



A Comprehensive Approach to Addressing Saline Water Issues: An In-Depth Study on Desalination Methods

Nima Moghaddam^{1*}, Yusef Moghaddam²

Abstract

We know that life is not possible without water, and many human activities, progress, and development undoubtedly depend on the existence of water. Among these, freshwater holds special importance for the life of living organisms, plants, animals, and especially humans. Historically, human populations have concentrated in areas where freshwater was readily available nearby. Even in places surrounded by oceans and seas, the significance of freshwater was paramount. In fact, saline water had no benefit for human life unless a way was found to convert saline water to freshwater. Although this was not possible in ancient times, advancements in science and knowledge have made it feasible today. Approximately 99% of the Earth's surface water is either highly saline or, if it is freshwater, most of it exists in polar ice, which poses significant environmental challenges and contributes to global warming. In other words, freshwater reserves constitute just over 2% of the world's water, with the accessible portion for humans being around 0.1% to 0.3%. Therefore, this article will examine various methods of desalinating saline water and their benefits and costs.

Keywords: *Freshwater, conversion of saline water to freshwater, surface water, polar ice, global warming.*

¹ Master student of university of Tehran. Nimaznu98@gmail.com

² Director of Revenue and Customer Affairs of the Water and Wastewater Department of Qazvin County



رویکرد جامع برای حل مشکل آب‌های شور: مطالعه‌ای جامع بر روی روش‌های شیرین‌سازی آب شور

نیما مقدم^{۱*}، یوسف مقدم^۲

چکیده

می‌دانیم که بدون وجود آب، زندگی ممکن نیست و بسیاری از فعالیت‌های انسان، پیشرفت و توسعه، بدون شک به وجود آب بستگی دارد در این میان آب شیرین در زندگی موجودات زنده، گیاهان، جانوران و به ویژه انسان‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از قدیم تراکم زندگی انسان‌ها بیشتر در محل‌هایی بوده است که آب شیرین در آن حوالی به راحتی در دسترس بوده است؛ و اگر هم در مکان‌هایی زندگی می‌کردند که اقیانوس‌ها و دریاها در اطراف آنجا وجود داشته اما اهمیت آب شیرین بسیار مهم بوده و عملاً آب شور بدون وجود آب شیرین برای زندگی انسان‌ها فایده‌ای نداشته، مگر آنکه راهی برای تبدیل آب شور به آب شیرین پیدا می‌کردند که در زمان‌های دور این امکان وجود نداشته اما امروزه با پیشرفت علم و دانش این کار ممکن گشته است. در حدود ۹۹ درصد آب‌های سطحی زمین یا خیلی شور بوده و یا اگر هم شیرین هستند بخش اعظم آن‌ها به صورت یخ‌های قطبی می‌باشند که به علل زیست‌محیطی استفاده از آن‌ها بسیار برای حیات کره زمین مضر می‌باشد و از عوامل گرمایش زمین خواهد بود، پس به عبارت دیگر ذخایر آب شیرین کمی بیش از ۲ درصد آب‌های موجود در جهان است که بخش در دسترس برای انسان‌ها در حدود ۰/۱ الی ۰/۳ درصد می‌باشد. لذا این مقاله به بررسی روش‌های گوناگون شیرین کردن آب‌های شور و مزایا و هزینه‌های آن خواهد پرداخت.

واژه‌های کلیدی: آب شیرین، تبدیل آب شور به شیرین، آب‌های سطحی، یخ‌های قطبی، گرمایش زمین

* دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه تهران. Nimaznu98@gmail.com

^۲ مدیر اداره درآمد و امور مشترکین اداره آب و فاضلاب شهرستان قزوین

مقدمه

در این تحقیق در پی آن هستیم که روش های گوناگون شیرین کردن آب شور را بررسی نماییم تا در نهایت به بهترین و مقرون به صرفه ترین روش شیرین کردن آب شور را بعد از بررسی هزینه های مالی و زیست محیطی و مزایای گوناگون برسیم. لذا گام به گام به بررسی روش های موجود، هزینه ها و مزایای آنها از نگاه این مقاله پرداخته خواهد شد.

با توجه به گرمای بی سابقه ای که کره زمین در سال ۲۰۲۳ در برخی مناطق تجربه کرد این مهم مورد توجه قرار می گیرد که تنش آبی دیر یا زود گریبان گیر همه جهان خواهد شد و سهل انگاری است اگر تصور کنیم این بحران بر مسائل گوناگون از جمله اقتصادی، سیاسی، نرخ رشد جمعیت و... تاثیر نخواهد گذاشت مگر آنکه امید داشته باشیم به اینکه یا از همین حالا از منابع آب شیرین موجود و حتی شور قابل مصرف صحیح و نظام مند استفاده کنیم؛ یا از منابع آبی وسیع یخ های قطبی با چشم پوشی از آسیب های زیست محیطی آن استفاده شود و یا کمبود آب مورد نیاز با شیرین کردن منابع عظیم آب های شور سطحی و زیرزمینی جبران شود (Jones et al., 2019).

این واقعیت که ما در جهانی تشنه زندگی می کنیم انکار ناپذیر است، با آنکه اطراف ما را منابع عظیم آب معادل $1/4 \times 10^9$ کیلومتر مکعب فرا گرفته اما ۹۷/۵ درصد از این آب، آب دریا می باشد که میانگین شوری آن ۳۵۰۰ppm یا میلی گرم در لیتر می باشد (Ibrahim et al., 2017; Shahzad et al., 2018; Darre et al., 2017). حداکثر میزان شوری که یک آب می تواند داشته باشد تا سازمان بهداشت جهانی آن را آب شیرین تلقی کند آبی است با غلظت شوری ۵۰۰ppm (Esfahani et al., 2016). به طور کلی شیرین کردن آب های شور به قرن ها پیش باز

می گردد از جمله موارد تاریخی می توانیم به نمونه های زیر اشاره کنیم. اسکندر افرویدی در ۳۲۰ قبل از میلاد توصیف کرد که ملوانان آب دریا را می جوشانند و مصرف می کردند. همچنین فرانسیس بیکن در سفرش به برزیل زمانی که با کمبود آب شیرین مواجه شد پیشنهاد شیرین کردن آب شور دریا با فیلتر های شنی را داد [5] در حدود ۴۰۰ سال پیش یعنی در اواسط دهه ۱۷۰۰ میلادی با گسترش کشتی های بخار دانشمندان به فکر تهیه آب شیرین برای دیگ های بخار افتادند که دستگاه کوچکی وظیفه شیرین سازی آب را انجام می داد که بعد هادر خشکی ها برای مصرف و تغذیه دیگ های بخار به آب تقطیر شده مورد استفاده قرار گرفت (Nair et al., 2013; Kordavani et al., 2007; Abotalib et al., 1965; Mehraban et al., 1980; Moghaddam et al., 2023).

از شیرین کردن آب شور برای توسعه عملیات های اکتشافی معادن در مناطق خشک هم استفاده می شد برای مثال در معادن کشور شیلی، نمک زدایی از آب، بیش از یکصد سال سابقه دارد و اولین آن در سال ۱۸۷۳ میلادی بود که با کمک انرژی خورشیدی در زمینی به مساحت ۴۰۰۰ متر مربع برای تولید ۶۰۰۰ گالن آب شیرین در روز انجام گرفت (Moghaddam et al., 2023). امروزه با ۱۶۰۰۰ دستگاه آب شیرین کن عملیاتی در سطح جهان در حدود ۹۵ میلیون مترمکعب بر روز آب شیرین در جهان تولید می شود (Jones et al., 2019; Zhang et al., 2021).

