



وزارت نیرو  
معاونت امور برق و انرژی  
دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی

# شیرین سازی آب با استفاده از فناوری های انرژی تجدیدپذیر

گروه نوآوری و توسعه فناوری های برق و انرژی

اردیبهشت ۹۳

فهرست مطالب

۳	.....مقدمه
۵	.....تاریخچه
۷	.....فناوری های شیرین سازی بر پایه دیواره- اسمز معکوس
۸	.....شیرین سازی آب با استفاده از انرژی های تجدیدپذیر
۱۰	.....شیرین سازی خورشیدی حرارتی
۱۱	.....شیرین سازی خورشیدی به روش فتوولتائیک
۱۲	.....انرژی مورد نیاز فرآیند شیرین سازی
۱۳	.....هزینه های شیرین سازی
۱۸	.....پتانسیل ها و موانع فناوری شیرین سازی
۲۱	.....منابع مورد استفاده

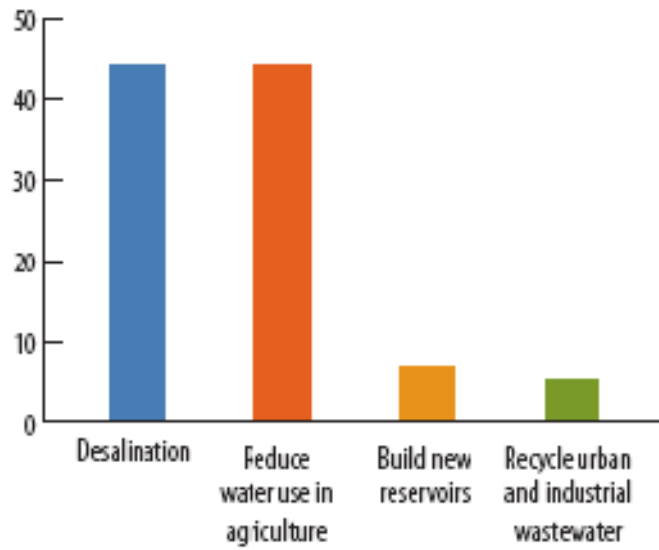
## مقدمه

تقاضای جهانی آب پیوسته در حال افزایش است این در حالی است که منابع آب شیرین به دلیل افزایش تقاضا و اثرات پدیده تغییر اقلیم به خصوص در مناطق نیمه خشک، ساحلی و جزیره ای نیز با محدودیت مواجه می باشند. شیرین سازی آب های شور یا لب شور یکی از روش های تأمین این تقاضای در حال افزایش می باشد. شیرین سازی آب یک فرآیند انرژی بر است که معمولاً از منابع انرژی فسیلی در تأمین آن استفاده می شود که علاوه بر محدودیت خود این منابع و قیمت بالای آنها در بازارهای جهانی، تأمین آنها در مناطق دورافتاده و مناطق جزیره ای با مشکلاتی همراه می باشد.

عمده واحدهای شیرین سازی تاکنون در مناطقی احداث شده اند که دسترسی به آب و قیمت های پایین انرژی وجود داشته است. این در حالی است که تنها ۱٪ این واحدها از منابع انرژی های تجدیدپذیر به عنوان منبع انرژی استفاده می کنند. با افزایش تقاضای آب شیرین و روند رو به کاهش قیمت فناوری های انرژی های تجدیدپذیر، کشورهای نظیر هند، چین و جزایر کوچک به عنوان بازارهای بالقوه سامانه های شیرین سازی بر پایه انرژی های تجدیدپذیر محسوب می گردند.

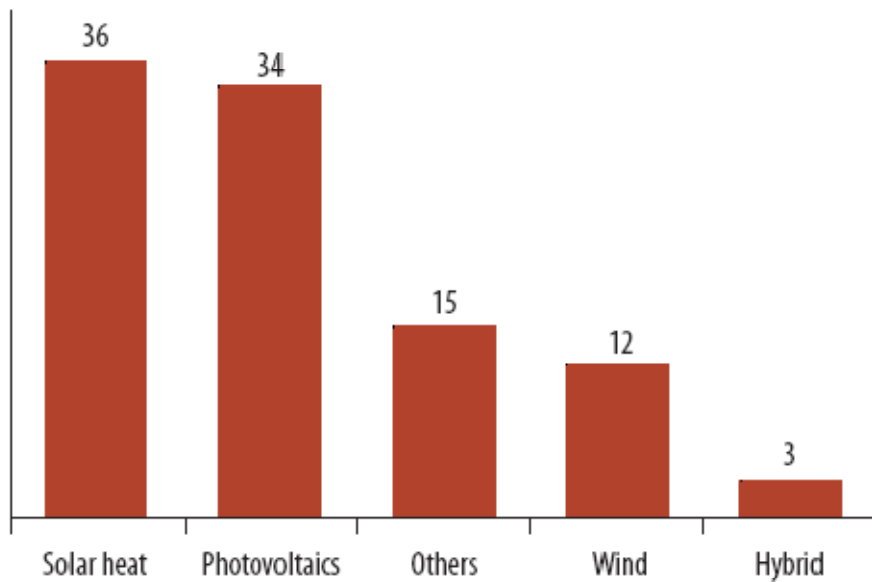
بر اساس مطالعات انجام شده توسط بانک جهانی، شیرین سازی به موازات کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی به عنوان یکی از مهمترین منابع جدید آب در سال ۲۰۵۰ لحاظ شده اند (تصویر ۱).

Sources of New Water Supplies by 2050 (percent)



تصویر ۱: منابع جدید آب تا سال ۲۰۵۰

Global Renewable Energy Desalination by Energy Source, 2009 (percent)



Source: ProDes 2010.

