

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره دوازده، اسفند ماه ۱۴۰۰ (۲۷۳-۲۸۸)

## امکان‌سنجی جایگزینی انرژی خورشیدی بمنظور تأمین انرژی‌های مختلف مخصوصاً شیرین‌سازی آب مورد نیاز یک ساختمان

اسماعیل محسن پور<sup>۱</sup>

مهدی علی‌احیایی<sup>۲</sup>

اشکان عبدالی سوسن<sup>۳\*</sup>

[a.abdali@srbiau.ac.ir](mailto:a.abdali@srbiau.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** امروزه جهان با کمبود آب شیرین مواجه است و برای غلبه بر این موضوع مهم، تمام کشورهای دنیا به دنبال شیرین‌سازی آب به روش‌های مختلف هستند تا نیاز کشور خود را تأمین کنند. استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر روش مناسبی برای تأمین انرژی مورد نیاز در این واحدها به حساب می‌آید.

**روش بررسی:** در این پژوهش در ابتدا با استفاده از داده‌های اولیه میزان بار الکتریکی یک واحد مسکونی واقع در شهر بندرعباس، برای ماه‌های مختلف سال محاسبه گردید و با در نظر گرفتن میزان برق مصرفی مورد نیاز، میزان بار گرمایشی و سرمایشی با استفاده از نرم افزار Carrier بدست آمد. همچنین با استفاده از داده‌های موجود، انرژی مورد نیاز برای دستگاه آب شیرین کن و میزان مساحت مورد نظر برای پنل خورشیدی محاسبه گردید. پس از تحلیل داده‌های بدست آمده از لحاظ انرژی و اکسرژی در بین روش‌های شیرین‌سازی آب، روش اسمز معکوس انتخاب گردید که منبع مورد نیاز از طریق آب دریا تأمین می‌گردد.

**یافته‌ها:** بیشترین مساحت مورد نیاز پنل خورشیدی برای تأمین بار الکتریکی واحد مسکونی حدود ۱۳۴ مترمربع است و توان تولید حدود ۹ کیلووات برق را دارا می‌باشد و بازدهی اکسرژی این پنل‌ها در بیشترین میزان خود به حدود ۲۵ درصد می‌رسد. همچنین در طول شبانه روز حدود ۲۲۰ لیتر آب آشامیدنی برای ۴ نفر اعضای خانواده تولید می‌گردد. از نظر اقتصادی نیز بازگشت سرمایه حدود ۷ سال و با بازدهی داخلی ۱۷ درصد است.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تخصصی مهندسی انرژی و اقتصاد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه فنی و مهندسی، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- استادیار گروه فنی و مهندسی، واحد آستارا، دانشگاه آزاد اسلامی، آستارا، ایران. \* (مسوول مکاتبات)

**بحث و نتیجه گیری:** بر اساس توان تولیدی از پنل خورشیدی در ماههایی از سال مثل فصل زمستان که نیاز کمتری به تولید انرژی است، می توان برق اضافی تولید شده را به شبکه توزیع انتقال داد تا به درآمد زایی سیستم کمک کرد. از نظر اقتصادی با توجه به فراهم شدن سرمایه اولیه در این واحد مسکونی، می توان یک سیستم مستقل از شبکه توزیع ایجاد نمود که آب شیرین مورد نیاز برای واحد مسکونی را نیز تأمین کند و برای مناطقی که با کمبود آب شرب مواجه هستند ، پیشنهاد می گردد.

**واژه های کلیدی:** اسمز معکوس، پنل خورشیدی، اکسرژی، بازگشت سرمایه، بازدهی داخلی.

# **Feasibility study of replacing solar energy in order to provide different energies, especially desalination of water required by a building**

**Essmail Mohisen pour<sup>1</sup>**

**Mehdi Ali Ehyaei<sup>2</sup>**

**Ashkan Abdalisousan<sup>3\*</sup>**

[a.abdali@srbiau.ac.ir](mailto:a.abdali@srbiau.ac.ir)

Admission Date: September 22, 2021

Date Received: June 2, 2021

## **Abstract**

**Background and Objective:** Today in the world we are facing a shortage of fresh water and to overcome this important issue all countries in the world are looking to desalinate water in different ways to meet the needs of their country. The use of renewable energy is a good way to supply the energy needed in these units.

**Material and Methodology:** In this study, using the initial data, the amount of electric charge of a residential unit located in Bandar Abbas, for different months of the year was calculated and considering the amount of electricity required, the amount of heating and cooling load using software Carrier was obtained. Also, using the available data, the energy required for the desalination plant and the desired area for the solar panel were calculated. After analyzing the obtained data in terms of energy and exergy, among the water desalination methods, reverse osmosis method was selected that the required source is supplied through seawater.

