فناوریهای نمک زدایی

بخش اول: مقدمه، فرایندهای متداول، گستردگی صنعت و ملاحظات محیط زیستی

در این بخش خواهید خواند:

* *پتانسیل ها و کاربرد های فناوری نمک زدایی*
* *ابعاد و گستردگی فناوری نمک‌زدایی در دنیا*
* *فرایند های مختلف نمک‌زدایی*
* *مصرف انرژی در فرایند نمک‌زدایی و هزینه‌های مترتب بر آن*
* *ملاحظات محیط زیستی و راهکارهای کاهش اثرات مخرب فرآیندهای نمک‌زدایی بر محیط‌زیست*

خرداد ۱۴۰۲

شرکت مهندسی فرایند و انرژی فران

تهیه کننده: علیرضا بلوری افشار

ویراستار: مهدیه توحیدی

afshar@faran-water.ir

www.faran-company.com

FARAN Co. Process And Energy Engineering Company

مقدمه:

در طی سی سال گذشته فناوری نمک‌زدایی آب دریا و آب‌های لب شور (Brackwish Water) با شیب بسیار تندی گسترش یافته است.

نیاز به تأمین منابع آب شرب، صنعتی و کشاورزی به‌صورت پایدار خصوصاً در مناطقی با اقلیم خشک و کم برخوردار از منابع آب شیرین، به‌کارگیری فناوری نمک‌زدایی و شیرین‌سازی آب‌های شور را اجتناب‌ناپذیر نموده است. امروزه میزان تولید آب شیرین با استفاده از فناوری نمک‌زدایی به بیش از ۱۰۰ میلیون مترمکعب در سال رسیده است.

علی‌رغم پیشرفت‌های بهداشتی و توسعه زیرساخت‌های شهری، کماکان ۲/۲ میلیارد نفر در دنیا با کمبود منابع آب شرب بهداشتی مواجه‌اند و از این بین، ۷۸۵ میلیون نفر اساساً به آب شرب بهداشتی دسترسی ندارند.

یکی از راهکارهای تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعتی برای شهرهای ساحلی و یا نزدیک به ساحل، استفاده از فناوری نمک‌زدایی در شیرین‌سازی آب دریا است.

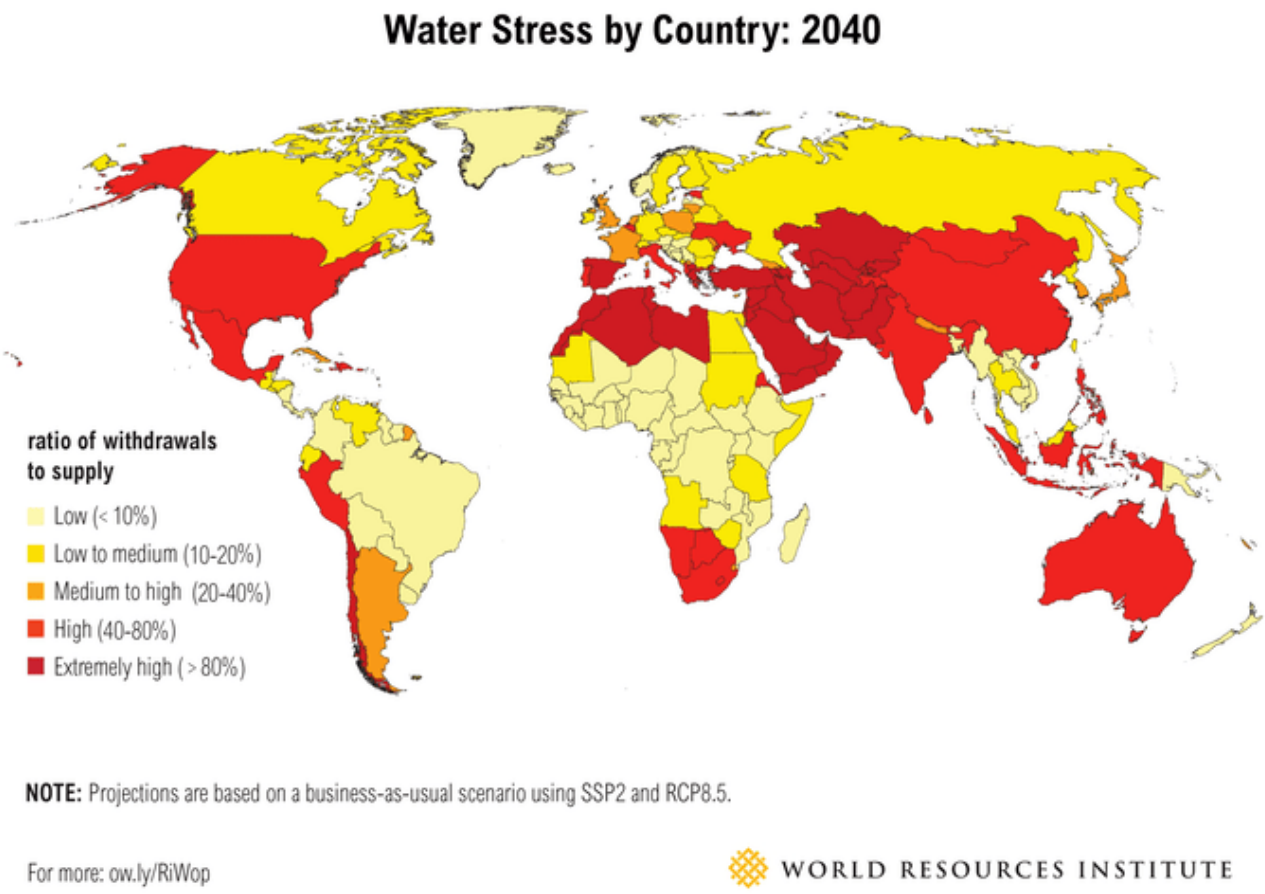
بنا بر آمار، جمعیتی بالغ بر ۶۸۰ میلیون نفر در دنیا در مناطق ساحلی زندگی می‌کنند و تا سال ۲۰۵۰ میلادی این جمعیت به بیش‌از یک میلیارد نفر خواهد رسید. همچنین جمعیتی بالغ بر ۲/۴ میلیارد نفر در دنیا در فاصله کم‌تر از ۱۰۰ کیلومتر از ساحل اسکان یافته‌اند. جمعیت مستقر در جزایر دنیا نیز مطابق با آمار سال ۲۰۱۵ میلادی سازمان ملل متحد در حدود ۶۵ میلیون نفر برآورد شده‌است.

مطابق با آمار سازمان ملل متحد در سال۲۰۲۰ میلادی، ۴۴ درصد جمعیت دنیا در فاصله تا ۱۵۰ کیلومتری از ساحل دریاها و اقیانوس ها استقرار یافته‌اند.

همگی آمارهای فوق، گویای اهمیت انکارناپذیر فناوری نمک زدایی در تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعتی به‌عنوان منبع پایدار و متناسب با نرخ رشد جمعیت و پیشرفت‌های صنعتی است.

بنا بر گزارش سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل (FAO) در سال ۲۰۱۳ ، میزان رشد مصرف آب در سال‌های اخیر در حدود دو برابر نرخ رشد جمعیت بوده‌است که دلیل این موضوع، پیشرفت های صنعتی و افزایش سطح استانداردهای بهداشتی است.

کمبود آب معمولاً به حالتی اطلاق می‌شود که میزان رواناب در دسترس برای استفاده به ازای هر نفر در سال کم‌تر از ۱۰۰۰ متر مکعب باشد. رشد شدید جمعیت از یک سو و افزایش میزان مهاجرت از روستاها به شهرها به این کمبود منابع آب بیشتر دامن می‌زند.



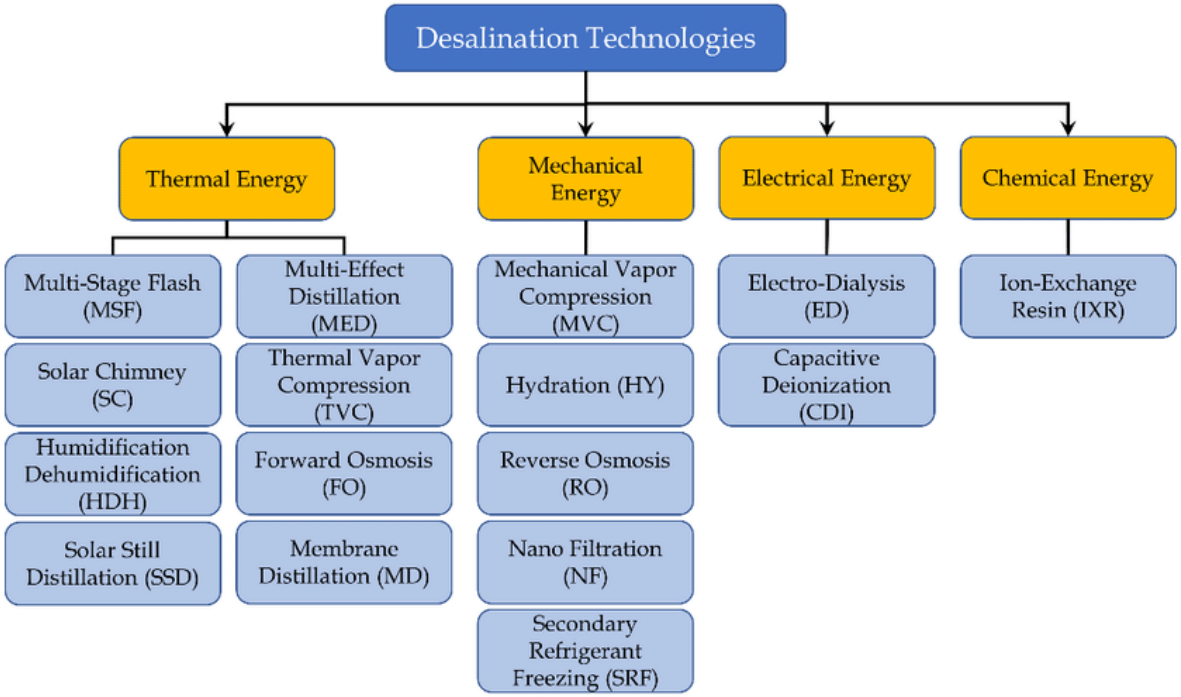
نمودار تنش آبی در کشورهای دنیا

راهکارهای متنوعی جهت کنترل و رفع کمبود آب در دنیا مطرح‌شده است که اهم آن به شرح ذیل است:

۱. **صرفه‌جویی:** افزایش بهره وری در بخش کشاورزی و صنعتی، جلوگیری و کاهش میزان نشتی از خطوط انتقال و شبکه توزیع آب،
۲. **انتقال آب:** پمپاژ و خطوط لوله طولانی جهت انتقال آب از مناطق برخوردار به مناطق کم برخوردار که هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و بهره‌برداری از آن بالاست.
۳. **آبخیزداری:** جمع‌آوری و ذخیره آب‌های روان سطحی در فصل‌های پر بارش جهت استفاده در فصول خشک،
۴. **بازیافت آب:** باز چرخانی و مصرف مجدد آب با تصفیه فاضلاب‌های صنعتی و شهری در بخش‌های صنعت و کشاورزی،
۵. **نمک‌زدایی:** شیرین‌سازی آب‌های لب شور، آب دریا و فاضلاب‌های تصفیه شده جهت استحصال آب شرب، صنعتی و کشاورزی،

انواع فرآیندهای نمک‌زدایی:

فرایندهای متداول نمک‌زدایی براساس منبع انرژی مورد استفاده مطابق با نمودار ذیل تقسیم‌بندی می‌گردد:



دسته بندی انواع فرایندهای نمک زدایی بر اساس منبع انرژی مورد استفاده

شرح فناوری‌های نمک‌زدایی:

همان‌طور که در نمودارهای فوق قابل مشاهده است، فرایندهای نمک‌زدایی متداول به دو دسته حرارتی و غشایی قابل تقسیم است. فناوری‌های غشایی مورد استفاده در فرایند تصفیه و نمک‌زدایی آب عبارت‌اند:

- میکروفیلتراسیون (MF)
- اولترا فیلتراسیون (UF)
- نانو فیلتراسیون (NF)
- اسمز معکوس (RO)
- الکترودیالیز (ED)
- الکترودیونیزاسیون (EDI)

اسمز معکوس (Reverse Osmosis):

مهم‌ترین کاربرد فرایند اسمزمعکوس، در نمک‌زدایی از آب دریا و آب‌های شور سطحی و زیرسطحی (Brackish) است.

فرایند الکترودیالیز در نمک‌زدایی از آب‌های شور سطحی و زیرسطحی بکار گرفته می‌شود(آب‌های با شوری کم).

نانو فیلتراسیون اغلب در شرایطی که هدف از تصفیه، حذف سختی، مواد آلی طبیعی و یا سولفات است(حذف مولکول‌ها و یون های سایز بزرگ و دو ظرفیتی) به‌کارگرفته می‌شود.

جدول ذیل مقایسه‌ای از کاربرد فرایندهای مختلف غشایی را نشان می‌دهد:

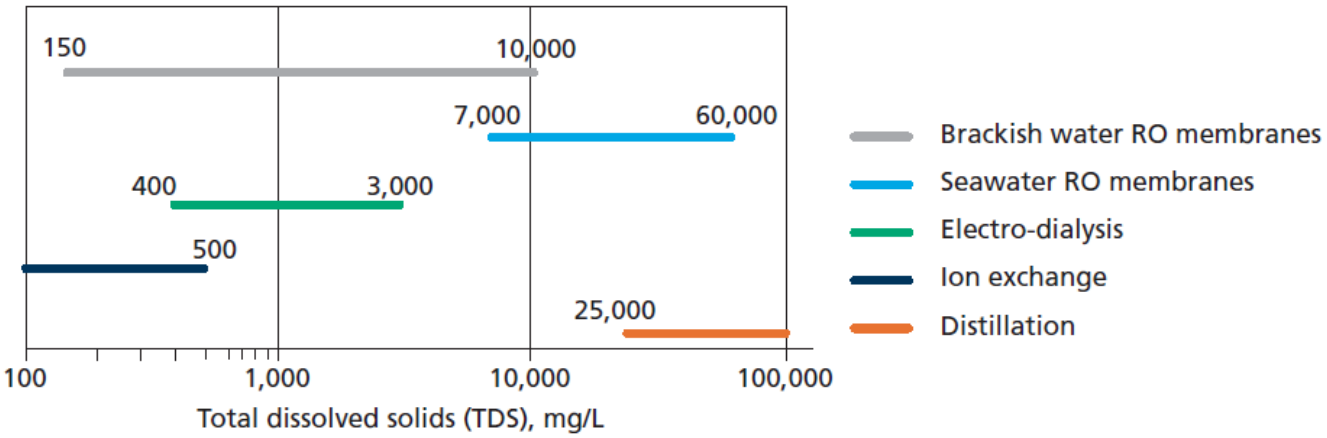
Removal	RO	NF	UF	MF	ED
Inorganic compounds					
mono-valent: Na^+, Cl^-	+	+/-	No	No	+
di-valent: SO_4^{2-}, Ca^{2+}	++	+	No	No	+
Organic compounds					
synthetic organic compounds	+	+	-	-	-
natural organic matter	+	+	-	--	
Micro-organisms	+	+	+	+	No
Suspended / colloidal matter	+	+	+	+/-	No

مقایسه کارایی فرایندهای غشایی در تصفیه آب و نمک زدایی

کاربرد فرایند میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون به شرح ذیل است:

۱. تولید آب شرب بهداشتی با حذف میکروارگانیسم‌ها شامل ویروس‌ها، ژیاردیا و سایر باکتری‌ها، حذف موادمعلق، کلوئیدی و جلبک‌ها،
۲. به‌عنوان فرایند پیش تصفیه اسمزمعکوس و نانوفیلتراسیون، جهت حذف مواد معلق و کلوئیدی، کدورت، SDI،MFI و ساختارهای پلیمری آلی موجود در آب،
۳. تصفیه پیشرفته فاضلاب در قالب بیوراکتورهای غشایی (MBR) با هدف بازیافت و استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده،

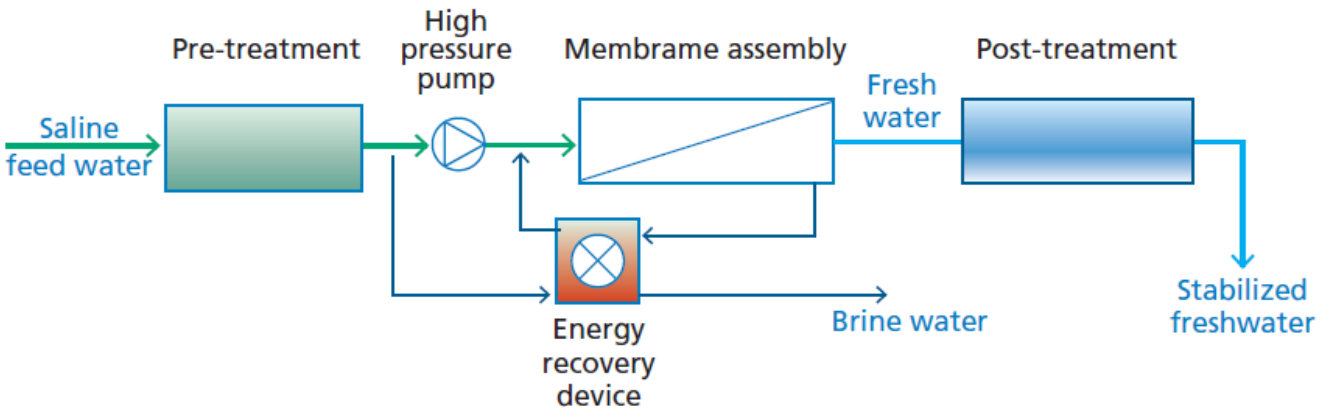
انتخاب فناوری مناسب نمک‌زدایی، براساس کیفیت منبع آب خام در دسترس صورت می‌گیرد:



محدوده عملیاتی فرایندهای مختلف نمک زدایی بر اساس میزان TDS

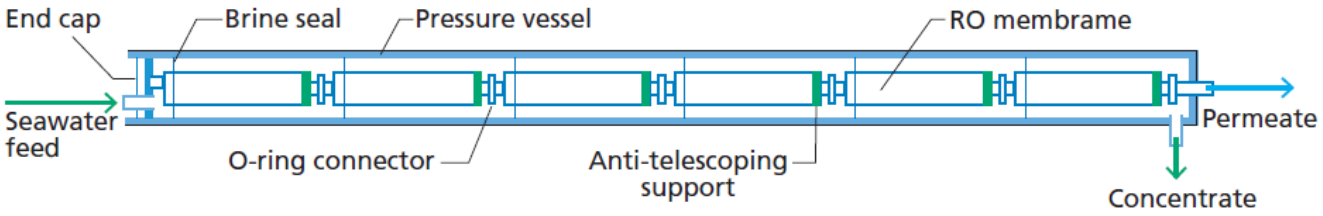
در فناوری‌های نمک‌زدایی غشایی مانند RO،NF هر چه سایز و بار یونی آلاینده بزرگ‌تر باشد، درصد حذف آن در گذر از غشا بیشتر خواهد بود. به‌عنوان مثال میزان حذف یون Ca^{2+} در مقایسه با Na^{+} در این فرآیندها به‌مراتب بیشتر و به‌عبارت‌دیگر میزان فرار Na^{+} و ورود آن به بخش آب شیرین در مقایسه با Ca^{2+} بیشتر است.