مواد و روش ها

به دلیل اهمیت ویژه آب شیرین از زمان های قدیم روش های گوناگونی برای نمک زدایی از آب شور و تبدیل آن به آب شیرین ابداع شده است که در

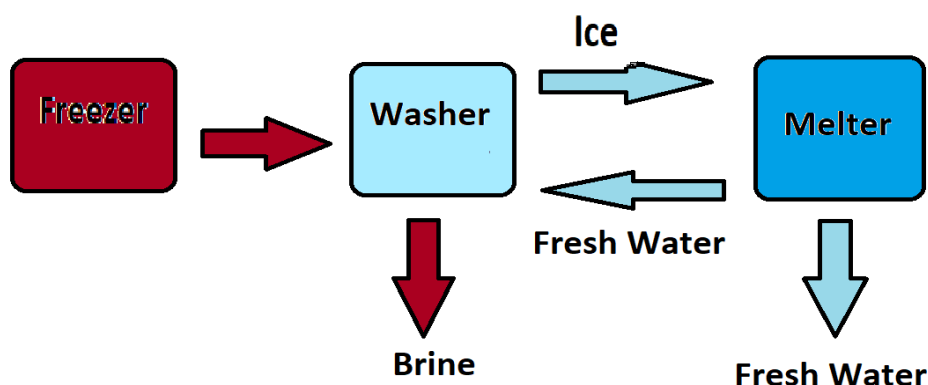
این مقاله به بررسی تمامی آنها از نگاه خودمان خواهیم پرداخت.

شیرین کردن آب به روش سرد کردن یا

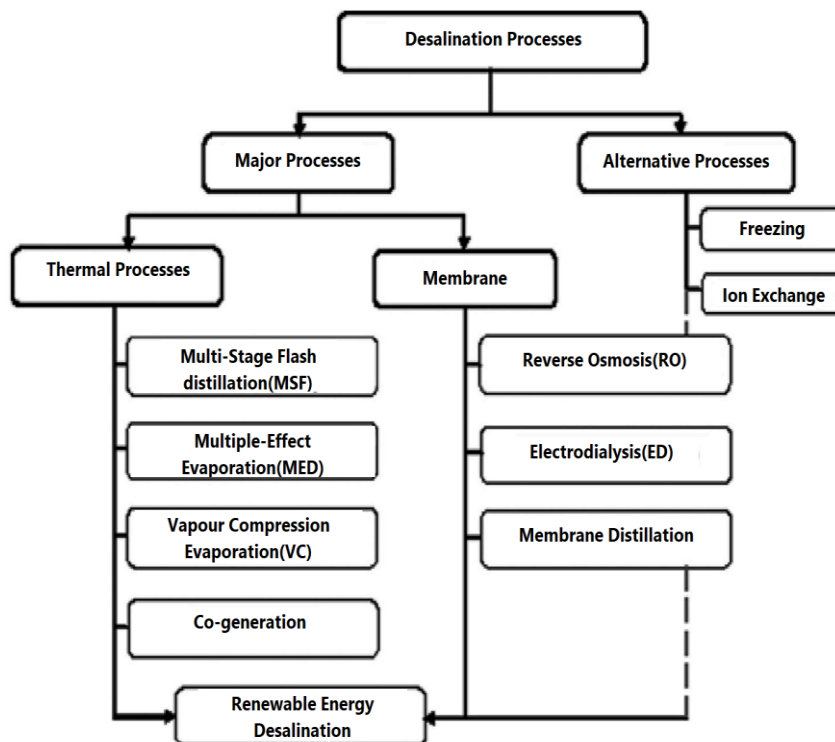
انجماد

به این روش تقطیر سرد نیز گفته می‌شود و بر اساس آن بنا شده است که اگر بتوانیم از آب شور یخ تولید کنیم آب به وجود آمده از این انجماد شیرین خواهد بود، به عبارت دیگر یعنی نمک‌های موجود در این آب در اطراف و گوشه‌های بلور یخ تجمع پیدا می‌کنند که با شستشوی این نمک‌ها می‌توان آب شیرین را استخراج کرد، بنا بر این روش انجماد دارای سه مرحله کلی می‌باشد که عبارت‌اند از تولید بلور یخ بر اثر گرفتن حرارت از آب شور یا همان

کریستالیزاسیون یخ، که به برخی مواد سرد کننده احتیاج دارد، سپس جداکردن بلور یخ از املاح یا پساب باقی مانده با شستشوی یخ و در نهایت ذوب کردن بلور یخ برای تولید آب شیرین (Williams et al., 2015; Kordavani et al., 2007). این روش مقدار زیادی آب شیرین را حاصل نمی‌کند و هزینه آن نسبت به صرفه آن زیاد می‌باشد. اصل فرآیند نمک زدایی انجماد بر این واقعیت استوار است که نمک در طول انجماد از آب نمک دفع می‌شود. یخ، شبکه کریستالی یون‌های نمک را در هنگام انجماد جزئی به جای اینکه در خود کریستال یخ احاطه کند، حذف می‌کند (Warsinger et al., 2016).



شکل ۱- فرآیند نمک زدایی با انجماد (Shatat et al., 2014)



شکل ۲- فرآیند نمک زدایی آب (Alkhalidi et al., 2021)

که در رابطه اول m نشان دهنده جرم ماده بر حسب کیلوگرم و c نشان دهنده گرمای ویژه بر حسب $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$ و Δt بیانگر تغییرات دما بر حسب کلون و q هم بیانگر مقدار انرژی جذب شده در طول تغییر دمای ماده بر حسب کیلوژول می باشد.

$$q = m.L_f \quad (2)$$

اینجا نیز q نشان دهنده مقدار انرژی جذب شده در طول تغییر فاز ماده بر حسب کیلوژول و m جرم ماده بر حسب کیلوگرم و L_f نیز گرمای نهان ویژه یک ماده همجوشی بر حسب kJ/kg می باشد.

شیرین کردن آب به روش اسمز معکوس

اصولا این روش به سبب کارآمدی بالا برای شوری هایی با غلظت بالا و نیاز به حجم زیاد شوری

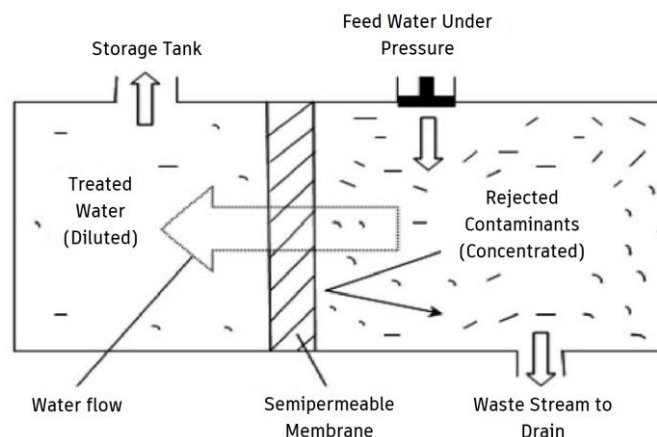
لذا برای بهره گیری از این روش توضیحاتی در خصوص نحوه منجمد کردن آب شور با کمک روابط داده شده که در آن انجماد آب با حذف مقداری انرژی حرارتی از آب در دو مرحله محقق می شود. گرمای محسوس و گرمای نهان در مرحله اول گرما از آب خارج شد تا دمای آن به صفر درجه سانتیگراد در شرایط جوی کاهش یابد. در مرحله دوم مقدار معینی گرما حذف شد تا فاز از مایع به یخ منتقل شود، یعنی گرمای نهان.

