

## بحران کم آبی و مدیریت آن به وسیله آب شیرین کن های خورشیدی (مطالعه موردی: استان قم)

نسرین محمدی ثابت\*<sup>۱</sup>، امید گائینی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS & RS)، دانشگاه تربیت مدرس،  
nm1781368@gmail.com

۲- کارشناس امور مالی، شرکت آب و فاضلاب استان قم، o.gaeeni1364@gmail.com

### چکیده

اهمیت آب نه تنها در زندگی بشر و تمام موجودات زنده محسوس است، بلکه در زندگی روزمره، کشاورزی و صنایع نیز نمی توان از آن چشم پوشی کرد. تأمین آب آشامیدنی که غلظت نمک و مواد مضر سلامتی و بهداشت آن کم باشد، موضوع بسیار مهمی بوده و در حال حاضر مسأله مهمی را ایجاد کرده است. به همین منظور، شیرین کردن آب دریا و آب شور (آب های زیرزمینی حاوی نمک) را نمی توان نادیده گرفت. مناطق دارای پتانسیل بالای استفاده از انرژی پاک و نامحدود خورشیدی گزینه مناسبی برای به کارگیری سیستم های آب شیرین کن خورشیدی است. ایران دارای مناطق وسیع برخوردار از تابش مناسب خورشید است و دارای موقعیت مناسبی برای به کارگیری سیستم های آب شیرین کن خورشیدی با وجود منابع آب شور در شمال و جنوب کشور است. تحقیق حاضر با هدف بررسی بحران کم آبی و مدیریت آن به وسیله آب شیرین کن های خورشیدی در مناطق دارای پتانسیل از جمله استان قم است. بدین منظور، به بررسی فناوری های نوین نمک زدایی خورشیدی در مناطق مختلف پرداخته شد و در نهایت با توجه به پتانسیل های منطقه و نتایج تحقیق، نمونه های عملیاتی آن برای استفاده در مناطق مختلف با در نظر گرفتن اهداف مدیریتی توصیه می گردد. نتایج پژوهش نشان می دهد در استان قم با توجه به شرایط اقلیمی، سیستم نمک زدایی اسمز معکوس خورشیدی و پس از آن سیستم الکترو دیالیز خورشیدی مناسب تر از سایر سیستم های نمک زدایی خورشیدی هستند.

واژه های کلیدی: بحران، کم آبی، آب شیرین کن خورشیدی، اسمز معکوس خورشیدی، استان قم.

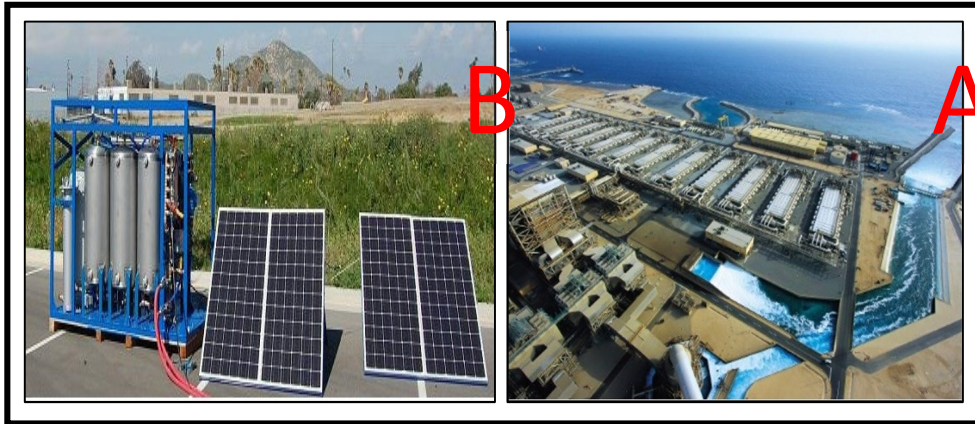
### ۱- مقدمه

صنعت آب به دلیل تأثیراتی که در تأمین و بهبود سطح رفاه اجتماعی، تسریع رشد کشاورزی و صنعتی و به تبع آن افزایش سطح تولید ملی و منطقه ای دارد بسیار حائز اهمیت است؛ لذا با توجه به افزایش روز افزون میزان تقاضای آب شرب و همچنین عدم توزیع یکنواخت منابع آب شیرین در جهان، علاوه بر کنترل مصرف آب، افزایش منابع آب شیرین و تولید آن نیز ضروری است. از سوی دیگر تولید آب شیرین در جهان سالانه میزان قابل توجهی از مصرف سوخت های فسیلی را به خود اختصاص می دهد (سالانه نزدیک به ده هزار تن نفت برای تولید  $1000 m^2/d$  آب شیرین مورد نیاز است (کالجری<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵)). در کنار هزینه های گزاف مصرف سوخت های فسیلی می توان به تولید گازهای گلخانه ای و آلودگی زیست محیطی ناشی از آن ها نیز اشاره کرد. بنابراین دو مشکل اساسی بحران آب و بحران انرژی روز به روز زندگی بشر را تهدید می کند؛ این مسئله محققان را به یافتن راه های جدیدی برای استفاده از انرژی های تجدید پذیر به جای سوخت های فسیلی ترغیب نموده است. در واقع چنانچه نمک زدایی با انرژی های تجدید پذیر یکپارچه شده و روش دفع آب شور مناسبی در آن به کار گرفته شود، می تواند به صورت سازگار با محیط زیست نیز عمل کند. انرژی های تجدید پذیر متعارف برای نمک زدایی، انرژی خورشیدی، باد و زمین گرمایی می باشد که از میان روش های مختلف تولید