تصویر ۲: وضعیت جهانی کاربرد فناوری شیرین سازی آب بر پایه انرژی های تجدیدپذیر بر اساس نوع فناوری (درصد)

دو طبقه بندی کلی برای فناوری های شیرین سازی وجود دارد. شیرین سازی حرارتی<sup>۱</sup> (استفاده از حرارت برای تبخیر آب) و شیرین سازی دیواره ای<sup>۲</sup> یا اسمز معکوس (استفاده از فشار بالا حاصل از پمپ های الکتریکی جهت جداسازی آب شیرین از آب شور یا لب شور با استفاده از دیواره). سیاستمداران و تصمیم گیران این نکته را در نظر داشته باشند که انرژی خورشیدی به ویژه حرارت حاصل از سامانه های متمرکز خورشیدی (CSP) برای شیرین سازی حرارتی و برق حاصل از سامانه های فتوولتائیک و (CSP) برای شیرین سازی دیواره ای در مناطق خشک همانند خاورمیانه و مناطق شمال آفریقا (منطقه MENA) با پتانسیل بالقوه تابش بسیار مناسب است. این در حالی است که استفاده از انرژی باد جهت پروژه های شیرین سازی دیواره ای در مناطق ساحلی و جزیره ای از جذابیت بیشتری برخوردار است.

فرآیند شیرین سازی هنوز پرهزینه بوده و انتظار می رود طی سال های آینده با کاهش هزینه های فناوری های انرژی تجدیدپذیر روند نزولی پیدا کند. این مسأله به ویژه در در مناطق دورافتاده و جزایر دارای جمعیت اندک با زیرساخت های ضعیف جهت انتقال و توزیع آب شیرین و برق بسیار حائز اهمیت است.

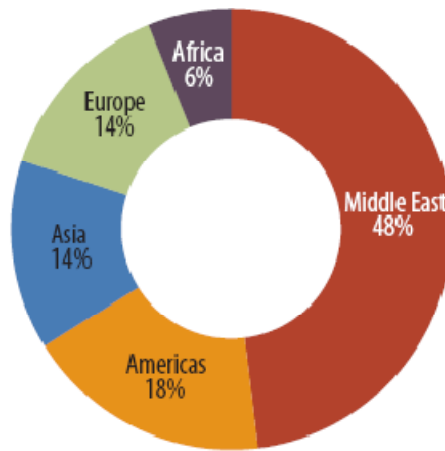
### تاریخچه

از دهه ۱۹۵۰، بسیاری از کشورهای منطقه MENA، واحدهای شیرین سازی را به منظور جبران کاهش منابع طبیعی آب شیرین توسعه داده و تا سال ۲۰۰۷، حدود ۵۴٪ از ظرفیت بالقوه شیرین سازی جهان در این منطقه نصب شده است (تصویر ۳). در بین ۱۵ کشوری که بیشترین ظرفیت نصب شده فناوری های رایج شیرین سازی در جهان را دارا می باشد ۹ کشور در منطقه MENA واقع شده اند.

<sup>1</sup> Thermal desalination

<sup>2</sup> Membrane desalination

## Distribution of Worldwide Desalination Capacity, 2007



Source: Latteman n 2010.

تصویر ۳: پراکندگی ظرفیت شیرین سازی در مناطق مختلف جهان

بر اساس مطالعات انجام شده توسط انجمن IDA<sup>۳</sup>، در حال حاضر حدود ۱۵۰۰۰ واحد شیرین سازی با ظرفیت ۷۱.۷ میلیون مترمکعب در روز در جهان وجود دارد که حدود ۶۰٪ از آب ورودی به این واحدها، آب دریا می باشد. در طول سال های گذشته حدود ۲۸۰۰ واحد شیرین سازی با ظرفیت تولید ۲۷ میلیون مترمکعب در روز آب شیرین از آب دریا (حدود ۳۸٪ ظرفیت جهان) در منطقه MENA مورد استفاده قرار گرفته است. عمده فناوری های مورد استفاده مشتمل بر فرآیندهای حرارتی (استفاده از برق و حرارت) یا فرآیند دیواره ای (فقط برق) بوده است (جدول ۱). فناوری مورد استفاده در حال حاضر عمدتاً بر پایه اسمز معکوس و چند مرحله ای سریع (MSF)<sup>۴</sup> بوده که به ترتیب ۶۰ و ۲۶.۸٪ از کل ظرفیت جهان را به خود اختصاص داده اند. امکان پذیری استفاده از هر نوع فناوری بر اساس عواملی چون قیمت انرژی، کیفیت آب و زیرساخت های منطقه تعیین می شود (تصویر ۴).

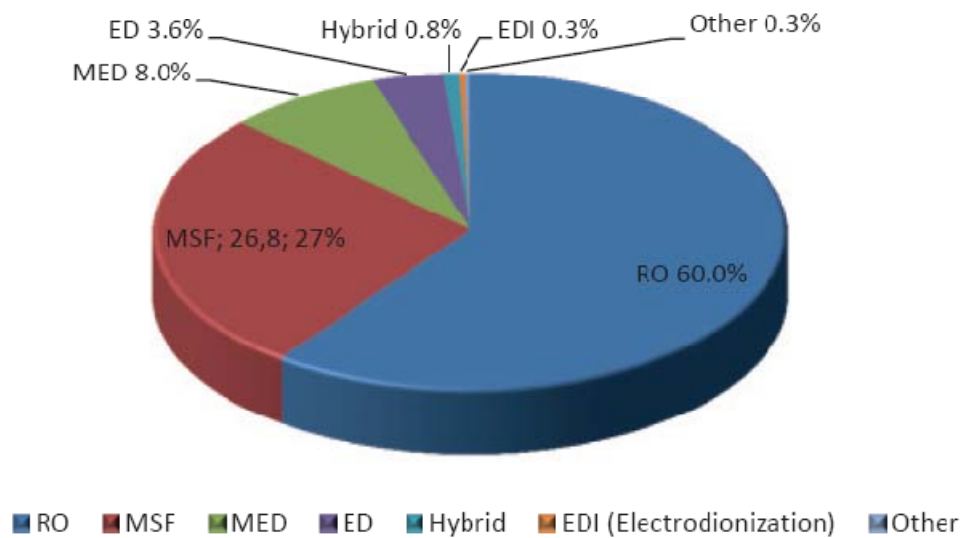
<sup>3</sup> International Desalination Association

<sup>4</sup> Multi Stage Flash

## شیرین سازی آب با استفاده از فناوری های انرژی تجدیدپذیر

جدول ۱: عمده ترین فناوری مورد استفاده در فرآیند شیرین سازی

Thermal Technologies	Membrane Technologies
Multi Stage Flash, MSF	Reverse Osmosis, RO
Multi Effect Distillation, MED	Electrodialysis, ED
Vapour Compression, VC	