**Findings:** The maximum required area of the solar panel to supply electricity to the residential unit is about 134 square meters and has the capacity to produce about 9 kW of electricity and the exergy efficiency of these panels at its maximum is about 25%. Also, about 220 liters of drinking water is produced for 4 family members during the day. Economically, the return on investment is about 7 years and with a domestic return of 17%.

**Discussion and Conclusions:** Depending on the generation capacity of the solar panel in the months of the year such as winter that require less energy, the excess electricity generated can be transferred to the distribution network to help generate revenue for the system. Economically, due to the provision of initial capital in this residential unit, it is possible to create a system independent of the distribution network that will also provide the fresh water needed for the residential unit and is recommended for areas facing shortage of drinking water.

**Keywords:** Reverse Osmosis, Solar Panel, Exergy, Payback Period, Internal Rate of Return.

---

1- M.Sc. Student, Department of Energy Engineering and Economics, Faculty of Natural Resources and Environment, Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Engineering, Pardis Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Technology and Engineering, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran. \*(Corresponding Authors)

## مقدمه

حاشیه خلیج فارس بوده و از این مقدار تنها ۲۰۰ متر مکعب مربوط به ایران می‌باشد و این امر نشان دهنده این موضوع است که کشورهای حاشیه خلیج فارس به سرعت به سمت شیرین سازی آب پیش می‌روند ولی ایران هنوز نتوانسته است سهم خود را از این میزان برداشت کند و آب مورد نیاز خود علی الخصوص در شهرهای جنوبی را تأمین نماید (۲).

از طرف دیگر امروزه جوامع مختلف برای تأمین انرژی مورد نیاز به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر روی آورده‌اند تا بتوانند اثرات مخرب به وجود آمده ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی را کمتر کنند. در بین تمام انرژی‌های تجدید پذیر، انرژی خورشیدی به دلیل مقرون به صرفه تر بودن و در دسترس تر بودن بیشتر مورد توجه قرار گرفته است که در شکل ۱ این میزان نشان داده شده است:

امروزه جهان با کمبود آب شرب مواجه است و در بسیاری از کشورها روش‌های مختلفی جهت شیرین سازی آب استفاده می‌شود، از جمله: تقطیر چند مرحله‌ای<sup>۱</sup> (MFD)، تقطیر چند اثره<sup>۲</sup> (MED)، تقطیر تراکمی بخار<sup>۳</sup> (VCD)، الکترولیز<sup>۴</sup> (ED) و اسمز معکوس<sup>۵</sup> (RO) استفاده می‌شود (۱).

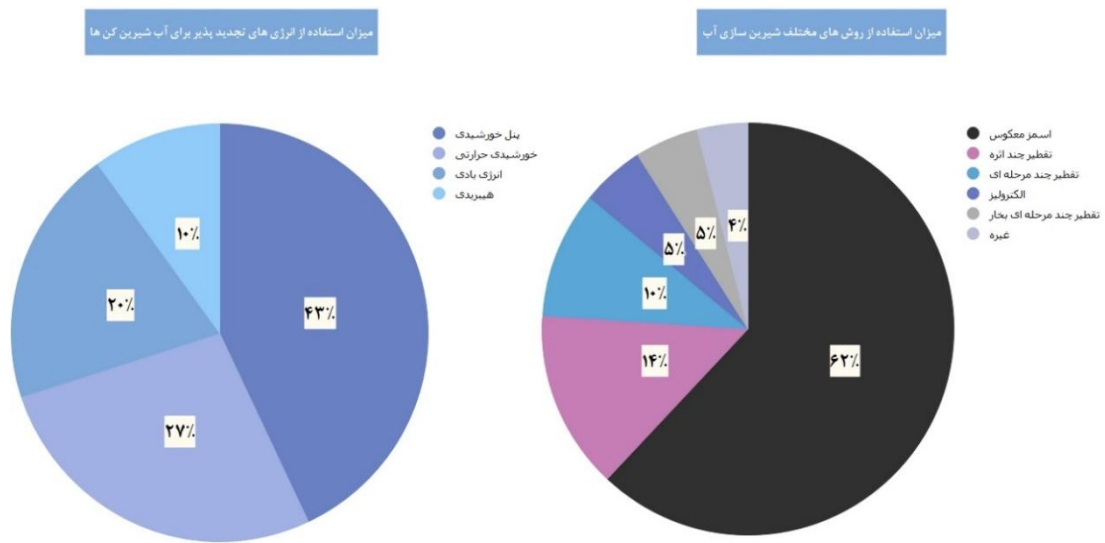
یکی از مواردی که در تأمین آب شیرین بسیار مورد توجه است استفاده از آب اقیانوسها و آب‌های شور موجود در بیابان‌ها می‌باشد (۱).