آب شیرین، سیستم‌های آب شیرین‌کن با روش‌های منتهی به تبخیر و چگالش آب رایج‌تر و پرکاربردتر است؛ پس می‌توان جهت تأمین انرژی حرارتی لازم برای تولید آب شیرین، از انرژی خورشیدی بهره گرفت. کشور ایران از سویی با میزان بارش متوسط سالیانه کمتر از ۳۰۰ میلی متر، کشوری است کم باران که با معضل کم‌آبی رو بروست. در این کشور، هنوز آب بسیاری از مناطق روستایی و محروم تصفیه نمی‌شود. این مسئله بخصوص در بعضی از مناطق روستایی که از قنات، چشمه و چاه در تأمین آب استفاده می‌کنند بسیار زیاد است؛ همچنین در بسیاری از این مناطق از جمله منطقه مطالعاتی به دلیل کمبود آب و تخلیه سفره‌های زیر زمینی طی سال‌های اخیر، میزان شوری آب افزایش یافته است. مناطق دیگری نیز به منابع آب شور دریا دسترسی دارند و در عین حال به شبکه توزیع و تصفیه آب دسترسی ندارند. از سوی دیگر این کشور علی‌الخصوص منطقه مطالعاتی به دلیل موقعیت جغرافیایی مناسب و پتانسیل بالای بهره‌گیری از انرژی خورشیدی، که می‌تواند جایگزین و یا مکمل انرژی‌های حاصل از سوخت‌های فسیلی شود، از گزینه‌های مناسب برای استفاده از آب شیرین‌کن‌های خورشیدی می‌باشد. بنابراین ایجاد و توسعه واحدهای نمک زدایی کوچک مقیاس برای منطقه پژوهشی مناسب است (شکل ۱)؛ حتی در مناطق شهری ایران که در حال حاضر دسترسی به شبکه توزیع آب وجود دارد، در صورت داشتن توجه اقتصادی می‌تواند مناسب باشد؛ زیرا مشکل کم‌آبی در سال‌های آتی حتی در شهرهای بزرگ نیز نمود پیدا خواهد کرد.

تحقیقات تئوری و تجربی متعددی در خصوص ارزیابی عملکرد آب شیرین‌کن‌های خورشیدی در سراسر دنیا انجام شده است. در قرن ۱۹ جیووانی<sup>۲</sup> اولین دانشمندی بود که در زمینه تقطیر خورشیدی چندین روش را ارائه نمود که مهمترین آن‌ها ساخت یک دستگاه تقطیر خورشیدی بود. سپس در سال ۱۸۷۲ کارلوس<sup>۳</sup>، در شمال شیلی به منظور تهیه آب سالم برای استفاده کارگران معادن سدیم نیترات و نقره از انرژی خورشیدی در تقطیر آب شور استفاده کرد. سال ۱۹۱۳، بیز<sup>۴</sup> یک دستگاه تقطیر در نزدیکی مصر ساخت و مورد استفاده قرار داد و سپس تا سال ۱۹۵۰ انرژی خورشیدی، به دلیل قیمت ارزان و کارایی مناسب سوخت‌های فسیلی، کنار گذاشته شد (عبدناصر<sup>۵</sup> و نافیلا<sup>۶</sup>، ۲۰۰۷). در سال ۱۹۸۲ لاوازیه، از یک متمرکز کننده خورشیدی برای تقطیر در یک فلاسک استفاده کرد. در سال ۲۰۰۱، نایبیل حسین<sup>۷</sup> روش‌های ذخیره گرما در تقطیر کننده‌ها را بررسی کرد. عبداللهی<sup>۸</sup> در سال ۲۰۰۳ به بررسی ذخیره انرژی با توجه به گرمای نهان در سیستم‌های چند مرحله‌ای پرداخت. در سال ۲۰۰۸، آزاده<sup>۹</sup> و همکاران به بررسی مکان مناسب استقرار طرح‌های خورشیدی پرداختند. در سال‌های اخیر بیشتر مطالعات بر روی مدل سازی و مطالعات تجربی این دستگاه‌ها صورت گرفته است؛ که می‌توان در این زمینه به پژوهش‌های افرادی نظیر کوپر<sup>۱۰</sup>، موولا<sup>۱۱</sup>، پالاسیو<sup>۱۲</sup>، کومار<sup>۱۳</sup> راینلندر<sup>۱۴</sup> و... اشاره نمود.

در این میان کشور ایران مستثنی از این قاعده نبوده و محققان زیادی نیز در رابطه با آب شیرین‌کن‌های خورشیدی پژوهش کرده‌اند از جمله کعبی نژادیان که در سال ۱۳۸۰ به بررسی آب شیرین‌کن‌های خورشیدی پرداخت. در سال ۱۳۹۰ اکبر پور و همکاران در مورد طراحی و مدل سازی یک سیستم آب شیرین‌کن خورشیدی نوین برای مناطق کویری پژوهشی انجام دادند. حسینی و سرحدی در سال ۱۳۹۶ به بررسی عملکرد یک دستگاه تولید آب شیرین رطوبت زن- رطوبت زدا متصل به کلکتورهای خورشیدی فتوولتائیک حرارتی پرداختند. در همان سال حسینی و همکاران به مطالعه آزمایشگاهی سیستم آب شیرین‌کن خورشیدی با استفاده از PCM و متلاطم سازهای جریان پرداختند. تحقیق حاضر مسئله بحران کم‌آبی و مدیریت آن به وسیله آب شیرین‌کن‌های خورشیدی را هدف قرار داده است. بنابراین سعی بر این است که ضمن در نظر گرفتن نتایج تحقیقات پیشین و اضافه کردن ایده‌های تکمیلی در زمینه فناوری‌های نوین و بررسی ظرفیت و بازده واحدهای نمک زدایی ساخته شده که از انرژی خورشیدی به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کند، بهترین واحد نمک زدایی در منطقه مورد مطالعه و همچنین مناطق مختلف کشور بر اساس پتانسیل منطقه انتخاب گردد.

