

1121P-NWWCE

بررسی ساختار و ویژگی های فنی روش های متداول در تأسیسات نمک زدایی

علی ابراهیمی^۱، مجتبی قنبریان^۲، علی مریدی^۳

۱- کارشناس ارشد مدیریت دانش، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء(ص)، گروه تخصصی نوح (ع)

۲- مدیر بهره وری و دانش، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء(ص)، گروه تخصصی نوح (ع)

۳- استادیار، گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید بهشتی

Ebrahimi.ali75@yahoo.com

خلاصه

با توجه به کاهش شدید منابع آب شیرین، ضرورت نمک زدایی آب های شور و آب دریا رو به افزایش است، با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک کشور ایران و بحران شدید آب، بایستی به دنبال دستیابی و بومی سازی نمودن روش ها و تأسیسات نمک زدایی بود، در همین راستا قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء (ص) - گروه تخصصی نوح (ع) اقدام به بررسی و توسعه فعالیت های مطالعاتی و تحقیقاتی در این زمینه نموده است. در این مقاله سعی شده است ضمن مرور تاریخچه و جایگاه این صنعت در ایران و جهان، روش ها و مدل های مختلف نمک زدایی بطور مختصر تشریح شده و از نظر فنی و اقتصادی مورد بررسی قرار گیرد.

کلمات کلیدی: تأسیسات نمک زدایی، روش های شیرین سازی، مدل های حرارتی و غشایی

۱. مقدمه

با وجود اینکه بیش از هشتاد درصد سطح زمین پوشیده از آب است، اما سهم منابع آب تجدید پذیر حدود نیم درصد است. از حدود سی سال پیش با توجه به رشد روزافزون جمعیت کشورها و افزایش نیاز و تقاضای آب، سرانه آب تجدید شونده دچار کاهش شدیدی شده است و عدم توازن و تعادل بین منابع محدود و مصارف رو به افزایش، باعث ایجاد پدیده ای بنام بحران آب شده است [۱]. پیش بینی می شود تا سال ۲۰۲۵ میلادی، ۵۰ تا ۶۰ درصد مردم جهان با تنش آبی و مشکلات ناشی از کم آبی مواجه شوند [۲]. اخیراً افزایش جمعیت جهان، رشد صنعت و کاهش آب آشامیدنی باعث شده تا بیشتر کشورها به تکنولوژی تولید آب شیرین از آب دریا روی آورند و در حدود ۶۰ میلیون مترمکعب در روز آب شیرین در دنیا تولید می شود [۳]. در کل جهان نیز در حدود ۱۴۰۰۰ کارخانه آب شیرین کن وجود دارد و این نشان دهنده اهمیت و گسترش استفاده از این تکنولوژی است [۴]. تاکنون عمده فعالیت در کشور ایران جهت رفع مشکلات کمبود آب، معطوف به انتقال آب میان حوزه ها، احداث سد و آب انبارها و اصلاح روش های آبیاری در بخش کشاورزی و اصلاح الگوی مصرف بوده است. علی رغم پتانسیل مناسب جهت شیرین سازی آب دریاها در کشور، توجه کمتری به این مقوله به عنوان یکی از روش های ممکن جهت رفع مشکل کم آبی شده است. جهت رفع نیاز آب شیرین از طریق شیرین سازی آب های شور در حجم بالا، لازم است طراحی، ساخت و احداث آب شیرین کن های با ظرفیت بالا در کشور بومی سازی شود تا بتوان با کمترین وابستگی به خارج از کشور و با سرعت مناسب آن ها را در آینده نزدیک احداث و بهره برداری نمود.

۲. تعریف نمک زدایی

نمک زدایی عبارت است از اعمال چندین مرحله متفاوت روی آب شور یا بدمزه جهت زدودن نمک اضافی و بقیه مواد معدنی از آن و یا به طور کلی تر نمک زدایی شامل زدودن نمک ها و مواد معدنی است [۵]. آب به گونه ای به آب شیرین برگردانده می شود که جهت مصرف یا آبیاری مناسب

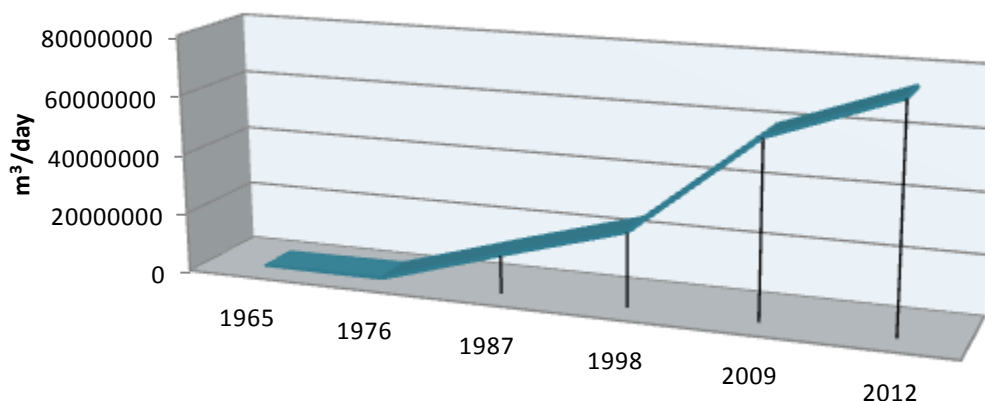
باشد. بیشترین توجه در نمکزدایی بر روی راه‌های مؤثرتر جهت تهیه آب شیرین متمرکز شده است و البته برای استفاده بشر و در نواحی که دسترسی محدودتری به آب را دارا می‌باشند [۶].

