عبور داده شود، کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب شور جذب ورقه‌ها شده و آب مابین دو ورقه نمک زدایی می‌شود [۸].



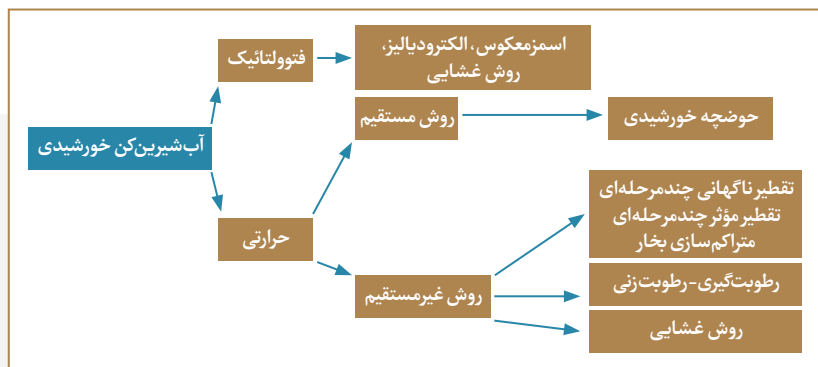
شکل ۶- روش الکترو دیالیز [۸]

■ آب شیرین کن خورشیدی

آب شیرین کن خورشیدی تاریخی طولانی دارد. اولین سند در رابطه با استفاده از تقطیر آب با انرژی خورشید در قرن شانزدهم اتفاق افتاده است. اولین نمونه صنعتی آب شیرین کن خورشیدی در سال ۱۸۷۲ توسط یک مهندس سوئدی به نام کارلوس ویلسون ساخته شده است که با تقطیر خورشیدی، آب آشامیدنی یک معدن را در شیلی تأمین کرد [۹].

انرژی خورشیدی می تواند هم برای تولید برق توسط صفحات فتوولتائیک خورشیدی و هم جذب گرما توسط کلکتورهای خورشیدی و یا حوضچه های خورشیدی مورد استفاده قرار گیرد و منبع تأمین انرژی حرارتی یا الکتریکی مورد نیاز آب شیرین کن ها را تأمین کند [۱۰].

انواع فناوری های آب شیرین کن خورشیدی در شکل ۷ نمایش داده شده است.

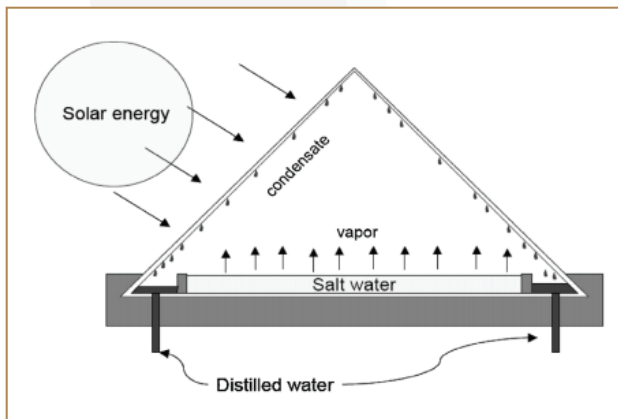


▲ شکل ۷- انواع فناوری های آب شیرین کن خورشیدی [۴]

■ آب شیرین کن خورشیدی مستقیم^۹

در این نوع فناوری، سیستم های تقطیر خورشیدی آب شور را به ظرف کم عمقی که کاملاً آب بندی شده و با هوای خارج ارتباطی ندارد، وارد می کنند. پوشش شفافی مانند شیشه یا پلاستیک، سطح فوقانی ظروف مربوطه را می پوشاند. انرژی خورشید با طول موج های مختلف از شیشه گذشته و نور خورشید با آب داخل ظرف و سطح جاذب برخورد نموده و آب گرم می شود. پوشش شفاف مانع خروج اشعه های خورشید از محفظه شده و به علاوه باعث می شود که افت گرمایی از طریق جابه جایی به مقدار زیادی کاهش یابد. به این ترتیب انرژی گرمای خورشید در دستگاه آب شیرین کن محصور شده و موجب افزایش دمای آب و تولید بخار آب در محفظه می شود. به تدریج که رطوبت نسبی در محفظه افزایش می یابد، بخار آب در اثر دفع گرما از شیشه، روی سطح داخلی شیشه تقطیر شده و آب شیرین حاصله به طرف محل جمع آوری در انتهای پوشش حرکت می کند و به این ترتیب با استفاده از انرژی خورشید و عمل تقطیر، آب شیرین تهیه می شود. آب نمک غلیظ شده نیز به طور مداوم یا متناوب از دستگاه خارج می شود. شکل ۸ نمونه کلی این گونه آب شیرین کن ها را نشان می دهد. مهم ترین عامل مؤثر در آب شیرین کن های خورشیدی شدت نور خورشید است زیرا میزان تولید آب شیرین با

شدت تابش خورشید نسبت مستقیم دارد. به علاوه عواملی چون دمای محیط، سرعت باد و دمای آب شور در مقدار بازدهی دستگاه مؤثر هستند [۱۱].