در کشور ایران شیرین سازی آب با استفاده از سوخت‌های فسیلی در حال انجام است ولی متأسفانه به دلیل بالا بودن هزینه‌های ساخت نیروگاه‌های خورشیدی جهت تولید آب شیرین، حرکتی در جهت توسعه این نوع فناوری در ایران صورت نگرفته است. این درحالی است که در بسیاری از کشورها که با مشکل کم آبی مواجه هستند، به سمت استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر برای تولید آب شیرین مورد نیاز حرکت کرده و توانسته‌اند با ایجاد زیر ساخت های مناسب، در این راه قدم‌های بزرگی بردارند.

در نتیجه نیاز به این تکنولوژی با توجه به کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، به شدت در کشور احساس می‌شود. امروزه در مناطق مختلف جهان علی الخصوص کشورهای حاشیه خلیج فارس به دلیل کمبود بارش و عدم توانایی در تأمین آب شرب در مناطق مختلف، به سمت استفاده از روش‌های شیرین سازی آب با استفاده از سلول‌های خورشیدی روی آورده‌اند و این در حالی است که این کشورها مثل عربستان با داشتن ذخایر متعدد نفتی برای شیرین سازی آب از انرژی تجدید پذیر (مانند انرژی خورشیدی) استفاده می‌کند.

امروزه در دنیا حدود ۹۰ میلیون متر مکعب آب توسط روش‌های مختلف شیرین و مورد استفاده قرار می‌گیرد که از این مقدار حدود ۲۲ میلیون مترمکعب آن مربوط به کشورهای

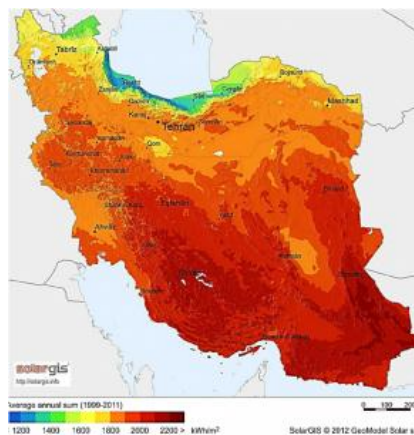
- 1- Multi-stage Fash Distillation
- 2- Multi Effect Distillation
- 3- Vapor Compression Distillation
- 4- Electrodialysis
- 5- Reverse Osmosis



شکل ۱- میزان استفاده از روش‌های مختلف شیرین‌سازی آب در دنیا و منابع انرژی مورد استفاده (۳)

Figure 1. The rate of use of different methods of water desalination in the world and energy sources used

کشور ایران از پتانسیل بالای خورشیدی در مناطق مختلف برخوردار است که در شکل ۲ نحوه توزیع این انرژی در سطح کشور نشان داده شده است (۴).



شکل ۲- میزان شدت تابش در ایران (۴)

Figure 2. The intensity of radiation in Iran

پتانسیل زیادی برای رفع کمبود آب در این مناطق به کمک انرژی خورشیدی وجود دارد.

همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد بیشترین میزان تابش در جنوب و جنوب شرقی و مرکز ایران متمرکز شده است، بر همین اساس در این مناطق می‌توان بیشترین بهره را از انرژی خورشیدی دریافت کرد. همچنین مناطقی که بیشتر با کمبود آب شیرین مواجه هستند اغلب در همین مناطق بوده و

## روش بررسی

## اسمز معکوس

در این روش جداسازی آب از نمک به صورت مکانیکی صورت می‌گیرد به این طریق که آب شور با استفاده از یک پمپ فشار بالا به درون یک سری از غشاهای حرکت کرده و نمک و املاح درون این غشاهای جذب شده و آب شیرین سازی می‌گردد روش کار در غشاهای نیز به این صورت است که با ایجاد فشار معکوس آب شور به سمت آب شیرین حرکت کرده و باعث تصفیه آب می‌شود که به آن اسمز معکوس گفته می‌شود (۵).

از مزایای این روش می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود (۵)