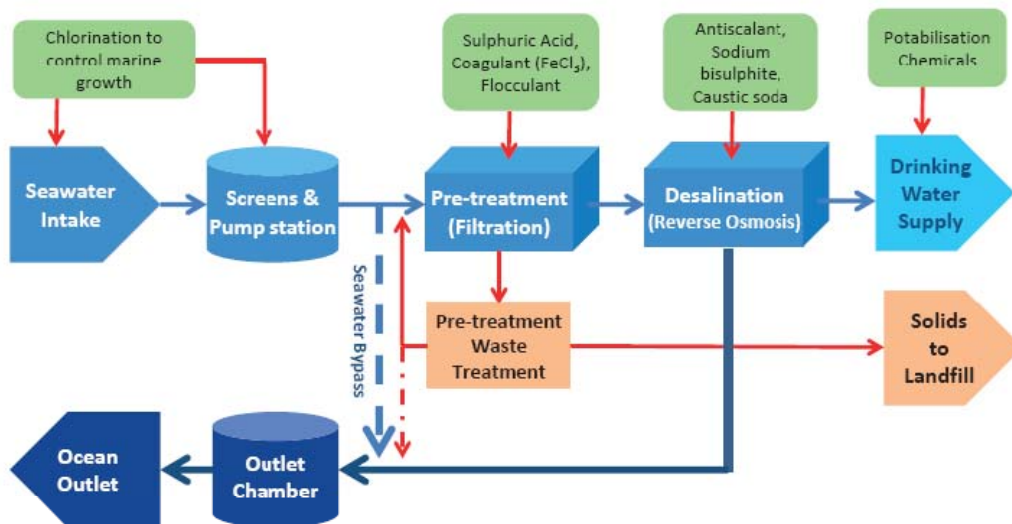


تصویر ۴: بازار فناوری های مختلف شیرین سازی

### فناوری های شیرین سازی بر پایه دیواره- اسمز معکوس

در این فرآیند از یک دیواره جهت جداسازی آب شیرین از آب شور استفاده می شود. آب ورودی از یک دیواره به صورت انتخابی عبور داده شده و نمک آن جدا می شود. در فرآیند اسمز معکوس فشار آب دریا به میزانی بیش از فشار اتمسفر افزایش داده شده و سپس از یک غشاء نیمه تراوا عبور داده می شود که طی این فرآیند ذرات جامد نمک جداسازی می شوند (تصویر ۵). واحدهایی که در آنها از فرآیند اسمز معکوس استفاده می شود به کیفیت آب

ورودی از قبیل میزان شوری، کدورت و دما بسیار حساس بوده در حالیکه سایر فرآیندها از چنین حساسیتی برخوردار نمی باشند.



تصویر ۵: فرآیند شیرین سازی آب به روش اسمز معکوس

### شیرین سازی آب با استفاده از انرژی های تجدیدپذیر

شیرین سازی آب با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر یک روش پایدار جهت تولید آب شیرین محسوب می گردد. انتظار می رود به کارگیری این روش با کاهش مستمر هزینه های فناوری های انرژی تجدیدپذیر از جذابیت اقتصادی بیشتری برخوردار گردد. استفاده از ظرفیت های انرژی تجدیدپذیر در مقیاس محلی راهکاری کم هزینه به خصوص در مناطق دورافتاده با جمعیت اندک و فاقد زیر ساخت های مناسب جهت انتقال و توزیع آب و برق به شمار می رود. شیرین سازی با استفاده از منابع تجدیدپذیر عمدتاً با استفاده از فرآیند اسمز معکوس (۶۲٪) و سپس فرآیندهای حرارتی نظیر *MSF* و *MED* صورت می گیرد. عمده ترین منبع انرژی خورشیدی فتوولتائیک می باشد که در ۴۳٪ از کاربرد های فعلی از آن استفاده شده پس از آن خورشیدی حرارتی و انرژی باد کاربرد داشته اند. استفاده از



## شیرین سازی آب با استفاده از فناوری های انرژی تجدیدپذیر

ترکیب مناسب منابع انرژی تجدیدپذیر با فناوری شیرین سازی روشی اقتصادی و سازگار با محیط زیست جهت تأمین نیاز آب و برق به طور همزمان به شمار می رود. ارزیابی فنی، هزینه ای و مطالعات امکان سنجی واحدهای شیرین سازی بر پایه انرژی های تجدیدپذیر نیازمند تجزیه تحلیل دقیق عواملی چون موقعیت مکانی، کیفیت (شوری) آب ورودی و آب شیرین خروجی، منابع تجدیدپذیر در دسترس، اندازه و ظرفیت واحد و قابلیت دسترسی به شبکه برق می باشد. مواردی چون تعمیر و نگهداری، انتقال آب ورودی و نیازهای پیش تصفیه آب نیز از مواردی است که باید مد نظر تصمیم گیران قرار گیرد. برخی فناوری ها مناسب واحدهای بزرگ و برخی نیز مناسب واحدهای کوچک هستند که به رایج ترین آنها در جدول ۲ اشاره شده است.

جدول ۲: ترکیب فناوری های انرژی های تجدیدپذیر و فناوری های شیرین سازی

Thermal Technologies	Membrane Technologies				
	MSF	MED	VC	RO	ED
Renewable Technologies	●	●	●	●	●
Solar thermal			●	●	●
Solar PV			●	●	●
Wind	●	●	●	●	●
Geothermal	●	●	●	●	●

شیرین سازی آب با استفاده از فناوری های انرژی تجدیدپذیر به ویژه در مناطق خشک با پتانسیل بالای تابش خورشید همانند *MENA* در حال افزایش است. بسیاری از این نوع واحدهای کوچک از ظرفیت های چند متر مکعب تا ۱۰۰ متر مکعب در روز در حال بهره برداری هستند. در حال حاضر تنها چند واحد متوسط با این نوع فناوری در این منطقه وجود دارد. در حال حاضر بزرگترین واحد شیرین سازی آب با استفاده از فناوری فتوولتائیک