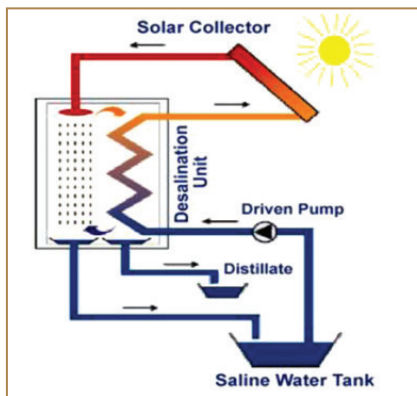
شکل ۸- دستگاه تقطیر آب شیرین کن خورشیدی مستقیم [۱۱]

■ آب شیرین کن خورشیدی غیر مستقیم^{۱۲}

در این فناوری، سیستم به دو زیرسیستم تقسیم شده است: یکی قسمت آب شیرین کن (نمک زدایی آب) و یکی قسمت صفحات کلکتور خورشیدی. صفحه کلکتور خورشیدی می تواند، یک صفحه مسطح، لوله های خال یا صفحات متمرکزکننده خورشیدی باشد که با یک پروسه آب شیرین کن (نمک زدایی آب) کوپل شده است. پروسه آب شیرین کن (نمک زدایی آب) بر اساس اصل تبخیر و تقطیر است که انواع آن عبارت اند از: تقطیر ناگهانی چند مرحله ای (MSF)، تقطیر مؤثر چند مرحله ای (MED) و متراکم سازی بخار (VC) که منبع تأمین کننده حرارت آن انرژی خورشیدی است. سیستم هایی که تجهیزات فتوولتائیک (PV) را به کار می گیرند، تمایل دارند که الکتریسته مورد نظر روش های اسمز معکوس (RO) و الکترو دیالیز (ED) را تأمین کنند [۱۲-۱۳]

■ آب شیرین کن (نمک زدایی خورشیدی) به شیوه رطوبت زنی-رطوبت گیری^{۱۳}

ایده اصلی پشت سیستم نمک زدایی خورشیدی به شیوه رطوبت زنی رطوبت گیری، این است که ظرفیت حمل رطوبت توسط هوا، با افزایش دما افزایش می یابد. در این سیستم، وقتی هوای گرم شده که به صورت طبیعی یا اجباری به گردش درآمده و با اسپری شدن در اواپراتور در تماس با آب شور قرار می گیرد، مقدار مشخصی بخار آب از آب شور به دست می آید که می توان در کندانسور آن را بازیابی کرد. چهار نوع پیکربندی اصلی نمک زدایی خورشیدی به شیوه رطوبت زنی-رطوبت گیری عبارت اند از: سیکل آب باز-هوابسته، سیکل آب بسته-هواباز، سیکل آب باز-هواباز و سیکل آب بسته-هوابسته. در سیکل آب بسته، آب شور تخلیه شده از اواپراتور با آب



▲ شکل ۹- آب شیرین کن (نمک زدایی آب) خورشیدی
به روش رطوبت زنی و رطوبت گیری [۱۴]

تغذیه مخلوط می شود؛ اما در سیکل آب باز، آب شور، در هر مرحله از فرایند، از سیستم دفع می شود. به طور کلی، نرخ آب مقطر تولیدی از یک واحد نمک زدایی به شیوه رطوبت زنی - رطوبت گیری، بسیار وابسته به دبی و دمای آب تغذیه و نیز دمای هوای ورودی بوده و با پیش گرم کردن آب و هوا افزایش می یابد [۱۵]. همیشه مقدار بهینه ای برای دبی جریان آب ورودی به منظور خشک کردن هوا وجود دارد که در این حالت بیشینه نرخ انرژی حرارتی برای مقدار مشخصی از دمای آب بازیابی می شود. همچنین با افزایش تعداد مراحل نیز نرخ انرژی حرارتی بازیابی شده افزایش می یابد. تجزیه و تحلیل اقتصادی این سیستم نشان می دهد که این سیستم می تواند برای ظرفیت های کوچک تر بسیار مناسب تر و رقابتی تر باشد.



▲ شکل ۱۰- آب شیرین کن (نمک زدایی خورشیدی)
به شیوه اسمز معکوس [۱۶]

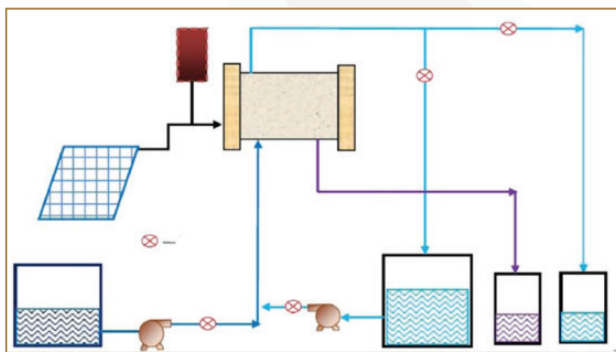
□ آب شیرین کن (نمک زدایی خورشیدی) به شیوه اسمز معکوس (RO)

اسمزی معکوس فرایند نمک زدایی تحت تأثیر فشار است که در آن، آب تغذیه تحت تأثیر فشار و به اجبار از غشا عبور می کند. اگر فشار مورد استفاده بیشتر از فشار اسمزی باشد، آب شیرین پس از عبور از غشا در لوله های جمع آوری شده و آب شور باقی مانده نیز تخلیه می شود. میزان بازیابی آب شیرین برای یک واحد اسمزی معکوس برای آب شور دریا در حدود ۲۵ تا ۴۵ درصد و برای آب لب شور، در حدود ۹۰ درصد است (شکل ۱۰). میزان انرژی مورد نیاز برای فرایند اسمزی معکوس به خواص غشا و میزان شوری آب تغذیه بستگی دارد. بخش های اصلی یک سیستم اسمزی

معکوس عبارت است از مازول‌های غشا، پمپ‌های فشار بالا، منبع انرژی و سیستم بازیابی انرژی.