۱. صرفه جویی در انرژی

۲. نیاز به فضای کمتر برای شیرین سازی

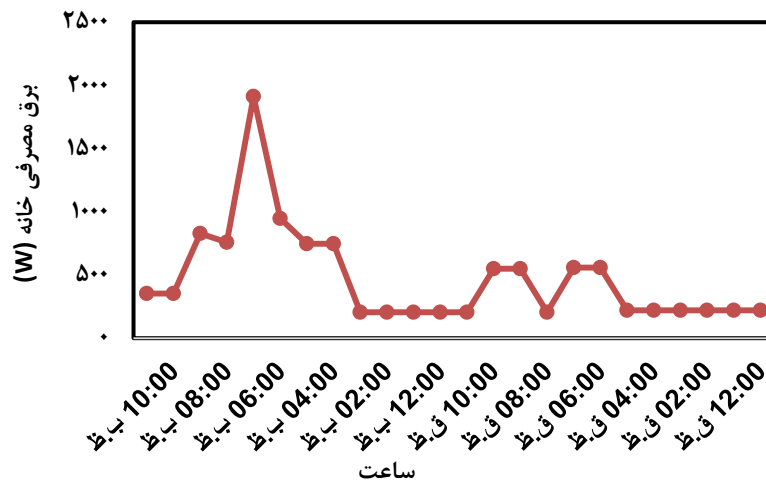
۳. سریع بودن فرآیند

۴. انجام فرآیند در دماهای پایین

۵. نیاز به سرمایه گذاری کمتر نسبت به بقیه روشها

## مدلسازی سیستم

این واحد مسکونی در شهر بندرعباس واقع شده و مساحت آن حدود ۱۰۰ مترمربع می‌باشد. ۴ نفر در این واحد مسکونی سکونت دارند. ضخامت دیوارهای خانه مجموعاً ۱۲۰ میلیمتر می‌باشد و جنس آن از آجر و گچ و سیمان تشکیل شده است در ابتدا میزان برق مورد نیاز این واحد مسکونی که شامل وسایل برقی مختلف مانند یخچال، اتو، تلویزیون و غیره بوده محاسبه گردید و به صورت نمودار شکل ۳ قابل مشاهده است:



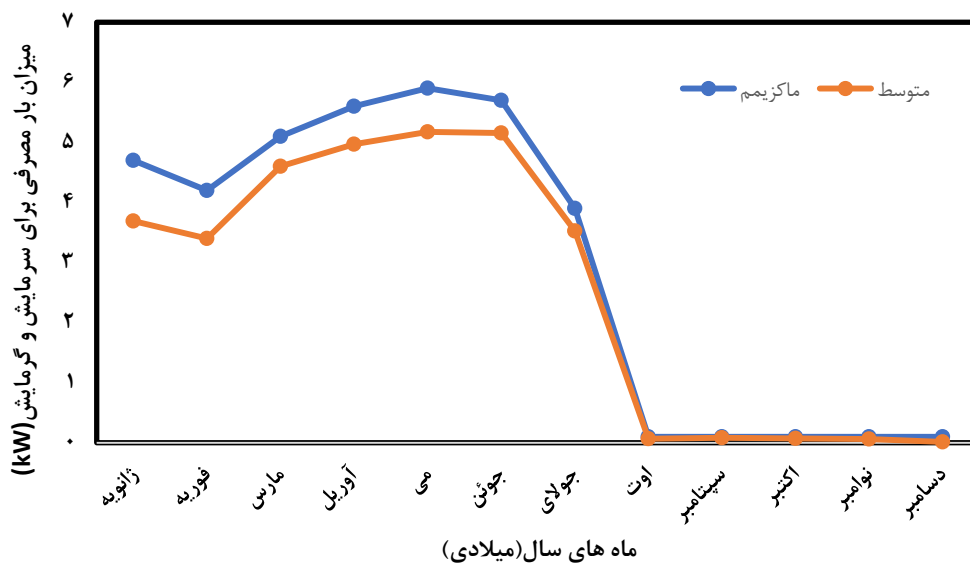
شکل ۳ - نرخ کل متوسط مصرف انرژی الکتریکی برای یک واحد مسکونی در یک شبانه روز بر حسب ساعت

Figure 3. Total average rate of electricity consumption per residential unit per day in terms of hours

پنجره‌ها و موقعیت جغرافیایی واحد مسکونی، نوع وسیله سرمایشی و گرمایشی و... می‌توان مقدار انرژی مورد نیاز در ماه‌های مختلف سال محاسبه کرد. در شکل ۴ این مقادیر محاسبه شده است.

همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد ۶ تا ۸ عصر بیشترین میزان مصرف برق وسایل الکتریکی واحد مسکونی است که در حدود ۲ کیلووات ساعت می‌باشد.

میزان سرمایش و گرمایش مورد نیاز این واحد مسکونی با استفاده از نرم افزار Carrier محاسبه گردید. در این نرم افزار با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف شامل جنس دیوارها و مساحت خانه، تعداد اتاقها و نوع فعالیت در آن، سایه‌ها و

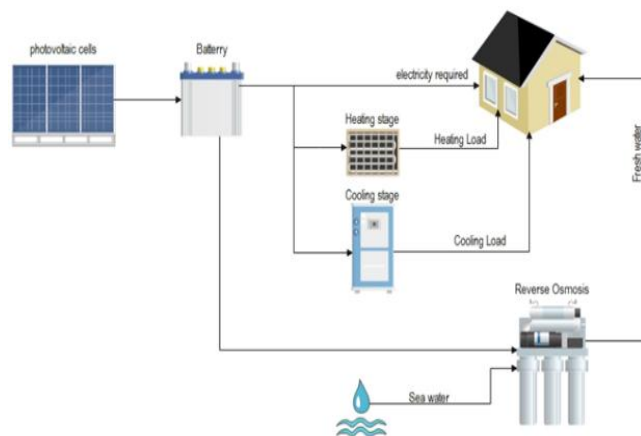


شکل ۴- میزان انرژی مورد نیاز برای سرمایش و گرمایش در ماه‌های مختلف سال بر حسب بار مصرفی

