



شیرین سازی آب فرصت ها و چالش ها



مهندس سید مهدی میریان

مهندسين مشاور طرح افرا

دکتر نادر عربشاهی

مهندسين مشاور طرح اندیشان

اشاره

امروزه در جهان برای تعیین درجه کم آبی یک کشور از شاخصی به نام "سرانه آب تجدیدپذیر به ازای هر نفر در سال" استفاده می شود. بر اساس این معیار، کشورهایی که سرانه آب در آنها کمتر از ۱۷۰۰ مترمکعب در سال باشد، با تنش آبی دوره ای رو به رو هستند. در گزارش بانک جهانی که در سال ۲۰۱۴ منتشر شده، سرانه آب تجدید پذیر در دنیا ۵۹۲۵ مترمکعب و در منطقه خاورمیانه معادل ۵۵۵ مترمکعب در سال اعلام شده است. برآوردهای انجام شده نشان می دهند که تا سال ۲۰۲۵ میلادی بیش از ۴۸ کشور جهان که بیشتر در آسیا و آفریقا قرار دارند، به سرانه آب کمتر از ۱۰۰۰ متر مکعب در سال دسترسی داشته باشند. در کشور ما میانگین سرانه آب شیرین تجدیدپذیر از ۶۸۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۳۵ به کمتر از ۱۷۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۹۵ رسیده است، یعنی در فاصله زمانی ۶۰ سال، سرانه آب شیرین تجدید پذیر به ازای هر نفر ۵۱۰۰ مترمکعب کاهش یافته است. در نمودار شماره ۱، روند کاهش سرانه آب تجدید پذیر و افزایش جمعیت نشان داده شده است.

در شرایط کنونی بحران آبی در کشور، یکی از راهکارهای سازگاری با شرایط تنش آبی در کنار مدیریت صحیح و استفاده بهینه از منابع آب، افزایش بهره‌وری و گزینه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، سرمایه‌گذاری و توسعه با هدف افزایش حجم آب شیرین سالانه از طریق تأسیسات نمک‌زدایی و شیرین سازی آب است.

شیرین سازی آب دریا در راستای تأمین بخشی از آب شیرین مورد نیاز کشور بیان شود.

وضعیت منابع آب کشور

با توجه به میانگین بارندگی در ایران، تخمین زده می شود که میزان منابع آب شیرین تجدید پذیر کشور نزدیک به ۱۱۷ میلیارد مترمکعب در سال باشد.

با توجه به روند افزایش جمعیت و کاهش سرانه آب تجدیدپذیر در کشور که در نمودار شماره ۱ نشان داده شد، پیش بینی می شود سرانه آب تجدید پذیر در سال ۱۴۰۰ به کمتر از ۱۳۰۰ مترمکعب در سال برسد. در این زمینه این نکته بسیار قابل تأمل است که به دلیل وضعیت توزیع نامتوازن منابع آبی و ریزش های جوی در مناطق مختلف کشور، در برخی مناطق همین سرانه آب شیرین تجدید پذیر، کمتر از ۵۰۰ متر مکعب در سال است. در جدول شماره ۱، توزیع بارش در حوضه های آبریز کشور منعکس شده است. در این شرایط و با هدف تأمین آب شیرین مورد نیاز کشور، یکی از راهکارهای تأمین آب، استفاده از شیرین سازی آب دریا با لحاظ نمودن جوانب فنی، اقتصادی و زیست محیطی آن است.

