فهرست مطالب

صل اول: مقدمه ای بر نمک زدایی آب

چکیده ۹
۱-۱- مقدمه ۹
۱-۲- چه مقدار آب در آنجا وجود دارد؟ ۱۰
۱-۲-۱- دسترس پذیری جهانی به آب ۱۰
۱-۲-۲- تقاضای آب ۱۳
۱-۲-۳- تنش آب اضافی به علت تغییر آب وهوا ۱۴
۱-۳- یافتن آب شیرین بیشتر ۱۴
۱-۳-۱- حرکت آب از نواحی پرآب به نواحی کم آب ۱۴
۱-۳-۲- حفاظت و استفاده مجدد ۱۵
۱-۳-۳- توسعه منابع جدید آب شیرین ۱۷
۱-۴- نمک زدایی: آب از آب ۱۹
۱-۴-۱- انگیزه نمک زدایی ۱۹
۱-۴-۲- منابع آب تغذیه ای نمک زدایی ۲۰
۱-۴-۳- کاربرهای کنونی آب شیرین شده ۲۳
۱-۴-۴- مرور فناوری های نمک‌زدایی ۲۴
۱-۴-۵- تاریخچه فناوری‌های نمک‌زدایی ۲۷
۱-۴-۶- آینده نمک‌زدایی ۳۳
۱-۵- نمک‌زدایی: طرح آب از آب ۳۷
مراجع ۳۹

دوم: فرایندهای واحد نمک زدایی حرارتی

چکیده ۴۱
۲-۱- اصول ترمودینامیکی ۴۱
۲-۱-۱- قانون اول و دوم ترمودینامیک ۴۱
۲-۱-۲- جوش و نقطه جوش ارتفاعی ۴۷
۲-۱-۳- انتقال حرارت ۵۰
۲-۱-۴- فشرده سازی گازها ۵۴

۲-۲- تجمع و تبادل انرژی ۵۵
۲-۲-۱- تبخیر تک مرحله ای ۵۵
۲-۲-۲- نقطیر با تأثیرچندگانه (MED) ۶۳
۲-۲-۳- تبخیر چند مرحله‌ای Flash (MSF) ۷۸
۲-۲-۴- فرآورده تقطیر چند تأثیر ۹۰
۲-۲-۵- تبخیر تک مرحله‌ای با کمپرسور بخار محرک مکانیکی ۱۰۰
۲-۴- مرور تاریخی ۱۰۴
۲-۵- استقراریافتن هنر ۱۰۹
۲-۵-۱- تقطیر با اثر چندگانه ۱۰۹
۲-۵-۳- تقطیراثر جندگانه با بخار متراکم متحرک حرارتی ۱۱۴
۲-۶- چشم اندازهای آینده ۱۱۵
مراجع ۱۱۹

فصل سوم: فرایند اسمز معکوس مارک ویلف

چکیده ۱۲۱
۳-۱- فرایند اسمز معکوس ۱۲۱
۳-۳- فشار محرک خالص ۱۲۳
۳-۴- تفکیک نمک - آب در فرایند اسمزی معکوس ۱۲۵
۳-۵- انتقال آب ۱۲۵
۳-۶- انتقال نمک ۱۲۶
۳-۷- عبور نمک و حذف آن ۱۲۷
۳-۸- تاثیر دما بر نرخ انتقال ۱۲۸
۳-۹- شار تراوش میانگین ۱۲۹
۳-۱۰- نفوذپذیری ویژه غشا در برابر آب ۱۲۹
۳-۱۱- قطبیت غلظت ۱۳۰
۳-۱۲- فناوری غشای RO/NF تجاری ۱۳۰
۳-۱۳- غشاهای استات سلولز ۱۳۱
۳-۱۴- غشاهای پلی امید مرکب ۱۳۳
۳-۱۵- پیکربندی های مدول غشایی ۱۳۵

۳-۱۶- المان های مارپیچی..... ۱۳۵
۳-۱۷- فهرستهای المان مارپیچ..... ۱۳۸
۳-۱۸- پیکربندی سیستم RO..... ۱۴۱
۳-۱۹- واحد مونتاژ غشا..... ۱۴۲
۳-۲۰- مرحله بندی تغلیظ..... ۱۴۳
۳-۲۲- پیکربندی دو مسیره جزئی..... ۱۴۷
۳-۲۳- محاسبه عملکرد سیستم..... ۱۴۸
۳-۲۳-۱- روش دستی محاسبات عملکرد سیستم غشایی..... ۱۴۸
۳-۲۳-۲- محاسبات عملکرد RO با استفاده از برنامه های رایانه ای..... ۱۵۱
۳-۲۴- پایش پارامترهای فرایند و عملکرد تجهیزات در سیستم RO..... ۱۵۲
۳-۲۵- نرمال سازی عملکرد سیستم RO..... ۱۵۴
۳-۲۶- فرایند رسوبگذاری در المانهای غشایی..... ۱۵۷
۳-۲۷- بازیابی عملکرد..... ۱۶۱
۳-۲۷-۱- پاک‌سازی شیمیایی..... ۱۶۱
۳-۲۷-۲- پاک کردن به روش اسمز مستقیم..... ۱۶۵
مراجع..... ۱۶۶

فصل چهارم: کاربرد

۴-۱- کاربرد..... ۱۶۹
۴-۱-۱- آب و صنعت فاضلاب..... ۱۶۹
۴-۱-۲- صنعت تغذیه..... ۱۷۶
۴-۱-۳- آب و صنعت فاضلاب..... ۱۷۷
۴-۲- نتیجه گیری..... ۱۸۱
مراجع..... ۱۸۲