Figure 4. The amount of energy required for cooling and heating in different months of the year in terms of consumption

مسکونی، مطالعه انجام شد. با استفاده از نرم افزار Carrier مقدار بار سرمایشی، گرمایشی مورد نیاز این واحد محاسبه گردید و با توجه به نیاز آب شیرین این واحد مسکونی، میزان بار الکتریکی مورد نیاز برای آب شیرین کن اسمز معکوس نیز به بار الکتریکی خانه اضافه گردید و با استفاده از نرم افزار متلب محاسبات مربوطه انجام شد.

شکل ۴ بیان کننده این موضوع است که طبیعتاً بیشترین نیاز این واحد مسکونی برای سرمایش در فصل‌های گرم سال می‌باشد که از خردادماه تا شهریورماه ادامه دارد و در بیشترین مقدار خود به ۶ کیلووات می‌رسد در این مطالعه پس از بررسی انواع روش‌های شیرین سازی آب و نوع عملکرد آنها، سیستم آب شیرین کن اسمز معکوس برای پروژه انتخاب گردید و با در نظر گرفتن یک واحد



شکل ۵- مدل پیاده شده در ساختمان

Figure 5. Model implemented in the building

فرستاده می‌شود تا شارژ گردد. این انرژی در بخش الکتریسته، سرمایش و گرمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد. در کنار سیستم‌های دیگر، آب شیرین کن اسمز معکوس نیز از همین

همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد انرژی الکتریکی مورد نیاز توسط پنل خورشیدی تولید و به سمت مصرف خانه هدایت می‌شود و بخشی از آن برای مواقع مورد نیاز به باتری

مقدار کار مورد نیاز برای شیرین سازی آب به روش اسمز معکوس از معادله ۹ بدست می‌آید(۶):

$$W_{RO} = \frac{\Delta P \dot{m}_f}{\rho_f \eta_{RO, Pump}} \quad (9)$$

$W_{RO}$ : مقدار کار مورد نیاز اسمز معکوس (kw) ;  $\rho_f$ : چگالی آب شور ورودی  $1.034 \text{ kg/m}^3$  ;  $\eta_{RO, Pump}$ : بازدهی پمپ آب شیرین کن  $0.8$  ; اکسرژی کلی یک سیستم از رابطه ۱۰ قابل محاسبه می‌باشد:

$$e = \sum (x_i e x_{chi} + x_i R_i \ln y_i) + \frac{V^2}{2} + gz + (h - h_0) - T_0(s - s_0)$$

$e$ : اکسرژی سیستم (kj/kg) ;  $h$ : آنتالپی (kj/kg) ;  $h_0$  : آنتالپی محیط (kj/kg) ;  $T_0$ : دمای محیط ;  $s$ : آنتروپی ;  $s_0$  (kj/kg) : آنتروپی محیط (kj/kg) مقدار بازدهی اکسرژی کلی سیستم از رابطه ۱۱ بدست می‌آید(۷):

$$\text{Exergy efficiency} = \frac{\dot{m}_p e_p}{\dot{m}_f e_f + W_{RO}} \quad (11)$$

#### روابط مربوط به پنل خورشیدی

در ابتدا زاویه مؤثر بر اساس تعداد روز از معادله ۱۲ محاسبه می‌شود(۸):

$$\delta = 23/45 \sin \left( 360 \times \frac{284 \times n}{365} \right) \quad (12)$$

$\delta$ : زاویه مؤثر (درجه) ;  $n$ : شماره روز ;

زاویه بازتابش تصادفی از رابطه ۱۳ بدست می‌آید(۹):

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \quad (13)$$

$\varphi$ : عرض جغرافیایی محل  $56/7^\circ$  ;  $\omega$  ساعت زاویه‌ای  $15^\circ$  ;

مقدار تابش خورشیدی در معادله ۱۴ قابل محاسبه می‌باشد(۹):

$$i_b = S \sin \left( \frac{\pi}{2} - \theta_z \right) \quad (14)$$

که در آن مقدار  $S$  از رابطه ۱۶ بدست می‌آید(۹):

$$\left( \frac{\bar{d}}{d} \right) = \frac{1}{\left( 1 - 0.1673 \cos \left( \frac{2n\pi}{365} \right) \right)} \quad (15)$$

$$s = G_{sc} \left( \frac{\bar{d}}{d} \right)^2 \quad (16)$$

$G_{sc}$ : مقدار ثابت خورشیدی  $1367 \text{ w/m}^2$  ;

انرژی بهره گرفته و برق مورد نیاز خود را برای تأمین آب شیرین واحد مسکونی مصرف می‌کند. در ابتدای امر به محاسبه این انرژی پرداخته می‌شود.