روش های شیرین سازی آب

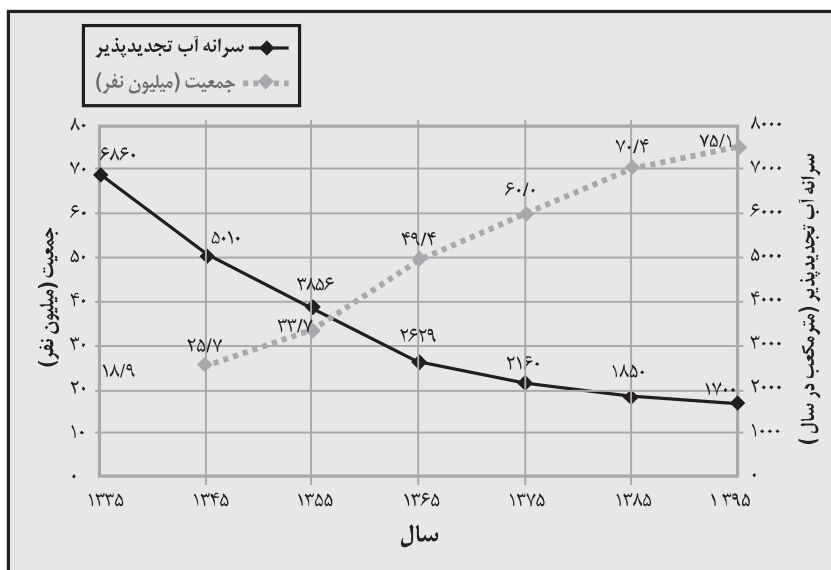
به طور کلی فرایند نمک زدایی از آب براساس دو سیستم اصلی صورت می پذیرد: "سیستم بر

پایه حرارت" و "سیستم بر پایه عبور از غشاء".

پرباربردترین و اصلی ترین روش های نمک زدایی آب دریا در احجام متوسط و بالا عبارتند از:

- روش اُسْمُز معکوس^(۱)
- روش تقطیر چندمرحله ای^(۲)
- روش تقطیر ناگهانی چند مرحله ای^(۳)
- فرایند تراکم بخار مکانیکی^(۴)
- فرایند الکترو دیالیز^(۵)

- و سیستم هیبرید (سیکل ترکیبی MED+ RO) که در مواقعی از سال که در شبکه توزیع، برق مازاد وجود دارد، می توان برای استفاده بهینه از ظرفیت های نیروگاهی از آن استفاده کرد.



نمودار شماره ۱: تغییرات جمعیت و سرانه آب تجدیدپذیر در ایران طی سال های ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۵

حوضه آبریز	مساحت (هزار کیلومتر مربع)	درصد مساحت نسبت به کل	بارش سالیانه (کیلومتر مکعب)	درصد از کل بارش کشور
فلات مرکزی	۸۳۱	۵۰/۶	۱۳۸	۳۲
خلیج فارس و دریای عمان	۴۳۰	۲۶	۱۶۲	۳۸
دریای خزر	۱۷۷	۱۰/۷	۸۳	۱۹/۵
دریاچه هامون	۱۰۶	۶/۶	۱۲	۳
دریاچه ارومیه	۵۳	۳/۳	۱۹	۵
سرخس	۴۴	۲/۷	۱۱	۲/۵
کل	۱۶۴۱	۱۰۰	۴۲۵	۱۰۰

جدول شماره ۱: چگونگی توزیع بارش در حوضه های آبریز کشور

امروزه در مناطقی از دنیا مانند کشورهای قطر، بحرین، عربستان سعودی و مصر که با بحران کم آبی رو به رو هستند و سرانه آب تجدید پذیر آنها کمتر از ۱۰۰ مترمکعب در سال است، عمده نیاز آبی از طریق شیرین سازی آب دریا تأمین می شود. به همین علت تقاضا برای نمک زدایی آب دریا با سرعتی شتابان رو به گسترش است. به عنوان نمونه، عربستان سعودی برای تأمین نیاز آبی خود با شیرین سازی بیش از ۱۴ میلیون مترمکعب آب در روز، به یکی از بزرگ ترین تولیدکنندگان آب شیرین در جهان تبدیل شده است. بر اساس آمار غیر رسمی بیشترین شیرین سازی آب دریا در خلیج فارس صورت می پذیرد که توجه به مسائل زیست محیطی آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. این در حالی است که در ایران بر اساس آمار غیررسمی حجم کل ظرفیت شیرین سازی آب در حال ساخت و بهره برداری، کمتر از یک میلیون مترمکعب در روز است. این مقایسه لزوم توجه بیش از پیش به این بخش را نمایان می سازد.

در این نوشتار کوشش شده تا به طور مختصر، فرصت ها و چالش های

- 1- Reverse Osmosis (RO)
- 2- Multi Effect Distillation (MED)
- 3- Multi-stage Flashing Distillation (MSF)
- 4- Mechanical Vapor Compression (MVC)
- 5- Electro Dialysis (ED)

کاهش مصرف انرژی نسبت به روش RO است.