ساده‌ترین چیدمان اجزای یک فرایند اسمز معکوس مطابق شکل زیر است:



دیاگرام شماتیک فرایند اسمزمعکوس

شکل زیر نحوه استقرار غشاهای اسمز معکوس در یک محفظه تحت فشار (Pressure Vessel) را نمایش می‌دهد:

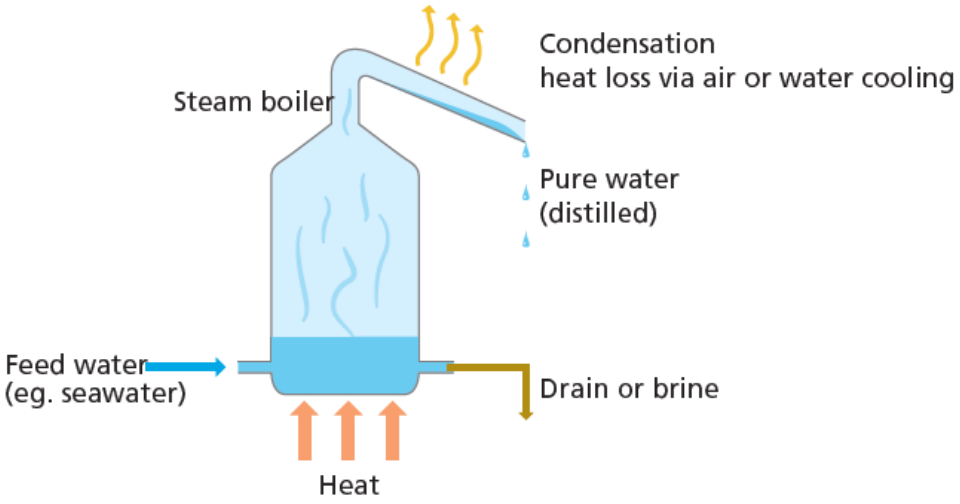


نحوه قرارگیری غشاهای اسمزمعکوس درون محفظه تحت فشار یا پرشر وسل (Pressure Vessel)

تقطیر (Distillation):

تقطیر آب شور و تولید آب شیرین با میعان بخار حاصل از جوشاندن آب شور، قدیمی ترین روش نمک‌زدایی است که در سال های بسیار دور توسط ملوانان در سفرهای طولانی دریایی بکار گرفته می‌شده است.

تصویر ساده ای از فرایند تقطیر در شکل زیر نمایش‌داده‌شده است:



تصویر شماتیک فرایند تقطیر ساده

این شکل از تقطیر ضمن مصرف قابل توجه انرژی در حدود ۲۶۰۰ کیلوژول به ازای هر کیلوگرم آب شیرین تولیدی، راندمان انتقال حرارت بسیار کمی دارد.

دلیل کم بودن راندمان انتقال حرارت در این روش (جوشش استخری، Pool Boiling)، امکان تشکیل یک لایه فیلمی بخار در کف بویلر، حد فاصل بین کف بویلر با توده آب درون آن و کاهش قابل توجه ضریب انتقال حرارت به دلیل پایین بودن ضریب هدایت حرارتی بخار است.

حداقل میزان انرژی مورد نیاز در فرایند تقطیر آب دریا در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در جدول زیر قابل‌مشاهده است:

Conversion R	Theoretical separation energy	
0%	0.71 kWh/m³	2.6 MJ/m³
25%	0.82 kWh/m³	3.0 MJ/m³
50%	0.99 kWh/m³	3.6 MJ/m³
75%	1.35 kWh/m³	4.9 MJ/m³
100%	3.10 kWh/m³	11.2 MJ/m³

حداقل انرژی مورد نیاز جهت تقطیر آب دریا در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد

انرژی مصرفی مورد نیاز در فرایند تقطیر به مراتب بیش از فرایند اسمز معکوس است. به عنوان مثال برای افزایش دمای آب به میزان ۱۰ درجه سانتی‌گراد، ۴/۲ $\frac{kj}{kg}$ انرژی لازم است. گرمای نهان تبخیر آب در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد برابر با ۲۲۵۶ $\frac{kj}{kg}$ است. لذا اگر دمای اولیه آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد، انرژی مورد نیاز برای تبخیر آن در حدود ۲۶۰۰ $\frac{MJ}{m^3}$ خواهد شد.

اگر گرمای حاصل از سوختن نفت را ۴۰ $\frac{MJ}{kg}$ قیمت هر بشکه نفت خام را ۴۰ دلار در نظر بگیریم (۰/۲۷ $\frac{USD}{kg}$)، هزینه تبخیر هر مترمکعب آب برابر با ۱۷/۶ دلار خواهد شد که این مقدار در مقایسه با هزینه شیرین‌سازی آب به روش اسمز معکوس که در حدود ۱ دلار به ازای هر مترمکعب است، تفاوت فاحشی دارد.

از دیگر معایب فرآیند حرارتی شیرین سازی آب، حمل قطرات آب شور توسط بخار و بالا رفتن TDS در آب شیرین تولیدی است. در ۲۵ سال گذشته سه روش تبخیر در فرایند تقطیر حرارتی توسعه یافته است که ذیلاً درباره آن‌ها توضیح داده می‌شود:

۱. فرایند Submerged Tube

در این روش، آب درون استخر آب شور توسط لوله‌هایی که در آن سیال داغ جریان دارد، به نقطه جوش رسانده می‌شود. آرایش لوله‌های داغ می‌تواند به‌صورت مارپیچ (Helical)، منحنی، مستقیم و یا به صورت دسته لوله (Tube Bundle) باشد که در آن، بخار آب میعان یافته تا گرمای لازم برای تبخیر آب درون استخر فراهم گردد.

بدلیل پتانسیل بالای رسوب‌گذاری در سطح خارجی تیوب ها که عمدتاً ناشی از ترسیب کلسیم کربنات و کلسیم سولفات است، ضریب انتقال حرارت می تواند به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. لذا این روش بیشتر در ظرفیت های کم و به صورت تک مرحله ای استفاده می‌شود.

۲. **فرایند تبخیر ناگهانی (Flash)**

ورود آب به یک محفظه از طریق اوریفیس و کاهش فشار آن به میزانی کم تر از فشار بخار تعادلی آن، می‌تواند جوشش را به‌دنبال داشته باشد.

فرایند تبخیر در خلأ نسبی، در طی پنجاه سال گذشته متداول‌ترین روش در تقطیر حرارتی بوده است.

مزیت این روش عدم تماس آب شور با سطوح انتقال حرارت در زمان جوشش است و این موضوع ریسک رسوب گرفتگی را کاهش خواهد داد.

۳. **فرایند فیلم نازک (Thin Film)**

در این روش، آب شور به‌صورت یک لایه فیلمی نازک، داخل و یا خارج تیوب ها جریان می‌یابد. در سمت مخالف، بخار میعان یافته و انرژی حاصل از آن صرف تبخیر آب شور می‌گردد. لایه فیلمی نازک یا به‌صورت ریزشی (Falling Film) و یا به‌صورت پاششی (Spray Film) شکل داده می‌شود.

معمولاً تیوب ها در این فرآیند به‌صورت افقی هستند. از معایب این روش، پتانسیل تشکیل رسوب است. جهت تأمین حداکثر ضریب انتقال حرارت در طراحی، معمولاً جنس تیوب ها از آلیاژ مس (Copper Alloy) انتخاب می‌شود.

انرژی ورودی به واحد تقطیر باید در توازن با انرژی خروجی از آن باشد. منبع تأمین انرژی ورودی، انرژی خورشیدی، انرژی حاصل از میعان بخار و یا آب داغ است. انرژی خروجی از سیستم نیز شامل انرژی تابشی و اتلاف در اجزای سیستم است.

انواع فرایندهای تقطیر در مقیاس صنعتی به شرح ذیل است:

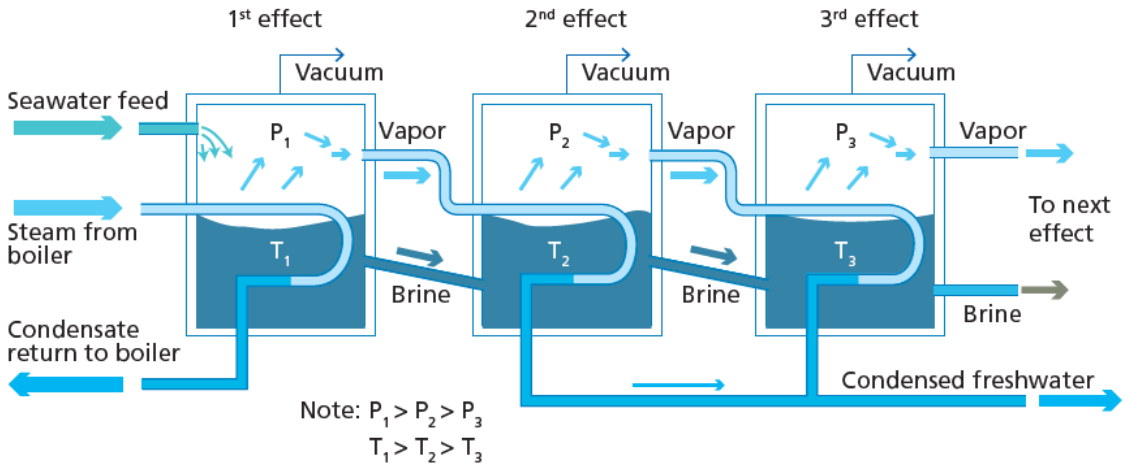
۱. **تبخیر (تقطیر) چند مرحله ای (MED, Multi Effect Evaporation/Distillation)**

که به سه روش Submerged Tube (ST)، تبخیر با تیوب های عمودی (VTE) و تبخیر با تیوب‌های افقی (HTE) قابل انجام است.