۳. تاریخچه نمکزدایی

ارسطو در ابتدای سده چهارم پیش از میلاد روشی ابداع کرد که آب ناخالص را پس از تبخیر کردن متمرکز می‌کرد تا آب آشامیدنی به دست آید. پس از امکان‌پذیر شدن سفرهای راه دور لزوم تولید آب شیرین روی کشتی‌ها یا سایر وسایل نقلیه مطرح گردید. این روش خود مؤید داستانی است که اسکندر دو قرن بعد از میلاد روایت کرده بود و در آن این‌طور گفته بود که ملوانان بر روی کشتی آب را جوشانده و اسفنج‌های بزرگی را از لبه مخزن برنجی آویزان می‌کردند تا آنچه تبخیر می‌شود را جذب کند، با فشردن آبی که از این طریق جذب اسفنج‌ها می‌شد آب شیرین به دست می‌آوردند. پس از آن روش تقطیر خورشیدی هست، طبق نظر مالک و همکاران (۱۹۸۵) قدیمی‌ترین تحقیق به ثبت رسیده مربوط به یک کیمیاگر عرب در قرن ۱۵ است که موکوت در سال ۱۸۶۹ آن را اعلام نمود. موکوت در گزارش خود گفته بود که این کیمیاگر عرب از آینه‌های صیقل داده شده دمشق برای تقطیر خورشیدی استفاده می‌کرده است [۷]. کاربردهای مهم تقطیر با استفاده از انرژی خورشیدی تنها از قرون وسطی به بعد امکان‌پذیر شد. بعدها در دوران رنسانس جیووانی دلاپورتا (۱۶۱۵-۱۵۳۵) یکی از دانشمندان مهم عصر خود کتاب‌های بسیاری را تألیف نمود که به زبان‌های فرانسوی و آلمانی ترجمه شدند. ماگینا توالیسدر یکی از کتاب‌ها که در سال ۱۵۵۸ چاپ و منتشر شد به سه روش نمک‌زدایی اشاره می‌کند [۸]. در ابتدای سال ۱۷۷۴ شیمی‌دان بزرگ فرانسوی داووسیر از لنزهای شیشه‌ای بزرگی که روی سازه‌های نگه‌دارنده دقیقی سوار شده بودند برای متمرکز کردن نور خورشید روی محتوای لوله‌های تقطیر استفاده کرد [۸]. موکوت هم نحوه استفاده از رفلکتورهای شیشه‌ای اندود شده با نقره یا آلومینیوم جهت متمرکز کردن نور خورشید مورد نیاز تقطیر را تشریح کرده است. در سال ۱۸۷۰ نخستین حق ثبت اختراع آمریکا به آزمایشات ویلر و ایوانز اعطا شد [۵]. اطلاعات و دانسته‌های پیرامون اصول کار این دستگاه‌های تقطیر خورشیدی و مشکلات مربوط به خوردگی آن‌ها در این حق ثبت به‌طور کامل شرح داده شده است. دو سال بعد یعنی سال ۱۸۷۲ مهندس سوئدی بنام کارلوس ویلسون اولین کارخانه بزرگ تقطیر خورشیدی را در لاس سالیناس شیلی طراحی و احداث نمود و در ابتدا از آن برای تولید انبوه آب شیرین تقطیر شده استفاده می‌کردند [۹]. در سال ۱۹۲۸ پاستور که اشعه‌های آفتاب را با استفاده از یک دستگاه متمرکز کننده روی دیگ مسی حاوی آب کرده بود استفاده از متمرکز کننده‌های نور آفتاب در روش تقطیر خورشیدی را بررسی نمود [۷]. بعد از جنگ جهانی اول روش تقطیر خورشیدی مجدداً مورد توجه قرار گرفت و در این زمان دستگاه‌های جدیدی مثل دستگاه‌های تقطیر سقف‌دار، فنیله کج، سینی خمیده و دستگاه‌های دمیدنی ساخته شدند. تا جنگ جهانی دوم فقط چند سیستم تقطیر خورشیدی وجود داشتند [۱۱، ۱۰].

۴. وضعیت شیرین‌سازی آب دریاها در جهان

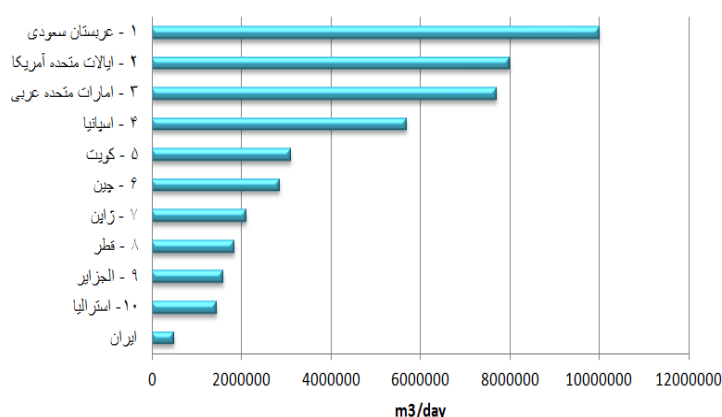
در شکل زیر میزان رشد و استفاده روزافزون فناوری تأسیسات نمک‌زدایی از سال ۱۹۶۵ نمایش داده شده است، آنچه که مشهود است روند صعودی بهره‌برداری از این تکنولوژی در کنار رشد جمعیت، مصرف بالای آب شیرین و افزایش دمای کره‌ی زمین هست.