#### روابط حاکم مربوط بر فرایند اسمز معکوس

معادله بالانس (موازنه) جرمی به صورت کلی در سیستم اسمز معکوس به صورت معادله ۱ می‌باشد(۶):

$$\dot{m}_f = \dot{m}_p + \dot{m}_b \quad (1)$$

$\dot{m}_f$ : دبی آب شور ورودی (kg/s) ;  $\dot{m}_p$ : دبی آب شیرین تولید شده (kg/s) ;  $\dot{m}_b$ : دبی شور آب خروجی (kg/s) میزان املاح حل شده در هر یک از جریانهای جرمی نیز با  $x$  نمایش داده می‌شود و به صورت معادله ۲ می‌باشد(۶):

$$\dot{m}_f x_f = \dot{m}_p x_p + \dot{m}_b x_b \quad (2)$$

$x_f$ : مواد محلول در آب شور ورودی (mg/L) ;  $x_p$ : مواد محلول در آب شیرین تولید شده (mg/L) ;  $x_b$ : مواد محلول در شور آب خروجی از سیستم (mg/L)

مقدار فشار اسمز هر یک جریانها نیز از معادلات ۳ تا ۶ حاصل می‌شود(۶):

$$\pi_f = RT x_f \quad (3)$$

$$\pi_p = RT x_p \quad (4)$$

$$\pi_b = RT x_b \quad (5)$$

$$\Delta \pi = \left( \frac{\pi_f + \pi_b}{2} \right) - \pi_p \quad (6)$$

$\Delta \pi$ : اختلاف فشار سیستم (pa) ;  $\pi_f$ : فشار آب ورودی (pa) ;  $\pi_b$ : فشار آب شور خروجی از سیستم (pa) ;  $\pi_p$ : فشار آب شیرین تولیدی (pa) ;  $R$ : ثابت جهانی گازها ;

$T$ : دمای متوسط دمای ورودی (k) ;  $8/314 \text{ kJ/kg.k}$

مقدار ضریب نفوذ پذیری آب از رابطه ۷ بدست می‌آورده می‌شود(۶):

$$k_\omega = 6/814 \times 10^{-8} \times \frac{[18/68 - (0/177 \times x_b)]}{T} \quad (7)$$

مقدار فشار هیدرولیکی آب خروجی نیز از رابطه ۸ محاسبه می‌گردد(۶):

$$\Delta P = \frac{\dot{m}_p}{k_\omega A_m} + \Delta \pi \quad (8)$$

$\Delta P$ : فشار هیدرولیکی آب (pa) ;  $A_m$ : مساحت غشاها ;  $2/5 \text{ m}^2$



$$C_n = C_0(1+i)^N \quad (21)$$

$C_n$ : هزینه پروژه با در نظر گرفتن تورم  $US$ ;  $C_0$ : هزینه خالص ابتدایی  $US$ ;  $i$ : نرخ بهره (۳٪);  $N$ : تعداد سالها;

برای محاسبه میزان درآمد ناشی از ایجاد این پروژه در واحد مسکونی از رابطه ۲۲ استفاده می‌شود(۱۱):

$$C_F = Y_{electrical} \times K_{electrical} + Y_{PW} \times K_{PW} \quad (22)$$

$C_F$ : درآمد سیستم ( $US$ );  $Y_{electrical}$ : میزان برق مصرفی در یک سال;  $K_{electrical}$ : درآمد فروش یک کیلووات برق  $\frac{US}{kWh}$ ;  $Y_{PW}$ : میزان آب تولیدی در یک سال;

$K_{PW}$ : درآمد فروش یک لیتر آب شیرین تولید شده  $\frac{US}{Lit}$ ;  $0.05$ ; برگشت سرمایه از طریق دو معادله ۲۳ و ۲۴ قابل محاسبه است، دوره برگشت سرمایه ساده<sup>۱</sup> (SPP) و دوره برگشت سرمایه<sup>۲</sup> (PP) که به صورت دقیق‌تری محاسبه می‌شود. (۱۱)

$$SPP = \frac{C_n}{C_F} \quad (23)$$

$$PP = \left( \frac{\ln\left(\frac{C_F}{C_F - r.C_F}\right)}{\ln(1+r)} \right) \quad (24)$$

$r$ : تعداد سال‌ها;

یکی از راه‌های بررسی اقتصادی یک پروژه، ارزش خالص فعلی NPV<sup>۳</sup> می‌باشد.