برای محاسبه این دو نوع گرما از روابط زیر بهره می بریم که رابطه اول نشان دهنده گرمای محسوس و رابطه دوم گرمای نهان:

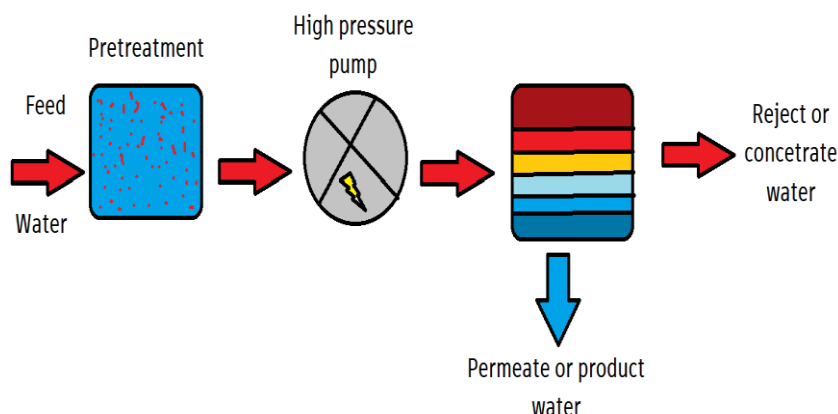
$$q = m.c.\Delta t \quad (1)$$

اما نکته ای که باید در نظر گرفت مصرف برق و سوخت های فسیلی برای این نوع نمک زدایی است که طبق تحقیقات برای هر مترمکعب آب شوری که نمک زدایی می‌شود در حدود ۳/۵ الی ۴/۲ کیلووات ساعت انرژی مصرف می‌شود به نحوی که تخمین زده می‌شود عربستان سعودی ۵۰ درصد از تولیدات نفت خود و کویت ۷۰ درصد از تولید برق خود به وسیله سوخت های فسیلی را صرف کارخانه های نمک زدایی با روش اسمز معکوس می‌کنند؛ که به نظر می‌رسد این روش روشی پرهزینه می باشد اما با پیشرفت هرچه بیشتر علم کشور ها به سراغ روش هایی کم هزینه تر برای نمک زدایی و یافتن سوختی جایگزین برای کارخانه های نمک زدایی رفته اند و طبیعتا به انرژی های تجدید پذیر مثل نورخورشید و باد و... روی آورده اند برای مثال کارخانه نمک زدایی آدلایت در استرالیا به طور کامل برق تولیدی از انرژی باد اداره می‌شود (Richter et al., 2013; DeNicola et al., 2015; Kämpf et al., 2013; Wei et al., 2017; Aliewi et al., 2017).

زدایی کاربرد فراوان در مناطقی با این خصوصیات مانند خلیج کارائیب و خاورمیانه دارد (Xu et al., 2013). اصول این روش به این صورت است که به جای اینکه طبق روال معمول فشار اسمزی، آب به طرف محلولی که غلیظ تر است برود و جذب آن گردد، برعکس از محلول جدا شده و به عبارت دیگر آب از محلول با غلظت بیشتر، به سمت محلول با غلظت کمتر جریان پیدا می‌کند و اسمز معکوس نام می‌گیرد (Kordavani et al., 2007). با تمام این اوصاف که این روش یکی از روش های به صرفه از نظر مالی است اما همچنان عوامل زیادی در موفقیت یک کارخانه آب شیرین کن با این روش دخیل هستند از جمله هزینه‌های قابل توجه برای راه‌اندازی، راندمان بازیابی کارخانه، سطح رسوب‌زدگی غشاء و فرآیندهای غشایی، و تولید و دفع زباله، در اینجا زباله همان پسماند یا نمک باقی مانده از نمک زدایی می‌باشد (Darre et al., 2018).



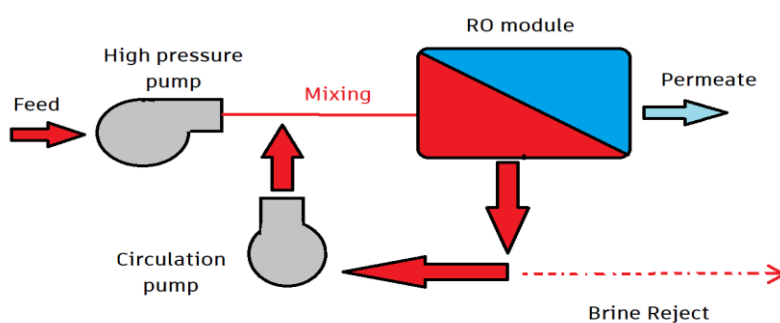
شکل ۳ - نمودار شماتیک از فرآیند اسمز معکوس (Ghalavand et al., 2021)



شکل ۴- نمودار شماتیک از فرآیند اسمز معکوس (ShanXue et al., 2017)

تحقیقات و پیشرفت های اخیر فناوری به بهبود راندمان و کاهش هزینه های راه اندازی یک کارخانه آب شیرین کن، برای مثال فرآیندهای ابداع شده که می تواند مصرف انرژی ویژه را بوسیله بازیافت آب نمک به کمک چیزی مشابه یک مدار بسته که در، در هر آب شیرین کن اسمزی دو نوع آب بوجود خواهد آمد، اولی آب شیرین شده و خوراکی و دومی آب نمک که این آب نمک مجدداً وارد این چرخه بسته شده و با آب شیرین مخلوط می شود و در نتیجه این

اختلاف فشار اسمزی نسبت به فشار مایع افزایش یافته و در اثر این اختلاف فشار بوجود آمده کاهش حداقلی ۳۷ درصدی مصرف انرژی و کاهش حداکثری ۶۴ درصدی را نسبت به روش موجود در شکل ۳ شاهد خواهیم بود، همچنین این روش برای آب های با شوری بالای ۷۵ درصد نیز موثر خواهد بود اما لازم به ذکر است تا جایی که ما اطلاع داریم این روش هنوز به تولید انبوه نرسیده است (Warsinger et al., 2016).



شکل ۵- نمودار یک سیستم اسمز معکوس مدار بسته (Warsinger et al., 2016).

روش دیگر مشابه روش اسمز معکوس بسته که در بالا توضیح داده شد روش اسمز با تاخیر یا عقب افتاده می باشد که در این جا به جای ایجاد اختلاف فشار بین آب شور و آب شیرین بین آب

روش دیگر مشابه روش اسمز معکوس بسته که در بالا توضیح داده شد روش اسمز با تاخیر یا عقب افتاده می باشد که در این جا به جای ایجاد اختلاف فشار بین آب شور و آب شیرین بین آب

تولید شود. ولتاژ الکتریکی اعمال شده بین الکترودها به طور مداوم نمک زدایی را انجام می‌دهد و آب بدون نیاز به قطع تداوم بازسازی شیمیایی می‌شود. در واقع تبادل یون اشباع‌رزین‌ها مزیت مهم الکترودیونیزاسیون به شمار می‌رود که آن را به یک فرآیند سازگارتر با محیط زیست تبدیل می‌کند (SuDong et al., 2020; Wardani et al., 2017).