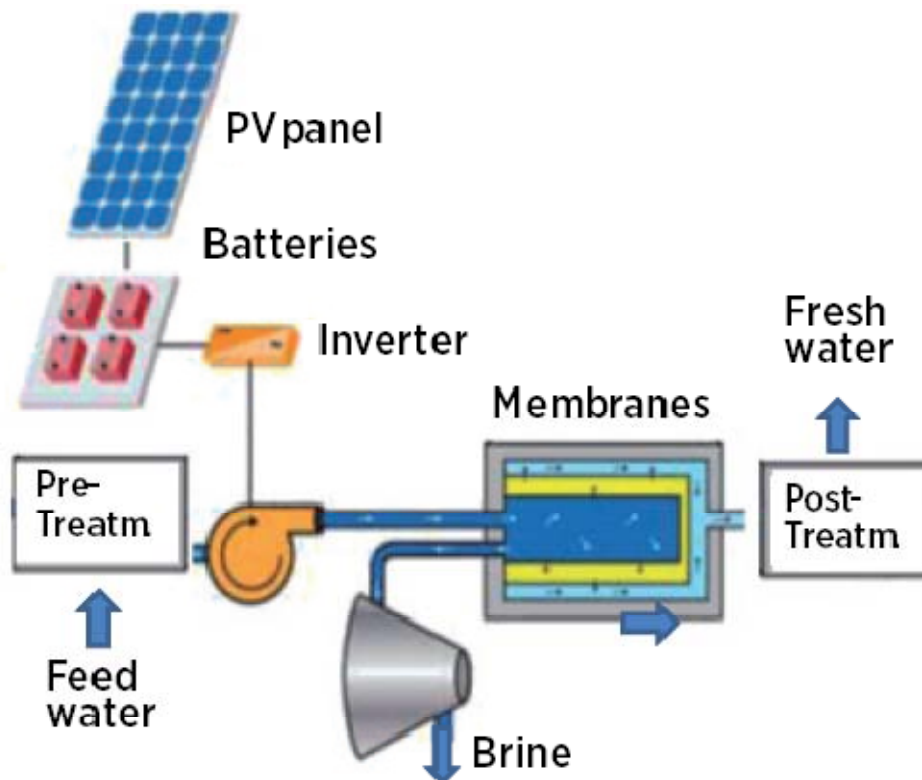
در دنیا با استفاده از فناوری جدید استفاده از نانو در ساخت دیواره در دست احداث در شهر الخفجی واقع در کشور عربستان سعودی می باشد که بخش از پروژه مشترک *KACST* و *IBM* است. در فاز اول این طرح یک واحد شیرین سازی با ظرفیت تولید ۳۰ هزار مترمکعب در روز نیاز حدود ۱۰۰ هزار نفر به آب را تأمین خواهد کرد. عربستان سعودی در حال حاضر ۱.۵ میلیون بشکه نفت در روز در واحدهای شیرین سازی خود مصرف می کند تا بین ۵۰ تا ۷۰٪ آب آشامیدنی این کشور را تأمین نماید. سایر واحدهای شیرین سازی آب بر پایه انرژی های تجدیدپذیر در کشورهای قبرس، مصر، اردن، مراکش، ترکیه، امارات متحده عربی و جزایر قناری قابل مشاهده هستند.

### شیرین سازی خورشیدی مرااتی

شیرین سازی آب دریا با استفاده با روش *MSF* و *MED* و به کارگیری حرارت حاصل از انرژی خورشیدی از فناوری های جذاب آینده به خصوص با استفاده از فناوری *CSP* در زمینه انرژی های تجدیدپذیر به شمار می رود. واحدهای *CSP* تابش های خورشیدی را جمع آوری و از تبدیل آن به حرارت، برق تولید می کنند این واحدها را می توان با واحدهای شیرین سازی با فناوری دیواره ای (مانند اسمز معکوس) یا سایر واحدها با فناوری شیرین سازی حرارتی تلفیق نمود. واحدهای *CSP* عمدتاً با سامانه های ذخیره ساز حرارتی تجهیز شده یا با نیروگاه های حرارتی رایج تلفیق می شوند. این روش منجر به طراحی های متفاوت این واحدها جهت تولید همزمان برق و حرارت با واحدهای شیرین سازی دارای فناوری حرارتی یا دیواره ای می گردد. *CSP* به عنوان یک فناوری چند منظوره برای تولید برق، حرارت و برودت و همچنین شیرین سازی آب در نظر گرفته می شود. بر اساس بررسی مرکز تحقیقات فضایی آلمان در سال ۲۰۰۷، در منطقه *MENA*، انتخاب فناوری *CSP-MED* یا *CSP* اسمز معکوس بسته به کیفیت آب ورودی به سیستم شیرین سازی خواهد بود. فرآیند *CSP-MED* نسبت به *CSP-RO* نیازمند انرژی کمتری در منطقه خلیج فارس که دارای آب با سطح بالای شوری است، می باشد.

## شیرین سازی فورشیدی به روش فتوولتائیک

فناوری فتوولتائیک را می توان به طور مستقیم با فرآیند اسمز معکوس واحدهای شیرین سازی ارتباط داد چرا که این فرآیند نیازمند برق به عنوان انرژی ورودی است (تصویر ۶)



تصویر ۶: تلفیق سامانه فتوولتائیک و اسمز معکوس در واحد شیرین سازی

بسیاری از سامانه های شیرین سازی کوچک مقیاس بر پایه فتوولتائیک در سراسر جهان به ویژه مناطق دورافتاده و جزیره ای مانند جزایر قناری (فناوری اسمز معکوس، ورودی آب دریا و ظرفیت ۱ تا ۵ مترمکعب در روز)، ریاض عربستان سعودی (اسمز معکوس، آب لب شور، ظرفیت ۵ مترمکعب در روز) و جزایر اوشیما ژاپن (فناوری ED، ورودی آب دریا، ظرفیت ۱۰ مترمکعب در روز) نصب شده اند. مهمترین مساله این فناوری بالا بودن هزینه سلول

های فتوولتائیک و باتری ها به منظور ذخیره برق می باشد. پیشرفت بیشتر فناوری به ویژه در ذخیره سازی برق می تواند منجر به گسترش استفاده از این نوع فناوری گردد.