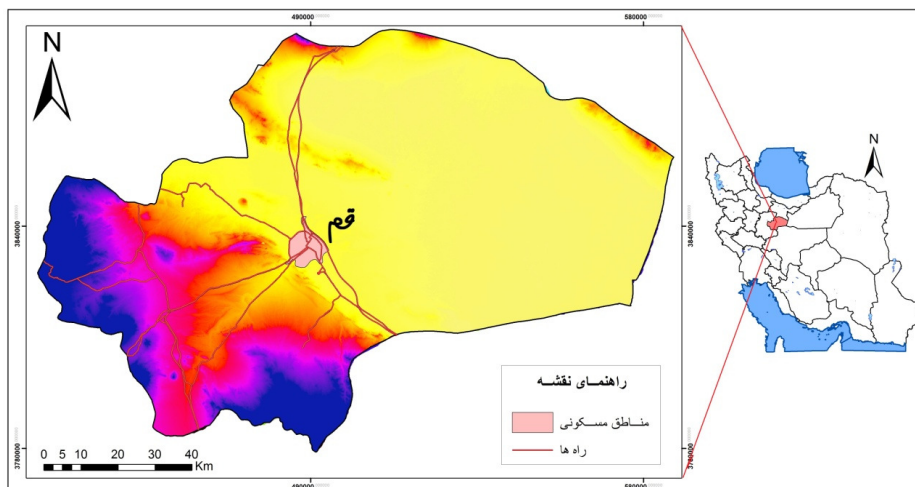


شکل (۱): (A) سیستم نمک زدایی در مقیاس صنعتی. (B) سیستم نمک زدایی در مقیاس کوچک.

## ۲- داده و روش تحقیق

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

انتخاب محل و تعیین حدود منطقه مورد مطالعه با توجه به عنوان، اهداف پژوهش و با در نظر گرفتن پتانسیل بالا در منطقه، کمبود آب و فراهم بودن زیر ساخت آسیب پذیری تعیین گردیده است. بدین منظور استان قم انتخاب و با ابعاد فضایی مشتمل بر طول جغرافیایی " 50°08'52" تا " 52°08'25" شرقی و عرض جغرافیایی " 34°08'10" تا " 35°09'10" شمالی تحدید گردید. مساحت محدوده مورد مطالعه بالغ بر ۱۱۵۷۵ کیلومتر مربع است (شکل ۲). ارتفاع منطقه از تناوبی بین ۳۱۹۵ تا ۷۴۹ متر متغیر بوده به نحوی که بیشترین ارتفاعات در جنوب غرب و غرب و کمترین آن در نواحی شرقی استقرار دارند. متوسط بارندگی منطقه ۱۳۵ میلی متر و دمای متوسط سالانه ۱۸/۱۷ درجه سانتی گراد می باشد؛ و جزء مناطق خشک و نیمه بیابانی ایران محسوب می شود. گونه های گیاهی با توجه به اقلیم منطقه شامل انواع شورپسند، گز، تاغ، درمنه و سایر گونه های خشک پسند می باشد.



شکل (۲): موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران

## ۲-۲- روش تحقیق

روش به کار گرفته شده در این پژوهش تلفیقی از دو روش تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی و پیمایش میدانی است. به این منظور داده‌های مورد نیاز (اطلاعات اسنادی شامل مقالات، گزارشات و مدارک) از منابع مختلف داده‌ای به همراه داده‌های میدانی و پیمایشی تهیه و سپس پردازش اولیه، جهت ایجاد پایگاه داده روی آن صورت گرفت. پس از بررسی روش‌های مختلف تصفیه آب به وسیله انرژی خورشیدی به تجزیه و تحلیل روش‌ها پرداخته و در نهایت با توجه به پتانسیل و محدودیت‌های منطقه مطالعاتی و اهداف پژوهش پربازده‌ترین روش انتخاب و مورد بحث و نتیجه‌گیری قرار گرفت.

## ۳- اصول و روش تصفیه آب به وسیله انرژی خورشیدی

اصول عملکرد سیستم‌های آب شیرین کن خورشیدی بر پایه دستگاه تصفیه آب خورشیدی<sup>۱۵</sup> است. اصول کار دستگاه تصفیه آب خورشیدی ساده بوده و سرپوش پلاستیکی یا شیشه در سطح فوقانی دستگاه نقش عمده و کلیدی را در عملکرد سیستم ایفا می‌کند. با توجه به عبور اشعه خورشید، آب دریا یا آب شور داخل آن گرم و درجه حرارت بالا می‌رود، سپس بخار آب ایجاد می‌شود و ترکیبات بخار آب پس از برخورد به سطح داخلی سرپوش که درجه حرارت آن تا حدی پایین است، شروع به تقطیر می‌کند که با جمع‌آوری این آب مقطر، آب شیرین به دست می‌آید. سیستم‌های آب شیرین کن‌های خورشیدی از نظر ساختمان به دو روش مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شوند که هر کدام نیز انواعی دارند که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌گردد.

### ۳-۱- سیستم‌های نمک زدایی مستقیم

در این روش فقط از انرژی حرارتی خورشیدی استفاده می‌شود. در ادامه، انواع سیستم‌های نمک زدایی مستقیم بررسی می‌شوند.