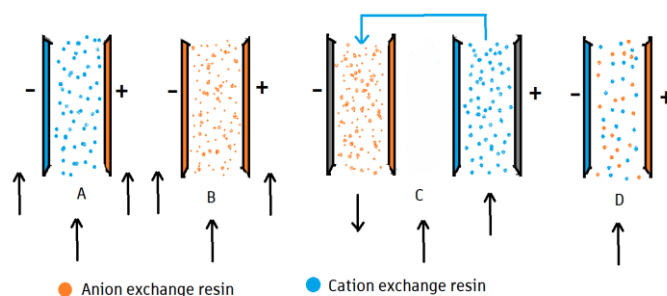
که در واقع در حالت کلی این عمل باعث می‌شود که یون‌های موجود در آب از یکدیگر جدا شوند و یون‌های مثبت به سمت الکترودهای منفی یا کاتد بروند و یون‌های منفی به سمت الکترود مثبت یا آنود بروند، این جداسازی در نگاه کلی توسط غشاهای به صورت زوج قرار داده می‌شوند که یکی از آنها شامل یون‌های منفی و دیگری شامل یون‌های مثبت می‌باشد از این رو غشایی که شامل یون منفی است اجازه عبور یون‌های مثبت را نمی‌دهد و غشایی که شامل یون منفی است اجازه عبور به یون‌های مثبت را اما علاوه بر اینها آب شور برای نمک زدایی بوسیله این روش باید به محفظه‌هایی هدایت گردد که این محفظه‌ها مطابق شکل ۶ می‌باشند یا یک محفظه صرفاً حاوی رزین‌های تبادل کاتیونی و یا آنیونی می‌باشند و یا دو محفظه وجود خواهد داشت که شامل رزین‌های کاتیونی و یا آنیونی می‌باشد و یا یک محفظه شامل مخلوطی از رزین‌های کاتیونی و آنیونی می‌باشد (Ghalavand et al., 2021).

شور و آب شور تر اختلاف فشاری بوجود می‌آید که به مراتب بزرگتر از اختلاف فشار بین آب شور و شیرین است لذا این بار این اختلاف فشار را به دستگاه‌های تبدیل انرژی مثل توربین انتقال داده شده و بدین ترتیب انرژی الکتریسته تجدید پذیری ایجاد می‌شود که برای این دسته از نمک زدایی‌ها که نیاز اساسی به انرژی بیشتر برق دارند بسیار مهم خواهد بود علاوه بر آنکه از نظر اقتصادی و صرفه مالی نیز بسیار کمک رسان خواهد بود (Xu et al., 2013).

شیرین کردن آب به روش الکترودیالیز و تبادل

یونی

به زبان ساده تر الکترودیالیز همان تجزیه آب در جریان الکتریسته می‌باشد. یکی از اهداف مهندسی کارآمدتر کردن فرآیندها است. نه تنها از نظر انرژی، بلکه از نظر محیطی نیز. الکترودیالیز تبادل یونی هیبریدی که الکترودیونیزاسیون نیز نامیده می‌شود نشان داده است که یک فرآیند بسیار کارآمد برای آب شور است با مزایای مهم زیست محیطی (Sun et al., 2016; Lopez et al., 2017; Alvarado et al., 2014). انجام دو عمل الکترودیالیز و تبادل یونی جداجدا به صورت مداوم امکان پذیر نمی‌باشد و برای بازیافت باید تداوم کار را قطع کرد اما با این حال، هم افزایی دو فناوری در فرآیند الکترودیونیزاسیون امکان عملکرد مداوم تحت تأثیر میدان الکتریکی را فراهم می‌کند با بازسازی رزین، کیفیت آب پایدار می‌تواند



شکل ۶- پیکربندی محفظه‌های پر از رزین در روش الکترودیالیز، انواع (A) و (B) یک بستر ساده، (C) بسترهای مجزا در تماس با الکترودها، و (D) معمولی بستر مختلط (Otero et al., 2021)

شیرین کردن آب به روش استخراج حلال

در روش استخراج حلال، کار بوسیله مایعات خاصی که دارای خاصیت جداکنندگی است، صورت می‌پذیرد. این مایعات آب را بیش از نمک جذب می‌کنند (Kordavani et al., 2007).

شیرین کردن آب به روش تقطیری با تمرکز بر

روش های غیر فسیلی

در نگاه کلی روش های تقطیری از قدیمی ترین و طبعا تکامل یافته ترین روش های نمک زدایی از آب از قدیم الایام می‌باشد لذا در این مقاله نیازی به توضیح روش های تقطیر با کمک سوخت فسیلی نمی‌بینیم و مستقیما به سراغ روش های غیر فسیلی از جمله روش های خورشیدی، زمین گرمایی، هسته ای و... می‌رویم.

تقطیر خورشیدی

تقطیر خورشیدی ساده ترین روش برای به دست آوردن آب آشامیدنی است، آب با استفاده از انرژی از

منبع گرمای آزاد خورشید. این روش در واقع تنها در یک مرحله انجام می‌شود و از دیگر روش های تقطیر و نمک زدایی که تا کنون گفتیم ارزان تر است اما نکته مهم نهفته در آن صرفا قیمت مقرون به صرفه و یا سادگی ایجاد آن نیست بلکه این روش قادر به حذف طیف گسترده ای از آلاینده ها می‌باشد. تقطیر خورشیدی به طور مستقیم با کمک تابش خورشیدی عمل می‌کند و جایگزینی مناسب برای سایر روش ها بخصوص در کشور هایی که در کمربند خورشیدی زمین واقع هستند از جمله ایران و هندوستان و کشور های حاشیه خلیج فارس می‌باشد (Manchanda et al., 2018; Ghalavand et al., 2021; Muftah et al., 2014). مقدار انرژی خورشیدی موجود در سطح زمین در هر روز حدود ۱۵۰۰۰ برابر بیشتر است از مقدار انرژی مصرف شده توسط کل جمعیت بشر در هر روز می‌باشد با این حال بشر تنها درصد کوچکی از آن را مصرف می‌کند (Shelare et al., 2023).

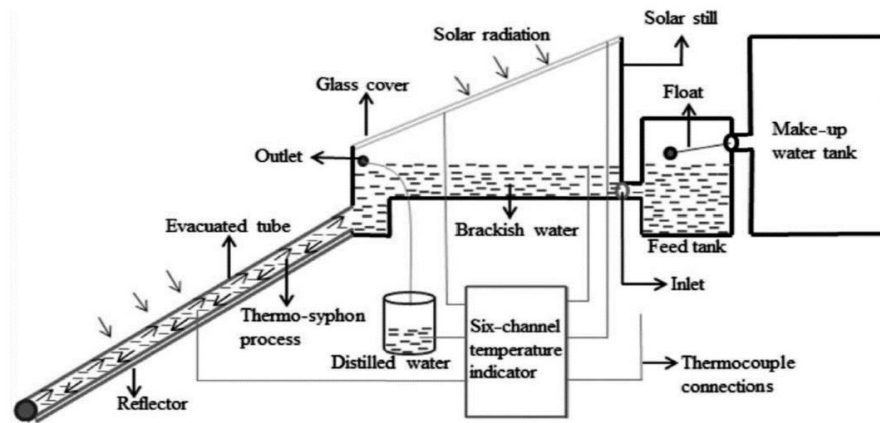
جدول ۱- تجزیه و تحلیل هزینه تکنیک های مختلف تقطیر (Karagiannis et al., 2008; Al-Karaghoul et al., 2013)

Type of feed water	Desalination method	Cost (per m3)\$
Brackish water	Solar Distillation	۰/۷-۰/۲
Brackish water	Reverse Osmosis	۰/۵۴ - ۰/۲۶
Brackish water	Vapor Compression Distillation	۱/۱۵-۰/۸۷
Brackish water	Multiple Effect Distillation	۱/۰۵ - ۰/۵