□ آب شیرین کن (نمک زدایی خورشیدی) به شیوه الکترودیالیز خورشیدی (ED)

الکترودیالیز فرایند جداسازی نمک از آب شور است. یک واحد نمک زدایی الکترودیالیز شامل بخش‌های کوچک‌تری است که با آب دریا پرو با غشاهای تبادل آنیون و کاتیون از هم جدا شده‌اند. وقتی قطب DC بین کاتد و آنود اعمال می‌شود، یون‌های منفی از غشاهای تبادل آنیون عبور و یون‌های مثبت از غشاهای تبادل کاتیون عبور می‌کنند و تعداد یون‌ها در یک بخش ویژه افزایش یافته و به عنوان آب شور تخلیه از سیستم خارج می‌شوند. قطب معکوس هر ۲۰ دقیقه اعمال می‌شود تا از رسوب نمک‌ها در غشاها جلوگیری کند. اصول کارکرد یک سیستم الکترودیالیز خورشیدی در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱- آب شیرین کن (نمک زدایی خورشیدی) به شیوه الکترودیالیز خورشیدی [۱۷]

چالش‌های موجود در استفاده از آب شیرین کن خورشیدی و کاربرد فناوری نانو

امروزه نیاز به آب شیرین، به دلیل صنعتی شدن و نیز افزایش استانداردهای زندگی بشرو به روز در حال افزایش است. به طور طبیعی، ذخایر آب شیرین در دسترس که کمتر از ۳ درصد کل آب‌های زمین است، قادر به تأمین آب شیرین مورد نیاز بشر نیست [۱۸]. خوشبختانه توسعه فناوری‌های نمک زدایی، ظرفیت حل مشکل یادشده را فراهم آورده است. بر اساس آمار منتشرشده توسط انجمن بین‌المللی نمک زدایی تا سال ۲۰۱۳ میلادی، بیش از ۸۰ میلیون مترمکعب آب شیرین در روز از منابع آب شور موجود در جهان به دست آمده که بیش از ۳۰۰ میلیون نفر از این آب‌های شیرین به دست آمده به طور مستقیم استفاده می‌کنند [۱۹]. مطابق با همین آمار، به منظور تولید این میزان آب شیرین در روز، بیش از ۱۷۰۰۰ واحد نمک زدایی به کار گرفته شده است که عمده این واحدها، واحدهایی در مقیاس بزرگ با میزان تولید بالای آب در روز هستند.

به طور کلی برای بسیاری از مردم، به خصوص آن‌هایی که در این گونه جوامع زندگی می‌کنند، انتظار برای ساخت و راه اندازی شبکه توزیع و تصفیه آب، مشکل بهداشت و کمبود آب آن‌ها را حل نمی‌کند. به طور کلی انتقال آب شیرین به چنین مناطقی یکی از مشکلات بزرگ تلقی می‌شود. راه اندازی آب شیرین کن‌های صنعتی بزرگ در

این مناطق هزینه های بسیاری تحمیل کرده به نحوی که چنین طرح هایی را غیراقتصادی می کند. بنابراین باید در پی راهکاری دیگر بود. یک راهکار مناسب استفاده از انرژی رایگان خورشیدی برای فرایند نمک زدایی آب (آب شیرین کن) و بهبود عملکرد این تجهیزات با فناوری نانو است. فناوری آب شیرین کن های خورشیدی زمانی می تواند به عنوان یک روش اصلی تأمین آب مورد استقبال عموم مردم قرار گیرد که براین چالش ها غلبه کند:

■ هزینه نسبتاً بالای سیستم های آب شیرین کن خورشیدی

همان طور که در این گزارش مطرح شد در حال حاضر تولید هر مترمکعب آب شیرین ۵۰ تا ۸۰ سنت هزینه دارد که باید با ارتقای این سیستم این هزینه را تا حد امکان کاهش داد. با استفاده از فناوری نانو در فرایند تولید آب شیرین می توان این هزینه را کاهش داد.

■ راندمان کم آب شیرین کن های خورشیدی

در سیستم تقطیر خورشیدی، آب مقطر به دست آمده دارای کیفیت بسیار بالایی است؛ اما مقدار به دست آمده از واحد ساده آن در مقایسه با مساحت مورد نیاز واحد، در محدود بسیار کمی است و بازده آن نیز پایین است. برای سیستم رطوبت زنی- رطوبت گیری، اگرچه تجزیه و تحلیل اقتصادی آن نشان می دهد که این سیستم می تواند برای ظرفیت های کوچک تر بسیار مناسب تر و رقابتی تر باشد؛ اما در ظرفیت های بالا، برای کارکرد بهینه نیاز به تعداد بالایی مرحله دارد که هزینه سیستم را بسیار بالا می برد. با کمک فناوری نانو می توان با افزایش راندمان سیستم، نرخ آب شیرین تولیدی را افزایش داد.

■ کیفیت پایین آب تولیدی آب شیرین کن خورشیدی

هدف اصلی ما در آب شیرین کن خورشیدی، تأمین آب آشامیدنی است؛ لذا صرف نمک زدایی از آب های شور کافی نیست و باید به کمک روش هایی نظیر بهره مندی از فناوری نانو، آلاینده های موجود در آب را حذف کرد که آب تولیدی، قابلیت شرب داشته باشد.

■ فناوری نانو در آب شیرین کن خورشیدی

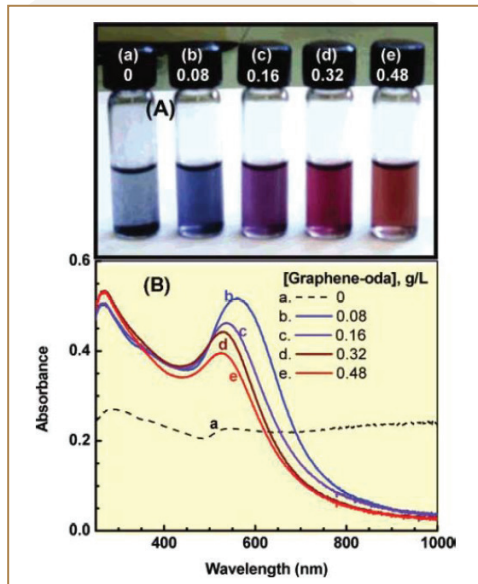
اخیراً فناوری نانو باعث توسعه فرایند شیرین سازی آب با کمک انرژی خورشیدی شده و ترکیب دو فناوری جدید انرژی خورشیدی و نانو، باعث پیشرفت در حوزه آب شیرین کن ها شده است. نتایج اصلی استفاده از فناوری نانو عبارت اند از:

- افزایش جذب انرژی حرارتی خورشید
- افزایش راندمان تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی گرمایی (در آب شیرین کن های حرارتی)
- افزایش نرخ تولید آب
- حذف آلاینده های آب تولیدی نهایی (در آب شیرین کن های غشایی)
- کاهش هزینه (به دلیل کاهش سطح و کاهش مواد مصرفی)

کاربردهای فناوری نانودر آب شیرین کن‌های خورشیدی را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

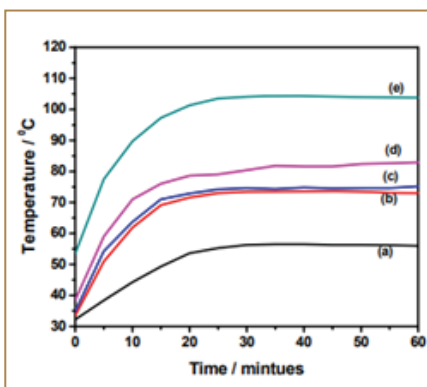
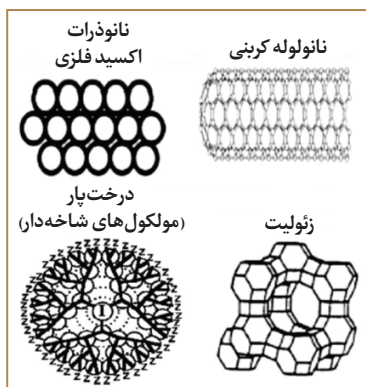
■ افزایش نرخ تولید آب با به کارگیری نانومواد

نانومواد جدید درصد جذب نور خورشید را بالا برده و راندمان تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی حرارتی را بالا برده‌اند. پایه این ایده برای اساس است که افزودن نانوکامپوزیت‌ها به آب شور ورودی دستگاه در دستگاه‌های تقطیر خورشیدی، باعث افزایش نرخ تبخیر آب و در نتیجه افزایش نرخ تولید آب شیرین خروجی می‌شوند. نانوکامپوزیت پیشنهادی ترکیب نانوموادى مثل نقره و طلا روی صفحات گرافن است. ذرات طلا و نقره خاصیت جذب کنندگی قوی نور خورشید دارند (شکل ۱۲). گرافن نیز خاصیت جذب کنندگی قوی دارد و بیشترین ضریب رسانایی را بین کل مواد موجود دارد. ترکیب این دو باعث می‌شود که تبدیل انرژی خورشیدی به حرارتی در آب شیرین کن‌های خورشیدی دارای بازدهی بالایی باشد.



» شکل ۱۲- طیف جذب
یک میکروگرم نانوذره طلا در
غلظت‌های مختلف گرافن [۲۰]

در شکل ۱۳ مقایسه‌ای بین نرخ افزایش دما برای آب دریا در حوضچه آب شیرین کن خورشیدی برای ۵ حالت: آب دریا-آب دریا به همراه نانوذرات نقره-آب دریا به همراه نانوذرات نقره-آب دریا و گرافن-آب دریا و ترکیب گرافن و نانوذرات طلا، انجام شده است. مشخص است که بهترین حالت، ترکیب آب دریا و گرافن و نانوذرات طلا است و طی مدت ۶۰ دقیقه دمای آب به ۱۰۰ درجه رسیده است و فرایند تبخیر انجام شده است. نانوموادى که می‌توانند برای بهبود عملکرد آب شیرین کن خورشیدی به آب شور اضافه شوند، مطابق شکل ۱۴ هستند.



شکل ۱۴- نانومواد با قابلیت اضافه شدن به آب شور برای افزایش نرخ جذب حرارت آب در آب شیرین کن [۲۳]

شکل ۱۳- تأثیر نانوذرات طلا و نقره روی افزایش سرعت نرخ تبخیر آب در آب شیرین کن خورشیدی (a) آب دریا (b) آب دریا به همراه نانوذرات نقره (c) آب دریا به همراه نانوذرات طلا (d) آب دریا به همراه گرافن (e) آب دریا به همراه ترکیب گرافن و نانوذرات طلا [۲۱]

تولید آب کاملاً بهداشتی با به کارگیری محصولات غشایی حاوی حفرات نانومقیاس یکی از روش های پرکاربرد در آب شیرین کن های خورشیدی، استفاده از روش اسمز معکوس (RO) است. نانوفیلتراسیون (NF) نیز مانند اسمز معکوس عمل می کند و برای عملکرد به فشار کمتری (۱۴-۷۰ psi) نسبت به اسمز معکوس نیاز دارد و ذرات جامد و آلاینده آب را حذف می کند. ترکیب نانوفیلتراسمز معکوس جزء کلیدی پیشرفت در آب شیرین کن های خورشیدی است که آب خالص با کیفیت بالا و عاری از مواد آلاینده مثل باکتری و ویروس را تولید می کند [۲۳].

همچنین نانوذرات نقره دارای خاصیت آنتی باکتریال است که افزودن آن به آب شور طی فرایند تولید آب شیرین باعث تولید آب کاملاً بهداشتی و عاری از هرگونه آلاینده می شود [۲۴].