### انرژی مورد نیاز فرآیند شیرین سازی

شیرین سازی آب فرآیندی انرژی بر است. فرآیند شیرین سازی دیواره ای (اسمز معکوس) تنها نیازمند برق است این در حالی است که فرآیند شیرین سازی حرارتی (*MSF, MED*) نیازمند برق و حرارت می باشد. شیرین سازی آب دریا با روش *MSF* به طور تقریبی ۲۹۰ کیلوژول بر کیلوگرم انرژی حرارتی به علاوه ۲.۵ تا ۳.۵ کیلوواتساعت (الکتریکی) بر مترمکعب انرژی مصرف می کند این در حالی است که واحدهای شیرین سازی به روش اسمز معکوس به حدود ۳.۵ تا ۵ کیلووات ساعت (الکتریکی) بر مترمکعب انرژی نیاز دارند. جدول ۳؟ نیازهای انرژی برای انواع فناوری های شیرین سازی را نشان می دهد.

جدول ۳: انرژی و سایر اطلاعات مورد نیاز برای انواع فناوری های شیرین سازی

	MSF	MED	SWRO <sup>1</sup>	ED
Operation temp., °C	90-110	70	Ambient	Ambient
Electricity demand, kWh/m <sup>3</sup>	2.5-3.5	1.5-2.5	3.5-5.0	1.5-4.0 feed water with 1500-3500 ppm solids
Thermal energy demand, kWh/ m <sup>3</sup>	80.6 (290 kJ/kg)	80.6 (290 kJ/kg)	0	0

SWRO: Spiral wound reverse osmosis

باید این نکته را در نظر داشت که میانگین انرژی مصرفی برای فرآیندهای شیرین سازی حدود ۵ کیلووات ساعت بر مترمکعب برای فناوری *MSF*، ۲.۷۵ کیلووات ساعت بر مترمکعب برای فناوری *MED*، ۲.۵ کیلووات ساعت بر مترمکعب برای فناوری اسمز معکوس و ۲.۷۵ کیلووات ساعت بر مترمکعب برای فناوری *ED* در نظر گرفته می شود. ظرفیت جهانی شیرین سازی حدود ۶۵.۲ میلیون مترمکعب در روز برآورد شده که جهت تأمین انرژی آن به طور تقریبی نیاز به ۲۰۶ میلیون کیلووات ساعت در روز برابر ۷۵.۲ تراوات ساعت می باشد. منابع انرژی تجدیدپذیر و به ویژه فناوری *CSP* با سامانه ذخیره سازی حرارتی سهم قابل توجهی در کاهش مصرف سوخت های فسیلی و انتشار دی اکسید کربن در واحدهای شیرین سازی خواهد داشت. سایر فناوری های انرژی تجدیدپذیر از قبیل فتوولتائیک و انرژی باد نیز چنانچه با سامانه های ذخیره سازی انرژی تجزیه شوند، سهم عمده ای در این جهت خواهند داشت.

### هزینه های شیرین سازی

#### -بر اساس مطالعات آژانس بین المللی انرژی های تجدیدپذیر *IRENA*

هزینه های شیرین سازی آب غالباً توسط هزینه های انرژی تعیین می شود. در این راستا امکان پذیری احداث واحدهای شیرین سازی وابستگی زیادی به دسترسی و هزینه های انرژی در محل پروژه خواهند داشت. مقایسه بین استفاده از نوع خاصی از فناوری های شیرین سازی بر مبنای ارزیابی شرایط واقعی منطقه می باشد. عوامل وابسته به مکان پروژه همانند انتقال آب ورودی به سامانه شیرین سازی، انتقال و تحویل آب شیرین به مصرف کننده نهایی، دفع آب نمک و اندازه واحد از عوامل اصلی تأثیر گذار بر هزینه های نهایی محسوب می شوند. بررسی هزینه ای پروژه آب شیرین کن در سال ۲۰۱۱ در کشور لیبی نشان می دهد که واحدهایی که از فناوری *MSF* در آنها استفاده

می شود از هزینه های سرمایه گذاری بیشتری برخوردارند این در حالی است که واحدهایی که در آنها از فناوری اسمز معکوس مورد استفاده قرار گرفته دارای هزینه های بالاتر بهره برداری و نگهداری به دلیل ماهیت پیچیده تر فناوری برخوردار هستند. این هزینه برای واحدهای تازه تاسیس شیرین سازی بین ۸۰۰ تا ۱۵۰۰ دلار (آمریکا) بر واحد ظرفیت (مترمکعب در روز) برآورد می شود. لازم به ذکر است این هزینه ها تابعی از عوامل محلی مانند هزینه های نیروی کار، نرخ تنزیل و ... می باشند. هزینه های بهره برداری و نگهداری حدود ۲ تا ۲.۵٪ هزینه های سرمایه گذاری در سال محاسبه می شوند. گرچه هزینه های احداث واحدهای آب شیرین کن از کاهش چشمگیری طی سال های گذشته برخوردار بوده اما این فناوری برای کشورهایی با درآمد متوسط، «اقتصادی» و برای کشورهای فقیر «بسیار گران» برآورد می گردد. هزینه تولید واحدهای آب شیرین کن با فناوری های رایج و با استفاده از سوخت های فسیلی بین ۱ تا ۲ دلار بر مترمکعب تعیین شده است. در شرایط مناسب (یک واحد بزرگ مقیاس جدید) هزینه های تولید تا ۰.۵ دلار بر هر مترمکعب نیز برآورد شده اند. در واحدهای موجود شیرین سازی ۳۰٪ هزینه ها مربوط به انرژی بوده قیمت برق در آنها حدود ۵ تا ۶ سنت بر هر کیلووات ساعت محاسبه شده است.

به طور کلی شیرین سازی آب بر پایه منابع انرژی تجدیدپذیر در مقایسه با فناوری های رایج شیرین سازی دارای هزینه های بالاتر سرمایه گذاری و تولید می باشد. اما در مناطق دورافتده که تولید انرژی پراکنده (برق و حرارت) نسبت به تولید متمرکز، انتقال و توزیع ارجحیت بیشتری دارد، شیرین سازی با استفاده از فناوری های تجدیدپذیر قابل رقابت با فناوری های رایج است.