ارزش خالص فعلی تفاوت بین ارزش فعلی جریان نقدی ورودی و ارزش فعلی جریان نقدی خروجی می‌باشد که از طریق رابطه ۲۵ بدست می‌آید(۱۱):

$$NPV = C_F \times \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} - C_n \quad (25)$$

نرخ بازده داخلی (IRR)<sup>۴</sup> نرخ تنزیلی است که بر اساس آن خالص ارزش حال جریان‌ات نقدینگی طرح سرمایه گذاری برابر صفر می‌شود. به بیان دیگر در این نرخ جمع ارزش‌های حال (جریان‌ات نقد تنزیل شده) برابر با سرمایه گذاری اولیه خواهد بود و بدین ترتیب، میزان سود اقتصادی برابر با صفر خواهد شد. نرخ بازده داخلی از طریق معادله ۲۶ بدست می‌آید(۱۱):

مقدار انرژی الکتریکی خروجی از پنل خورشیدی از رابطه ۱۷ بدست آورده می‌شود(۹):

$$(17)$$

$E_{array} = I_b A_{array} \eta_{pv} f_{man} f_{temp} f_{dirt} H_{tilt} N$   
 نوع ماژول پنل از جنس مونو کریستالی به دلیل بالاتر بودن بازدهی انتخاب شده است;  $A_{array}$ : سطح در دسترس برای قرار دادن پنل خورشیدی ( $m^2$ );  $\eta_{pv}$ : بازدهی پنل خورشیدی ۱۸٪;  $f_{man}$ : ضریب خطای انسانی در طراحی ۵٪;  $f_{dirt}$ : ضریب آلودگی هوا ۵٪;  $H_{tilt}$ : ساعت در زاویه تابش خورشید که در اینجا یک در نظر گرفته شده است;

برای محاسبه مقدار مساحت مورد نیاز برای تأمین میزان بار مصرفی خانه در ابتدا در روابط مربوط به پنل خورشیدی مقدار مساحت (A) و ابعاد سلول (N) برابر با یک در نظر گرفته می‌شود. این روابط با استفاده از نرم افزار متلب محاسبه می‌گردد.

از معادله ۱۸ برای بدست آوردن مساحت سطح پنل خورشیدی استفاده می‌شود:

$$A = \frac{(W_{electrical} + \frac{Q}{COP} + W_{ro})}{\dot{E}_{pv-out}} \quad (18)$$

A: مساحت پنل خورشیدی ( $m^2$ );

$W_{electrical}$ : برق مصرفی خانه ( $kW$ );  $Q$ : انرژی مورد نیاز برای سرمایش یا گرمایش  $COP(kW)$ : ضریب عملکرد (سرمایش: ۲/۸، گرمایش ۳/۲);  $W_{ro}$ : انرژی مورد نیاز برای سیستم آب شیرین کن ( $kW$ );  $\dot{E}_{pv-out}$ : انرژی متوسط تولید شده توسط پنل‌های خورشیدی ( $kW/m^2$ );

مقادیر بازدهی و تخریب اکسرژی از روابط ۱۹ و ۲۰ قابل محاسبه است(۱۰):

$$(19)$$

$$E_{pv} = i_b \times A_{array} \times N \times \left(1 - \frac{1}{33} \times \left(\frac{T_0}{5780}\right) + 0.33 \times \left(\frac{T_0}{5780}\right)^4\right)$$

$$E_{D-pv} = Ex - E_{pv-out} \quad (20)$$

روابط مربوط به مباحث اقتصادی

مقدار هزینه پروژه از معادله ۲۱ محاسبه می‌شود(۱۱):

- 1- Simple Payback Period
- 2- Payback Period
- 3- Net Present Value
- 4- Internal Rate of Return

زیرا آب مورد نیاز برای استحمام به دلیل بالا بودن چربی در آب تصفیه شده، مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

حال نتایج حاصل از روابط مربوط به اسمز معکوس از نرم افزار متلب استخراج شده و به صورت جدول ۱ ارائه می‌گردد:

$$IRR = \frac{C_F}{C_n} \times \left(1 - \frac{1}{(1+IRR)^N}\right) \quad (26)$$

یافته‌ها

انرژی مورد نیاز اسمز معکوس

محاسبات با توجه به میزان مورد نیاز خانوار (یعنی ۲۲۰ لیتر در شبانه روز) فقط جهت آشامیدن و پخت و پز محاسبه شده است