۲. **تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای (MSF,Multi Stage Flash)**

۳. **فرایند تراکم بخار (VC, Vapor Compression)**

در فرآیند MED بخار تولیدی در هر مرحله صرف گرمایش مرحله بعد می‌شود. این فرایند به‌طور ساده در شکل زیر نمایش‌داده‌شده است:



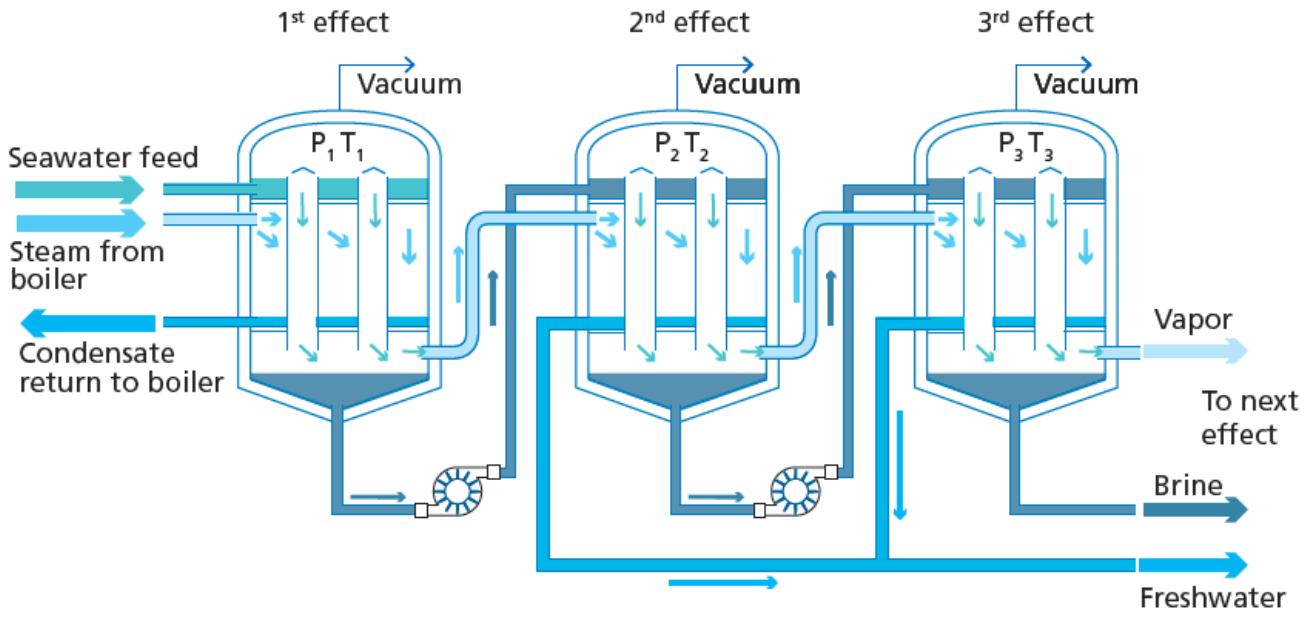
تصویر شماتیک فرایند MED سه مرحله‌ای

با توجه به شکل فوق و استفاده از بخار تولیدی هر مرحله جهت گرمایش مرحله بعد، مصرف کلی انرژی سیستم به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت. در حالت تئوری هر مرحله می تواند یک تن آب شیرین به ازای هر تن بخار تولیدی در بویلر تولید کند. در نتیجه در یک فرایند MED سه مرحله‌ای می‌توان انتظار داشت که مقدار سه تن آب شیرین به ازای هر تن بخار تولیدی در بویلر تولید شود. در شرایط واقعی مقدار آب شیرین تولیدی کم‌تر از میزان تئوری است.

فاکتور اقتصاد یا بهره‌وری بخار (Steam Economy) به‌صورت مقدار آب شیرین تولیدی به‌ازای مقدار بخار تولیدی در بویلر تعریف می‌شود. در مقیاس واقعی طراحی، این فاکتور می‌بایست ۱۰ باشد که به معنای یک فرایند بیش‌از ۱۰ مرحله‌ای است. هرچه تعداد مراحل بیشتر شود، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه افزایش ولی درعوض هزینه مصرف انرژی به ازای هر تن آب شیرین تولیدی کاهش خواهد یافت.

در سال ۱۹۵۸ یک واحد ST به ظرفیت تولید ۱۰.۰۰۰ متر مکعب بر روز شامل ۵ واحد ۲۰۰۰ متر مکعب بر روز ساخته شد که هر واحد شامل ۶ مرحله بود. این واحد عظیم به مدت ۲۲ سال مورد بهره برداری واقع شده و سپس برچیده شد.

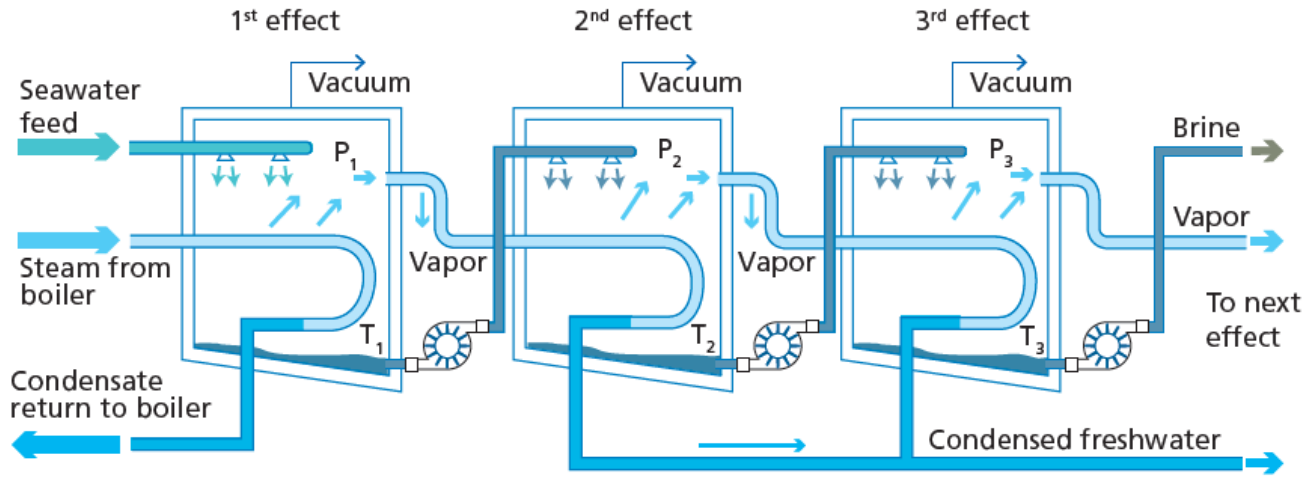
بزرگ‌ترین مشکل روش ST پایین بودن راندمان جوشش استخری در مقایسه با سایر روش هاست زیرا در این روش سطح مؤثر انتقال حرارت پایین و نیز پتانسیل رسوب گرفتگی بر جدار بیرونی تیوب ها از سایر روش‌ها بیشتر است. این روش بیشتر در صنایعی که حرارت اتلافی (Waste Heat) دارند اجرا می‌شود.



تصویر شماتیک فرایند VTE سه مرحله‌ای

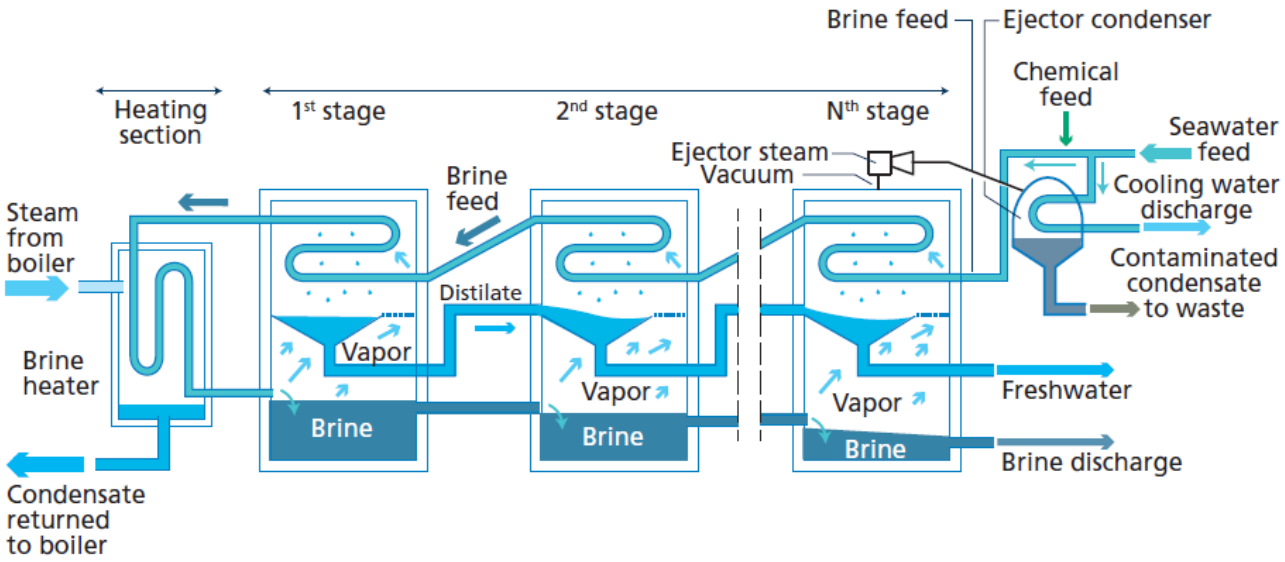
روش VTE جهت رفع برخی از مشکلات روش ST توسعه داده شد. راندمان حرارتی در این روش، بیشتر و پتانسیل تشکیل رسوب کم‌تر است. از معایب این روش پیچیدگی بیشتر تأسیسات و بیشتر بودن حجم لوله‌کشی های خارجی و پمپ های آن است.