کل ظرفیت آب شیرین کن های نصب شده در دنیا از سال ۱۹۶۵
شکل ۱ - ظرفیت تأسیسات شیرین سازی در دنیا [۱]

۵. جایگاه ایران در تأسیسات شیرین سازی و نمک زدایی آب دریاها

بر اساس چشم انداز نظام جمهوری اسلامی کشور ایران در افق ۱۴۰۴ هجری شمسی، جامعه ایرانی می بایست به جایگاه اول اقتصادی، علمی و فناوری در سطح منطقه آسیای جنوب غربی با تأکید بر جنبش نرم افزاری و تولید علم، رشد پرشتاب و مستمر اقتصادی، ارتقای نسبی درآمد سرانه و رسیدن به اشتغال کامل باشد. برای رسیدن به این مهم همان گونه که در سیاست های کلی نظام جمهوری اسلامی ایران در مورد منابع آب اشاره شده است، توجه به ارزش اقتصادی و امنیتی و سیاسی آب در استحصال، عرضه و نگهداری و مصرف آن لازم است [۱۲]. علی رغم اینکه ایران از جمله کشورهای کم آب جهان به شمار می رود، در حال حاضر با جایگاه واقعی خود فاصله بسیاری دارد. آب شیرین کن متمرکز با ظرفیت بالا جهت شیرین سازی آب دریا در کشور ما تقریباً وجود ندارد و مجموع کل ظرفیت سیستم های کوچک و پراکنده به نیم میلیون مترمکعب در روز نیز نمی رسد که معادل ۰٫۷ درصد کل ظرفیت نصب شده در جهان است. این در حالی است که ۳۰ درصد آب شیرین کن های نصب شده در جهان در دو کشور عربستان و امارات قرار دارد [۱]. بر همین اساس قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء (ص) - گروه تخصصی نوح (ع) در راستای رسالت های خود در بخش های آبادانی، محرومیت زدایی و همچنین نهضت تولید علم در کشور اقدام به توسعه مطالعات و تحقیق در این حوزه نموده است. در شکل ۲ ده کشور اول دنیا در صنعت نمک زدایی بر اساس میزان تولید روزانه قرار گرفته است.



شکل ۲ - ده کشور اول جهان که بیشترین ظرفیت تولید آب شیرین را دارند [۱]

۶. روش های نمک زدایی

مهم ترین روش های جداسازی آب از املاح در صنایع نفت و انرژی و همچنین آب دریا را می توان در حالت کلی به دو دسته روش های حرارتی (جوشش) و غشایی تقسیم بندی نمود که این تقسیم بندی بر اساس نوع انرژی مصرفی انجام می گیرد [۱۳].

۶-۱ روش های حرارتی

در این فرآیند به آب دارای املاح حرارت داده می شود تا تبخیر شود و سپس بخار به وجود آمده را جمع آوری می کنند تا آب شیرین حاصل گردد [۱۳]. از مهم ترین روش های حرارتی که در صنعت از آن ها استفاده می گردد، عبارت است از: تقطیر ناگهانی چند مرحله ای (MSF)^۱، تقطیر چند اثره (MED)^۲ و تقطیر یا فشرده سازی بخار (VC)^۳ که مهم ترین تأمین کننده انرژی آن ها سوخت های فسیلی هستند که تحت عنوان انرژی حرارتی و الکتریکی مصرف می گردند. فرآیند کلی روش های مذکور تقریباً مشابه همدیگر است و عمده تفاوت آن ها در نحوه میعان بخارات حاصله از حرارت خوراک دهی است. تقطیر آب هنوز هم بهترین و مرسوم ترین روش شیرین سازی آب دریا می باشد. در این فرآیند از تبخیر آب شور و چگالش آب به آب خالص می رسیم، با این تکنولوژی غشا به خاطر اطمینان بیشتر و مصرف انرژی کمتر به طور گسترده ای طی ۱۰ سال اخیر گسترش یافته است. فرآیندهای خالص سازی آب به روش تقطیر نسبت به فرآیندهای غشایی دارای کیفیت بالاتری است. فرآیندهای تقطیر هنوز سهم بزرگی در صنعت شیرین کردن آب دریا را دارا می باشد. روش تقطیر زمانی به صرفه است که بخار با انرژی حرارتی پایین به عنوان منبع اصلی انرژی در دسترس باشد. شیرین سازی به روش تقطیر نسبت به نوع غشایی کمتر به کیفیت آب دریا حساسیت دارند در حالی که پیش تصفیه آب دریا در مورد نوع غشایی حتماً باید صورت گیرد [۱۴].

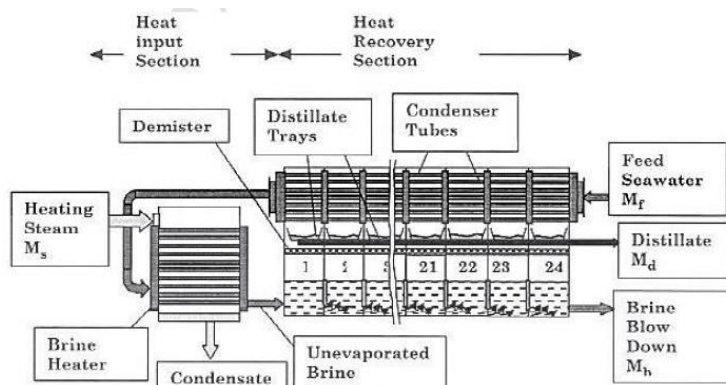
۶-۱-۱ تقطیر ناگهانی چند مرحله ای (MSF)

این روش معمولاً دارای تعداد مخازن ۲۸-۱۹ است [۱۳] و معمولاً یک مجموعه ی آب شیرین کن به روش MSF دارای ۴ تا ۴۰ مرحله است [۱۴]. شکل شماره ۳ یک واحد شیرین سازی آب به روش تقطیر ناگهانی چند مرحله ای است. این روش بر مبنای گرم شدن محلول آب شور دریا از طریق چگالیده شدن بخار روی لوله های موازی و تغذیه ناگهانی آب گرم به داخل اطاقک و به جوش آمدن سریع آب به صورت انفجاری می باشد. این روش قابل استفاده برای آب ها با محدوده ی شوری متفاوت (کاربرد متداول برای آب دریا) است. امکان ساخت تجاری آب شیرین کن با ظرفیت ۵۰۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰ مترمکعب در روز وجود دارد و به دلیل مصرف انرژی و هزینه بالا، کاربرد بیشتر در خاورمیانه به دلیل ارزان بودن انرژی دارد. همچنین تخریب زیست محیطی به دلیل گرم شدن زمین و به دلیل مصرف زیاد انرژی و تولید گازهای گلخانه ای از معایب این روش است [۱۵].