فصل پنجم: محدودیت های متعارف نمک زدایی

۵-۱- محدودیت های متعارف نمک زدایی..... ۲۰۳
۵-۱-۱- فشار اسموتیک..... ۲۰۴
۵-۲- اسمز معکوس..... ۲۰۵
۵-۲-۱- تاریخچه اسمز معکوس..... ۲۰۵

۵-۲-۲- مزایای اسمز معکوس ۲۰۷
۵-۳- ترسیم راه حل ۲۰۸
۵-۳-۱- املاح معدنی ۲۰۹
۵-۳-۳- املاح آلی ۲۱۰
۵-۴- لایه ۲۱۱
۵-۴-۱- محدودیتهای انتقال حجم در اسمزی پیشبردی ۲۱۲
۵-۴-۲- مناسب ترین غشا برای FO ۲۱۴
۵-۵- طراحی فرآیند و کارکردهای تقطیرسازی ۲۲۰
۵-۶- دستورالعملهای آتی ۲۲۰
مراجع ۲۲۱

فصل ششم: نمک الکترودیالیز

چکیده ۲۳۳
۶-۱- ۲۳۳
۶-۲- آماده سازی و خصوصیات غشاهای تبادل یونی ۲۳۶
۶-۲-۱- آماده سازی غشاهای تبادل یونی ۲۳۶
۶-۲-۲- ویژگی غشاهای تبادل یونی ۲۳۸
۶-۳- طراحی تجهیزات ED و فرایند نمک زدایی ۲۴۰
۶-۳-۱- طراحی توده ED ۲۴۰
۶-۳-۲- طراحی فرایند ED ۲۴۲
۶-۳-۳- عملکرد و نگهداری ED ۲۴۳
۶-۳-۴- پارامترهای طراحی در نمک زدایی ED ۲۴۴
۶-۳-۵- اقتصاد فرایند ED ۲۴۷
مراجع ۲۵۱

فصل اول:
مه‌ای بر نمک زدایی آب

چکیده:

دسترس پذیری به نمک‌زدایی در سیاره رو به رشد و صنعتی ما، به سرعت در حال کاهش است. روش های دستیابی به نمک‌زدایی بیشتر برای براورده کردن تقاضای فزاینده، عبارتند از تکنیک هایی مانند حفاظت و استفاده مجدد، نمک زدایی، و حرکت آب از نواحی پرآب به نواحی کم آب. در میان این تکنیک ها، پتانسیل نمک زدایی آب نویدبخش ترین تکنیک است زیرا می توان آن را در سراسر جهان مورد استفاده قرار داد. این فصل، نیاز به نمک‌زدایی را مورد بحث قرار می دهد و چارچوبی برای بحث های دقیق درباره تکنیک های نمک‌زدایی مطرح شده در این کتاب ارائه می‌کند.

کلمات کلیدی: نمک‌زدایی، کمبود آب، حفاظت، استفاده مجدد، نمک‌زدایی حرارتی، اسمز معکوس

۱-۱- مقدمه

نمک‌زدایی[1]: از ریشه کلمه نمک زدودن[2] به معنی حذف نمک است [۱]. طبق تعریف، عبارت نمک زدایی، به صورت «فرایند حذف جامدات حل شده، مانند نمک ها و مواد معدنی، از آب» تعریف می شود [۲]. عبارات دیگری که گاهی به جای نمک زدایی به کار می روند، عبارتند از: نمک گیری[3]، اگرچه این عبارات معانی دیگری نیز دارند؛ نمک زدایی، معمولاً به معنای حذف نمک از محصولات ارزشمندتر مانند غذا، داروها و نفت است، در حالیکه نمک گیری، به معنی حذف نمک از خاک، مثلاً از طریق شستن به کار می رود [۲].

1. Desalination
2. desalt
3. desalinization

اولین استفاده عملی از نمک زدایی، به قرن های شانزدهم و هفدهم برمی گردد، که ملوانانی مانند سر ریچارد هاوکینز گزارش کردند که مردانشان با استفاده از تقطیر در کشتی، از آب دریا، نمک‌زدایی تولید کرده اند [۳]. اولین تاسیسات نمک زدایی در اوایل قرن بیستم در جزیره کاراکو و در پنینسولای عربی توسعه یافت [۳]. تحقیق درباره نمک زدایی و کاربرد و استفاده از آن، در اواسط قرن بیستم شتاب یافت و در سی سال گذشته، شاهد رشد نمایی در تولید تسهیلات نمک زدایی بوده ایم.

ممکن است این سوال پیش بیاید که «چرا نمک زدایی؟» نمک زدایی به چند دلیل لازم است، که مهمترین آنها عبارتند از: ۱) افزایش تقاضا برای نمک‌زدایی با رشد جمعیت در آب وهوای خشک و دیگر نواحی جغرافیایی که دسترسی محدودی به آب با کیفیت و با درجه شوری کم دارند و ۲) افزایش سرانه تقاضا برای نمک‌زدایی به علت صنعتی شدن و شهرنشینی که دسترسی به آب باکیفیت را افزایش می داد. تحقیق و توسعه در ۵۰ سال گذشته درباره نمک زدایی منجر به تولید تکنیک های پیشرفته ای شده است که سبب کارامدی بیشتر و مقرون به صرفه شدن نمک زدایی شده اند. نمک زدایی، یک تکنیک ماندگار و حتی لازم برای تولید نمک‌زدایی از آبی با کیفیت نسبتاً پایین است و در آینده نیز خواهد بود. در این فصل و در کل این کتاب، ما نمک زدایی را به عنوان یکی از ابزار مهم برای براورده شدن نیاز به نمک‌زدایی در سیاره در حال رشد در نظر می گیریم. بنابراین، عنوان این کتاب، نمک زدایی: آب از آب است.