روش HTE به‌طور ساده در شکل زیر نمایش داده شده است. کلیات این روش نیز مشابه با روش VTE است ولی مشکل تشکیل رسوب و تمیزکاری دوره ای آن در مقایسه با روش VTE ساده تر است.



تصویر شماتیک فرایند HTE سه مرحله‌ای

کلیات فرایند MSF در شکل زیر نمایش داده شده است. در این روش ابتدا آب خام پیش گرم می شود. با ورود آب به هر مرحله، فرایند گرمایش توسط بخار تولیدی بویلر ادامه می یابد و در هر مرحله فرایند تبخیر ناگهانی (Flash) با کاهش فشار محیط (ایجاد خلأ نسبی) رخ می دهد.



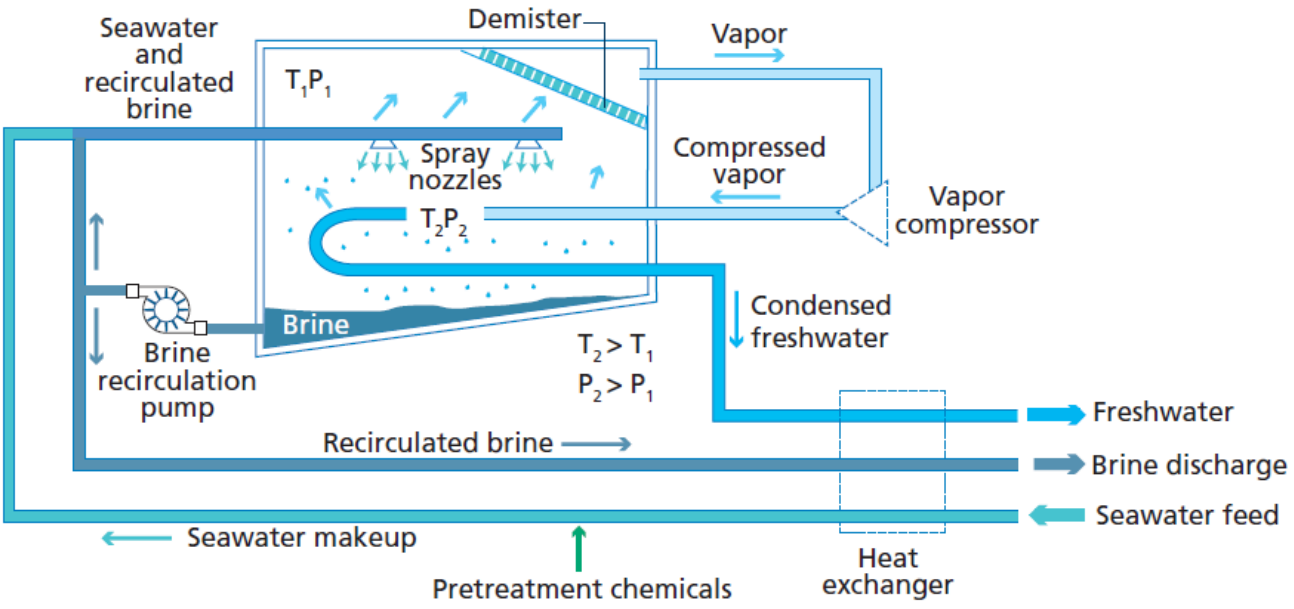
تصویر شماتیک فرایند MSF

تعداد مراحل در فرایند MSF با توجه به نوع کاربری و نیز راندمان طراحی مورد انتظار متفاوت است. تعداد مراحل معمولاً ۲۰ تا ۵۰ و فاکتور اقتصاد (بهره‌وری) بخار (Staem Economy) در بازه‌ی ۶ تا ۱۲ در نظر گرفته می‌شود.

فرایند تراکم بخار (VC, Vaper Compression) اساساً متفاوت از سایر روش هاست. زیرا در آن از گرمایش خارجی برای تبخیر استفاده نمی شود. در این فرایند بخار توسط کمپرسور فشرده می‌شود.

هدف از این فشرده‌سازی بدین شرح است:

۱. فشرده سازی بخار به منظور بالا بردن دمای میعان
۲. کاهش فشار بر روی آب خام ورودی و کاهش نقطه جوش
۳. طراحی فرایند VC هم توسط کمپرسور مکانیکی و هم به وسیله اجکتور بخار قابل انجام است.



تصویر شماتیک فرایند VC

مهم‌ترین مشکل فرایند های تقطیری شیرین سازی آب دریا، تشکیل رسوب کلسیم کربنات، کلسیم سولفات و منیزیم هیدروکسید است. این مشکل به دلیل بالا رفتن دمای آب و فوق اشباع شدن نمک های فوق اتفاق می افتد.

جلوگیری از تشکیل رسوب به یکی از سه روش زیر قابل‌اجرا است:

۱. کنترل دما
۲. کنترل PH
۳. استفاده از افزودنی های شیمیایی مانند سدیم هگزا متافسفات (SHMP) و پلی اکریلیک اسید و...

مقایسه مصرف انرژی در فرایندهای غشایی و حرارتی

در فرایند الکترودیالیز مصرف برق متناسب با تعداد یون هایی است که می‌بایست حذف شود. در سایر فرایند های غشایی (MF, UF, NF, RO) انرژی مصرفی وابسته به فشار مورد نیاز جهت انجام فرایند است.

منبع انرژی الکتریکی مورد استفاده در این فرایندها می‌تواند ژنراتورهای دیزلی، گازسوز و توربین گاز باشد.

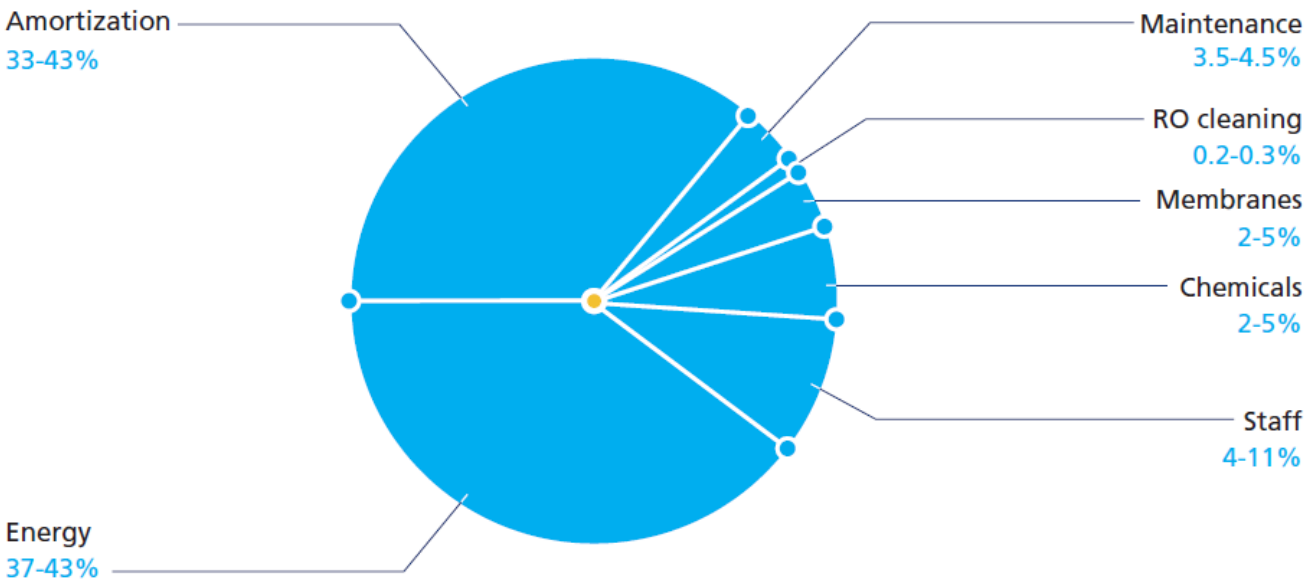
تولید گازدی اکسید کربن در این سیستم ها و تأثیر آن بر مشکل گرم شدن زمین قابل‌توجه است.

انرژی تجدید پذیر به عنوان یکی از راهکارهای جایگزین بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این منابع، شامل نیروگاه های برق آبی، انرژی باد و انرژی خورشیدی است.

هزینه های تولید در واحدهای اسمز معکوس آب دریا (SWRO) در شکل زیر نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هزینه مصرف انرژی در این واحد ها در حدود ۴۰ درصد، هزینه استهلاک در حدود ۴۰ درصد، هزینه نیروهای انسانی در حدود ۴ الی ۱۱ درصد، هزینه مصرف مواد شیمیایی در حدود ۲ الی ۶ درصد، هزینه تعویض غشا ها در حدود ۲ الی ۵ درصد، هزینه نگهداری پروژه در حدود ۳/۵ الی ۴/۵ درصد و هزینه تمیزکاری دوره‌ای غشاها در حدود ۰/۲ الی ۰/۳درصد است. هرگونه بهینه سازی در مصرف انرژی، هزینه تمام شده تولید را کاهش خواهد داد. به کارگیری انرژی های تجدیدپذیر علاوه بر کاهش هزینه های مصرف انرژی، آلودگی کمتر را برای محیطزیست به دنبال خواهد داشت.