^۱ - Multi Stage Flash

^۲ - Multi Effect Distillation

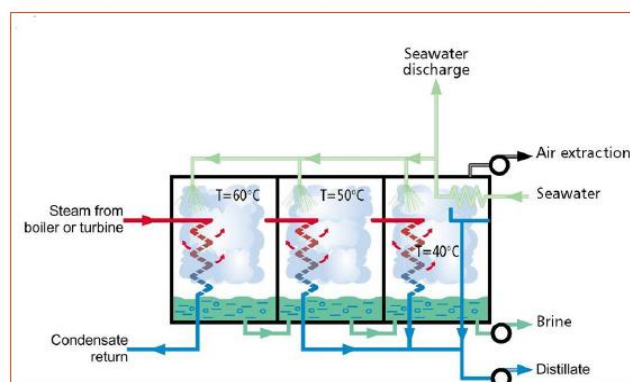
^۳ - Vapor Compression



شکل ۳- فرآیند تقطیر ناکهانی چند مرحله‌ای [۱۶]

۲-۱-۶ تقطیر چند اثره (MED)

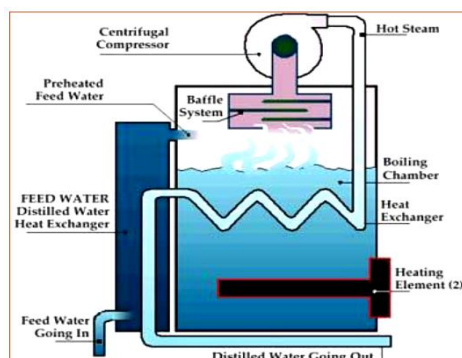
تقطیر چند اثره که تقریباً از سال ۱۹۵۰ میلادی به صنایع نمک‌زدایی معرفی شده است و قدیمی‌ترین روش نمک‌زدایی است. اساس کار بر تبخیر و میعان آب با صرف انرژی است. در این روش از اصل کاهش فشار محیط در مرحله‌های مختلف استفاده می‌شود. کاربرد این روش در تقطیر صنعتی آب (تبخیر شیره از نیشکر برای تولید شکر) و برخی واحدهای قدیمی جهت تقطیر آب و با ظرفیت‌های کم است. طراحی و ساخت اکثر واحدهای MED جدید با در نظر گرفتن مفهوم عملکرد با دمای پایین‌تر و مصرف انرژی (هزینه) و تخریب زیست‌محیطی کمتر از روش MSF انجام می‌گیرد [۱۳]. حداقل تعداد مراحل طراحی شده برای انجام یک فرآیند MED به دمای آب تغذیه وابسته است. بدین ترتیب که هرچه دمای آب تغذیه بیشتر و اختلاف آن با دمای جوش آب کمتر باشد تعداد مراحل انجام فرآیند هم می‌تواند کمتر شود، افزایش تعداد مراحل سبب می‌شود که نسبت آب شیرین تولیدی به بخار مصرفی آن، بازده حرارتی طرح نیز افزایش یابد. البته در صورت افزایش تعداد مراحل، هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه نیز باید افزایش پیدا کند [۱۵]. در شکل شماره ۴ سیستم تقطیر چند مرحله‌ای نشان داده شده است.



شکل ۴ - سیستم تقطیر چند مرحله‌ای [۱۵]

۳-۱-۶ تقطیر با فشرده‌سازی بخار (VC)

اساس کار بر تبخیر و میعان آب از طریق صرف انرژی الکتریکی استوار است. در این روش از تراکم بخار جهت تأمین حرارت تبخیر به جای تبادل مستقیم انرژی حاصل از بخار تولید شده استفاده می‌شود. کاربرد معمول در واحد کوچک و متوسط آب شیرین کن (آب دریا) است و امکان ساخت در مدل‌های متنوع جهت بالا بردن سطح تبادل حرارت است. مصرف انرژی و هزینه وابسته به قیمت انرژی برق در سایت مورد نظر بایستی در نظر گرفته شود و از نظر تخریب زیست‌محیطی کمتر از سایر روش‌های حرارتی است [۱۵]. در شکل ۵ تراکم مکانیکی بخار نشان داده شده است.



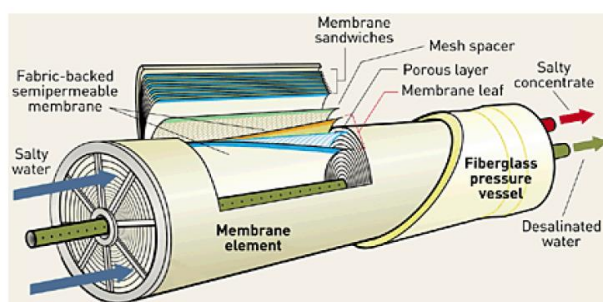
شکل ۵ - تراکم مکانیکی بخار [۱۵]

۶-۲ فرآیندهای غشایی

فرآیندهای غشایی بر اساس کوچک‌ترین ذره که تحت تأثیر نیروی فشاری از غشا عبور می‌کند به نام‌های زیر تقسیم می‌شوند.