### ۳-۱-۱- نمک زدایی تقطیر خورشیدی

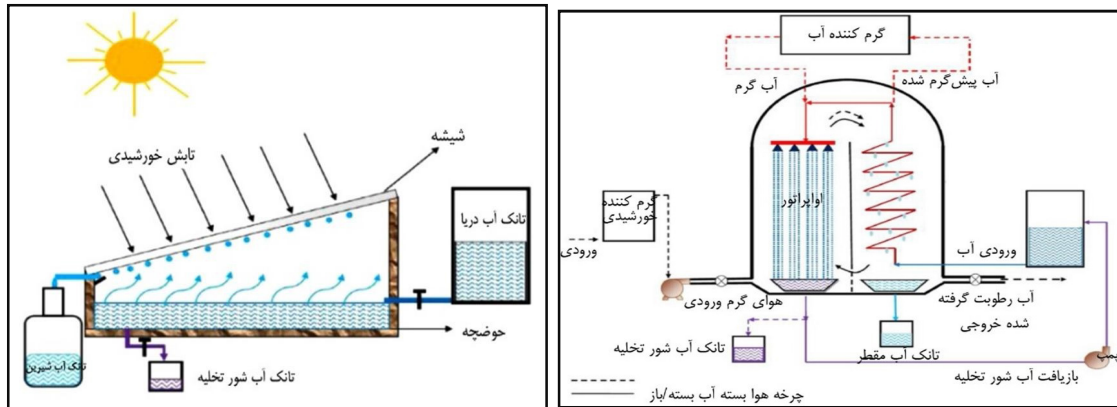
سیستم نمک زدایی تقطیر خورشیدی<sup>۱۶</sup>، که از دسته سیستم‌های نمک زدایی مستقیم است، شامل حوضچه ای سیاه پر شده از آب شور تا عمقی مشخص است. این حوضچه تحت پوشش شیشه ای شیب دار قرار دارد تا فرایند‌های انتقال تشعشعات خورشیدی پس از ورود به حوضچه باعث گرم شدن سطح سیاه و آب درون آن می‌شود و در نتیجه پس از آن تبخیر رخ می‌دهد. به دلیل اختلاف فشار و دما، بخار آب ایجاد شده روی سطح شیشه ای شیب دار، چگالیده شده و در انتهای سطح جمع‌آوری می‌شود. نمایی از این واحد نمک زدایی در شکل (۳) نمایش داده شده است. مطالعات گسترده ای به صورت نظری و تجربی درباره این سیستم نمک زدایی انجام شده است که نشان می‌دهد آب مقطر به دست آمده از آن دارای کیفیت بسیار بالایی است و در عین حال مقدار به دست آمده از واحد ساده آن، در محدوده  $2 - 3 \text{ l/m}^2/\text{d}$  می‌باشد. در واقع در یک واحد ساده آن برای تبخیر کردن ۱ لیتر آب در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد حدود  $2/4 \times 10^6$  ژول انرژی لازم است. میانگین گیری در طول ۲۴ ساعت، این میزان انرژی قادر به بیشینه تبخیر  $9 \text{ l/m}^2/\text{d}$  می‌باشد. اما در واقعیت با توجه به تلفات حرارتی و در نظر گرفتن بازده بیشینه ۳۰ تا ۴۰ درصد این واحد

ها، میزان واقعی تولید آب در بازه  $3$  تا  $2$  خواهد بود. بنابراین با تعیین آب آشامیدنی مورد نیاز در روز برای هر شخص،  $2$  تا  $3$  متر مربع از فضا برای این واحد نیاز است که بنابراین برای یک خانه با  $5$  شخص،  $10$  تا  $15$  متر مربع فضا لازم است که فراهم کردن چنین فضایی روی بام خانه اگر چه سخت است، اما معمولاً ممکن است. اما چنانچه قرار باشد این واحد نمک زدایی آب آشامیدنی نترات بیشتری را تأمین کند، مشکلی به نام کمبود فضا پدیدار می شود که استفاده از این سیستم را به خصوص در محیط های شهری و حتی در مناطق دور افتاده، امکان ناپذیر و غیر اقتصادی می کند. مطالعات زیادی برای بالا بردن بازده و ظرفیت واحد نمک زدایی تقطیر خورشیدی انجام شده است. در این مطالعات نشان داده شده است که در یک واحد تقطیر خورشیدی، استفاده از کلکتور های صفحه تخت، کلکتور های لوله خلا<sup>۱۷</sup>، کلکتور های بشقابی متمرکز کننده<sup>۱۸</sup>، استخر خورشیدی<sup>۱۹</sup>، توربین باد، آینه های تقویت کننده و واحد های تهویه مطبوع منجر به افزایش ظرفیت آب مقطر به دست آمده می شود، اگر چه هزینه اولیه سیستم نیز افزایش می یابد. برای نمونه نشان داده شده است که با استفاده از کلکتورهای بشقابی متمرکز کننده میزان آب مقطر به دست آمده برابر با  $6 - 7$   $l/m^2/d$  لیتر خواهد شد که افزایش قابل توجه حدود  $250$  درصدی نسبت به سیستم معمولی دارد و بازده آن نیز نسبت به سیستم معمولی دو برابر می شود. همچنین نشان داده شده است که با استفاده از استخر خورشیدی نیز میزان آب مقطر تولیدی به  $6 - 7$   $l/m^2/d$  خواهد رسید (السبائی<sup>۲۰</sup> و همکاران،  $2011$ ). نکته دیگری که در واحد های نمک زدایی تقطیر خورشیدی وجود دارد، این است که ماده سازنده پوشش شیشه ای و شیب آن و همچنین عمق آب و پوشش جاذب نیز تأثیر زیادی بر میزان آب مقطر تولیدی دارد. علاوه بر این، در مطالعه تجربی که درباره آرایش های مختلف واحد تقطیر خورشیدی انجام شد، نشان داده شد که آرایش هرمی شکل پوشش شیشه ای روی سیستم منجر به بیشینه شدن آب مقطر تولیدی می شود. همچنین استفاده از مواد تغییر فاز دهنده<sup>۲۱</sup> و استفاده مجدد از گرمای نهان چگالش با استفاده از مراحل متعدد نیز سبب بهبود عملکرد چگالش می شود (آرانکوم<sup>۲۲</sup> و همکاران،  $2013$ ). پوشاندن سطح حوضچه با فوتوکاتالیزورهایی<sup>۲۳</sup> چون  $CuO$ ،  $PbO_2$  و  $MnO_2$  و همچنین به کارگیری وسائل تولید کننده حرارت مانند ظروف برمی و یدی موجب بهبود قابل توجهی در عملکرد دستگاه می شود.