Technology	Pressure, bar	Energy consumption, kWh/m^3	Heat	Cost, euro or $ per m^3
Conventional drinking water	0.1 – 0.2	-		
Electro-dialysis				0.25 – 0.50
Ultra- and micro-filtration	0.5 – 2	0.1 – 0.2	-	0.05 – 0.10
Nano-filtration	5 – 10	0.3 – 0.5	-	0.15 – 0.25
Brackish RO	10 – 20	0.5 – 1.0	-	0.25 – 0.50
Seawater RO	50 – 90	3 – 4	-	0.50 – 1.00
Distillation	–	1 – 4	160 MJ/m^3	
Cost of energy		**0.05-0.1 $/kWh**	**5-15 $/GJ**	

مقایسه مصرف انرژی و فشار عملیاتی در فرایندهای مختلف



نمودار هزینه‌های تولید آب شیرین از آب دریا به روش اسمزمعکوس(SWRO)

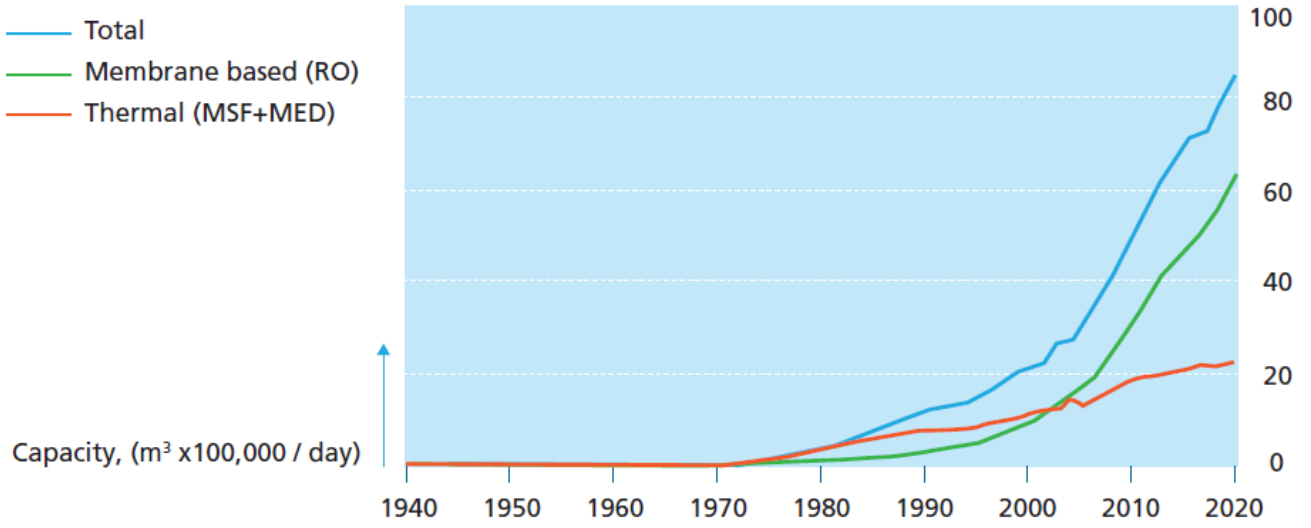
آمار جهانی شیرین سازی آب

در حال حاضر در حدود ۲۱۰۰۰ واحد آب شیرین کن در دنیا در حال بهره برداری است که مجموع ظرفیت آن ها به ۱۰۰ میلیون متر مکعب در روز بالغ می‌گردد. اگر چه در این آمار، آب شیرین کن های آب لب شور (Brackish) نیز وجود دارد ولی کماکان سهم تولید آب شیرین از منابع آب دریا به مراتب بیشتر و با اهمیت تر است.

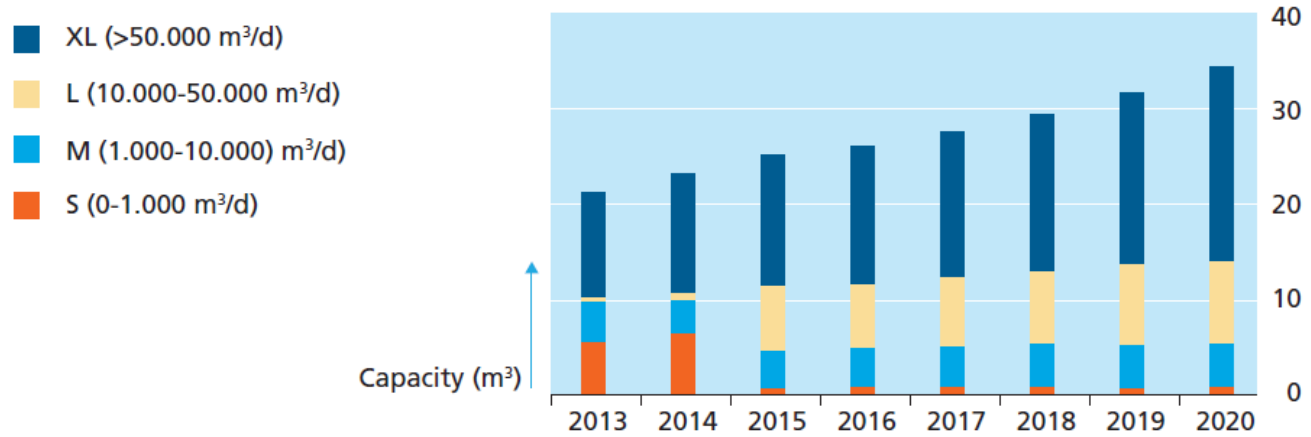
Nr. Plants	Desalination plants status	Capacity, m^3/d
20,957	Total plants	115,625,178
3,823	Off-line	7,193,546
16,860	In operation	97,305,664
274	Under construction	11,125,968
17,134	In operation + under construction	108,431,632

آمار واحدهای نمک زدایی در دنیا در سال ۲۰۲۰

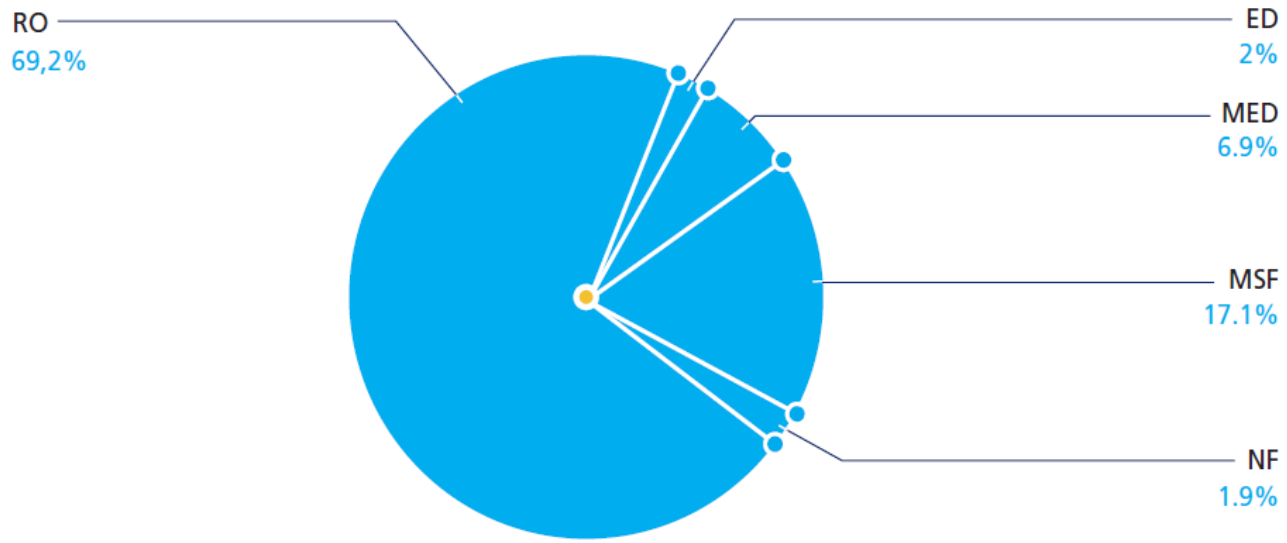
نمودار زیر آمار تاریخی تولید آب شیرین از منابع آب دریا، آب لب شور، فاضلاب های تصفیه شده و آب های تازه را نشان می دهد. همان طور که از این نمودار قابل استنباط است، حدود دوسوم این مقدار با استفاده از فرایند غشایی و الباقی با استفاده از فرایند حرارتی بوده‌است. دلیل این موضوع پایین بودن هزینه سرمایه‌گذاری اولیه فرایند اسمز معکوس و نیز کم‌تر بودن مصرف انرژی در مقایسه با فرایندهای حرارتی است. (۴-۳ کیلووات ساعت به ازای مترمکعب)