در حال حاضر از غشاهای نیمه تراوا که حاوی حفرات نانومقیاس هستند، در بسیاری از کاربردهای مربوط به نمک زدایی و تصفیه آب استفاده می شود. به طور کلی غشاهای ورقه های باریک یا فیلم های سطحی طبیعی یا سنتزی هستند که حاوی حفراتی در خود هستند. مولکول های کوچک می توانند از این حفرات عبور کنند، اما مولکول های بزرگ در یک سمت غشا ننگه داشته می شوند. غشاهای ساخته شده از مواد مختلف (عمدتاً پلیمرهای سنتزی) می توانند ذرات را تا محدوده اندازه های مولکولی یا یونی فیلتر کنند. مواد شیمیایی جدا شده از بین نرفته بلکه تغلیظ می شوند. غشاهای این دلیل نیمه تراوا نامیده می شوند که برخی از ذرات می توانند از آن ها عبور کنند، در حالی که ذرات دیگر این امکان را ندارند. به طور معمول یون های کوچک، آب، حلال ها، گازها و مولکول های بسیار کوچک دیگر می توانند از غشاهای عبور کنند، در حالی که یون های دیگر و ماکرومولکول هایی همچون پروتئین ها و کلئیدها ننگه داشته می شوند. محصولات غشایی حاوی حفرات نانومقیاس بسته به اندازه حفرات خود در سه دسته طبقه بندی می شوند [۲۵]:

- عناصر غشایی اسمز معکوس (RO)
- عناصر غشایی نانوفیلتراسیونی (NF)
- عناصر غشایی اولترافیلتراسیونی (UF)^{۱۶}

■ عناصر غشایی اسمز معکوس

به‌طور کلی اسمز معکوس به عبور آب از یک غشای نیمه‌تراوا تحت فشار بالا و از طریق مکانیسم انتشار محلول گفته می‌شود. یون‌ها، ویروس‌ها، باکتری‌ها، ترکیبات آلی و کیست‌ها از روی سطح غشا پس زده شده و نمی‌توانند از آن عبور کنند. هرچه فشار بالاتر باشد، نیروی پیشران در سرتاسر غشا بالاتر خواهد بود. به‌طور معمول مولکول‌هایی با وزن مولکولی بالاتر از حدود ۱۵۰ تا ۲۵۰ دالتون از سطح غشا پس زده می‌شوند. هرچه اندازه ذره و بار آن بیشتر باشد، احتمال عبور آن از غشا کم‌تر است. بخش اصلی سامانه اسمز معکوس، یک غشای نیمه‌تراوا یا یک (فیلتر مولکولی) است که بیش از ۹۹ درصد از ذرات نامحلول را حذف می‌کند. با وجودی که می‌توان از پلیمرها و مواد مختلفی برای تولید غشاهای اسمز معکوس بهره برد، این فناوری پیشرفت کرده و در حال حاضر از غشاهای کامپوزیتی فیلم نازک استفاده می‌شود. این غشاهای به‌طور معمول از یک پلی‌آمید (PA-نایلون) ساخته می‌شوند که روی یک بستری پلی‌سولفونی یا مخلوط استات سلولز پلیمریزه شده است. با وجودی که ساختارهای مختلفی برای غشاهای اسمز معکوس شناخته شده است، پیشرفته‌ترین آن‌ها که در بازار امروزی به کار می‌رود، عناصر مارپیچی هستند که در آن‌ها ورقه‌های غشایی مسطح به شکل مارپیچ‌هایی دور یک استوانه تراوا پیچیده شده‌اند. این عناصر غشایی مارپیچی درون یک محفظه فشار قرار داده می‌شوند. غشاهای اسمز معکوس در دو مدل (میزان دفع استاندارد) یا (میزان دفع بالا) برای آب دریا و آب شور وجود دارند. نرخ پس‌زدگی به درصدی از ذرات نامحلول که از غشا عبور نکرده و از سطح آن دفع می‌شوند، اطلاق می‌شود. به‌عنوان مثال یک غشا با نرخ پس‌زدگی ۹۹ درصد (بر مبنای سدیم) تنها به ۱ درصد از ذرات نامحلول در آب اجازه عبور از خود معمول را می‌دهد. برای استفاده از اسمز معکوس در نمک‌زدایی آب باید فشار اسمزی آب افزایش یابد (به‌طور معمول تادو برابر). یک سامانه معمول برای ایجاد فشار اسمزی ۳۷۶ psi باید در فشار ۸۰۰ psi کار کند. دمای آب اولیه، کل ذرات نامحلول^{۱۵} در آن، سن غشا و میزان گرفتگی آن بر فشار مورد نیاز برای انجام اسمز معکوس تأثیر می‌گذارند. بسیاری از سامانه‌های اسمز معکوس برای کار با آب خام در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد طراحی می‌شوند؛ اما با تغییر در طراحی این سامانه‌ها می‌توان امکان کار در دماهای بالاتر و پایین‌تر را نیز ایجاد کرد. با افزایش دما میزان عبور آب و نمک از غشا افزایش یافته و فشار کمتری برای کار نیاز است. در دماهای پایین‌تر عبور نمک کمتر شده و فشار کار افزایش می‌یابد. در این حالت اگر فشار افزایش نیابد، میزان تولید آب تصفیه‌شده کم می‌شود. بسیاری از فرایندهای اسمز معکوس در حالتی که به نام جریان متقاطع^{۱۶} معروف است، کار می‌کنند. در این حالت میزان گرفتگی و کثیف شدن غشا کم می‌شود؛ اما برای تمیز کردن غشا در فاصله‌های زمانی مشخص همچنان نیاز به شستشوی برگشتی و استفاده از برخی مواد شوینده وجود دارد. گرفتگی و کثیفی غشا اجتناب‌ناپذیر است؛ اما با انجام طراحی مناسب سیستم می‌توان مقدار آن را کاهش داد. با عبور مقداری از سیال از غشا، سیال باقیمانده به سمت پایین دست حرکت کرده و اجزای دفع شده را نیز با خود حمل می‌کند تا سطح غشا تمیز باقی بماند. در فرایند اسمز طبیعی، آب از سمت

خالص تر غشا به سمتی که ناخالصی بیشتری وجود دارد، حرکت می‌کند تا غلظت ناخالصی‌ها را در آنجا کاهش دهد. در اسمز معکوس این فرایند باید برعکس شود. معمول ترین نیرویی که برای عبور معکوس سیال از غشا استفاده می‌شود (هل دادن سیال به سمت خالص تر)، فشار ایجاد شده توسط یک پمپ است.