### ۳-۱-۲- نمک زدایی خورشیدی به شیوه رطوبت زنی - رطوبت گیری

سیستم نمک زدایی خورشیدی به شیوه رطوبت زنی- رطوبت گیری، بیانگر این است که ظرفیت حمل رطوبت توسط هوا، با افزایش دما افزایش می یابد. در این سیستم، وقتی هوای گرم شده که به صورت طبیعی یا اجباری به گردش در آمده و با اسپری شدن در اواپراتور در تماس با آب شور قرار می گیرد، مقدار مشخصی بخار آب از آب شور به دست می آید که می توان در کندانسور آن را بازیابی کرد. چهار نوع پیکربندی اصلی نمک زدایی خورشیدی به شیوه رطوبت زنی - رطوبت گیری عبارت اند از: سیکل آب باز- هوا بسته، سیکل آب بسته- هوا باز، سیکل آب باز- هوا باز، سیکل آب باز، بسته- هوا بسته، در سیکل آب بسته، آب شور تخلیه شده از اواپراتور با آب تغذیه مخلوط می شود. اما در سیکل آب باز، آب شور، در هر مرحله از فرایند، از سیستم دفع می شود. شکل (۴) بیان کننده سیکل آب باز و آب بسته می باشد. در مطالعه انجام شده، این سیستم با سیکل آب باز - هوا بسته نسبت به حالات دیگر به صورت بهینه تر عمل می کند و میزان آب مقطر تولیدی نیز بیشتر خواهد بود (نارایان<sup>۲۴</sup> و همکاران،  $2010$ ). به طور کلی، نرخ آب مقطر تولیدی از یک واحد نمک زدایی به شیوه رطوبت زنی- رطوبت گیری، بسیار وابسته به دبی و دمای آب تغذیه و نیز دمای هوای ورودی بوده و با پیش گرم کردن آب و هوا افزایش می یابد ( فرزاد<sup>۲۵</sup> و بهزاد مهر<sup>۲۶</sup>،  $2011$ ). همیشه مقدار بهینه ای برای دبی جریان آب ورودی به منظور خشک کردن هوا وجود دارد که در این حالت بیشینه نرخ انرژی حرارتی برای مقدار مشخصی

از دمای آب بازیابی می شود. همچنین با افزایش تعداد مراحل نیز نرخ انرژی حرارتی بازیابی شده افزایش می یابد. تجزیه و تحلیل اقتصادی این سیستم نشان می دهد که این سیستم می تواند برای ظرفیت های کوچکتر بسیار مناسب تر و رقابتی تر باشد.



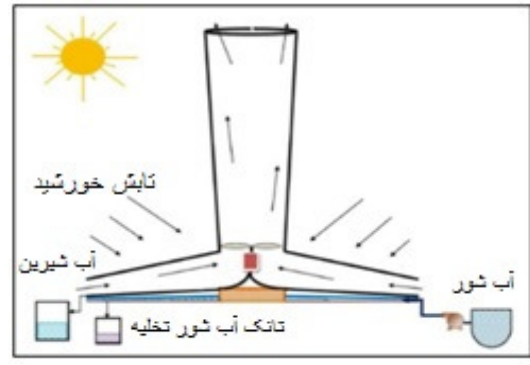
شکل (۳): سیستم نمک زدایی تقطیر خورشیدی ساده      شکل (۴): سیستم نمک زدایی به شیوه رطوبت زنی - رطوبت گیری

### ۳-۱-۳- دودکش خورشیدی

دودکش خورشیدی، انرژی حرارتی خورشید را ابتدا به انرژی جنبشی تبدیل می کند و سپس انرژی جنبشی با استفاده از یک توربوژنراتور درون دودکش به انرژی الکتریکی تبدیل می شود. اجزای اصلی یک دودکش خورشیدی عبارتند از: کلکتورهای خورشیدی با قطر بزرگ، توربین، ژنراتور و دودکش بلند. کلکتورهای مورد استفاده عمدتاً از جنس شیشه یا ورق های پلاستیکی اند که به صورت گلخانه عمل می کنند شکل (۵). به این صورت که گرما را به دام می اندازند، بنابراین زمین زیر کلکتورها گرم می شود. در نتیجه اختلاف دمایی بین دمای محیط و دمای هوای درون دودکش ایجاد می شود که موجب حرکت هوای گرم درون دودکش به سمت بالا می شود. انرژی جنبشی هوای گرم درون دودکش موجب چرخش توربین قرار گرفته در پایین دودکش شده و انرژی الکتریکی تولید می شود. سیستم یکپارچه شده متشکل از بستر سنگی ذخیره انرژی و حوضچه سیاه حلقوی می باشد. در این حوضچه، آب شور قرار گرفته و سطح آن توسط شیشه ای شیب دار پوشش داده شده است و در زیر کلکتورهای دودکش خورشیدی قرار گرفته است. تشعشعات خورشیدی سبب گرم شدن آب و هوا شده و در نتیجه باعث تبخیر آب شور می شود که در نهایت این آب تبخیر شده منجر به تولید آب شیرین می شود و همچنین با عبور از دودکش خورشیدی باعث تولید نیز می شود. اگر این نیروگاه به مدت ۸ ساعت در روز کار کند، قیمت آب تولیدی از آن به نسبت سیستم های دیگر تولید آب شیرین پایین تر است. در مقایسه با دودکش خورشیدی معمولی، دودکش های خورشیدی شیبدار کارآمدتر هستند و می توان انرژی الکتریکی بهتری از آن ها گرفت (کائو<sup>۲۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل (۶): سیستم نمک زدایی اسمز معکوس خورشیدی