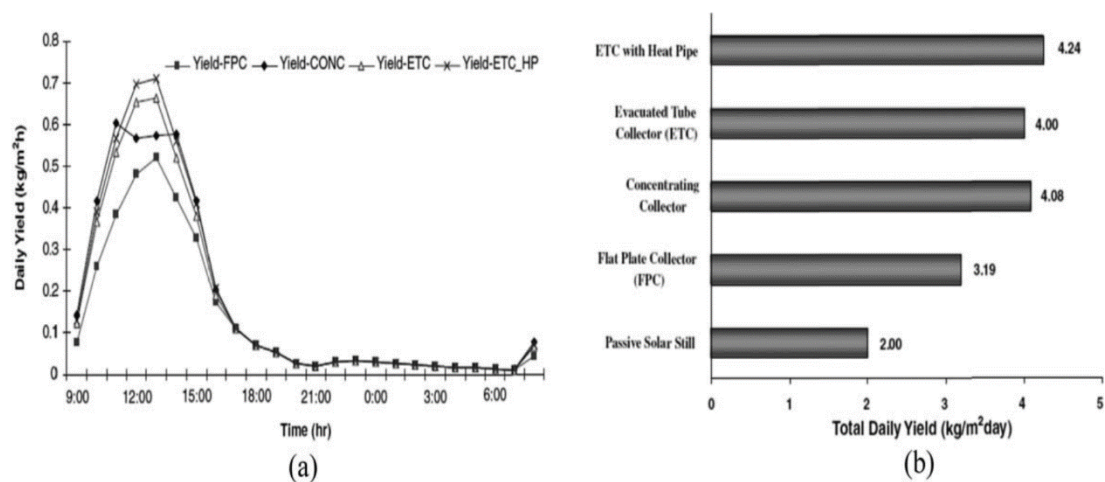
تقطیر خورشیدی روش های ابداعی گوناگونی دارد که با چند نمونه از آنها آشنا خواهیم شد.

مقدم و مقدم: رویکرد جامع برای حل مشکل آب‌های شور ...

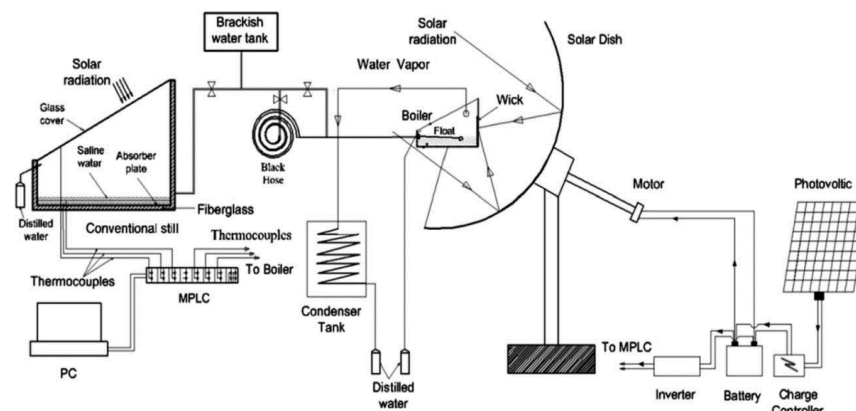
(علمی-ترویجی)



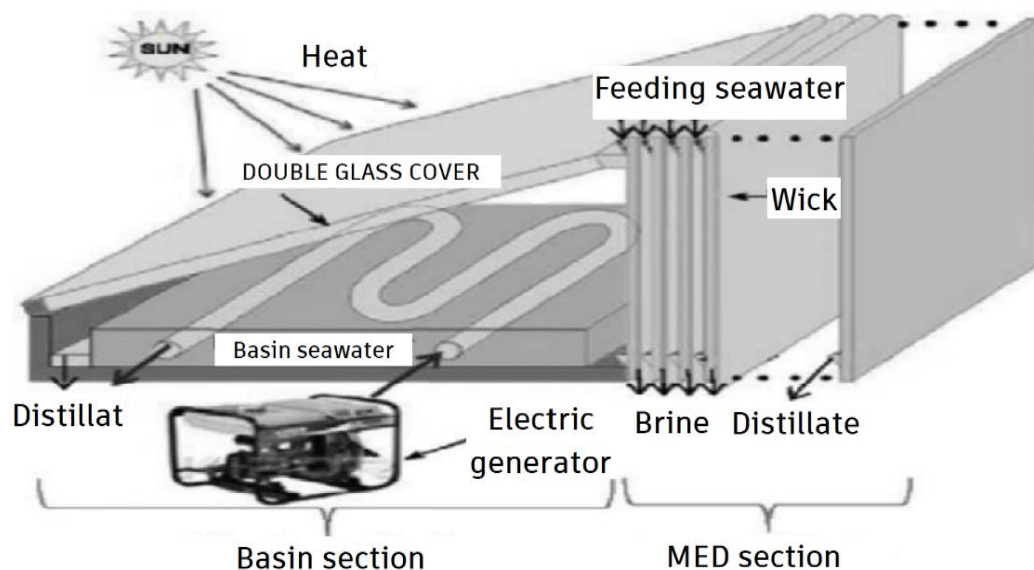
شکل ۷-نمای شماتیک لوله تخلیه شونده خورشیدی (Hunashikatti et al., 2014)



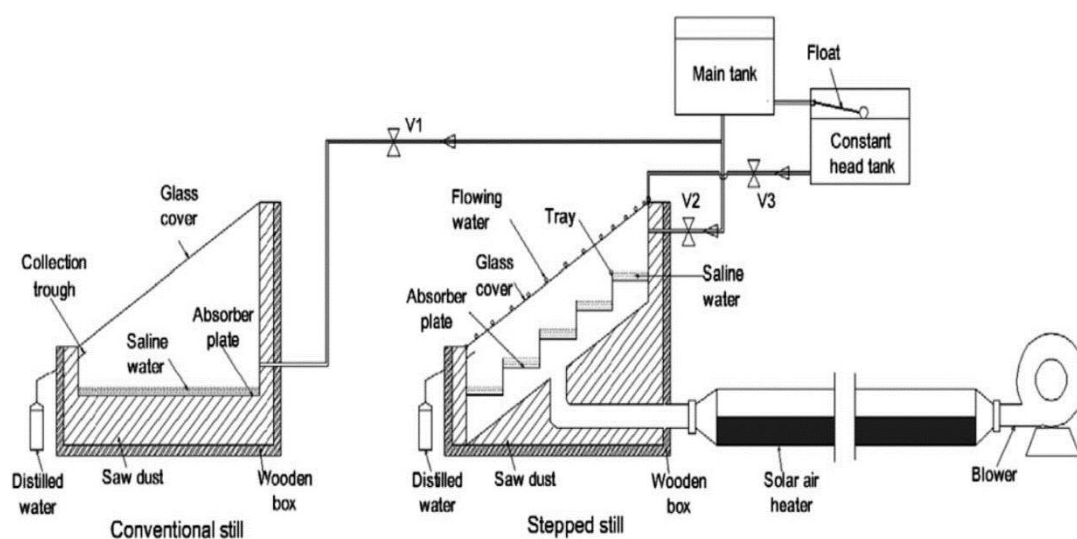
شکل ۸-بازده ساعتی و کل روزانه یک دستگاه ثابت خورشیدی فعال با ترکیبات مختلف (Tiwari et al., 2007)



شکل ۹ - نمای شماتیک واحد تقطیر اجاق گاز خورشیدی (Park et al., 2016)



شکل ۱۰ - نمای شماتیک دستگاه تقطیر چندگانه خورشیدی هیبریدی (Omara et al., 2013)



شکل ۱۱ - نمای شماتیک از دستگاه تقطیر نوع معمولی و پلکانی ثابت خورشیدی با دمنده هوا (Abdullah, 2013)