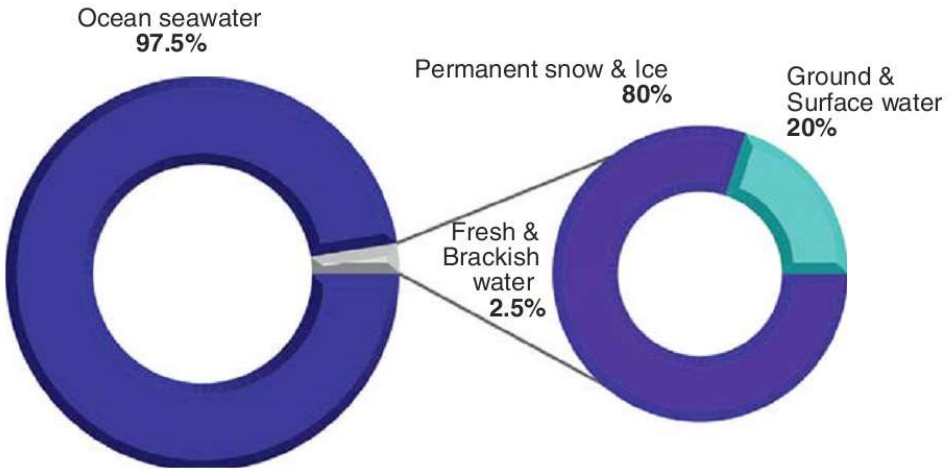
۱-۲- چه مقدار آب در آنجا وجود دارد؟

تخصیص آب در جهان در شکل ۱,۱ نشان داده شده است. بیش از ۹۷٪ یا حدود ۱۳۳۸ میلیون کیلومتر مکعب از آب جهان، آب دریاست [۳،۴]. هشتاد درصد آب باقیمانده به صورت برف در یخچال های دائمی یا لایه منجمد زمین محصور شده است [۴]. بنابراین، تنها ۰,۵٪ از آب جهان به عنوان آب زیرزمینی با شوری کم یا درون دریاچه ها یا رودخانه ها برای مصرف مستقیم بشر در دسترس است.

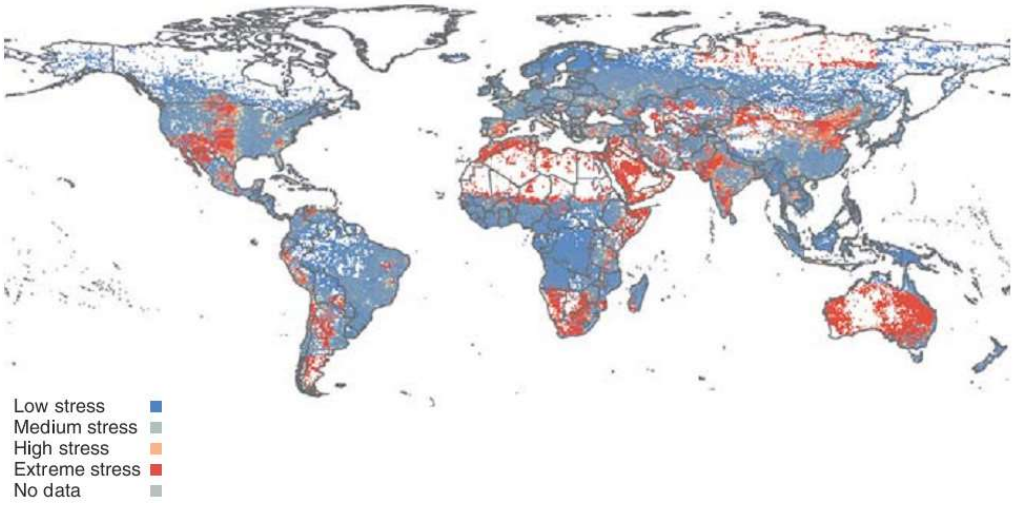
۱-۲-۱- دسترس پذیری جهانی به آب

برخی از نواحی جهان، از نعمت فراوانی نمک‌زدایی برخوردار هستند. این نواحی عبارتند از نواحی با جمعیت نسبتاً پایین و دسترسی به آب های سطحی مانند شمال روسیه، اسکاندیناوی، نواحی ساحلی مرکزی و جنوبی آمریکای جنوبی، و شمال آمریکای شمالی (کانادا، آلاسکا) [۲، ۵]. نواحی پرجمعیت تر و نواحی با سرعت بالای صنعتی شدن، تنش آبی بیشتری را تجربه می کنند، به ویژه

زمانی که در نواحی خشک واقع باشند. (تنش آب[1]، نوعاً با مقایسه میزان آب مصرف شده به میزان آب آماده مصرف اندازه گیری می شود).



شکل ۱-۱ تخصیص منابع آبی جهان.



شکل ۱-۲ براوردهای دسترس آب برای سال ۲۰۱۱. اقتباس از شاخص تنش آب ۲۰۱۱ توسط میپل کرافت.