شکل (۵): سیستم نمک زدایی از نوع حوضچه ای ترکیبی با دودکش خورشیدی

### ۳-۲- سیستم های نمک زدایی غیر مستقیم

در فرایندهای غشایی، آب قابل شرب، از آب شور (آبی که میزان نمک در آن از آب شیرین بیشتر و از آب دریا کمتر باشد) با عبور ملکول های آب (در اسمز معکوس) یا یون های آب (در الکترودیالیز) از غشاهایی تحت تأثیر فشار بالا (بالتر از فشار اسمزی) یا تحت تأثیر پتانسیل الکتریکی به دست می آید. در این سیستم، میزان شوری آب تغذیه، نقش کلیدی را در میزان آب شیرین به دست آمده ایفا می کند. در ذیل مدل های مختلف فرایندهای غشایی خورشیدی بیان گردیده است.

### ۳-۲-۱- نمک زدایی اسمز معکوس خورشیدی

اسمزی معکوس فرایند نمک زدایی تحت تأثیر فشار است که در آن، آب تغذیه تحت تأثیر فشار و به اجبار از غشاء عبور می کند. اگر فشار مورد استفاده بیشتر از فشار اسمزی باشد، آب شیرین پس از عبور از غشاء در لوله ای جمع آوری شده و آب شور باقی مانده نیز تخلیه می شود. میزان بازیابی آب شیرین برای یک واحد اسمزی معکوس برای آب شور دریا در حدود ۲۵ تا ۴۵ درصد بوده و برای آب لب شور، در حدود ۹۰ درصد می باشد شکل (۶). میزان انرژی مورد نیاز برای فرایند اسمزی معکوس به خواص غشاء و میزان شوری آب تغذیه بستگی دارد. بخش های اصلی یک سیستم اسمزی معکوس عبارت است از ماژول های غشاء، پمپ های فشار بالا، منبع انرژی و سیستم بازیابی انرژی.

### ۳-۲-۲- الکترودیالیز خورشیدی

الکترودیالیز فرایند جداسازی نمک از آب شور است. یک واحد نمک زدایی الکترودیالیز شامل بخش های کوچکتری است که با آب دریا پر و با غشاهای تبدالی آنیون و کاتیون از هم جدا شده اند. وقتی جریان برق DC بین کاتد و آند اعمال می شود، یون های منفی از غشاهای تبدالی آنیون عبور و یون های مثبت از غشاهای تبدالی کاتیون عبور می کنند و تعداد یون ها در یک بخش ویژه افزایش یافته و به عنوان آب شور تخلیه از سیستم خارج می شوند. قطب معکوس هر ۲۰ دقیقه اعمال می شود تا از رسوب نمک ها در غشاها جلوگیری کند. اصول کارکرد یک سیستم الکترودیالیز در شکل (۷) نشان داده شده است.

سیستم الکترودیالیز قابلیت نمک زدایی از آب شور تخلیه شده از سیستم اسمزی معکوس را نیز دارا می باشد (کنگلد<sup>۲۸</sup> ۲۰۰۹). در این سیستم نمک زدایی، برای آب زیرزمینی و محلول کلرات سدیم، درصد نمک زدوده شده، به ترتیب برابر با ۹۵ و ۹۹ درصد می باشد (لندستروم<sup>۲۹</sup>، ۱۹۷۹).

یک سیستم نمک زدایی الکترودیالیز خورشیدی برای ۳ منطقه بسیار مناسب است:

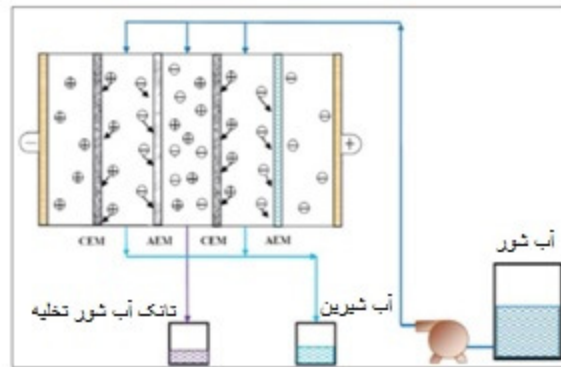
۱. مناطق بدون داشتن توان الکتریکی یا با توان الکتریکی کم.

۲. مناطق بدون دسترسی به منبع سوخت ارزان قیمت.

۳. مناطق با تشعشعات خورشیدی فراوان.

در زمان تابش تشعشعات قوی خورشیدی، توان زیاد خروجی صفحات فتولتائیک به منظور توان مورد نیاز برای نمک زدایی تقریبی آب تغذیه دریا به کار می رود. پس از آن، این آب که به طور تقریبی نمک زدایی شده است، در زمان تابش تشعشعات ضعیف خورشیدی که ظرفیت باتری کم شده است، به طور کامل نمک زدایی می شود. یک سیستم نمک زدایی الکترودیالیز رانده شده توسط صفحات فتولتائیک بدون باتری در هند راه اندازی شده است و با انجام یک سال تست میدانی درباره آن نشان داده شد که کارایی اش قابل اعتماد بوده و برای مناطق روستایی و همچنین مناطق با کنترل از راه دور سیستم مناسب است (محمودی و همکاران، ۱۳۹۶).