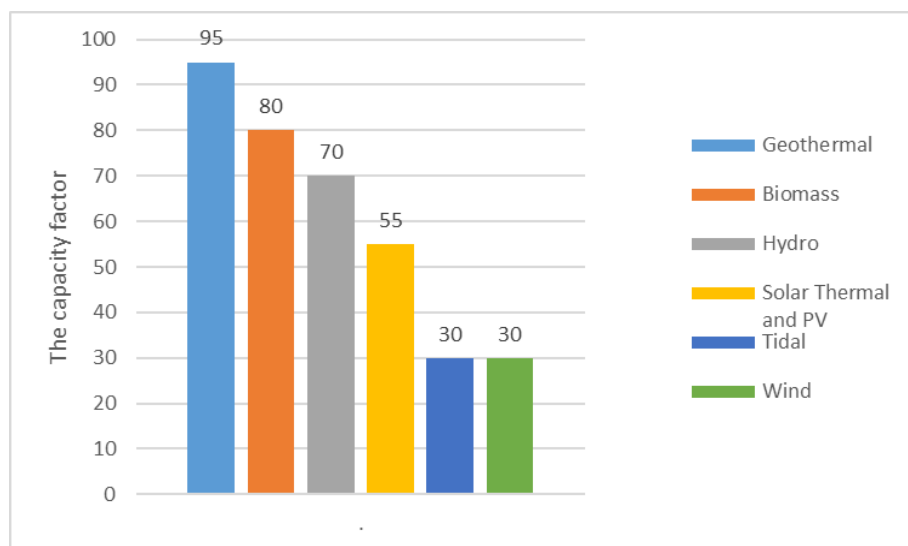
تقطیر با کمک انرژی زمین گرمایی

فناوری استخراج گرما از سفره های زیرزمینی اکنون در سطح بالایی از توسعه قرار دارد که با تغییر فصول و فرارسیدن فصل های سرد همچون زمستان و پاییز استخراج گرما از این منابع دچار اختلال نخواهد

شد. نمک زدایی با انرژی زمین گرمایی می تواند در هزینه ها صرفه جویی کند و می تواند همزمان برق و آب تولید کند. به عنوان یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر، نمک زدایی زمین گرمایی هیچ گونه انتشار آلاینده های هوا یا گازهای گلخانه ای را تولید نمی

کند. اگر به دنبال یک منبع انرژی تجدیدپذیر هستید که بتواند تمام نیازهای تاسیسات را برآورده کند انرژی زمین گرمایی گزینه مناسبی خواهد بود (Shelare et al., 2023). در مقایسه با منابع تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید، انرژی زمین گرمایی نسل مزایای خاص خود را دارد (Evans et al., 2009). نیروگاه هایی که از منابع زمین گرمایی سوخت می گیرند هزینه های برق قابل رقابت با نیروگاه های برق آبی، زیست توده و باد دارند. (Mahmoud et al., 2021). محدوده تولید انرژی و کارایی زمین گرمایی معمولا با انرژی که از طریق نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ اغلب برابری می کند

کند. اگر به دنبال یک منبع انرژی تجدیدپذیر هستید که بتواند تمام نیازهای تاسیسات را برآورده کند انرژی زمین گرمایی گزینه مناسبی خواهد بود (Shelare et al., 2023). در مقایسه با منابع تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید، انرژی زمین گرمایی نسل مزایای خاص خود را دارد (Evans et al., 2009). نیروگاه هایی که از منابع زمین گرمایی سوخت می گیرند هزینه های برق قابل رقابت با نیروگاه های برق آبی، زیست توده و باد دارند. (Mahmoud et al., 2021). محدوده تولید انرژی و کارایی زمین گرمایی معمولا با انرژی که از طریق نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ اغلب برابری می کند



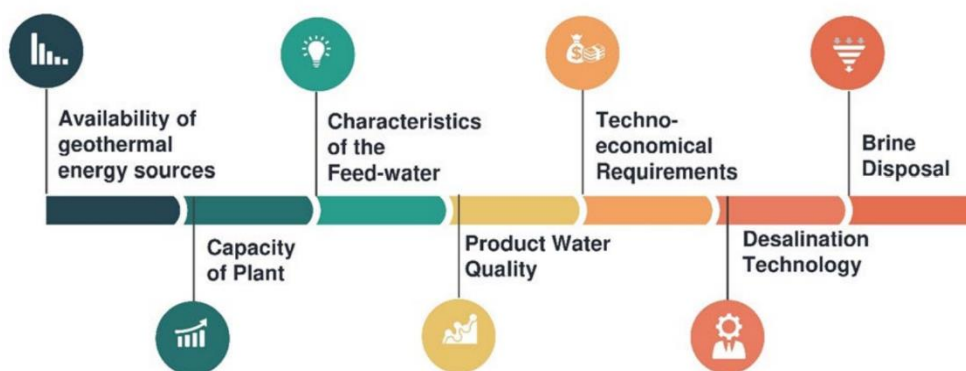
شکل ۱۲ - محدوده فاکتور ظرفیت گزارش شده برای چندین منبع تجدیدپذیر (César et al., 2012)

ناگفته نماند با تمام مزیت هایی که از انرژی های تجدید پذیر نام بردیم اما کاهش هزینه های تولید با کمک این منابع غالبا تحت شرایط خاص و یا در آینده ممکن است ، اما با کمک روش زمین گرمایی هم نیروی الکتریکی مورد نیاز تولید می شود و هم حتی نمک زدایی صورت می گیرد که با این کار به دو هدف خواهیم رسید علاوه بر آنکه آلودگی زیست محیطی هم بوجود نخواهد آمد (Daniel et al., 2022). بر اساس تحقیقات صورت گرفته اگر قیمت هر بشکه نفت را بین ۴۰ تا ۹۰ دلار آمریکا فرض کنیم که غالبا هم قیمت نفت در همین محدوده خواهد بود ، منابع زمین گرمایی با دما های ۱۳۰ درجه سانتی گراد و ۱۱۵ درجه سانتی گراد و ۱۰۰ درجه سانتی گراد می توانند ذخیره مالی به ترتیب ۶۶، ۵۰ و ۷۵ درصدی را به ارمغان بیاورد. این تجزیه و تحلیل نشان داد که منابع زمین گرمایی در ۱۳۰ درجه سانتی گراد،

ناگفته نماند با تمام مزیت هایی که از انرژی های تجدید پذیر نام بردیم اما کاهش هزینه های تولید با کمک این منابع غالبا تحت شرایط خاص و یا در آینده ممکن است ، اما با کمک روش زمین گرمایی هم نیروی الکتریکی مورد نیاز تولید می شود و هم حتی نمک زدایی صورت می گیرد که با این کار به دو هدف خواهیم رسید علاوه بر آنکه آلودگی زیست محیطی هم بوجود نخواهد آمد (Daniel et al., 2022). بر اساس تحقیقات صورت گرفته اگر قیمت هر بشکه نفت را بین ۴۰ تا ۹۰ دلار آمریکا فرض کنیم که غالبا هم قیمت نفت در همین محدوده خواهد بود ، منابع زمین گرمایی با دما های ۱۳۰ درجه سانتی گراد و ۱۱۵ درجه سانتی گراد و ۱۰۰ درجه سانتی گراد می توانند ذخیره مالی به ترتیب ۶۶، ۵۰ و ۷۵ درصدی را به ارمغان بیاورد. این تجزیه و تحلیل نشان داد که منابع زمین گرمایی در ۱۳۰ درجه سانتی گراد،