■ عناصر غشایی نانوفیلتراسیونی

غشاهای نانوفیلتراسیونی اولین بار برای حذف تری هالومتان‌ها از آب آشامیدنی تولید شدند. با استفاده از اسمز معکوس نمی‌توان تری هالومتان‌ها را که در اثر واکنش میان هیومیک اسید با کلر در طول فرایند ضد عفونی کردن آب تولید می‌شوند، حذف کرد. محققان برای حل این مشکل روی غشاهای اسمز معکوس (آزاد) شروع به تحقیق کرده و غشاهایی تولید کردند که اجازه عبور نمک، آب و مولکول‌های آلی با وزن مولکولی پایین‌تر از ۲۰۰ را می‌داد. از آنجایی که وزن مولکولی ۲۰۰ معادل با یک مولکول بزرگ با اندازه یک نانومتر است، این غشاهای جدید به نام غشاهای نانوفیلتراسیونی معروف شدند. سامانه‌های نانوفیلتراسیونی در فشار نسبتاً پایین میان ۷۵ psi و ۱۵۰ psi کار می‌کنند. اولین مرکز نانوفیلتراسیون در سال ۱۹۷۷ در فلوریدا آغاز به کار کرد. تا سال ۱۹۹۶ ظرفیت تولید آب توسط مراکز نانوفیلتراسیون در آمریکا به ۲۲۷ هزار مترمکعب آب در روز رسید که تمام آن‌ها در فلوریدا واقع شده بودند. در سال ۲۰۰۷ روزانه حدود ۱۴۰۰۰۰۰ مترمکعب آب توسط این روش در آمریکا تولید می‌شد. از غشاهای نانوفیلتراسیونی برای (نرم‌سازی) آب استفاده می‌شود که در آن سختی آب کم شده و مواد آلی، رنگ، باکتری‌ها و ناخالصی‌های دیگر از آب خام جدا می‌شوند. نرم‌سازی فرایندی است که در آن نیاز بالایی به نمک‌زدایی وجود نداشته و حتی ممکن است این کار مطلوب نباشد. با وجودی که برای نمک‌زدایی و تصفیه آب دریا و آب‌های شور که جامدات نامحلول زیادی در خود دارند، باید از فرایند اسمز معکوس استفاده شود، بسیاری از منابع آبی نیازی به نمک‌زدایی کامل ندارند. در فرایند نانوفیلتراسیون بخشی از مواد معدنی از آب جدا شده و بین ۱۰ تا ۹۰ درصد نمک‌های نامحلول از آب حذف می‌شوند، در حالی که در اسمز معکوس تا ۹۹/۵ این مواد فیلتر می‌شوند. سطح پایین سختی کلسیم که در آب تصفیه شده توسط نانوفیلتراسیون باقی می‌ماند، طعم خوب و شیرینی به آب می‌دهد. از نانوفیلتراسیون در حذف آرسنیک نیز می‌توان بهره برد.

■ عناصر غشایی اولترافیلتراسیونی

در اولترافیلتراسیون از یک غشای نیمه تراوا برای فیلتر کردن یک محلول که حاوی برخی عناصر مطلوب و برخی عناصر نامطلوب است، استفاده می‌شود. در بسیاری از موارد از اختلاف فشار به عنوان نیروی پیشران آب از درون غشا استفاده می‌شود (فشار مثبت یا خلاء). در این فرایند به طور معمول از فشارهای مابین ۳۰ psi تا ۱۵۰ psi استفاده می‌شود؛ اما در برخی موارد فشارهای بالای ۳۶۰ psi تا ۴۳۰ psi نیز به کار می‌روند. اولترافیلتراسیون تا حدی به بار ذرات جدا شونده بستگی دارد؛ اما تمرکز اصلی این فرایند بر اندازه ذرات است. غشاهای اولترافیلتراسیونی با دارا بودن حفرات ۱ تا ۱۰۰ نانومتری می‌توانند اجزای با وزن مولکولی ۳۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ دالتون را از آب جدا کنند. این غشاها به طور معمول همانند غشاهای اسمز معکوس و نانوفیلتراسیونی به جای اینکه با اندازه ذرات جدا شده توسط آن‌ها بر حسب میکرون توصیف شوند، توسط فاکتور جدایش وزن مولکولی

(MWCO)^{۱۷} می شوند. در گذشته تعیین مشخصات غشاهای اولترافیلتراسیونی توسط نفوذپذیری پروتئین ها و پلی اتیلن گلیکول ها تعیین می شد و تقسیم بندی این مولکول ها بر اساس وزن مولکولی آن ها صورت می گرفت؛ به همین دلیل توصیف این غشاها همچنان بر پایه این رسم قدیمی و بر اساس MWCO انجام می شود. با وجودی که مشخص شده است پروتئین ها تنها توسط وزن مولکولی خود توصیف نمی شوند، این اصطلاح هنوز هم استفاده می شود. نمک ها و اجزای دارای وزن مولکولی پایین از غشای اولترافیلتراسیونی عبور کرده و جامدات معلق بزرگ تر در سمت جریان ورودی باقی مانده و تغلیظ می شوند. از غشاهای اولترافیلتراسیونی می توان برای جداسازی مولکول های زیستی، شکرها، تانین ها، لیگنین ها، برخی مواد رنگی، رنگ دانه های رنگ و جوهر، پشم شیشه، ویروس ها، باکتری ها، عناصر قابل اشتعال، اندوتوکسین ها، پلیمرها و ذرات کلونیدی استفاده کرد. با این حال این غشاها نمی توانند یون ها را از آب جدا کنند. اندازه و شکل مولکول ها، جنس و ساختار غشا و حضور مواد دیگر در آب جزو عواملی هستند که نوع اجزای جدا شده توسط این غشاها را تعیین می کنند. پارامترهای عملکردی سامانه غشایی همچون فشار میان غشایی، دما و PH نیز مهم هستند.