هزینه شیرین سازی آب با فرآیندهای رایج و با استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در جدول ذیل آورده شده است. اغلب این فناوری ها به جز فناوری *Solar/CSP-MED* مورد استفاده قرار گرفته اند. با توجه به روند پر شتاب کاهش هزینه های انرژی های تجدیدپذیر، پیشرفت های فنی و افزایش استفاده از این منابع انرژی، انتظار می رود در آینده

نزدیک فناوری شیرین سازی بر پایه انرژی های تجدیدپذیر از کاهش چشم گیری در هزینه ها برخوردار شده و به عنوان یک منبع مهم تأمین آب در مناطق کم آب مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۴: هزینه های شیرین سازی آب با استفاده از فناوری های انرژی های تجدیدپذیر

	Technical Capacity	Energy Demand (kWh/m <sup>3</sup> )	Water Cost (USD/m <sup>3</sup> )	Development Stage
Solar stills	< 0.1 m <sup>3</sup> /d	Solar passive	1.3–6.5	Application
Solar-Multiple Effect Humidification	1–100 m <sup>3</sup> /d	thermal: 100 electrical: 1.5	2.6–6.5	R&D Application
Solar- Membrane Distillation	0.15–10 m <sup>3</sup> /d	thermal: 150–200	10.4–19.5	R&D
Solar/CSP-Multiple Effect Distillation	> 5,000 m <sup>3</sup> /d	thermal: 60–70 electrical: 1.5–2	2.3–2.9 (possible cost)	R&D
Photovoltaic-Reverse Osmosis	< 100 m <sup>3</sup> /d	electrical: BW: 0.5–1.5 SW: 4–5	BW: 6.5–9.1 SW: 11.7–15.6	R&D Application
Photovoltaic-Electrodialysis Reversed	< 100 m <sup>3</sup> /d	electrical: only BW:3–4	BW:10.4–11.7	R&D
Wind- Reverse Osmosis	50–2,000 m <sup>3</sup> /d	electrical: BW: 0.5–1.5 SW: 4–5	Units under 100 m <sup>3</sup> /d, BW:3.9–6.5 SW:6.5–9.1 About 1,000 m <sup>3</sup> /d, 2–5.2	R&D Application
Wind- Mechanical Vapor Compression	< 100 m <sup>3</sup> /d	electrical: only SW:11–14	5.2–7.8	Basic Research
Wind-Electrodialysis	–	–	BW: 2.0–3.5	–
Geothermal-Multi Effect Distillation	–	–	SW: 3.8–5.7	–

**Solar Stills:** simple and old technology where the incident short wave radiation is transmitted and absorbed as heat

**Multiple Effect Humidification:** use of heat from highly efficient solar thermal collectors to induce multiple evaporation/condensation cycles

**Membrane Distillation:** thermally driven distillation process with membrane separation

**Reversed Electrodialysis:** same principle as **Electrodialysis (ED)** except for the fact that the polarity is reversed several times per hour

**CSP:** Concentrated Solar Power

**BW:** Brackish Water; **SW:** Sea Water

Note: cost calculated at the exchange rate of 1.3 from euro to USD.

## -بر اساس مطالعات بانک جهانی

هزینه های فناوری های رایج شیرین سازی: به طور کلی شیرین سازی فرآیند هزینه بری است اما برای برخی کشورها این فناوری ها گزینه موجود محسوب می گردد.

هزینه های سرمایه گذاری

این هزینه ها عمدتاً شامل تاسیسات، ذخیره سازی آب و پمپ، آماده سازی محل، فعالیت های عمرانی، تجهیز ماشین آلات و انجام کارهای الکتریکی می باشد. در جدول ۵ این هزینه ها درج گردیده است. برای واحدهای اسمز معکوس با آب ورودی دریا بسته به کیفیت آب ورودی، عمده هزینه های سرمایه گذاری به واحدهای پیش تصفیه و پساب (پساب های نمکی) اختصاص داده می شود.

جدول ۵: هزینه های سرمایه گذاری رایج برای شیرین سازی آب دریا (دلار آمریکا بر مترمکعب در سال)

	MSF	MED-TVC	SWRO
Capital investment cost, 1998–2005	900–1,750	900–1,450	650–900
Capital investment cost, 2006–08	1,700–2,900	1,700–2,700	1,300–2,500
Current study <sup>a</sup>	n.a.	1,800	1,748–2,425

Source: Fichtner and DLR 2011.

Note: Data from previous contracts (1998–2008) are based on actual contracted cost irrespective of plant size, site conditions, and type of contract (engineering, procurement and construction or EPC; build own operate transport, or BOOT). n.a. = not applicable.

a. The cost estimate is based on a medium-sized desalination plant with capacity of approximately 100,000 m<sup>3</sup> per day. Large cost variation under seawater reverse osmosis (SWRO) is due to different pretreatment levels (appendix C). In this volume, MSF was not considered for analysis as it normally requires more energy than MED.

هزینه های سرمایه گذاری کاملاً وابسته به شرایط محل انجام پروژه بوده و بر اساس نوع قرارداد احداث و اندازه واحد متغیر هستند. به طور کلی می توان انتظار داشت هزینه های سرمایه گذاری هر دو فناوری شیرین سازی حرارتی



## شیرین سازی آب با استفاده از فناوری های انرژی تجدیدپذیر

مشابه و حدود ۱۷۰۰ دلار آمریکا بر مترمکعب در روز برآورد شود. در مقایسه هزینه های سرمایه گذاری واحدهای اسمز معکوس حدود ۲۵٪ پایین تر برآورد می شوند.

### هزینه های بهره برداری

انتقال آب از منبع به مصرف کننده به ویژه در مناطق مرتفع بسیار هزینه بر خواهد بود. دسترسی به انرژی و منابع، شرایط محل و سخت گیرانه بودن قوانین زیست محیطی بر انتخاب نوع فناوری بسیار مؤثرند. این نوع هزینه، به هزینه های نیروی کار انسانی، انرژی، مواد شیمیایی مصرفی و مباحث بیمه ای ارتباط می یابند. برای واحدهایی که از فناوری اسمز معکوس با ورودی آب دریا استفاده می کنند، هزینه ها شامل هزینه های مرتبط با دیواره ها و هزینه های اضافی مربوط به مواد شیمیایی مورد استفاده در مراحل پیش تصفیه و تصفیه نهایی نیز می گردد. در جدول ذیل این هزینه ها آورده شده است. هزینه بالای استفاده از فناوری *MSF* به دلیل انرژی بر بودن آن نسبت به سایر فناوری ها می باشد. هزینه های بهره برداری حدود ۴۰ تا ۶۰٪ کل هزینه های شیرین سازی آب را به خود اختصاص می دهند.