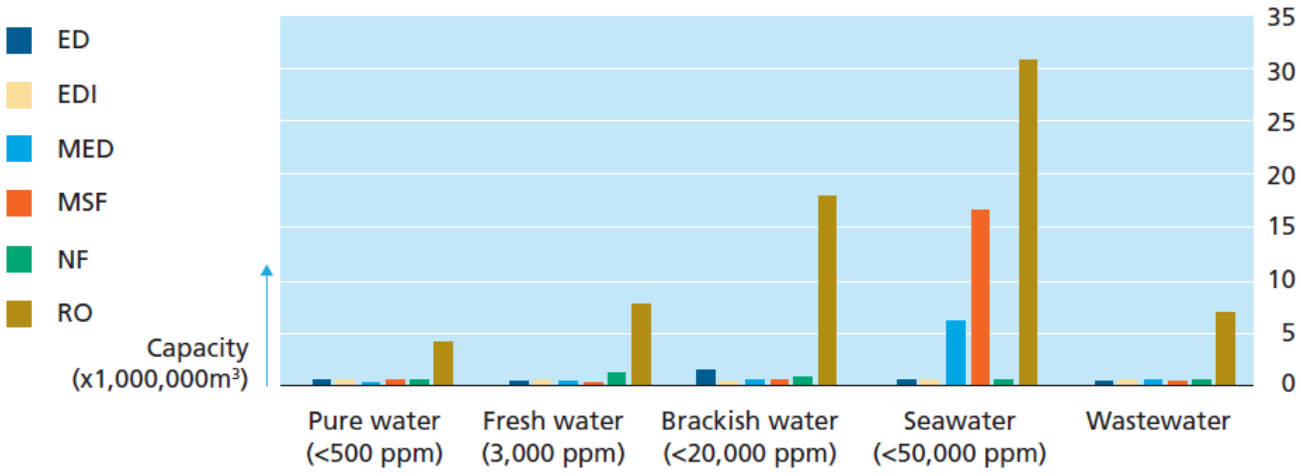
آمار جهانی تولید آب شیرین و روند رشد آن (منابع آب دریا، آبهای لب شور و فاضلابهای تصفیه شده)



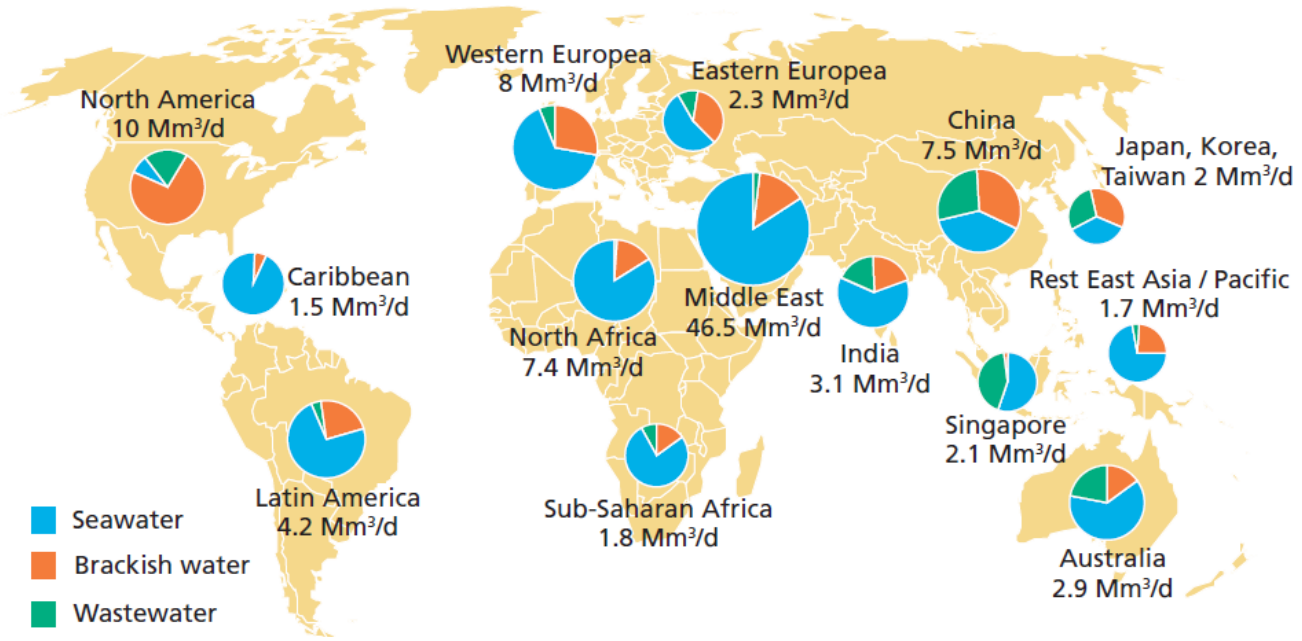
تعداد آب شیرین‌کن های ساخته شده از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ به تفکیک ظرفیت پروژه



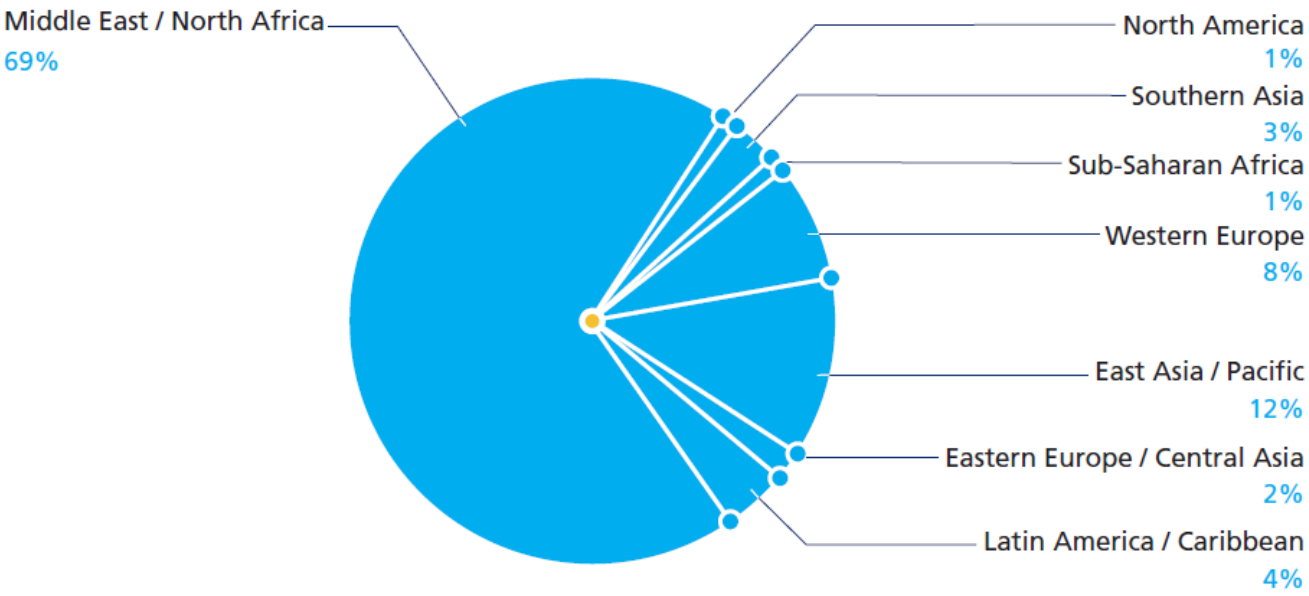
سهم فرایندهای مختلف از کل پروژه‌های نمک‌زدایی در سال ۲۰۲۰



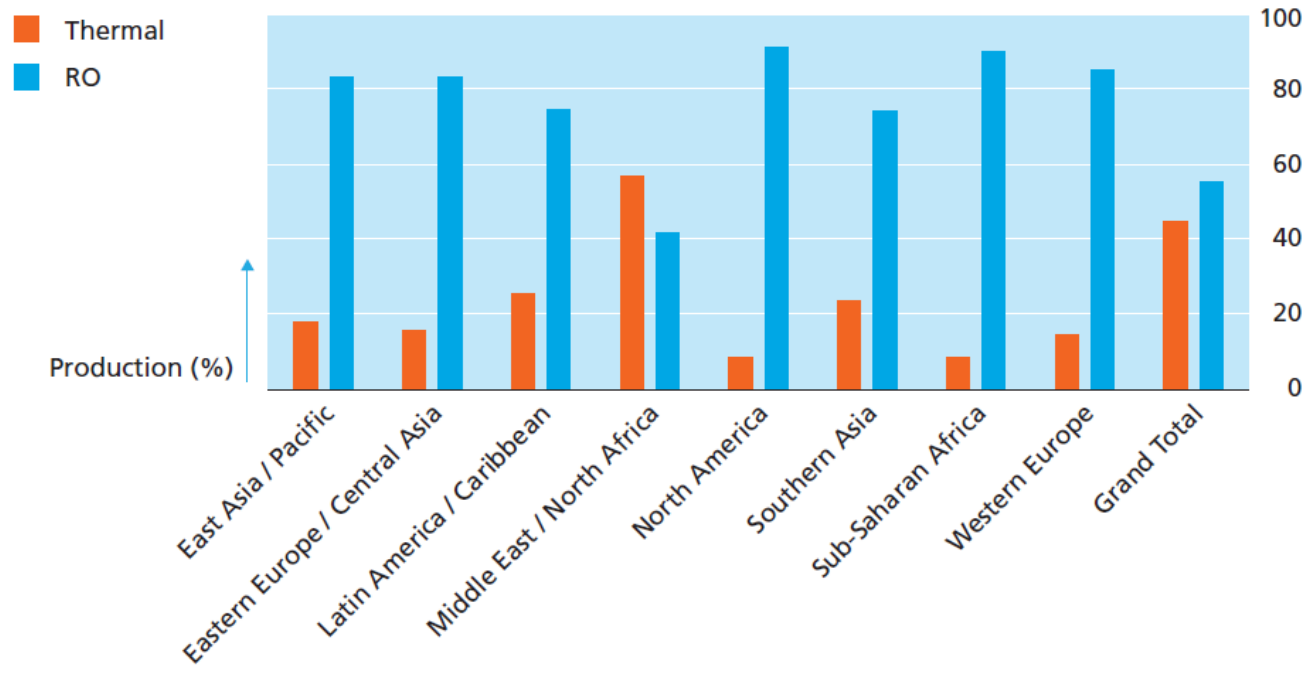
تفکیک پروژه های نمک زدایی بر مبنای فرایند و منبع آب خام مورد استفاده در سال ۲۰۲۰