محصولات صنعتی

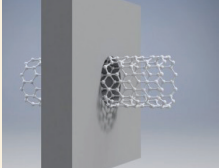
در کشور ایران، یک سری تحقیقات در زمینه آب گرم کن های خورشیدی انجام شده است ولی قاعدتاً با توجه به شرایط آبی کشور نیاز به تحقیق و توسعه و ساخت محصول در حوزه نانو با کاربرد در آب شیرین کن خورشیدی ضروری است. یکی از شرکت هایی که در این زمینه محصولی به بازار عرضه کرده، شرکت ایفا پژوهش است که غشاهای نانوکامپوزیتی تولید کرده است. به طور کلی کاربردهای غشاهای اولترافیلتراسیون شامل موارد زیر است: کاربرد برای آب آشامیدنی، خالص سازی اولیه آب های صنعتی، پیش تصفیه آب فوق خالص، پیش تصفیه برای نمک زدایی آب دریا [۲۶].

غشاهای هالوفایبر (الیاف نازک توخالی) از جمله غشاهای مورد استفاده در فرایند اولترافیلتراسیون است که کاربرد فراوانی در صنایع مختلف به ویژه آب آشامیدنی و تصفیه فاضلاب، صنایع دارویی، صنایع لبنی و صنعت نفت و گاز دارد.

بسیاری از محصولاتی که در حال حاضر در بازار وجود دارند، محصولات شناخته شده تصفیه آب، غشاهای اسمز معکوس، نانوفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون هستند که می توان آن ها را به عنوان محصولات مبتنی بر فناوری نانو تقسیم بندی کرد. بخش باقیمانده، محصولات در حال ظهور هستند که بسیاری از آن ها در مرحله پیش تجاری سازی قرار دارند. از جمله این محصولات می توان به پالایه های نانوالیافی، نانولوله های کربنی و انواع مختلفی از نانوذرات اشاره کرد. انتظار می رود که با توسعه بیشتر فناوری نانو، کارایی روش های مختلف تصفیه و فیلتراسیون آب، همچون خالص سازی، نمک زدایی، ضد عفونی کردن بهبود یابد. همچنین انتظار بر این است که استفاده از محصولات مبتنی بر فناوری نانو هزینه تصفیه آب را کاهش دهد؛ به علاوه پیش بینی می شود که استفاده از این فناوری عملکردهای جدیدی به مواد موجود بیفزاید. با درک بهتر شیمی سطحی نانوساختارها، امکان کنترل واکنش ها با استفاده از نانومواد به منظور کاهش تولید ضایعات نیز به وجود خواهد آمد. در حال حاضر کشورهای پیشرفته ای همچون آمریکا، آلمان و ژاپن محل اصلی توسعه فناوری نانو به شمار می روند. با این حال پژوهشگران اقتصادهای نوظهور نیز در کنار محققان کشورهای توسعه یافته در زمینه تحقیق

و توسعه فناوری نانو فعال هستند. همکاری های بین المللی زیادی در این حوزه شکل گرفته و دانشگاه ها و بنگاه های اقتصادی مختلف با اهداف مشترک را از تمام جهان با یکدیگر متحد کرده است. در زمینه کاربرد نیز بازار فناوری های نانو محدود به کشورهای ثروتمند نبوده و می توانند برای مصرف کنندگان و همچنین محیط زیست کشورهای نوظهور بسیار مفید باشند. کشورهای در حال توسعه می توانند با بهره گیری از فناوری نانو در زمینه تولید آب شیرین جهش بزرگی در این زمینه داشته باشند. در جدول ۱ به معرفی برخی از این محصولات پرداخته شده است.

جدول ۱- نمونه ای از محصولات صنعتی در جهان

تصویر محصول	نام محصول	شرکت
	Reverse osmosis membrane brand (AIST)	NANOPLAST [۲۷]
	Reverse Osmosis (RO)	APRIA Systems [۲۸]
	Nanotube membranes	Mattershift [۲۹]

خلاصه مدیریتی

با توجه به این که اقلیم آب و هوای ایران اغلب خشک و بیابانی است و منابع آبی در دسترس، خیلی کم است و بیشتر آن ها نیز شور و غیر قابل استفاده برای شرب هستند؛ بنابراین ضرورت داشتن آب شیرین در ایران کاملاً واضح است. روش هایی که برای شیرین کردن آب وجود دارند در دو دسته بندی کلی عبارت اند از: روش های حرارتی تولید آب شیرین (تبخیری- تقطیری) و روش های غشایی. با کمک انرژی تجدید پذیر و رایگان خورشیدی می توان منبع انرژی حرارتی و الکتریکی مورد نیاز آب شیرین کن ها را تأمین کرد. ترکیب دو فناوری نوین خورشیدی و نانو در فرایند تولید آب شیرین، این روش را کاربردی تر می سازد. به کارگیری نانومواد، افزایش نرخ تولید آب شیرین و بهبود کیفیت آن را به همراه دارد و در نهایت باعث افزایش راندمان، کاهش هدررفت انرژی و هزینه در سیستم آب شیرین کن خورشیدی می شود.