- استفاده از تکنولوژی انرژی خورشیدی در نمک زدایی در ظرفیت‌های کمتر از ۲۰۰ مترمکعب در روز

- استفاده از گرمایش زمین

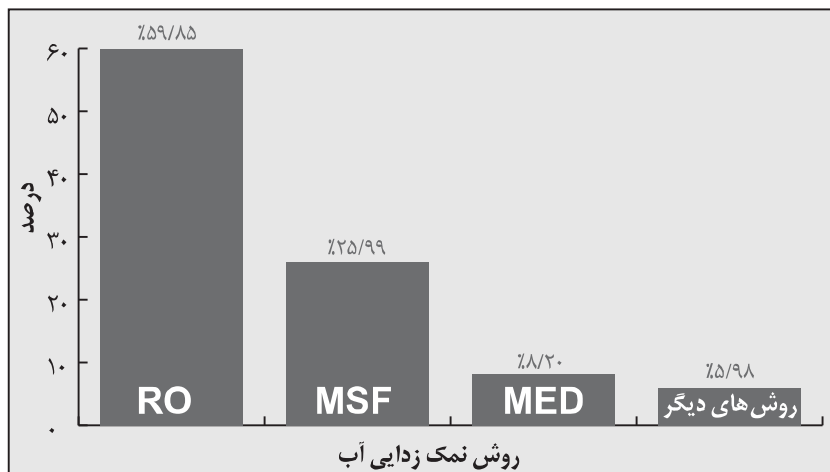
- استفاده از انرژی امواج دریا

- نمک زدایی با استفاده از گرمایش انرژی هسته‌ای در طول سال‌های گذشته روش‌های استفاده از انرژی هسته‌ای برای شیرین‌سازی آب در کشورهای مختلف و با هدف تولید آب شرب، به تدریج طراحی و مورد استفاده قرار گرفته است. در این زمینه بعضی از کشورها در حال طراحی‌اند

و برخی دیگر در حال استفاده هستند.

فرصت‌های ایجاد ظرفیت شیرین‌سازی آب دریا در ایران

مجموعه عوامل زیر زمینه و فرصت مناسبی را جهت سرمایه‌گذاری در شیرین‌سازی آب دریا به منظور تأمین بخشی از آب مورد نیاز شرب و صنعت و در برخی موارد کشاورزی، ایجاد کرده است. ۱- موقعیت سرزمینی ایران و داشتن کرانه‌های مناسب در حاشیه شمالی خلیج فارس، دریای عمان و دریاچه خزر.



نمودار شماره ۲: درصد استفاده از روش‌های نمک زدایی در سال ۲۰۱۰

در میان این روش‌ها، اگرچه روش RO متداول‌تر است و سهم بیشتری را به ویژه در ظرفیت‌های پایین در جهان به خود اختصاص داده، اما اگر منشأ برق مورد استفاده حرارتی باشد و نیروگاه به آب دریا دسترسی داشته باشد، و نیز حجم آب مورد نیاز قابل توجه و غلظت نمک آب دریا و "کل مواد جامد محلول" (۶) بالا باشد، در این صورت واحدهای MSF و MED مقرون به صرفه‌تر هستند و می‌توان از روش‌های همزمان تولید برق و آب استفاده کرد.

در روش اُسمُز معکوس "جریان آب ورودی" (۷) (و یا تغذیه) به دو جریان "آب تصفیه شده" (۸) و "پساب غلیظ" (۹) تبدیل می‌شود. بدین صورت که آب خام ورودی پس از پیش تصفیه با عبور از غشاء، نمک‌های محلول خود را از دست می‌دهد. در این روش بیش از ۹۸ درصد نمک‌های محلول، رسوبات بیولوژیکی و مواد کلوئیدی حذف می‌گردد.