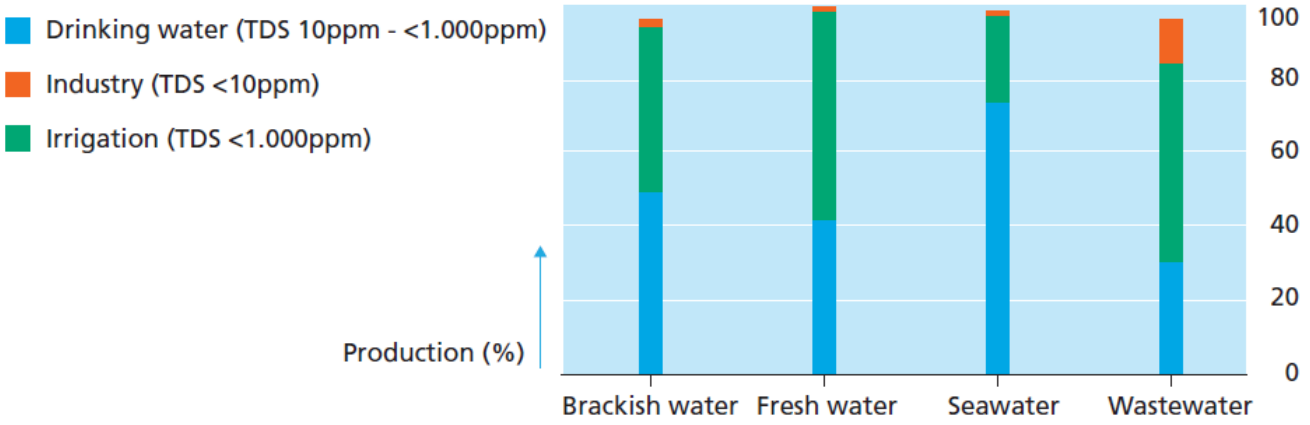
پراکندگی آماری پروژه‌های نمک‌زدایی در دنیا بر حسب ظرفیت و منبع آب خام مورد استفاده در سال ۲۰۲۰



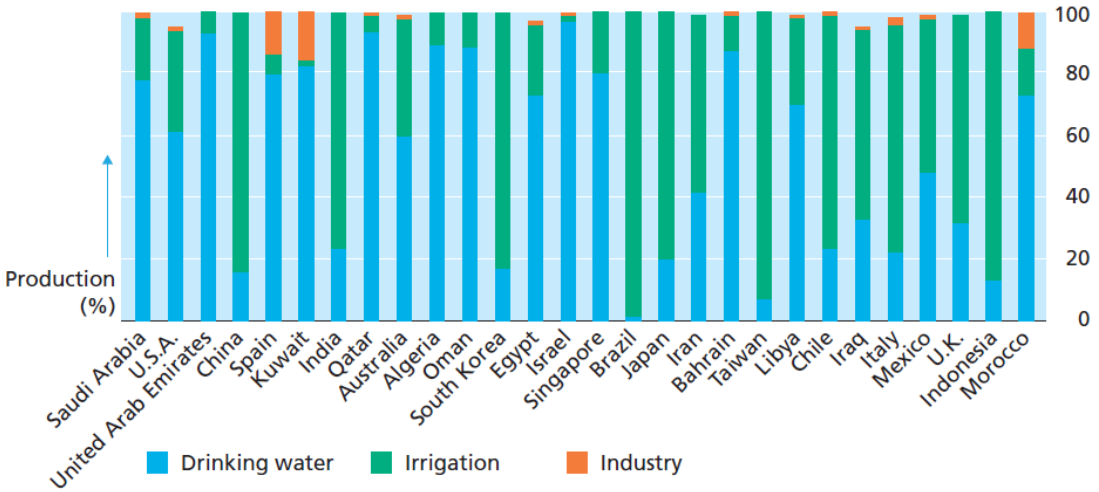
پراکندگی واحدهای SWRO در سال ۲۰۲۰



مقایسه استفاده از فرایندهای حرارتی و غشایی در نقاط مختلف دنیا در سال ۲۰۲۰



تفکیک سهم مصرف کننده نهایی آب شیرین تولیدی با فرایند اسمزمعکوس(کاربری شرب، صنعتی و کشاورزی) به همراه منبع آب خام به کارگرفته شده در سال ۲۰۲۰



رتبه‌بندی بزرگترین تولیدکنندگان آب شیرین در دنیا در سال ۲۰۲۰

ملاحظات محیط زیستی:

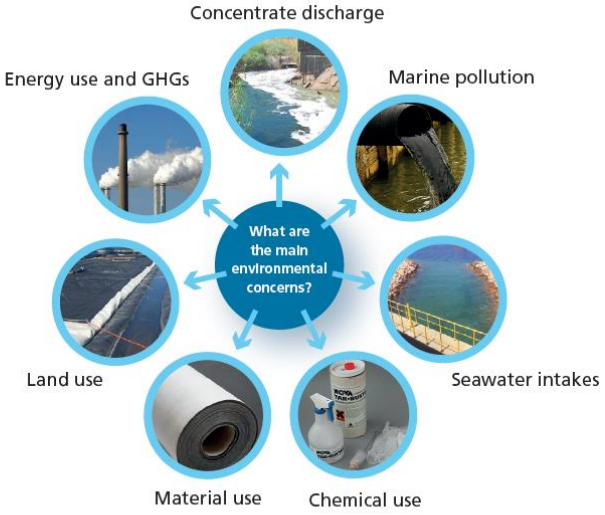
فرایند شیرین سازی آب خصوصاً در مقیاس بزرگ به دلیل تأثیرات ناشی از مصرف مواد شیمیایی، مصرف انرژی و سایر موضوعات عملیاتی نیازمند ملاحظات دقیق محیط زیستی است. مانند سایر فعالیت های اجتماعی و صنعتی این فرایند نیز دارای تأثیرات قابل توجه بر محیطزیست است. از جمله این تأثیرات می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

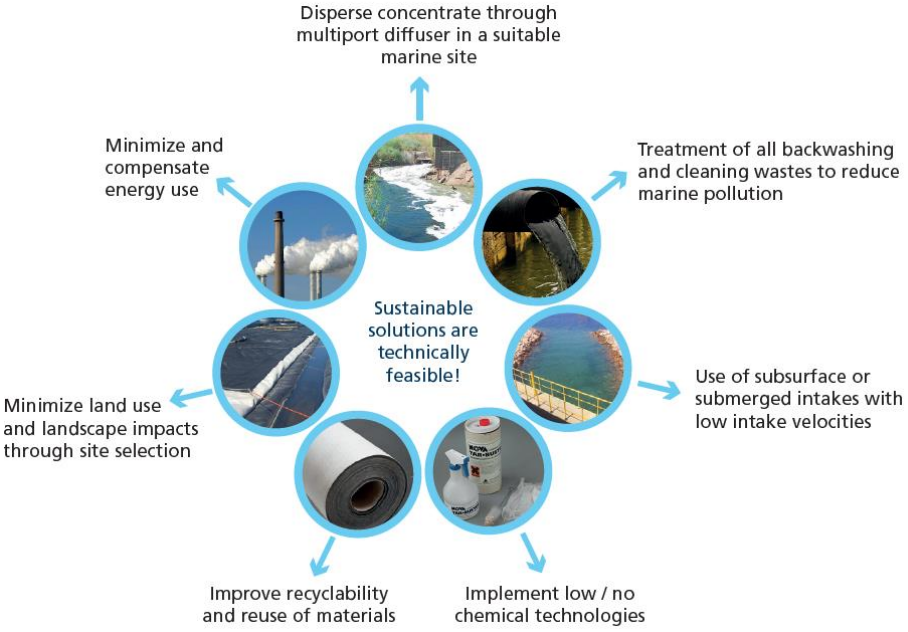
۱. ضایعات جامد (اجزا و قطعات مصرفی مانند غشاهای مستعمل)
۲. زمین مورد استفاده برای اجرای پروژه
۳. مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای (GHGs)
۴. شورآبه تولیدی
۵. مواد شیمیایی مصرفی
۶. آسیب به اکوسیستم دریایی به دلیل آلایندگی و برداشت آب خام (Intake)

راهکارهای پایدار قابل استفاده جهت کاهش اثرات مخرب محیط زیستی درفرایندهای شیرین‌سازی آب دریا عبارت‌اند از:

۱. کاهش و بهینه سازی مصرف مواد شیمیایی، تصفیه کلیه جریان‌های شستشوی معکوس و استفاده مجدد از آن‌ها
۲. جلوگیری از تخلیه رسوبات و حداقل تأثیر مخرب بر منابع خاک
۳. کاهش مساحت زمین مورد نیاز و کاهش آلودگی‌های صوتی
۴. پایش مصرف انرژی و جایگزینی انرژی فسیلی با انرژی های تجدیدپذیر
۵. حداکثر بهینه سازی در مصرف انرژی با استفاده از انرژی های هدررفت (Waste Heat Recovery) مانند جذب و بکارگیری انرژی شورابه با استفاده از تجهیزات انرژی ریکاوری

۶. ملاحظات دقیق محیط زیستی در طراحی و اجرای سازه های برداشت آب خام، جلوگیری از آسیب به اکوسیستم دریایی، تخلیه شورابه در فواصل دور از ساحل با لحاظ نمودن پروتکل های سخت گیرانه جهت اطمینان از عدم بالا رفتن شوری موضعی در محل تخلیه شورابه





شکل بالا: مشکلات محیط زیستی ناشی از پروژه های نمک زدایی،

شکل پایین: راه حل های پایدار در به حداقل رسانی تبعات منفی بر محیط زیست