١- ميكرو فلترا سيون^١، ٢- اولترا فلترا سيون^٢، ٣- نانو فلترا سيون^٣، ٤- اسمز معكوس^٤، ٥- الكرو ديا ليز.

در فرآیند غشایی دوفاز به وسیله فاز سوم (غشا نیمه تراوا) از یکدیگر جدا می گردند و جداسازی با صرف انرژی کمتری صورت می گیرد [۱۷]. شکل ۶ شمای کلی روش غشایی نشان داده شده است.



شکل ۶ - شمای کلی روش غشایی [۱۵]

١-٢-٦ ميكرو فيلتراسيون (MF)

میکروفیلتر یک نوع متداول غشایی است و چندین سال است که در ایالات متحده از آن استفاده می‌شود. MF جهت حذف ذرات با قطر ۰٫۱ تا ۱ میکرون مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از کاربردهای آن در بهداشت محیط، استفاده از فیلترهایی با روزه‌های بسیار ریز هست که برای حذف باکتری کلیفرمی از آب و مواد لخته شده و املاح معلق در نمونه آب به کار می‌رود، کاربردهای دیگر آن در حذف ذرات موجود در هوا برای ژنراتورهای ازن با تغذیه هوا است. غشا MF از مواد مختلفی چون استات سلولز ساخته شده است و اندازه حفره‌ها در حالت کلی ۰٫۱ میکرومتر است و در تصفیه آب از غشا با اندازه ۰٫۲ استفاده می‌شود، وقتی غشا گرفته می‌شود نرخ فیلتراسیون به زیر مقدار عملی آن‌ها می‌رسد و شستشوی معکوس هر ۲۰ دقیقه و با استفاده از مواد شیمیایی صورت می‌پذیرد [۱۸].

¹ - micro filtration² – ultra filtration

³ - nano filtration

4 - revers osmosis

۶-۲-۲ اولترافیلتراسیون (UF)

اولترافیلتراسیون عمل جداسازی ذرات مولکولی بزرگ را با اندازه کمتر از ۰٫۱ میکرومتر انجام می دهد و قادر به حذف کلویدها، ویروس ها و ترکیبات آلی با وزن مولکولی زیاد است. غشاهای UF از دو لایه تشکیل شده و مستعد گرفتگی اند. اولترا و میکرو قادر به حذف نمک های محلول نمی باشند و برای بعضی موارد به عنوان پیش فرآیند اسمز معکوس استفاده می شوند [۱۹].

۶-۲-۳ نانو فیلتراسیون (NF)

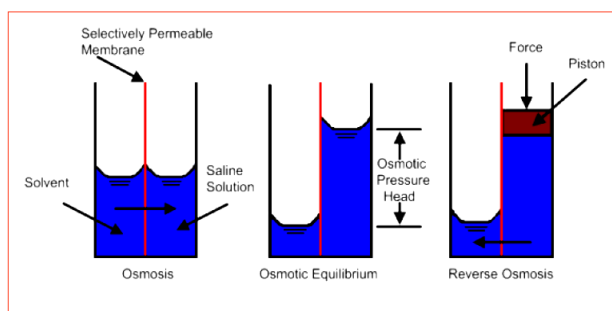
نانو فیلتراسیون فرآیند غشایی جدیدی است که املاح در حدود ۱ نانومتر را حذف می کند، از این رو خواص آن بین فرآیندهای اسمز معکوس با فشار و اولتراسیون قرار دارد و در اختلاف فشار پایین (۱۰-۲۰ بار) قابل استفاده هست. به علت عمل نمودن در فشار پایین و بازیابی بالاتر، هزینه های عملیاتی و نگهداری این فرآیند به مواد شیمیایی نیازی نبوده و پساب تولیدی فشرده و غلیظ هست [۲۰].

از موارد دیگر نانو فیلتراسیون حذف پیش ساز محصولات جانبی گندزدایی (DBP) مثل یون کلسیم و منیزیم هست [۱۷]. نانو فیلتراسیون می تواند از منبع آبی، آب پاک بوجود آورد و تمام باکتری های موجود موجود در آب را حذف کند. در ضمن امکان استفاده آسان از روش های تصفیه را برای عموم فراهم می کند و بدون عمل شیمیایی، تصفیه را انجام می دهد [۲۱].

۶-۲-۴ اسمز معکوس (RO)

فرآیندی است فیزیکی که به وسیله یک غشا نیمه نفوذپذیر می توان از یک مخلوط آب و نمک آب خالص تهیه کرد، اسمز معکوس به طور پیوسته کار می کند و می تواند مقدار املاح آب (TDS) را تا ۹۹٪ کاهش دهد. حذف باکتری ها و ویروس ها و دیگر میکروب ها با اسمز معکوس ۱۰۰ درصد است ولی به دلیل عدم آب بندی کامل سیستم RO مقدار کمی از ناخالصی ها در آب تصفیه شده دیده می شود [۲۲].