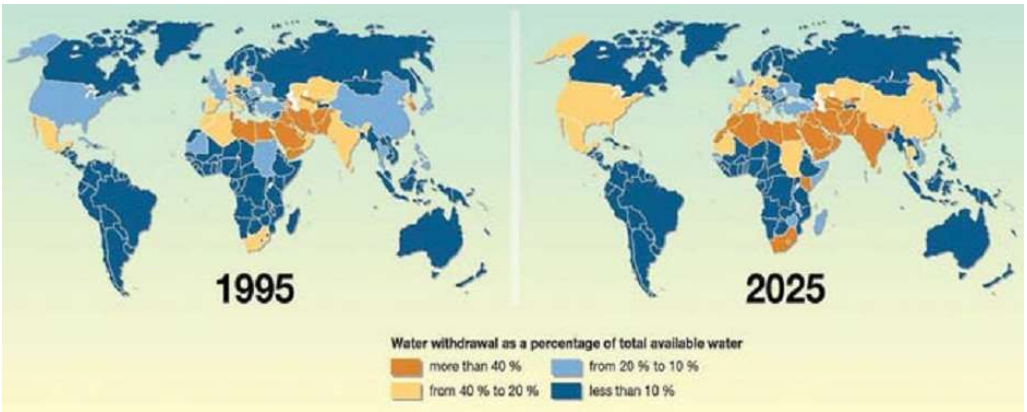
1. Water stress

نقشه های آبی متعددی وجود دارند که تنش آبی کنونی را اندازه گیری می کنند و تنش آبی آینده را پیش بینی می کنند. شکل ۱,۲، شاخص تنش آب ۲۰۱۱ توسط میپل کرافت [۵] را نشان می دهد که تنش آب کنونی را با مقایسه مصرف آب نسبت به منبع تجدیدپذیر موجود در سراسر جهان تخمین می زنند:

«شاخص تنش آب، نسبت استفاده کل آب (جمع تقاضای خانگی، صنعتی و کشاورزی) به منبع تجدیدپذیر آب را براورد می کنند که عبارت است از جریان محلی موجود (رسوب، تبخیر کمتر) که از طریق سیلاب ها، رودخانه ها و آب‌های زیرزمینی کم عمق منتقل می شوند. این امر، شامل سفره های آب زیرزمینی که در طول قرن ها و هزاره ها انباشته شده اند، نمی شود.

کاربرد شاخص، نشان دهنده بررسی استراتژیک موقعیت کنونی تنش آب فیزیکی در سطح جهان، قاره، منطقه و ملی است. هیچ گونه تصویری از آینده، [یا] سیاست های مدیریت آب مانند نمک زدایی یا افزایش مصرف مجدد آب را در نظر نمی گیرد [۵].

نواحی ای در جهان که سرشار از منابع آبی نیستند و صنعتی سازی و رشد جمعیت سریع و ناپایدار را نیز تجربه می کنند، خواهند دید که تنش آب در آینده بسیار افزایش می یابد. شکل ۱,۳، تنش آب جهانی در سال ۱۹۹۵ را با مقدار پیش بینی شده برای ۲۰۲۵ مقایسه می کند [۶]. در سال ۲۰۲۵ به تعداد ۲,۸ میلیارد نفر با مشکلات تنش یا کمبود مواجه می شوند؛ تا سال ۲۰۵۰، این عدد می تواند به ۴ میلیون نفر برسد [۶]. نواحی دارای تنش آب، بخش مرکزی جنوب ایالات متحده، اروپای شرقی و آسیا هستند، در حالیکه جنوب شرقی ایالات متحده شمال، جنوب و شرق آفریقا، خاورمیانه و بیشتر آسیا کمبود آب را تجربه خواهد کرد [۲].

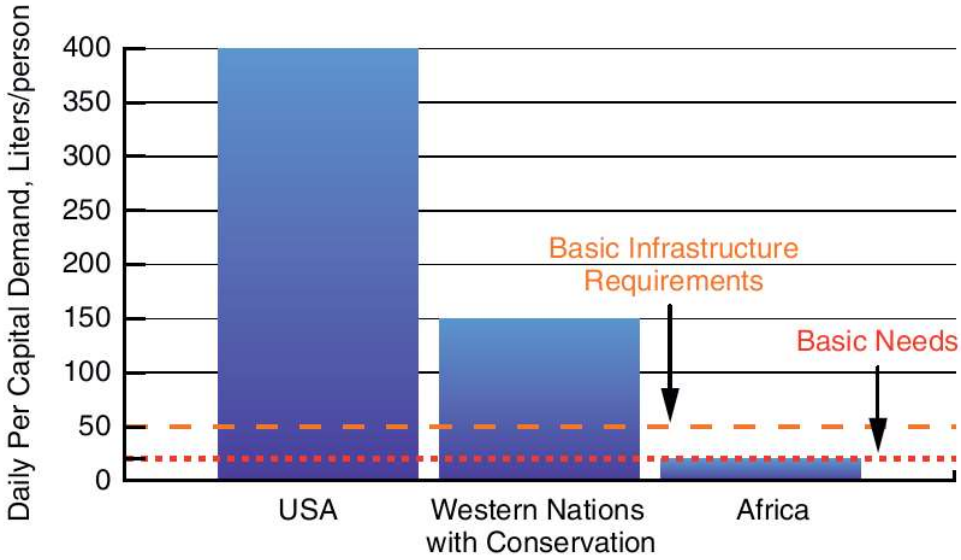


شکل ۱-۳ تنش آب جهانی در سال ۱۹۹۵ و پیش بینی شده برای ۲۰۲۵. با مجوز از فیلیپ رکاسویز (Le Monde diplomatique)، فوریه ۲۰۰۶.

۱-۲-۲- تقاضای آب

علاوه بر رشد جمعیت، فشار دیگری که بر تامین آب وارد می شود، این حقیقت است که تقاضای آب سرانه سریعتر از نرخ رشد جمعیت افزایش می یابد [۷]. مطابق با مرکز اطلاعات آب جهانی[1] [۸]، تقاضای آب سرانه دو برابر رشد جمعیت افزایش یافته است.