این سیستم شامل سامانه صفحات فتولتائیک  $450W$  بوده که به صورت دستی، روزانه ۳ بار (جنوب شرقی- جنوب- جنوب غربی) و ماهانه یک بار (شمال- جنوب) مورد ردیابی قرار می گیرد. این سیستم روزانه از ساعت ۴:۳۰ صبح تا ۸:۳۰ عصر مورد استفاده قرار می گیرد و آب آشامیدنی مورد نیاز ساکنان بومی را تأمین می کند. مطالعه تجربی درباره یک واحد نمک زدایی الکترودیالیز با استفاده از صفحات فتولتائیک خورشیدی نشان داده است که بازده سیستم صفحات فتولتائیک و بازده کل سیستم به ترتیب بین  $10/5 - 6/8$  درصد و  $8/2 - 6$  درصد متغیر است. همچنین نرخ آب تولیدی بین  $200m^3/d$  و  $375m^3/d$  متغیر است.



شکل (۷): سیستم نمک زدایی الکترودیالیز خورشیدی

#### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش انواع سیستم های نمک زدایی بررسی شدند. در سیستم تقطیر خورشیدی، آب مقطر به دست آمده دارای کیفیت بسیار بالایی است، اما مقدار به دست آمده از واحد ساده آن در مقایسه با مساحت مورد نیاز واحد، در محدوده بسیار کمی است و بازده آن نیز پایین می باشد، بنابر این با توجه به موقعیت مناسب استان قم از لحاظ تابش انرژی خورشیدی و دمای بالای استان این سیستم در مقیاس بزرگ جوابگو نمی باشد. برای سیستم رطوبت زنی- رطوبت گیری،



اگرچه تجزیه و تحلیل اقتصادی آن نشان می دهد که این سیستم می تواند برای ظرفیت های کوچکتر بسیار مناسب تر و رقابتی تر باشد، اما در ظرفیت های بالا، برای کارکرد بهینه نیاز به تعداد بالایی مرحله دارد که هزینه سیستم را بسیار بالا می برد. با این حال، این سیستم در ظرفیت های پایین تر نیز به طور نسبی نیاز به سطح مقطع بالا برای کندانسور و رطوبت زن دارد، پس این سیستم نیز برای استان قم توجیه اقتصادی ندارد.

سیستم دودکش خورشیدی به هیچ عنوان برای مقیاس های کوچک مناسب نیست و صرفه اقتصادی ندارد. در واقع، تولید همزمان توان و آب شیرین از یک واحد دودکش خورشیدی اگرچه جذاب بوده، اما تنها در صورتی امکان پذیر است که مقدار وسیعی زمین بی استفاده یا مناطق ساحلی در دسترس باشد.

سیستم نمک زدایی اسمز معکوس خورشیدی با استفاده از پنل های فتوولتائیک، هم در مقیاس های صنعتی و بزرگ و هم در مقیاس های کوچک مورد استفاده قرار می گیرند. واحد های نمک زدایی فرایند اسمزی معکوس خورشیدی با صفحات فتوولتائیک، بسیار برای واحد های نمک زدایی کوچک مناسب تر بوده و برای واحد های متوسط یا بزرگ چندان مناسب نیست. همچنین انرژی مصرفی یک واحد اسمزی معکوس و قیمت آب تولیدی، بستگی زیادی به آرایش غشاها، بازده سیستم و میزان شوری آب تغذیه دارد. قیمت آب تولیدی و میزان مصرف انرژی سیستم بر پایه صفحات خورشیدی با استفاده از سلول های با بازده بالا، سیستم های ردیابی جدید و غشاها با عمر طولانی جدید، کاهش می یابد. اگرچه پیش بینی شده که قیمت پنل های صفحات خورشیدی کاهش خواهد یافت، اما مشکل اصلی این سیستم، هزینه اولیه بالای آن می باشد. واحد های اسمزی معکوس بسیار توسعه داده شده اند و به راحتی قابل کوپل شدن با پنل های خورشیدی می باشند. با این وجود برای جذاب تر کردن این سیستم، تحقیقات بیشتری باید انجام بگیرد تا بتوان غشاهایی با عمر طولانی تر را توسعه داد و به این ترتیب، هزینه نگهداری و قیمت آب کاهش یابد. سیستم الکترودیالیز خورشیدی با وجود مزایایی که نسبت به سیستم اسمزی معکوس دارد، برای آب هایی با غلظت نمک بالا همانند آب دریا، چندان مناسب نیست و بیشتر برای آب های لب شور یا آب های شور با غلظت متوسط مناسب است. هزینه استحصال آب با سیستم الکترودیالیز خورشیدی برای آبی با غلظت ۲۰۰۰ ppm نسبت به سیستم اسمزی معکوس پایین تر است. بنابر این مطابق با بررسی های انجام شده، بهترین سیستم نمک زدایی کوچک مقیاس به منظور ساخت در استان قم با توجه به شرایط اقلیمی، سیستم نمک زدایی اسمز معکوس خورشیدی می باشد که به اسمزی معکوس با استفاده از صفحات خورشیدی معروف است. پس از آن سیستم الکترودیالیز خورشیدی در صورتی که هدف شیرین سازی آب با غلظت متوسط باشد، مناسب است.

## ۵- پی نوشت ها

1. Kalogirou
2. .giovanni
3. Carlos
4. Boys
5. Abdenacer
6. Nafila
7. Nabil Hussain
8. Abdulhaiy
9. Azade
10. Cooper
11. Mowla
12. Palacio
13. Kumar
14. Rheinlander
15. Solor Still

16. Solar distillation
17. Evacuated tube collector
18. Concentrating dish type collector
19. Solar pond
20. El-Sebaii
21. Phase change material
22. Arunkum
23. Photo catalyst
24. Narayan
25. Farsad
26. Behzadmehr
27. Cao
28. Korngold
29. lundstrom