روش‌های جدید شیرین‌سازی آب

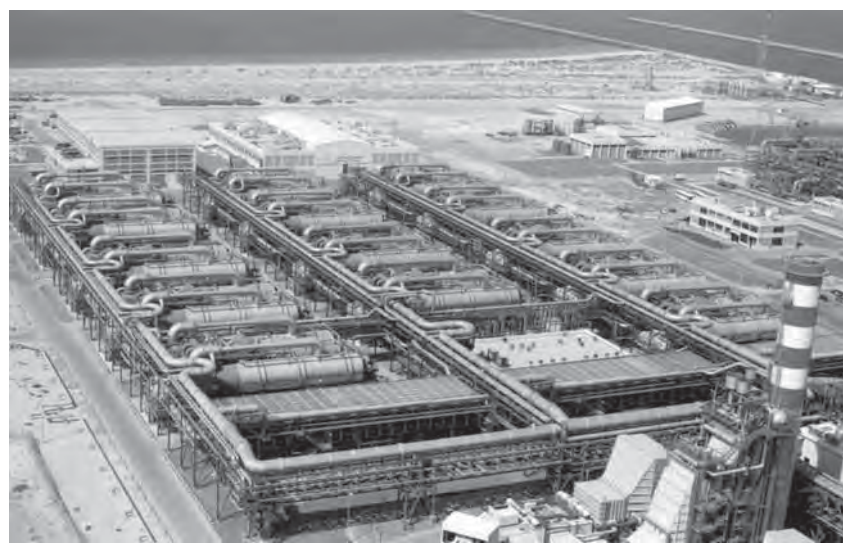
- استفاده از غشاء گرافین (۱۰)

از دیگر روش‌های جدید نمک زدایی که تا کنون تجاری سازی نشده، روش استفاده از غشاء "گرافین" با ضخامت نازک (یک اتم آلومین کربن) برای عبور ملکول‌های آب به صورت شبکه و توقف یون‌های کلرین و سدیم است که در سال

۲۰۱۲ توسط دانشگاه MIT به نام "غشای نانو متخلخل گرافین" نام گذاری شده است. از مزیت‌های اصلی این روش می‌توان به فشار عبوری کم و مصرف انرژی متعادل‌تر اشاره کرد.

- روش اُسمُز پیشرو (۱۱)

از این روش در کنار روش اسمز معکوس می‌توان به عنوان روشی برای نمک زدایی آب استفاده کرد. از مزیت‌های اصلی این روش،



6- Total Dissolved Solids (TDS)

7- Feed

8- Permeate

9- Brine

۱۰- Graphene: نام یکی از آلوتروپ‌های کربن است که از یک ساختار بلوری لانه زنبوری دو بعدی تشکیل شده است و در آن هر اتم کربن به کمک سه الکترون ظرفیت خود، با سه پیوند SP^۲ هیبریدیزه شده به سه اتم کربن دیگر متصل شده است (برگرفته از دانشنامه آزاد ویکی‌پدیا).

11- Forward Osmosis (FO)



بین ۰/۲ تا ۱ دلار به ازای هر مترمکعب است، اهمیت انجام مطالعات و ارزیابی فنی و اقتصادی دقیق پروژه‌ها مشخص می‌گردد. رؤس مواردی که در تحلیل فنی و اقتصادی باید مورد توجه قرار گیرد عبارتند از:

- مقایسه اقتصادی سایر گزینه‌های تأمین آب با گزینه شیرین سازی
- در زمینه تأمین آب مناطق شهری و روستایی، مطالعه و بررسی جداسازی شبکه آب شرب از شبکه آب بهداشتی
- مقایسه فنی و اقتصادی روش‌های مختلف شیرین سازی آب به ویژه در ظرفیت‌های متوسط و بزرگ (بیش از ۱۰ هزار مترمکعب)
- توجه به هزینه‌های برق مصرفی و نحوه تأمین انرژی در پروژه‌های بزرگ.

۳- از آنجا که در روش RO بیش از ۹۰ درصد از تجهیزات لازم باید از خارج از کشور تأمین شود، وجود مشکلات در زمینه تأمین ارز و خرید تجهیزات به خصوص در شرایط تحریم یکی از معضلات جدی در روند سرمایه‌گذاری و احداث این واحدها به شمار می‌آید. با توجه به اینکه در پروژه‌های کنونی و همچنین پروژه‌های در دست مطالعه در کشور، روش RO بیشترین سهم را در بین روش‌های نمک‌زدایی به خود اختصاص داده است، و با عنایت به این که متأسفانه تولید اغلب تجهیزات به کار رفته در این روش در داخل کشور بومی‌سازی نشده است و به خصوص تأمین ممبرین و پمپ‌های فشار قوی مورد نیاز که از تجهیزات اصلی این روش به شمار می‌آیند، به کشورهای خارجی وابسته است، تأمین این تجهیزات در شرایط تحریم می‌تواند پروژه‌ها را با چالش جدی رو به رو کند. جا دارد در این زمینه دولت با استفاده از ظرفیت‌های شرکت‌های دانش بنیان و بخش خصوصی تسهیلات لازم را فراهم کند.