تقاضای آب در کشورهای پیشرفته، نسبتاً بالاست. تقاضا در ایالات متحده، حدود ۴۰۰ لیتر (۱۰۵ گالون) برای هر فرد در روز است [۴]. برخی کشورهای غربی که در استفاده از ابزار حفظ و استفاده مجدد آب موفق بوده‌اند، تقاضای آب خود را به حدود ۱۵۰ لیتر (۴۰ گالون) برای هر فرد در روز کاهش داده‌اند [۴،۹]. با این وجود، دسترسی و دستیابی محدود به آب در برخی بخش های جهانی، منجر به مصرف کمتر در این نواحی شده است. به عنوان مثال، مصرف سرانه آب شیرین در آفریقا، به علت کمبود آب مناسب، تنها حدود ۲۰ لیتر (۵،۳ گالون) در هر روز است [۹]. سازمان بهداشت جهانی[2] (WHO) بر این تصور است که ۱۵ تا ۲۰ لیتر (۴ تا ۵،۳ گالون) برای هر فرد در روز، برای بقا لازم است، در حالیکه ۵۰ لیتر (۱۳ گالون) برای هر فرد در روز، برای زیرساختارهای پایه مانند بیمارستان ها یا مدارس، مورد نیاز است (شکل ۱-۴ را ببینید) [۴]. WHO براورد می کند که در سال ۲۰۲۵ تقاضای جهانی برای نمک‌زدایی، ۵۶٪ از منابع بیشتر شده است.



شکل ۱-۴ تقاضای جهانی برای آب و الزامات پایه آب سازمان بهداشت جهانی.

1. Global Water Intelligence
2. World Heath Organization

۱-۲-۳- تنش آب اضافی به علت تغییر آب وهوا

در حالیکه رشد جمعیت و افزایش سرانه در تقاضا، دو مسئله تنش زای اصلی برای آب هستند، از اهمیت تاثیر تغییر آب وهوا بر تنش آب جهانی نمی توان چشم پوشی کرد. آثار تغییر آب و هوا در واقع با رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای منابع آبی با رشد جمعیت و صنعتی شدن، تغییرات آب و هوایی را شتاب می بخشد، که منجر به حوادث آب و هوایی شدیدتری مانند خشکسالی می شود. مطالعه ای در مرکز ملی تحقیقات جوی (NCAR) نشان می دهد که خشکسالی شدید، یک احتمال واقعی برای بسیاری از کشورهای پرجمعیت است [۱۰]. نواحی ای که تصور می شود که مشکل خشکسالی قابل توجهی را تجربه کنند، عبارتند از اغلب کشورهای آمریکای لاتین، نواحی مدیترانه، جنوب شرق و جنوب غرب آسیا، آفریقا، جنوب غرب ایالات متحده، و استرالیا [۷]. همزمان، بسیاری از این نواحی، افزایش جمعیت و صنعتی شدن و شهرنشینی و در نتیجه افزایش تقاضای سرانه آب را تجربه خواهند کرد. سازمان ملل پیش بینی می کند که جهان ۲۷ شهر با جمعیت بیش از ۱۰ میلیون نفر در سال ۲۰۲۰ خواهد داشت و همه به جز ۳ شهر نیویورک، مسکو و پاریس، نواحی در خطر خشکسالی شدید خواهند بود [۷].

۱-۳- یافتن نمک‌زدایی بیشتر

برای اغلب جمعیت شهری جهان، نمک‌زدایی کالایی است که یافتن آن آسان است و همواره در شیر موجود است و تدبیری برایش انجام نشده است. با این وجود، آب در برخی از بخش‌های جهان، به عنوان «محصولی» در نظر گرفته می شود که باید برای براورده کردن نیاز فزاینده یافته شود و توسعه یابد. بسته به شرایط خاص در جغرافیای خاص، یک یا چند روش را می توان برای یافتن و توسعه منابع آب به منظور براورده کردن نیازهای آبی آینده اجرا کرد. برخی از این روش ها در زیر خلاصه می شوند.

۱-۳-۱- حرکت آب از نواحی پرآب به نواحی کم آب

حرکت آب از نواحی پرآب به نواحی کم آب، گرچه دور از ذهن به نظر می رسد اما ایده جدیدی نیست. شاهد آن، انحراف آب به سمت صحراهای جنوب غرب ایالات متحده برای نوشیدن، کاربردهای کشاورزی و تولید توان است. امروزه، لس آنجلس ۸۵٪ تقاضای آب خود را از منابع بیرونی دریافت می کند: کوه های سیرا نوادا، دلتای شمال کالیفرنیا، کانال لس آنجلس و کانال رودخانه کلرادو [۱۱].

با این وجود، حرکت آب همواره مطبوع نیست. اعتراض عمومی علیه حرکت آب از ناحیه پرآب

می تواند مانع آن باشد. رودخانه کلمبیا در شمال غرب پاسیفیکی ایالات متحده را در نظر بگیرید. «آب، نفت اورگان است»، این جمله توسط سناتور ایالتی اورگان، دیوید نلسون در گزارش دولتی اش گفته شده است، «انحراف جهت رودخانه کلمبیا به عنوان منبع درآمد عمومی». انحراف رودخانه کلمبیا به ایالات غربی دیگر، بیش از ۳۵ سال موضوع بحث در ایالات اورگان بوده است. با این وجود تا به امروز این بحث به نتیجه خاصی نرسیده است، زیرا نواحی کم آب در منطقه، منابع آب دیگری یافته اند و علاوه بر آن، اورگانی ها، حاضر نشده اند از منابع نمک‌زدایی ارزان خود که منبعی برای توان هیدروالکتریکی نسبتاً ارزان نیز می باشد دست بکشند.