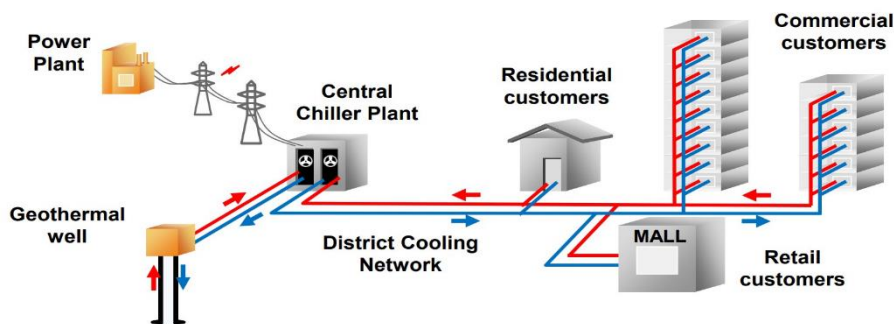
۱۱۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد ممکن است کاهش ۶۲، ۵۰ و ۴۵ درصدی در مصرف برق را نیز به ارمغان بیاورد (Veera Gnaneswar, 2016). هنگام انتخاب روش نمک زدایی مناسب برای استفاده

با انرژی زمین گرمایی، مهم است که معیارهای موجود در شکل ۱۳ را در نظر داشته باشید (Veera Gnaneswar, 2011; Jacques et al., 2003).



شکل ۱۳- پارامترهای مهم در نمک‌زدایی زمین گرمایی (Veera Gnaneswar, 2011; Jacques et al., 2003)

District Cooling System in the Middle East with Geothermal Energy Baseline



شکل ۱۴- نمای شماتیک از کارخانه نمک زدایی زمین گرمایی

ای برای انتقال انرژی پاک در سراسر جهان مورد نیاز است انتقال انرژی در سراسر جهان مورد نیاز است (World Energy Outlook, 2019).

علاوه بر تولید برق با استفاده از انرژی هسته ای، گرمای تولید شده توسط واکنش شکافت هسته ای را می توان برای کاربردهای دیگر مورد استفاده قرار داد، از جمله نمک زدایی آب دریا و تولید هیدروژن

تقطیر به کمک انرژی هسته ای

انرژی هسته ای یک منبع انرژی پاک و قابل اعتماد است. راکتورهای هسته ای از دهه ۱۹۶۰ در تامین انرژی بار پایه به ترکیب انرژی جهانی کمک کرده اند. بخش هسته ای تقریباً ۱۰ درصد از تولید برق جهانی در سال ۲۰۱۸ و انتظار می رود این سهم تا سال ۲۰۳۰ دو برابر شود، به این معنی که انرژی هسته

امروزه فرصت‌های جدید می‌تواند توسط فناوری‌های هسته‌ای پیشرفته مانند SMR ها (راکتورهای کوچک مدولار) ارائه شود، که به عنوان راکتورهای هسته‌ای با تولید انرژی تا ۳۰۰ مگاوات تعریف می‌شوند (Guidance on Nuclear Energy Cogeneration, 2019; Kordavani et al., 2007; Abotalib et al., 1965). آب شیرین‌کن هسته‌ای می‌تواند در صورت اثبات، نیازهای عظیم آب برای کاربردهای داخلی و دیگر کاربردها را برآورده کند؛ بدون هیچ گونه افت کیفیت آب تولیدی، از طریق یک سیستم کویلینگ مناسب طراحی شده بین راکتور هسته‌ای و کارخانه آب شیرین‌کن. نمک‌زدایی هسته‌ای سال‌هاست که با موفقیت انجام می‌شود ژاپن، پاکستان و قزاقستان بدون هیچ گونه ناهنجاری یا نشت راکتور ثبت شده مواد رادیواکتیو وارد آب شیرین شده تاکنون موفق به نمک‌زدایی آب شیرین شده‌اند (World Energy Outlook, 2019).

نتیجه‌گیری

از قدیم تراکم زندگی انسان‌ها بیشتر در محل‌هایی بوده است که آب شیرین در آن حوالی به راحتی در دسترس بوده است؛ و اگر هم در مکان‌هایی زندگی می‌کردند که اقیانوس‌ها و دریاها در اطراف آنجا وجود داشته اما اهمیت آب شیرین بسیار مهم بوده و عملاً آب شور بدون وجود آب شیرین برای

منابع

زندگی انسان‌ها فایده‌ای نداشته، مگر آنکه راهی برای تبدیل آب شور به آب شیرین پیدا می‌کردند که در زمان‌های دور این امکان وجود نداشته اما امروزه با پیشرفت علم و دانش این کار ممکن گشته است. در حدود ۹۹ درصد آب‌های سطحی زمین یا خیلی شور بوده و یا اگر هم شیرین هستند بخش اعظم آنها به صورت یخ‌های قطبی می‌باشند که به علل زیست‌محیطی استفاده از آنها بسیار برای حیات کره زمین مضر می‌باشد و از عوامل گرمایش زمین خواهد بود، پس به عبارت دیگر ذخایر آب شیرین کمی بیش از ۲ درصد آب‌های موجود در جهان است که بخش در دسترس برای انسان‌ها در حدود ۰/۱ الی ۰/۳ درصد می‌باشد. لذا این مقاله به بررسی روش‌های گوناگون شیرین کردن آب‌های شور و مزایا و هزینه‌های آن خواهد پرداخت. لذا بنای این مطالعه بر آن بود که با بررسی تمامی روش‌های نمک‌زدایی از آب شیرین از دیدگاه نویسندگان گام مهمی در آینده صنعت نمک‌زدایی برداشته باشد.

سپاسگزاری

در نهایت تشکر می‌شود از جناب اباصالح المهدی (عج) که در تمامی مراحل این نگارش یاری رسان بودند.

- decision analysis in Kuwait. Desalination, 413, 40-51.
- Al-Karaghoul, A., & Kazmerski, L. L. (2013). Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 343-356.
- Alkhalidi, A., Kiwan, S., & Al-Hayajneh, A. (2021). Experimental investigation of water desalination using freezing technology. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 101685.
- Alvarado, L., & Chen, A. (2014). Electrodeionization: principles,

- Abdullah, A. S. (2013). Improving the performance of stepped solar still. *Desalination*, 319, 60-65.
- Abotalib, M. Water Resources in Iran from an Economic Development Perspective, Scientific Publications Institute of Tehran University, 1965.
- Aliwi, A., El-Sayed, E., Akbar, A., Hadi, K., & Al-Rashed, M. (2017). Evaluation of desalination and other strategic management options using multi-criteria