- ۲- بهره‌مندی از انرژی نسبتاً ارزان و قابل دسترس و قابلیت استفاده از انرژی خورشیدی برای ظرفیت‌های کوچک
- ۳- امکان تولید همزمان برق و آب شیرین برای ظرفیت‌های متوسط و بزرگ، در پروژه‌های کنار دریا به منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بالا بردن بازده نیروگاه‌های گازی.
- ۴- اقتصادی‌تر بودن شیرین سازی آب در بعضی از پروژه‌ها نسبت به پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای.

چالش‌های پیش روی سرمایه‌گذاری و احداث تأسیسات آب شیرین کن

۱- نبود انگیزه کافی برای سرمایه‌گذاری کلان بخش خصوصی در پروژه‌های بزرگ تأسیسات آب شیرین کن یکی از چالش‌های مهم در روند احداث تأسیسات آب شیرین کن است. دلیل این بی‌انگیزگی آن است که به‌طور معمول در مناقصاتی که به روش BOO یا BOT برگزار می‌شود، قیمت خرید تضمینی آب ریالی است اما به دلیل وابستگی ارزی این تأسیسات به خصوص در روش RO که بیش از نود درصد از تجهیزات از خارج کشور تأمین می‌شود، و با عنایت به شرایط اقتصادی کشور و نوسانات ارزی، درصد ریسک سرمایه‌گذار افزایش یافته و به دنبال آن انگیزه مشارکت در این پروژه‌ها کاهش می‌یابد. البته دولت طی سال‌های گذشته با استفاده از مدل‌های مالی BOO یا BOT و خرید تضمینی آب، توانسته است بستر سرمایه‌گذاری برای احداث تعدادی از این واحدها در مقیاس کوچک و متوسط را فراهم و مالکیت آنها را به بخش خصوصی واگذار نماید.

۲- عدم انجام مطالعات کافی و دقیق فنی و اقتصادی پیش از احداث این گونه تأسیسات
با توجه به این که قیمت تمام‌شده آب شیرین در روش‌های مختلف با توجه به ظرفیت تأسیسات و همچنین کیفیت آب ورودی به تأسیسات،

از جمله کلرور، ترکیبات اکسیژن زدا، ترکیبات رسوب زدا، منعقد کننده ها و کمک منعقد کننده ها و مواد شیمیایی پاک کننده استفاده شود که لازم است اثرات این مواد با توجه به نوع اثر آنها در پساب خروجی و محیط زیست دریایی، مورد پایش و کنترل قرار گیرد.

جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به کاهش قابل توجه سرانه آب تجدید پذیر در کشور و ادامه این روند در سال های آتی و رسیدن به کمتر از ۱۷۰۰ مترمکعب در سال به ازای هر نفر و همچنین امکان استمرار و یا تکرار وقایع خشک سالی و توزیع نامتوازن منابع آبی و بارش های جوی کشور، یکی از راه حل هایی که برای سازگاری با تنش آبی در سطح ملی باید در کنار مدیریت توزیع و مصرف بهینه منابع آب مورد توجه و برنامه ریزی درازمدت قرار گیرد، شیرین سازی آب دریا و انتقال آن است که در این راه فرصت ها و چالش هایی در پیش رو قرار دارد که می بایست در کنار گزینه های انتقال آب بین حوضه ای که تاکنون بیشتر روی آنها تمرکز شده است در زمینه آن برنامه ریزی و سیاست گذاری کرد.

رئوس فرصت ها و مزیت ها

- موقعیت سرزمینی ایران و داشتن سواحل خلیج فارس، دریای عمان و دریاچه خزر
- انرژی نسبتاً ارزان در کشور
- امکان تولید همزمان برق و آب شیرین به منظور صرفه جویی در مصرف انرژی و بالا بردن بازده نیروگاه های گازی.