سیاست نیز می تواند در چگونگی تغییر جهت منابع آبی نقش ایفا کند. در اسپانیا، حزب های سیاسی مختلف، در مورد چگونگی تامین آب در نواحی جنوب شرق اسپانیا در مجادله هستند. حزب محافظه کار اسپانیا، مدافع حرکت آب از رودخانه ابرو (یک رودخانه شرقی که دلتای آن در دریای مدیترانه در میانه بارسلونا و والنسیا است) به جامعه والنیسا هستند، که تقریباً ۲۰۰ کیلومتر از دلتا فاصله دارد. حزب سوسیالیست در قدرت، تاسیسات اسمز معکوس آب دریا در تورویجا (SWRO)، ششمین تاسیسات بزرگ SWRO در جهان را در آلیکانته، شهرداری تورویجا در حدود ۷۵ کیلومتری والنسیا دایر کرده است. حامیان پروژه رودخانه ابرو، اجازه تخلیه متراکم تاسیسات SWRO را نداده اند، بنابراین از ساخت خط لوله های ورودی آب دریا و دهانه خروجی جلوگیری شده است [۱۱]. منطقه والنسیا، بیش از ۱٫۵ میلیون نفر جمعیت دارد و ۴ پروژه SWRO دیگر که می تواند در معرض همان رفتار سیاسی باشد.

در حالیکه حرکت نمک‌زدایی، در برخی موارد معقول به نظر می رسد، فشارهای سیاسی و عمومی و نیز مسائل فنی، ماند حرکت آب در فواصل طولانی، به ویژه زمانی که تغییرات ارتفاع وجود دارد، سبب عدم سهولت حرکت منابع آبی یا حتی امکان براورده کردن نیازهای نمک‌زدایی همه مناطق بدین روش شده است.

۱-۳-۲- حفاظت و استفاده مجدد

حفاظت[1]، عبارتی است که چندین دهه به معنی استفاده موثرتر و صرفه جویی در یک منبع، و در اینجا، آب به کار رفته است. عبارات هم ارز در قرن بیست و یک برای حفاظت، «ماندگاری» و «سبز» هستند. علیرغم اینکه کدام عبارت به کار می رود، نیاز به حفاظت از طریق استفاده موثرتر، چرخه مجدد و استفاده مجدد در فرهنگ امروزی، معین است. در حالیکه این تکنیک ها اولین انتخاب

1. Conservation

جمعیت های مستقر در نواحی خشک یا دور از اقیانوس، به عنوان ابزاری برای یافتن نمک‌زدایی بیشتر هستند، همه جوامع می توانند از این تکنیک ها بهره ببرند.

به عنوان مثال، شهر لس آنجلس کالیفرنیا را در نظر بگیرید، یک شهر ساحلی خشک که تنها ۴۰ سانتی متر (۱۵,۷ اینچ) بارندگی در سال دارد. لس آنجلس، یک ناحیه شهری بزرگ است که حفاظت را برای تامین بخشی از نیازهای آبی آینده انتخاب کرده است. ناحیه لس آنجلس، هم‌اکنون حدود ۴ میلیون نفر جمعیت دارد و انتظار می رود که در ۲۰۲۰ به ۱۰ میلیون نفر افزایش یابد؛ انتظار می رود تقاضای آب به ۱۲۳ میلیون متر مربع در سال افزایش یابد [۷، ۱۲]. دپارتمان آب و نیروی لس آنجلس (LADWP) فلسفه آینده آبی شهر را اینگونه توصیف می کند: «حفاظت همچنان اساس سیاست مدیریتی منابع آب LADWP خواهد بود و همزمان با در نظر گرفتن منابع آبی جایگزین به طور کامل اجرا خواهد شد» [۱۳].

به علاوه ،LADWP یک طرح بزرگ بازگردانی آب را به عنوان راه‌حل مقرون به صرفه برای براورده کردن بخشی از تقاضای آتی شهر توسعه داده است [۱۴]. تاسیسات بازگردانی آب ادوارد سی. لیتل (ELWRF) که در شهر ال سگوندا، لس آنجلس، CA (معروف به «حوضه غربی») قرار دارد، نمونه حفاظت، بازگردانی و استفاده مجدد از اب است. این تاسیسات که در ۱۹۹۲ به دنبال خشکسالی شدید در کالیفرنیا در اواخر دهه ۱۹۸۰ و اوایل ۱۹۹۰ ایجاد شده است، امروزه حدود ۱۱۴۰۰۰ متر مکعب در روز آب بازگردانده شده (۴۱,۵ مترمکعب در سال) با سرمایه جاری ۵۰۰ میلیون دلار تولید می کند [۱۵]. پنج درجه آب، که به آب «طراح» مشهور است، توسط تاسیسات برای براورده کردن نیازهای صنایع محلی تولید می شود (نوع آب از کمترین کیفیت به بیشترین کیفیت فهرست شده است).

فاضلاب سوم (که به آب Title ۲۲ معروف است) برای کاربردهای کشاورزی و صنعتی مانند آبیاری زمین های گلف.

آب نیتریددار برای استفاده در برج های سردساز صنعتی،

آب اسمز معکوس شیرین شده برای تغذیه آب زیرزمینی،

آب اسمز معکوس برای آب تغذیه دیگ بخار کم فشار در پالایشگاه های محلی، و

آب اسمز معکوس فوق خالص برای آب تغذیه دیگ بخار فشار بالا در پالایشگاه های محلی.

هدف طرح بزرگ آب بازگرداننده شده LADWP، بازگردانی ۶۲ میلیون مترمکعب آب در سال تا ۲۰۱۹ با هزینه براورد شده ۷۱۵ میلیون تا ۱ میلیارد دلار است [۱۱، ۱۳]. ELWRF (حوضه غربی) نیز به دو سوم هدف بازگردانی آب دست یافته است.