جدول ۶: هزینه های بهره برداری رایج در شیرین سازی آب دریا (دلار آمریکا بر مترمکعب)

	MSF	MED-TVC	SWRO
Operating costs 1998–2004	1.10–1.25	0.75–0.85	0.68–0.82
Operating costs 2006–08	0.65	0.54	0.47
Current study	—	0.67–0.96	0.58–0.88

Source: 1998–2004 data from World Bank 2004; 2006–08 based on data from GWI/DesalData 2010.

Note: — = not available.

### هزینه های کلی شیرین سازی

با لحاظ نمودن هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری، هزینه کلی شیرین سازی از ۱.۰۶ تا ۱.۵۹ دلار آمریکا بر

مترمکعب بر اساس نوع فناوری مورد استفاده، هزینه های انرژی و منطقه پروژه متفاوت است.

هزینه های فناوری های رایج شیرین سازی با استفاده از منابع انرژی های تجدیدپذیر: بر اساس مطالعات بانک جهانی، دسترسی به انرژی کافی در زمان و مکان مورد نیاز یک عامل اساسی در به کارگیری فناوری های انرژی تجدیدپذیر به منظور شیرین سازی آب به شمار می رود. کلیه منابع انرژی تجدیدپذیر می توانند جهت تولید برق با مصارف مختلف در نظر گرفته شوند در جدول ذیل هزینه های شیرین سازی آب دریا با استفاده از فناوری های مختلف انرژی های تجدیدپذیر نشان داده شده است.

جدول ۷: هزینه های شیرین سازی آب دریا با استفاده از فناوری های مختلف انرژی های تجدیدپذیر

RE source	Solar heat			PV			Wind	
Desalination technology	CSP-MED	MEH	Stills	EDR	RO	MVC	Small	Large
Production (m <sup>3</sup> /day)	>5,000	1-100	<0.1	<100	<100	<100	50	1,000
Cost (€/m <sup>3</sup> )	1.8-2.2	2-5	1-15	8-9	9-12	4-6	5-7	1.5-4.0

Source: After ProDes 2010, table 1.2.

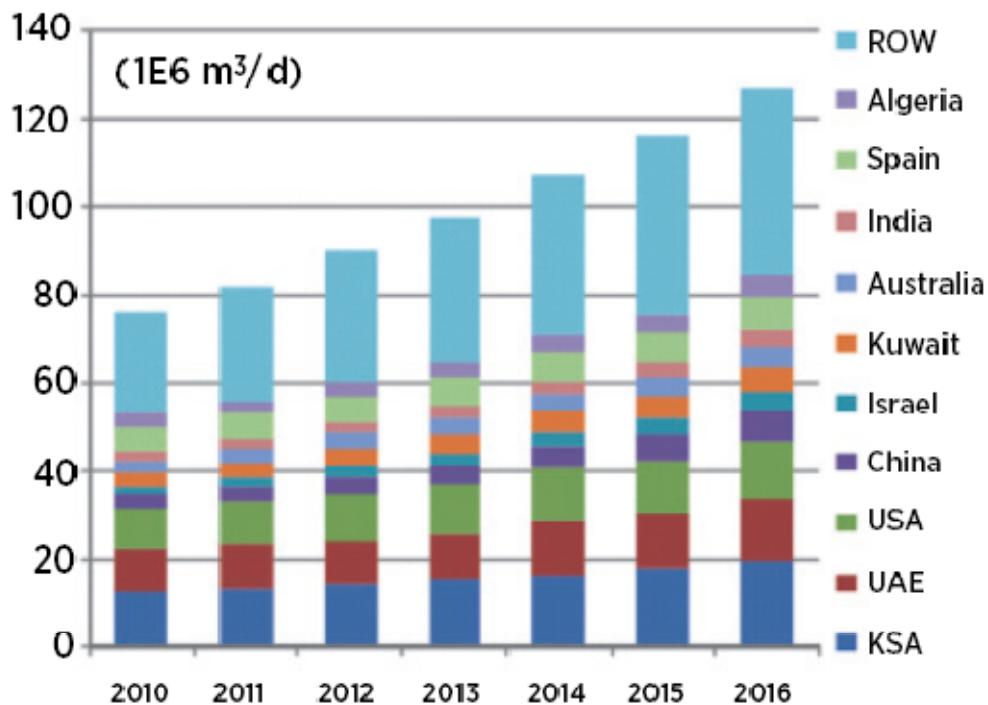
Note: €1.0 = US\$1.40; EDR = electro dialysis reverse; MEH = multi-effect humidification; MVC = mechanical vapor compression.

### پتانسیل ها و موانع فناوری شیرین سازی

#### پتانسیل ها

انتظار می رود ظرفیت جهانی واحدهای شیرین سازی مشتمل بر شیرین سازی بر پایه انرژی های تجدیدپذیر بین سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ رشد سالانه بیش از ۹٪ را تجربه نماید. همانگونه که تصویر؟؟ نشان می دهد رشد بازار این فناوری هم در کشورهای توسعه یافته و هم در کشورهای در حال توسعه نظیر آمریکا، چین، عربستان سعودی و امارات متحده عربی روی خواهد داد. همچنین پتانسیل قابل توجهی در مناطق روستایی و دورافتاده به خصوص مناطق جزیره ای (ROW) که دسترسی به سوخت های فسیلی و شبکه برق اقتصادی نمی باشد برای این فناوری وجود دارد. حدود ۵۴٪ از این رشد در منطقه MENA پیش بینی می شود. بر اساس پیش بینی آژانس بین المللی