## ۶- مراجع

- حسینی، س.ش، و همکاران، (۱۳۹۶)، "مطالعه آزمایشگاهی آب شیرین کن خورشیدی با استفاده از PCM و متلاطم سازهای جریان"، مجله مهندسی مدرس، ۱۷(۶)، ۱۱۷-۱۲۷.
- رئوفی راد، م.، (۱۳۸۵)، "طراحی سیستم های خورشیدی ساختمان در ایران"، انتشارات فدک ایساتیس، ص ۶۳.
- کاظمی، ف.، رحیمی، ب.، (۱۳۸۶)، "استفاده از انرژی خورشیدی برای شیرین کردن آب"، همایش بین المللی شیرین سازی آب دریا، ص ۲۳.
- کیانی فر، ح.، و همکاران، (۱۳۸۵)، "مطالعه تئوری و آزمایشگاهی یک آب شیرین کن خورشیدی با جابجایی اجباری"، یازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
- محمودی، م.، و همکاران، (۱۳۹۶)، "روش های نمک زدایی در سیستم های آب شیرین کن خورشیدی"، مجله مهندسی مکانیک، ش. ۱۱۵.
- Arunkum, T., Denkenberger, D., Ahsan, A., Jayaprakash, R., (2013), "the augmentation of distillate yield by using concentrator coupled solar still with phase change material", *Desalination*, 314, 189-192.
- Cao, F., Li, H, Zhang, Y, Zhao, L., (2013), "Numerical Simulation and Comparison of Conventional and Sloped Solar Chimney Power Plants: The Case for Lanzhou", *The Scientific World Journal*, Vol. 2013, pp.8.
- Eltawil, M.A., Zhengming, Z., Yuan, L., (2009), "A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2245-2262.
- Eltawil, M.A., Zhengming, Z., (2009), "Wind turbine-inclined still collector integration with solar still for brackish water desalination", *Desalination*, 249(2), 490-497.
- El-Sebaii, A.A., Aboul-enein, S., Ramadan, M.R.I., Khallaf, M., (2011), "Thermal performance of an active single basin solar still (ASBS) coupled to shallow solar pond (SSP)", *Desalination*, 208(1-3), 183-190.
- Farsad, S., Behzadmehr, A., (2011), "Analysis of a solar desalination unit with humidification-dehumidification cycle using DoE method", *Desalination*, 278(1-3), 70-77.
- Hamawand, I., Lewis, L., Ghaffour, N., Bundschuh, J., (2017), "Desalination of salty water using vacuum spray dryer driven by solar energy", *Desalination*, 404, 182-191.
- Kabeel, A.E., El-Agouz, A.A., (2011), "Review of researches and developments on solar stills", *Desalination*, 276(3), 1-12.
- Kalogirou, S.A., (2005), "Seawater desalination using renewable energy sources", *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(3), 242-281.
- Korngold, E., Aronov, L., Daltrophe, N., (2009), "Electrodialysis of brine solutions discharged from an RO plant", *Desalination*, 242, (1-3), 215-227.
- Lundstrom, J.E., (1979), "Water desalting by solar powered electrodialysis", *Desalination*, 31 (1-3), 469-488.

- Mahian, O., Kianifar, A., Kalogirou, S. A., Pop, I., Wongwises, S., (2013), "A review of the applications of nanofluids in solar energy", *Heat and Mass Transfer*, 57, 582–594.
- Mosaffa, A. H., Infante Ferreira, C. A., Talati, F., Rosen, M. A., (2013), "Thermal performance of a multiple PCM thermal storage unit for free cooling", *Energy Conversion and Management*, 67, 1–7.
- Nafey, A.s., Abdelkader, M., Abdelmotalip, A., Mabrouk, A.A., (2001), "Solar still productivity enhancement", *Energy Conversion and Management*, 42(11), 1401-1408.
- Narayan, G.P., Sharqawy, M.H., Summers, E.K., Lienhard, J.H., Zubair, S.M., Antar, M. A., (2010), "The potential of solar-driven humidification-dehumidification desalination for small-scale decentralized water production", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(4), 1187-1201.
- Qiblawey, H.M., Banat, F., (2008), "Solar thermal desalination technologies", *Desalination*, 220(1-3), 633-644.
- Rostamizadeh, M., Khanlarkhani, M., Sadrameli, S. M., (2012), "Simulation of energy storage system with phase change material (PCM)", *Energy and Buildings*, 49, 419–422.
- Sivakumar, V., Sundaram, E.G., (2013), "Improvement techniques of solar still efficiency: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 246-264.
- Voropoulos, K., Mathioulakis, E., Belessiotis, V., (2004), "A hybrid solar desalination and water heating system", *Desalination*, 164(2), 189-195.

## **Study of water shortage and its management by solar panels in areas with potential (case study: Qom province)**

**Nasrin mohammadi sabet<sup>\*1</sup>, omid gaeeni<sup>2</sup>**

**1- Master of Science in Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS & RS), Tarbiat Modarres University, nm1781368@gmail.com**

**2- Expert in Finance, Qom Province Water and Wastewater Company, o.gaeeni1364@gmail.com**

### **Abstract**

The importance of water is not only tangible in human life and all living things, but in everyday life, agriculture and industry cannot be overlooked. Providing fresh drinking water, which is low in salt and harm to health and sanitation, is a very important matter and has already made an important issue. For this purpose, water desalination and salt water ( groundwater containing salt ) cannot be ignored. The high potential of the use of clean and unlimited solar energy is a viable option to apply solar desalination systems. Iran has a large area of suitable solar radiation and has a suitable position to use solar desalination systems with the existence of saline water resources in the north and south of the country. therefore, this study aimed to investigate the water crisis and its management by solar panels in the regions possessing potential, including Qom province. in order to evaluate new solar desalination technologies in different regions, and finally with regard to the region 's potentials and research results, its operational samples are recommended for use in different regions considering managerial goals. the results show that in qom province due to climatic conditions, the desalination system is more appropriate than the other desalination systems.

**key words: crisis, water desalination, geothermal desalination, reverse osmosis, Qom province.**