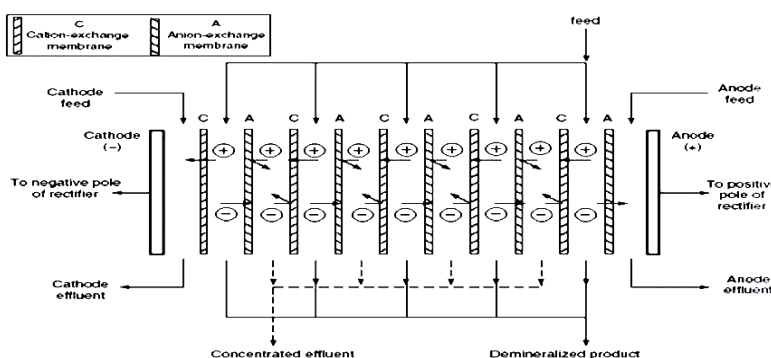
این روش زمانی استفاده می شود که شوری آب کمتر از ۵۰۰ میلی گرم در لیتر باشد و بخواهیم با استفاده از مقدار کمی انرژی مقدار (TDS) را به ۲۵ میلی گرم بر لیتر برسانیم. از این روش برای تهیه آب خالص برای مصارف شهری، صنعتی و ... استفاده می شود. همچنین این روش قادر به جداسازی مواد آلی و سمی، پساب صنعتی، آلاینده های میکروبی، ویروس و ... است [۱۸]. به دلیل اینکه در مقایسه با سایر روش ها در دمای پایین و با انرژی مقرون به صرفه ای کار می کند کاربرد فراوانی در نمک زدایی و خالص سازی آب دارد. هزینه های مربوط به اسمز معکوس به دلیل کاربرد ابزار بازیافت انرژی کاهش یافته است، علاوه بر آن مزایای دیگر این روش شامل اقتصادی بودن سیستم های اسمز معکوس نسبت به روش های دیگر، امکان کار مداوم بدون نیاز به توقف های ادواری، راهبری آسان و کاهش هزینه های تعمیرات و نگهداری، نیاز به حداقل شستشو، استفاده از حداقل مواد شیمیایی در سیستم اسمز معکوس و میزان بازدهی بالا در کل سیستم را می توان نام برد [۲۱]. امروزه روش اسمز معکوس اقتصادی ترین فرآیند برای تهیه آب آشامیدنی از آب های شور مناطق کم آب است [۲۳]. در شکل ۷ روش اسمز معکوس نشان داده شده است.



شکل ۷ - روش اسمز معکوس

۵-۲-۶ الکترو دیالیز (ED)

اساس کار بر تبادل یونی (عملکردی همانند رزین ها) با استفاده از شکل یونی اکثر نمک های محلول در آب و باردار شدن به صورت مثبت (کاتیون) یا منفی (آنیون) باردار استوار است. عملکرد این روش بر اساس ولتاژ الکتریکی است [۱۵]. بیشترین کاربرد این روش در تهیه آب آشامیدنی یا آب صنعتی از آب هایی با TDS کمتر از ۵۰۰۰ ppm است. مهم ترین کاربرد الکترو دیالیز شامل شیرین کردن آب های نیمه شور، تهیه آب تغذیه دیگ های بخار، تصفیه فاضلاب های صنعتی، تصفیه پساب ها و تهیه نمک خوراکی است و به عنوان واحد پیش تصفیه قبل از اسمز معکوس قرار می گیرد [۲۴]. در شکل ۸- فرآیند کلی الکترو دیالیز نشان داده شده است.



شکل ۸- فرآیند کلی الکترو دیالیز [۲۵]

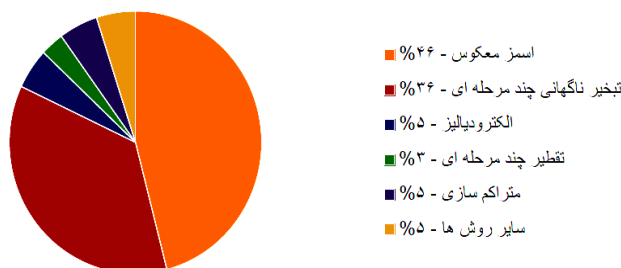
۷. مقایسه فنی روش های نمک زدایی

در جدول زیر مقایسه فنی در مورد روش های ED، RO، VC، MSF، MED، تشریح و ارائه شده است. در ضمن در مدل نمک زدایی غشایی اسمز معکوس و الکترو دیالیز به عنوان مهم ترین و کاربردی ترین روش ها بوده و روش NF، UF، MF به نوعی در جهت پیش تصفیه این دو روش بیشتر کاربرد دارند.

جدول ۱- مقایسه فنی روش های تأسیسات نمک زدایی

ED	RO	VC	MED	MSF	روش نمک زدایی
پارامتر					
۱۵-۴۰	۱۵-۴۰	۶۰-۱۰۵	کمتر از ۸۰	۹۰-۱۲۰	محدوده دمای بهره برداری (ساعتی گرادیان)
اتمسفر	۲-۸ اتمسفر	اتمسفر و کمتر از اتمسفر	کمتر از اتمسفر	کمتر از اتمسفر	محدوده فشار بهره برداری (MPa)
متوسط به بالا	بالا	کم تا متوسط	کم تا متوسط	کم	پیش تصفیه اولیه
کم	وابسته به شرایط	کم	کم	کم	میزان شوری آب ورودی (ppm)
آب های سطحی ۲۵۰۰-۵۰۰	آب دریا و آب های سطحی ۱۵۰-۴۵۰۰	آب دریا ۳۰۰۰-۶۰۰۰	آب دریا ۶۰۰۰-۳۰۰۰	آب دریا ۳۰۰۰-۶۰۰۰	کیفیت آب (ppm)
کم	کم تا متوسط	متوسط تا بالا	متوسط تا بالا	کم تا متوسط	پتانسیل گرفتگی و خوردگی
متوسط	بالا	کم تا متوسط	کم	کم تا متوسط	نیاز به نگهداری
متوسط	متوسط	بالا	بالا	خیلی بالا	نیاز به مهارت های بهره برداری
کم تا متوسط	بالا	بالا	بالا	متوسط	پتانسیل گسترش فرآیند
با انجام پیش تصفیه	ممکن	ناموفق	ناموفق	ناموفق	حذف آلودگی باکتریایی