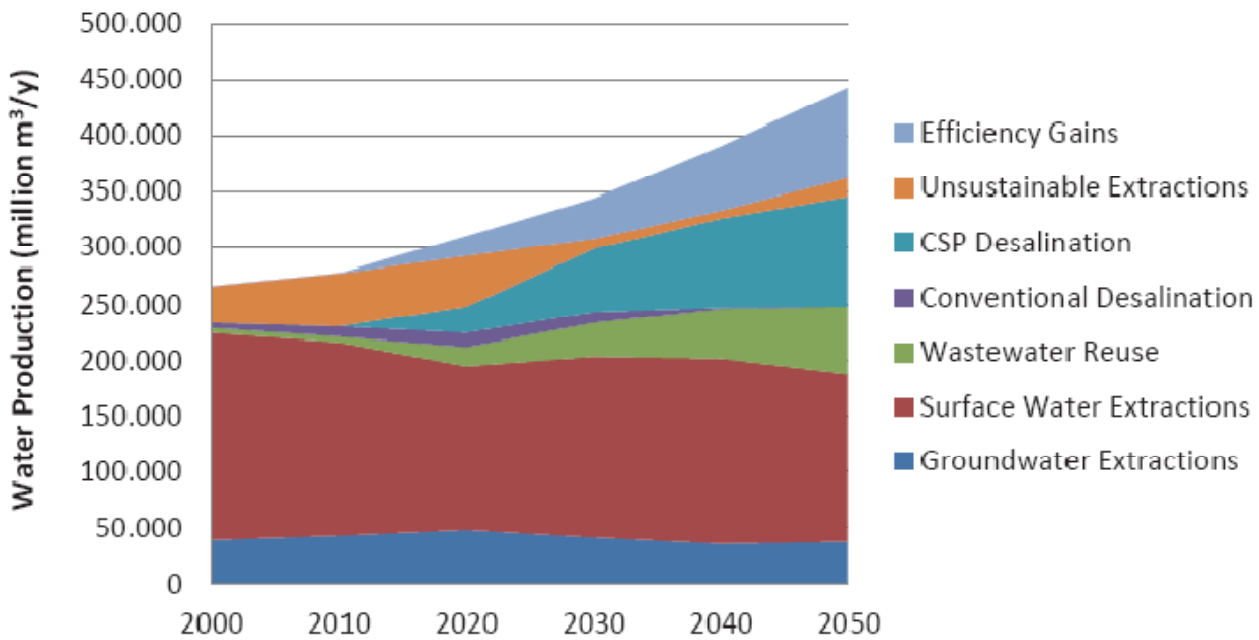
انرژی، به دلیل رشد جمعیت و تهی شدن منابع آب سطحی و زیرزمینی در این منطقه، تقاضای آب از ۹ میلیارد مترمکعب در سال ۲۰۱۰ به بیش از ۱۳.۳ میلیارد مترمکعب در سال ۲۰۳۰ افزایش یابد. در نتیجه انتظار می رود ظرفیت شیرین سازی در این منطقه از ۲۱ میلیون مترمکعب در روز در سال ۲۰۰۷ به حدود ۱۱۰ میلیون مترمکعب در روز تا سال ۲۰۳۰ افزایش یابد که حدود ۷۰٪ این ظرفیت در کشورهای عربستان سعودی، امارات متحده عربی، کویت، الجزایر و لیبی خواهد بود.



تصویر ۷: ظرفیت جهانی شیرین سازی آب طی سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶

این مسأله مصرف انرژی در منطقه را به شدت افزایش خواهد داد. انتظار می رود تقاضای سالانه برق برای شیرین سازی در منطقه MENA تا ۱۲۲ تراوات ساعت یعنی حدود ۳ برابر در مقایسه با سال ۲۰۰۷ افزایش یابد. همانطور که قبلاً اشاره شد انرژی خورشیدی به ویژه فناوری CSP با ذخیره سازی حرارتی، پتانسیل قابل توجهی برای ترکیب تولید برق و آب شیرین در این منطقه دارد. بر اساس مطالعات انجام شده (تصویر ۹؟)، انتظار می رود شیرین سازی با

استفاده از فناوری CSP یکی از مهمترین روش های استحصال آب شیرین در این منطقه محسوب گردد که حدود ۱۶٪ از کل تولید در سال ۲۰۳۰ و ۲۲٪ در سال ۲۰۵۰ در منطقه را تأمین نماید. در این مطالعه سناریو مورد نظر مشتمل بر دسترسی به آب سطحی و زیرزمینی بر اساس تغییرات اقلیمی ملایم تا متوسط و سناریوی بیابان زایی لحاظ شده است. از سوی دیگر، انتخاب فناوری های مناسب نیازمند ارزیابی دقیق است، فناوری های دیواره ایمناسب شیرین سازی آب دریا در مناطقی که شوری آب در سطوح بالایی قرار دارد نمی باشد چرا که این فناوری نیازمند انرژی زیادی جهت فرآیند پیش تصفیه جهت جلوگیری از نشست رسوب در سامانه می باشد.



تصویر ۸: سناریو تقاضای آب در منطقه MENA طی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۵۰

## موانع

ترکیب انواع فناوری های تجدیدپذیر و فرآیندهای شیرین سازی که نیازمند وجود منبع مداوم انرژی که از لحاظ اقتصادی، فنی و سازماندهی شایان توجه هستند از عمده این موانع محسوب می گردند. پیشرفت های فنی همانند دسترسی به انرژی تجدیدپذیر و فناوری های ذخیره ساز انرژی کم هزینه یکی از راهکارها جهت مواجهه با مشکلات

حاصل از طبیعت متغیر منابع انرژی های تجدیدپذیر است. مسأله مهم دیگر دفع پساب های نمکی دارای محتوی نمک بالا می باشد که باید به شکل اصولی دفع یا بازیابی گردد که در حال حاضر عمدتاً به دریا تخلیه شده یا رقیق شده یا در فضای باز اسپری می گردد. اثرات منفی این پساب بر محیط زیست و رشد روزافزون ظرفیت شیرین سازی این معنی است که نیازمند راهکاری پایدار و مناسب برای دفع اصولی این پساب یا بازیابی آن به منظور پیشگیری از اثرات منفی این فناوری بر محیط زیست خواهیم بود.

#### منابع مورد استفاده

1. *IEA-ETSAP and IRENA, Water desalination using renewable energy, Technology Brief, March 2012*
2. *The World Bank, MENA Development Report, Renewable Energy Desalination, 2012*