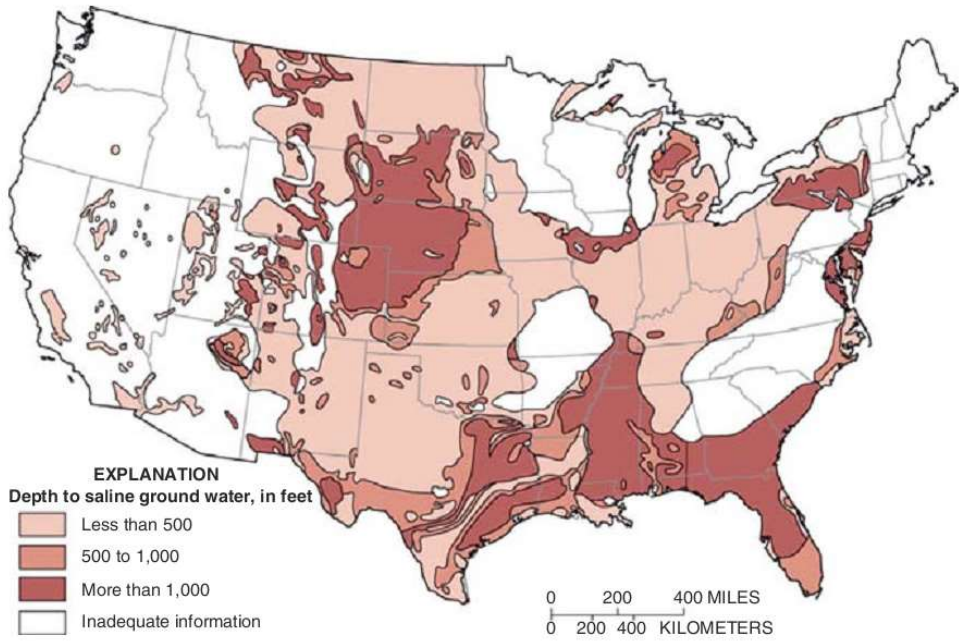
حفاظت و بازگردانی فاضلاب مثلاً در حوضه غربی در جنوب کالیفرنیا، نیازمند تصفیه‌ای مانند نمک زدایی برای تولید آبی است که مناسب استفاده مجدد باشد. حفاظت و بازگردانی، پتانسیل کندکردن نرخ توسعه موردنیاز منابع نمک‌زدایی در آینده را دارد، اما به خودی خود تمام نیاز به نمک‌زدایی را براورده نمی سازد.

۱-۳-۳- وسعه منابع جدید آب شیرین

توسعه منابع نمک‌زدایی دیگری غیر از منابع مرسوم، مانند دریاچه ها، رودخانه ها یا چاه های نسبتاً کم عمق، روش دیگری برای براورده کردن نیاز به نمک‌زدایی بیشتر است. منطقی ترین منابع جدید برای توسعه نمک‌زدایی، آب دریا و چاه های عمیق یا سفره های آبی شور هستند.

آب دریا، یک منبع مرسوم آب از نظر نمک زدایی است. آب دریا، منبع آب تغذیه شده اغلب تاسیسات نمک زدایی در جهان (۵۸،۸۵٪) است و افزایش شدید تاسیسات بزرگ آب دریا، موجب افزایش شدید ظرفیت نمک زدایی از ۲۰۰۳ شده است [۱۶]. اغلب این تاسیسات، در ناحیه خلیج عربی، الجزایر، استرالیا، و اسپانیا واقع شده‌اند؛ برای نواحی محصور با دریا و عموماً خشک مانند سواحل خلیج و استرالیا، تبدیل آب دریا به نمک‌زدایی طبیعی است.

منبع آب دریا، تنها به عنوان منبعی برای نواحی ساحلی مناسب است؛ نواحی جزیره‌ای باید بر منابعی مانند سفره های آب شور برای تامین نمک‌زدایی متکی باشد. شکل ۱-۵ نقشه بررسی زمین شناسی سفره های آب شور ایالات متحده را نشان می دهد؛ این نقشه در اوایل ۱۹۶۰ تولید شده است و از زمان اولین انتشار، به روزرسانی نشده است. توجه کنید که بیشتر فعالیت کنونی مراکز سفره آب شور، به جای منابع نمک‌زدایی، استفاده از آنها به عنوان گازهای گلخانه‌ای و اصولاً دی‌اکسیدکربن است [۱۷]. این امر احتمالا به علت نیاز به تصفیه آب برای تولید نمک‌زدایی از سفره های آب شور بر خلاف راحتی نسبی تزریق گازهای گلخانه‌ای است، فرایندی که نیاز به تصفیه ندارد.



شکل ۱-۵ نقشه زمین شناسی سفره های آب ایالات متحده، ۱۹۶۵.

جدول ۱-۱ طبقه بندی منابع آب به صورت تابعی از کل جامدات حل شده (TDS).

Source Water	Total Dissolved Solids (ppm)	Classification
Drinking Water*	< 500	Fresh
Fresh	< 1,000	Fresh
Brackish	1,000 – 5,000	Mildly Brackish
	5,000 – 15,000	Moderately Brackish
	15,000 – 35,000	Heavily Brackish / Seawater
Seawater	35,000	Standard Average Seawater
	35,000 – 45,000	Seawater

* سازمان بهداشت جهانی [۸].