- Ibrahim, A. G., Rashad, A. M., & Dincer, I. (2017). Exergoeconomic analysis for cost optimization of a solar distillation system. *Solar Energy*, 151, 22-32.
- Jacques A, Félix A . Thermal and membrane processe economics: Optimized selection for seawater desalination. *Journal of Elsevier*; 153, 305-311; 2003.
- Jiang ShanXue, J. S., Li YueNing, L. Y., & Ladewig, B. P. (2017). A review of reverse osmosis membrane fouling and control strategies.
- Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M. T., Smakhtin, V., & Kang, S. M. (2019). The state of desalination and brine production: A global outlook. *Science of the Total Environment*, 657, 1343-1356.
- Kämpf, J., & Clarke, B. (2013). How robust is the environmental impact assessment process in South Australia? Behind the scenes of the Adelaide seawater desalination project. *Marine Policy*, 38, 500-506.
- Karagiannis, I. C., & Soldatos, P. G. (2008). Water desalination cost literature: review and assessment. *Desalination*, 223(1-3), 448-456.
- Kordavani, P. *Water Resources and Issues in Iran: Saline Waters, Problems, and Utilization Methods*, Scientific Publications Institute of Tehran University, 2007.
- Lopez, A. M., Williams, M., Paiva, M., Demydov, D., Do, T. D., Faurey, J. L., ... & Hestekin, J. A. (2017). Potential of electrodialytic techniques in brackish desalination and recovery of industrial process water for reuse. *Desalination*, 409, 108-114.
- Mahmoud, M., Ramadan, M., Naher, S., Pullen, K., Abdelkareem, M. A., & Olabi, A. G. (2021). A review of geothermal energy-driven hydrogen production systems. *Thermal Science and Engineering Progress*, 22, 100854.
- Manchanda, H., & Kumar, M. (2018). Study of water desalination techniques and a review on active solar distillation methods. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37(1), 444-464.
- strategies and applications. *Electrochimica Acta*, 132, 583-597.
- César C, María M, Roberto R, José SMaría M, Miguel V . World geothermal power production status: Energy, environmental and economic study of high enthalpy technologies. *Journal of Elsevier*; 42, 10-18; 20۱۲.
- Daniel Z. Geothermal Energy: An Option for Oman. Available online: <https://www.iqpc.com/media/8328/11981.pdf> (accessed on 15 December 2022).
- Darre, N. C., & Toor, G. S. (2018). Desalination of water: a review. *Current Pollution Reports*, 4, 104-111.
- DeNicola, E., Aburizaiza, O. S., Siddique, A., Khwaja, H., & Carpenter, D. O. (2015). Climate change and water scarcity: The case of Saudi Arabia. *Annals of global health*, 81(3), 342-353.
- Esfahani, I. J., Rashidi, J., Ifaei, P., & Yoo, C. (2016). Efficient thermal desalination technologies with renewable energy systems: A state-of-the-art review. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 33, 351-387.
- Evans, A., Strezov, V., & Evans, T. J. (2009). Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(5), 1082-1088.
- Ghalavand, A., Hatamipour, M. S., & Ghalavand, Y. (2021). Clean treatment of rejected brine by zero liquid discharge thermal desalination in Persian Gulf countries. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(9), 2683-2696.
- Guidance on Nuclear Energy Cogeneration. 2019. Available online: https://www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1862_web.pdf (accessed on 3 April 2022).
- Hunashikatti, P. T., Suresh, K. R., Prathima, B., & Sachdeva, G. (2014). Development of desalination unit using solar still coupled with evacuated tubes for domestic use in rural areas. *Current Science* (00113891), 107(10).

- Rahman, M. S., Ahmed, M., & Chen, X. D. (2006). Freezing-melting process and desalination: I. Review of the state-of-the-art. *Separation & Purification Reviews*, 35(02), 59-96.
- Richter, B. D., Abell, D., Bacha, E., Brauman, K., Calos, S., Cohn, A., ... & Siegfried, E. (2013). Tapped out: how can cities secure their water future?. *Water Policy*, 15(3), 335-363.
- Shahzad, M. W., Burhan, M., & Ng, K. C. (2017). Pushing desalination recovery to the maximum limit: Membrane and thermal processes integration. *Desalination*, 416, 54-64.
- Shatat, M., & Riffat, S. B. (2014). Water desalination technologies utilizing conventional and renewable energy sources. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 9(1), 1-19.
- Shelare, S., Kumar, R., Gajbhiye, T., & Kanchan, S. (2023). Role of geothermal energy in sustainable water desalination—a review on current status, parameters, and challenges. *Energies*, 16(6), 2901.
- Sun, X., Lu, H., & Wang, J. (2016). Brackish water desalination using electrodeionization reversal. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 104, 262-270.
- Tiwari, G. N., Dimri, V., Singh, U., Chel, A., & Sarkar, B. (2007). Comparative thermal performance evaluation of an active solar distillation system. *International Journal of Energy Research*, 31(15), 1465-1482.
- Various Desalination Methods (Course Handout), Water and Energy Institute of Sharif University of Technology, 1980.
- Veera Gnanaswar G . Desalination and sustainability – An appraisal and current perspective. *Journal of Water research*; 89, 87–106; 2016
- Veera Gnanaswar G . Energy consumption and recovery in reverse osmosis. *Journal of Taylor & Francis*; , 36, 239–260; 2011.
- Wardani, A. K., Hakim, A. N., Khoiruddin, & Wenten, I. G. (2017). Combined ultrafiltration-electrodeionization technique for production of high purity
- Mehraban, M., Nourbakhsh, S. Principles of Desalination, Water and Energy Institute of Sharif University of Technology, 1980.
- Moghaddam N, Bakhshandeghanmoghaddam F. Research on types of irrigation, especially smart irrigation and comparing this method with traditional methods and other mechanized methods, Conference: The 8th Annual National Congress of New Findings in Agricultural Sciences and Natural Resources, Environment and Tourism.2023.
- Moghaddam N, Milandarzadeh A. Evaluating the effects of climate change on the management of water resources in pastures. Conference: 3rd.International Conference on Architecture, Civil Engineering, Urban DevelopmentAt: Tabriz/Iran.2023.
- Muftah, A. F., Alghoul, M. A., Fudholi, A., Abdul-Majeed, M. M., & Sopian, K. (2014). Factors affecting basin type solar still productivity: A detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 430-447.
- Nair, M., & Kumar, D. (2013). Water desalination and challenges: The Middle East perspective: a review. *Desalination and Water Treatment*, 51(10-12), 2030-2040.
- Omara, Z. M., & Eltawil, M. A. (2013). Hybrid of solar dish concentrator, new boiler and simple solar collector for brackish water desalination. *Desalination*, 326, 62-68.
- Otero, C., Urbina, A., Rivero, E. P., & Rodríguez, F. A. (2021). Desalination of brackish water by electrodeionization: Experimental study and mathematical modeling. *Desalination*, 504, 114803.
- Park SuDong, P. S., & Kwak RhoKyun, K. R. (2020). Microscale electrodeionization: in situ concentration profiling and flow visualization.
- Park, C. D., Lim, B. J., Chung, K. Y., Lee, S. S., & Kim, Y. M. (2016). Experimental evaluation of hybrid solar still using waste heat. *Desalination*, 379, 1-9.

- 98909c1b-aabc-4797-9926-35307b418cdb/WEO2019-free.pdf (accessed on 18 February 2022).
- Xu, P., Cath, T. Y., Robertson, A. P., Reinhard, M., Leckie, J. O., & Drewes, J. E. (2013). Critical review of desalination concentrate management, treatment and beneficial use. *Environmental Engineering Science*, 30(8), 502-514.
- Yasser A, Abdulrahman A. A Feasibility Study of Utilizing Nuclear Energy for an ExistingMED-TVC Desalination Plant. *Journal of Applied Sciences*; 12(19), 9506; 2022.
- Zhang, H., Janajreh, I., Ali, M. I. H., & Askar, K. (2021). Freezing desalination: heat and mass validated modeling and experimental parametric analyses. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26, 101189.
- water. *Water Science and Technology*, 75(12), 2891-2899.
- Warsinger, D. M., Tow, E. W., Nayar, K. G., & Maswadeh, L. A. (2016). Energy efficiency of batch and semi-batch (CCRO) reverse osmosis desalination. *Water research*, 106, 272-282.
- Wei, Q. J., & McGovern, R. K. (2017). Saving energy with an optimized two-stage reverse osmosis system. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 3(4), 659-670.
- Williams, P. M., Ahmad, M., Connolly, B. S., & Oatley-Radcliffe, D. L. (2015). Technology for freeze concentration in the desalination industry. *Desalination*, 356, 314-327.
- World Energy Outlook 2019. 2019. Available online: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/>