رئوس چالش های پیش رو

- عدم انگیزه کافی سرمایه گذاری بخش خصوصی در پروژه های بزرگ
- وابستگی بیش از ۹۰ درصد تجهیزات آن به خارج بخصوص در روش RO و نیاز به تأمین ارزی
- عدم توجه کافی و مطالعه دقیق مخاطرات و اثرات زیست محیطی شیرین سازی آب دریا، به ویژه در کشورهای حاشیه خلیج فارس که بیشترین سهم شیرین سازی آب را دارند، مانند عربستان و امارات. در نهایت ضرورت دارد از یک سو دولت با ایجاد بستر مناسب و برنامه ریزی جهت تشویق بخش خصوصی در جهت سرمایه گذاری احداث پروژه های بزرگ آب شیرین کن سیاست گذاری و اقدام نماید و به موازات آن قبل از احداث، مطالعات دقیقی به منظور بررسی فنی و اقتصادی پروژه ها و مطالعات اثرات زیست محیطی انجام پذیرد.

۴- مخاطرات و اثرات زیست محیطی شیرین سازی آب دریا بر اساس آمار غیر رسمی بیشترین شیرین سازی آب دریا در منطقه خلیج فارس صورت می پذیرد که عمده آن به کشورهای امارات، عربستان، کویت، عمان، قطر و بحرین تعلق دارد که عدم توجه کافی به مسائل زیست محیطی مخاطرات غیر قابل جبران در پی خواهد داشت. تأسیسات آب شیرین کن ها با توجه به نوع فرایند و روش شیرین سازی آب و همچنین نحوه بهره برداری، می تواند آثار متفاوتی در محیط زیست پیرامونی خود ایجاد کند. به صورت کلی این اثرات به چند بخش تقسیم می شود:

- اثرات ناشی احداث ابنیه و تأسیسات شیرین سازی
- اثرات ناشی از مصرف انرژی: واحدهای بزرگ تولید آب شیرین به مقدار قابل توجهی مصرف انرژی دارند که این مسأله خود تأثیر بسزایی در انتخاب روش شیرین سازی دارد. اما در بعضی از روش ها مانند تولید همزمان برق و آب شیرین و نیز روش RO، استفاده از این تأسیسات، کاهش مصرف انرژی قابل توجهی را به دنبال دارند، بنابراین در اثر احداث این پروژه ها اثرات ناشی از افزایش تقاضای انرژی در محیط زیست کاهش می یابد.

با توجه به اینکه در حال حاضر بیشتر سیستم های در حال بهره برداری در کشور از روش RO استفاده می کنند، برای افزایش بازده انرژی، می توان از فشار آب شور برای تأمین قسمتی از فشار آب خام ورودی استفاده کرد و نیز از تجهیزاتی تحت عنوان "بازیافت انرژی" (۱۲) یا "توربو شارژر" (۱۳) بهره برد. استفاده از این تجهیزات باعث صرفه جویی ۳۰ تا ۹۰ درصدی در انرژی مورد نیاز خواهد شد.

- اثرات منفی بر محیط زیست دریایی
به طور کلی اثرات قابل تأمل پساب خروجی سیستم های آب شیرین - کن بر موجودات زنده و محیط زیست دریایی را می توان ناشی از عوامل زیر دانست:

- افزایش شوری، چگالی و درجه حرارت آب دریا
میزان شوری پساب خروجی آب شیرین کن در تمامی روش ها از غلظت نمک آب دریا که حدود ۳۵۰۰۰ppm است به حدود ۶۰۰۰۰ تا ۸۵۰۰۰۰ppm افزایش می یابد که این افزایش همچنین افزایش درجه حرارت می تواند موجب از بین رفتن برخی از موجودات زنده دریایی گردد.

- کاهش میزان اکسیژن محلول (Do) در پساب خروجی
کاهش میزان اکسیژن محلول در پساب خروجی می تواند برای موجودات زنده خطرناک باشد، به همین علت هوادهی منبع پذیرنده پساب خروجی یکی از راه حل های کاهش این اثر در نظر گرفته می شود.
- استفاده از مواد شیمیایی در مراحل "پیش تصفیه" (۱۴) و "پس تصفیه" (۱۵)

در قسمت های مختلف یک تأسیسات آب شیرین کن ممکن است به تناسب نوع فرایند و کیفیت آب خام ورودی، از مواد شیمیایی مختلف

12- Energy Recovery

13- Turbo Charger

14- Pre treatment

15- Post treatment