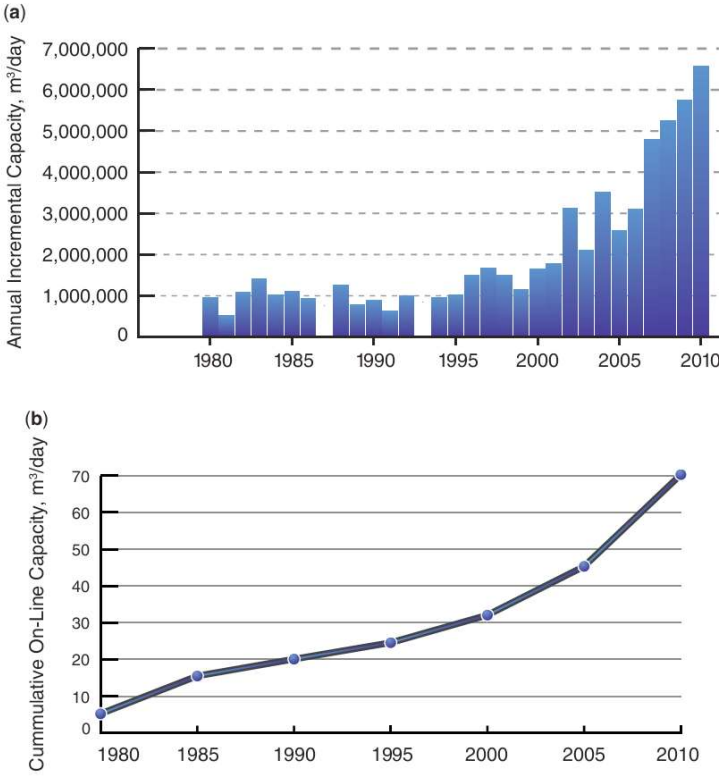
آب دریا و دیگر منابع شور، فرصتی برای براورده کردن نیازهای روبه رشد آبی جهان است. جدول ۱-۱ طبقه بندی متداول آب را به صورت تابعی از شوری نشان می دهد (توجه کنید که سفره های شور، حداقل با شوری متوسط در نظر گرفته می شوند). در این طبقه بندی ها حتی نمک‌زدایی با شوری بالا هم نیاز به تصفیه برای استفاده صنعتی یا آشامیدنی دارد تا غلظت موادمعدنی حل شده کاهش یابد. بنابراین، تکنیک های نمک‌زدایی، بازهم برای تولید آب باکیفیت از آبی که بدون تصفیه برای استفاده مستقیم مناسب نیست، ضرورت دارد.

۱-۴- نمک زدایی: آب از آب.

۱-۴-۱- هدف نمک‌زدایی

از بحث های انجام شده در این فصل می توان نتیجه گیری کرد که منابع جدید نمک‌زدایی را باید توسعه داد تا رشد تقاضا جبران شود. غیر از حرکت آب از مکانی به مکان دیگر، استفاده مجدد از فاضلاب و استفاده از منابع جایگزین آب، به تصفیه نیاز دارند تا آبی تولید شود که برای کاربرد صنعتی یا آشامیدنی مناسب است. و از آنجا که فاضلاب ها و منابع آبی جایگزین، عموماً جامدات حل شده بالایی دارند، فناوری های نمک زدایی اغلب به عنوان بخشی از طرح تصفیه موردنیاز است. بنابراین، محرک نمک زدایی مشخص است: تقاضای آتی برای آب باکیفیت نیازمند نمک زدایی منابع آبی است که کیفیت پایینی (جامدات محلول بسیار) نسبت به آب های مورداستفاده کنونی (که در آینده موجود نیستند) دارند.

نمک زدایی منابع آبی مختلف برای تولید نمک‌زدایی قابل استفاده از سال ۱۹۶۵ تقریباً به صورت نمایی توسعه یافته است، زمانی که ظرفیت نمک زدایی جهانی کمتر از ۲ میلیون مترمکعب در روز بود [۱۸]. تا سال ۲۰۱۱، ظرفیت نمک زدایی جهانی بیش از ۷۱ میلیون مترمکعب در روز بود [۱۶]. ظرفیت جدید برخط سال ۲۰۱۰ حدود ۶,۲ میلیون مترمکعب در روز بود و ظرفیت برخط جدید هر ساله از ۱۹۹۵ افزایش یافته است و افزایش ظرفیت آن از سال ۲۰۰۳ شیب تندی داشته است، همانگونه که در شکل ۱-۶a نشان داده شده است؛ شکل ۱-۶b ظرفیت برخط جمعی را از ۱۹۸۰ نشان می دهد [۱۶].



شکل ۱-۶ رشد ظرفیت نمک زدایی برخط جدید. با مجوز مرکز اطلاعات جهانی آب.

۱-۴-۲- منابع آب تغذیه ای نمک زدایی

منابع آب تغذیه ای برای نمک‌زدایی متغیر هستند. همانگونه که پیشتر ذکر شد، منابع تغذیه شونده می تواند از آب دریا و سفره های آب شور تا فاضلاب برای بازگردانی و استفاده مجدد مورد استفاده قرار گیرند. درحالیکه که آب دریا در اغلب تاسیسات نمک‌زدایی منبع آب تغذیه شده است، استفاده از دیگر منابع آب تغذیه ای، مانند آب شور، سفره های آب شور، و فاضلاب، به صورت پایدار از سال ۲۰۰۰ رشد داشته است [۱۶]. شکل ۱-۷ رشد سالانه ظرفیت قراردادی جدید در نوع آب تغذیه ای را نشان می دهد و شکل ۱-۸ ظرفیت کل جهانی نصب شده برای نوع آب تغذیه ای در سال ۲۰۱۰ را نشان می دهد [۱۶،۱۸].

اگرچه منابع جایگزین از نظر تعداد محدود به نظر می رسند، ترکیب مثال های خاص از طبقه بندی منابع مختلف می تواند بسته به منطقه هیدرولوژیکی شان بسیار متفاوت باشد. جدول ۱،۲ برخی از تغییرات در آب های سطحی و چاه ها نشان می دهد که آب دریا و منبع آب خاکستری برای مقایسه