همان‌طور که از جدول فوق استنباط می‌گردد روش‌های MED، MSF و VC بیشتر برای آب‌هایی با میزان شوری زیاد که کیفیت آب محصول کمتر از ۱۰ ppm مورد نظر باشد، استفاده می‌گردد. برخلاف روش‌های قبلی، روش RO دارای گستردگی بیشتری از میزان ورودی آب‌های شور را شامل می‌شود، همچنین سیستم‌های RO فضای کمتری نسبت به سیستم‌های MSF و MED اشغال می‌کنند، مدت زمان لازم جهت طراحی، احداث و بهره‌برداری در سیستم‌های MED، MSF و VC نسبت به روش‌های RO و ED بیشتر است. نکته دیگری که از جدول فوق استنباط می‌گردد این است که به دلیل کارکرد در دمای پایین در روش RO، سرعت خوردگی در دستگاه‌ها کاهش می‌یابد، در صورتی که خوردگی در سیستم‌های MSF و MED بسیار بیشتر از مدل RO هست، بایستی به این مطلب نیز اشاره کرد که در مورد مسائل محیط زیستی نیز مدل RO سازگارتر هست. اما عمده مشکل روش RO را نسبت به سایر روش‌های حرارتی می‌توان گرفتگی غشایی آن‌ها دانست، که البته این موضوع با انجام عمل پیش تصفیه مناسب تا حد زیادی قابل جبران هست. در انتخاب سیستم‌های MED، MSF و VC دسترسی به منابع حرارتی ارزان و با کیفیت بسیار اهمیت دارد، و بر اساس همین مورد استفاده این روش‌ها در کشورهای دارای انرژی ارزان مانند کویت و عمان متداول هست در صورتی که در کشورهای توسعه یافته بیشترین استفاده از سیستم نمک‌زدایی مدل RO است. در شکل ۹ میزان استفاده از روش‌های نمک‌زدایی و شیرین سازی آب دریا در جهان مشخص گردیده است.



شکل ۹ - درصد استفاده از روش‌های تأسیسات نمک‌زدایی [۱۵]

۸. نتیجه‌گیری

ایران دارای گستره‌ی بزرگ منابع آب شور دریا است و با توجه به وضعیت اقلیمی خشک و نیمه‌خشک کشور، نیازمند ارتقای توان علمی و رویکرد جهادی مضاعفی برای طراحی، اجرا و بهره‌برداری از سیستم‌های نمک‌زدایی و شیرین سازی آب دریا برای خارج شدن از بحران شدید کم‌آبی در کشور می‌باشیم. قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء (ص) - گروه تخصصی نوح (ع) بر اساس رسالت‌ها و اهداف خود در عرصه آبادانی و محرومیت زدایی کشور و با درک اهمیت بحران بی‌آبی و پیامدهای آن، اقدام به بررسی و توسعه فعالیت‌های مطالعاتی و تحقیقاتی در این حوزه نموده است. بر اساس تشریح و تفسیر موارد گفته شده در فوق از دو منظر فنی و اقتصادی مباحث جمع‌بندی و به شرح زیر ارائه گردیده است:

- ۱- اسمز معکوس عموماً، برای تهیه آب شیرین از آب دریا اقتصادی‌ترین فرآیند هست.
- ۲- برای نمک‌زدایی از آب دریا بیشتر از سیستم‌های RO و MSF استفاده می‌گردد.
- ۳- در مقایسه با دیگر فرآیندها، اسمز معکوس از لحاظ سرمایه‌گذاری اولیه و مصرف انرژی و تکنولوژی بسیار بهتر است و همچنین مدل RO از مدل‌های MED، MSF و VC ارزان‌تر هست.
- ۴- یکی دیگر از رایج‌ترین روش‌های شیرین کردن آب دریا روش‌های تقطیری هست. روش اسمز معکوس در مقایسه با روش‌های تقطیری از مزیت‌های صرفه‌جویی در انرژی و عدم داشتن تغییر فاز دمایی برخوردار است. البته روش‌های تقطیری در فرآیندهایی که بخار در دسترس است و یا کشورهایی که هزینه تأمین برق گران‌تر از سوخت‌های فسیلی است، مقرون به صرفه هست، روش‌های تبادل یونی و الکترو دیالیز نیز برای شیرین کردن آب‌های لب‌شور استفاده می‌شود که برای تصفیه آب‌های شور مقرون به صرفه نمی‌باشد.
- ۵- اشغال فضای سطح کمتر سیستم RO نسبت به MED و MSF.
- ۶- کمتر بودن مدت زمان طراحی، احداث و اجرای مدل RO نسبت به سایر روش‌ها.
- ۷- در صورتی که کیفیت آب خروجی از ۱۰ ppm کمتر باشد از روش‌های نمک‌زدایی MED، MSF و VC استفاده نمایند.

- ۸- مشکل بزرگ و اساسی در مدل RO گرفتگی غشایی هست، که البته این مورد با انجام پیش تصفیه مناسب و با کیفیت قابل رفع هست.
- ۹- علیرغم مزیت‌های فراوان مدل RO بایستی توجه داشت که وجود پتانسیل عظیم انرژی و ارزان بودن سوخت‌های فسیلی در ایران و همچنین پیچیدگی‌های طراحی سیستم تأسیسات نمک زدایی RO نکته بسیار مهمی می‌باشد، لذا از روش‌های MED، MSF و VC نباید به راحتی گذر نمود و بایستی جهت طراحی و انتخاب سیستم تأسیسات نمک زدایی، تمام شرایط و عوامل را به طور دقیق و متناسب با پتانسیل‌های کشور مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داد.