پی نوشت ها

- | | | |
|-----------------------------------|--|----------------------------|
| ۱ Thermal Process | ۷ Revers Osmosis | ۱۳ Nano-Filtration |
| ۲ Membrane | ۸ Electro Dialysis | ۱۴ Ultra-Filtration |
| ۳ Multi-stage flash distillation | ۹ Direct Process | ۱۵ TDS |
| ۴ Multi-effect distillation | ۱۰ Indirect Process | ۱۶ Cross Flow |
| ۵ Vapour-comperession evaporation | ۱۱ Photovoltaic | ۱۷ Molecular Weight Cutoff |
| ۶ Solar water desalination | ۱۲ Humidification and Dehumidification | |

مراجع

- ۱۴ Müller-Holst, H., Engelhardt, M., & Schölkopf, W. (1999). Small-scale thermal seawater desalination simulation and optimization of system design. *Desalination*, 122(2-3), 255-262.
- ۱۵ S. Farsad, A. Behzadmehr, Analysis of a solar desalination unit with humidificationdehumidification cycle using DoE method, *Desalination*, Vol. 278, No. 1-3, pp. 70-76, 2011.
- ۱۶ F. Cao, H. Li, Y. Zhang, L. Zhao, Numerical Simulation and Comparison of Conventional and Sloped Solar Chimney Power Plants: The Case for Lanzhou, *The Scientific World Journal*, Vol. 2013, pp. 8, 2013.
- ۱۷ J. E. Lundstrom, Water desalting by solar powered electrodialysis, *Desalination*, Vol. 31, No. 1-3, pp. 469-488, 1979.
- ۱۸ USGS - Earth's water distribution, <https://www.usgs.gov/centers/sa-water> (accessed 11 December 2012). Retrieved on 29 December 2012
- ۱۹ <http://www.unwater.org/statistics> (accessed 31 August 2017).
- ۲۰ Gao, X. F.; Jang, J.; Nagase, S., Hydrazine and Thermal Reduction of Graphene Oxide: Reaction Mechanisms, Product Structures, and Reaction Design. *Journal of Physical Chemistry C* 2010, 114 (2), 832-842.
- ۲۱ J. Theron, J. A. Walker and T. E. Cloete, Nanotechnology and Water Treatment: Applications and Emerging Opportunities, *Critical Reviews in Microbiology*, 34 (2008) 43-69.
- ۲۲ Thembella Hillie & Mbhuti Hlophe, Nanotechnology and the challenge of clean water, *Nature Nanotechnology* 2, 663 - 664 (2007)
- ۲۳ J. Theron, J. A. Walker and T. E. Cloete, Nanotechnology and Water Treatment: Applications and Emerging Opportunities, *Critical Reviews in Microbiology*, 34 (2008) 43-69.
- ۲۴ Rehab M. Amin, Mona B. Mohamed, Marwa A. Ramadan, Thomas Verwanger, and Barbara Krammer, Rapid and sensitive microplate assay for screening the effect of silver and gold nanoparticles on bacteria, *Nanomedicine* (2009) 4(6), 637 - 643
- ۲۵ مجموعه گزارش های رصد فناوری نانودر صنعت آب، ۲۰۱۵
- ۲۶ کتاب محصولات فناوری نانو ساخت ایران (دارای تأییدیه نانوقیاس)، ویرایش پنجم، پاییز ۱۳۹۷
- ۲۷ <https://product.statnano.com/product/9466>
- ۲۸ <https://product.statnano.com/product/9675>
- ۲۹ <https://product.statnano.com/product/10799>
- ۱ علی محمدی، تولید آب با استفاده از تقطیر هوا، دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۱
- ۲ M. W. Rosegrant X. Cai and S.A. Cline, *World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity*, International Food Policy Research Institute, 2002.
- ۳ علی، فلاح علمداری، بررسی انواع آب شیرین کن های متداول و طراحی یک نمونه آب شیرین کن خورشیدی، پایان نامه کارشناسی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تابستان ۱۳۸۸.
- ۴ Shatat, M. & Riffat, S. Water desalination technologies utilizing conventional and renewable energy sources. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. (Oxford University Press) 2012. 0, 1-19
- ۵ Raluy, R. G. Serra, L. Uche, J. & Valero, A. Life-cycle assessment of desalination technologies integrated with energy production systems. *Desalination*, 2004; 167, 445-458.
- ۶ محمد مهدی امیرآبادی فراهانی، ارزیابی فنی و اقتصادی سیستم آب شیرین کن اسمز معکوس، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تابستان ۱۳۹۱
- ۷ سیدرضا حسینی، بررسی قابلیت اطمینان در کوپلینگ آب شیرین کن های ترکیبی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، زمستان ۱۳۸۹
- ۸ حسام حامدی، شبیه سازی و تحلیل آب شیرین کن خورشیدی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، اسفند ۱۳۸۹
- ۹ Desalination Technologies and the Use of Alternative Energies for Desalination; 2011 [http://www.wipo.int/patentscope/en/programs/patent landscapes/documents/patent landscapes/948-2E-WEB.pdf](http://www.wipo.int/patentscope/en/programs/patent%20landscapes/documents/patent%20landscapes/948-2E-WEB.pdf) accessed 30.09.12.
- ۱۰ Water and Process Technology; 2012 [http://www.gewater.com/what we do/water scarcity/desalination.jsp](http://www.gewater.com/what%20we%20do/water%20scarcity/desalination.jsp) accessed 30.09.12
- ۱۱ Al-Karaghoul, A.A. & Kazmerski L.L. (2011). Renewable energy opportunities in water desalination, desalination, trends and technologies, Michael Schorr (Ed.), ISBN: 978-953-307-311-8, InTech. [http://cdn.intechopen.com/pdfs/13758/InTech-Renewable energy opportunities in water desalination.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs/13758/InTech-Renewable%20energy%20opportunities%20in%20water%20desalination.pdf)
- ۱۲ Ali, M. T. Fath, H. E. S., & Armstrong, P. R. (2011). A comprehensive technoeconomical review of indirect solar desalination. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 4187-4199.
- ۱۳ International Energy Agency (2011). Solar energy perspectives: Executive summary. Archived from the original on 12.03.11