۹. مراجع

- ۱- مهندسین مشاور افق هسته‌ای، دی ماه ۱۳۹۰، پروژه احداث تأسیسات آب شیرین کن، پیشنهاد طراحی، مرجع سازی و احداث تأسیسات آب شیرین کن به ظرفیت یکصد مترمکعب در روز در سواحل جنوب کشور.
- ۲- شرکت مهندسین مشاور جاماب، تابستان ۱۳۹۳، تدوین الگوی جامع تجارت آب مجازی در ایران در راستای توسعه پایدار منابع آب، وزارت نیرو دفتر بهبود بهره‌وری و اقتصاد آب و آبفا.
- 3- Mezher, T, Fath, H, Abbas, Z, Khaled, A, Techno-economic assessment and environmental impact of desalination technologies, Desalination, 266, 263-273, 2011.
- ۴- میری، محدثه. نبوی، سید محمدباقر. دوست شناس، بابک. صفاهیه، علی رضا. لقمانی، مهران. بهمن ۱۳۹۱، بررسی اثرات شوری ناشی از تخلیه آب نمک کارخانه آب شیرین کن بر روی تراکم، تنوع و غنا پرتاران در خلیج چابهار، اولین همایش ملی توسعه سواحل مکران و اقتدار دریایی جمهوری اسلامی، کد مقاله ۳۰۵۳.
- ۵- واقفی، محمد. شمس، محبوبه. دی ماه ۱۳۹۰، روش‌های شیرین سازی آب دریا (مطالعه موردی جزیره خارک)، کنفرانس ملی بهره‌برداری از آب دریا، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- 6- Rodriguez, L.G., Seawater Desalination Driven by Renewable Energies: A Review, Desalination, 143, 2002, p 103-113.
- 7- Malik, M.A.S., Tiwari, G.N., Kumar, A. & Sodha, M.S. 1985. Solar distillation. Oxford: Pergamon Press.
- 8- Delyannis, E. ۲۰۰۲. Historic background of desalination and renewable eneries. Solar Energy, ۷۵(۵):۳۵۷-۶۶.
- 9- Harding, J. ۱۸۸۳. Apparatus for solar distillation. Proc Inst Civil Eng, London. ۷۳:۲۸۴-۸.
- 10- Abbot, C.G. ۱۹۳۰. Title unknown. Smithsonian Inst. Mish. Coll Publ. No. ۳۵۳۰. ۹۸(۵).
- 11- Abbot, C.G. ۱۹۳۸. Solar distilling apparatus. US Patent No. ۲,۱۴۱,۳۳۰; ۲۷ December.
- ۱۲- چشم انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴.
- ۱۳- ضیائی، میثم. محمدی، مهنوش (عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب). مروری بر روش‌های نمک‌زدایی آب در صنایع نفت و انرژی و بررسی معیارهای مناسب انتخاب برترین روش. Meysam.Ziaee@yahoo.com
- ۱۴- میرزا خانی سیاهکلودی، مجتبی (دانشجوی کارشناسی مکانیک دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی)، فرآیندهای شیرین سازی آب، Mojtaba.mirzakhani@yahoo.com
- ۱۵- بیگلری، علی. مریدی، علی. قنبریان، مجتبی. ۱۳۹۴، شیرین سازی آب، فرارگاه سازندگی خاتم النبیا (ص) - قرب نوح (ص).
- 16- H Ettouney, H El-Dessouky and F Al-Juwayhel, Performance of the once-through multistage flash desalination process, J Power and Energy, Vol ۲۱۶ Part A, (۲۰۰۲).
- ۱۷- پور فداکاری، سودابه. آبان ۱۳۹۲، ارزیابی فنی و اقتصادی روش‌های نمک‌زدایی منابع آب، همایش ملی پژوهش‌های محیط زیست ایران، دانشگاه شهید مفتاح همدان.
- ۱۸- ترابیانی، علی. قدیم خانی، علی اصغر. ۱۳۸۶، طراحی و راهبری تأسیسات تصفیه آب مترجم، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ص ۸۲۹-۸۱۸.
- ۱۹- نازلی، عسگر. ۱۳۸۷، مطالعه‌ای بر فرآیندهای غشایی، نشریه الکترونیکی انجمن علمی مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی سهند، ص ۱۹-۱.
- ۲۰- میرزایی، رضا. ۱۳۸۶، اسمز معکوس، ماهنامه نفت و انرژی، شماره ۱۸، ص ۴۵-۴۱.
- ۲۱- حقیقت، غلامعلی. مهرماه ۱۳۸۹، اسمز معکوس چیست، نمک‌زدایی به روش اسمز معکوس، مقایسه سیستم‌های الکترودیالیز و اسمز معکوس، تارنمای الکترونیکی بهداشت محیط ایران، <http://www.environmental health.ir>
- ۲۲- امیر بیگی، حسن. ۱۳۸۳، اصول تصفیه و بهداشت آب، چاپ اول، موسسه انتشاراتی اندیشه رفیع، فصل هفتم، ص ۱۸۹-۱۸۳.
- ۲۳- امیدبخش، امید. ۱۳۸۸، تصفیه آب به روش اسمز معکوس، ماهنامه‌ی تهویه مطبوع، شماره ۸۰، ص ۵۹-۵۳.
- ۲۴- پیکری، محمود. مهربانی، ارجمند. زمستان ۱۳۸۵، مبانی تصفیه آب، فصل ۵ و ۶، ص ۱۱۵-۸۱.
- 25- Narjes Keramati, Ahmad Moheb, Mohammad Reza Ehsani, Effect of operating parameters on NaOH recovery from waste stream of Merox tower using membrane systems: Electrodialysis and electrodeionization processes, Desalination ۲۵۹, ۹۷-۱۰۲ (۲۰۱۰).