جدول ۱ - مشخصات اسمز معکوس

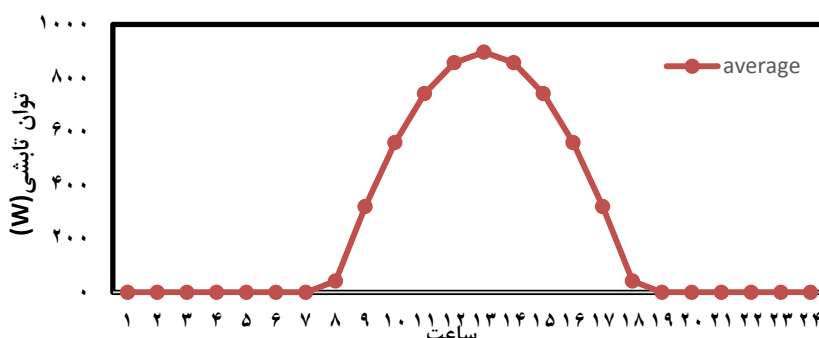
Table 1. Reverse osmosis specifications

Parameter	Value	Parameter	Value
$\dot{m}_f$ (kg/s)	۰/۰۰۷۱	$\pi_f$ (pa)	۱۰۲۴۷۸/۳۶۴
$\dot{m}_b$ (kg/s)	۰/۰۰۵۰	$\pi_b$ (pa)	۱۴۶۱۷۸/۰۶۶
$\dot{m}_p$ (kg/s)	۰/۰۰۲۱	$\pi_p$ (pa)	۳۸۴/۲۹
$x_f$ (mg/L)	۴۰۰۰	$k_\omega$	۱/۸۹۶۶× <sup>-۱۰</sup>
$x_b$ (mg/L)	۲۰۰	$\Delta P$ (pa)	۱۵۵۷۶۵/۵۳۸۶
$x_p$ (mg/L)	۵۷۰۵۷/۱۴۲۸	$W_{RO}$ (kw)	۱/۰۷۳۲

نتایج مساحت مورد نیاز پنل خورشیدی

با در نظر گرفتن داده‌های اولیه و روابط حاکم در ابتدا میزان شدت تابش خورشید با استفاده از نرم افزار متلب محاسبه گردید و شکل ۷ نشان دهنده این میزان نسبت به ساعات شبانه روز می‌باشد:

همان طور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد میزان کار مورد نیاز اسمز معکوس ۱/۰۷۳ کیلووات است که باید با استفاده از پنل خورشیدی تأمین گردد تا میزان آب شیرین مورد نیاز واحد مسکونی در طول شبانه روز تأمین گردد.



شکل ۷- میزان تابش خورشید

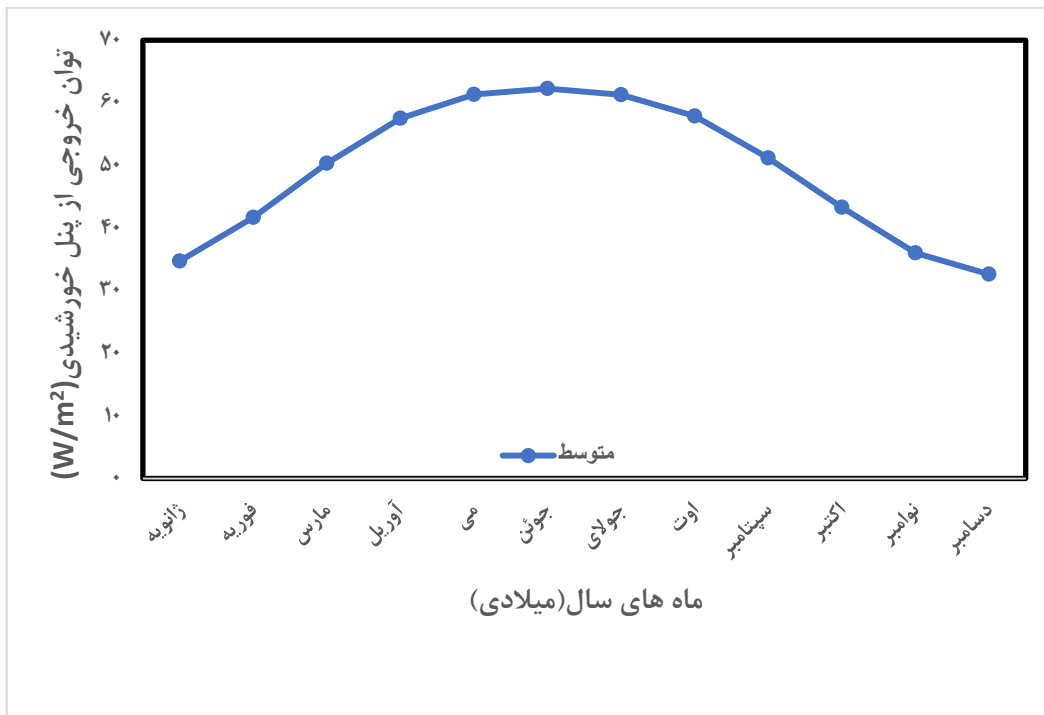
Figure 7. The amount of sunlight

از پنل خورشیدی محاسبه می‌گردد تا با استفاده از قیمت جهانی هر کیلووات بر متر مربع هزینه مورد نیاز برای تأمین این پنل‌ها مشخص گردد.

در شکل ۸ میزان متوسط برق تولیدی توسط این پنل‌ها بر حسب ماه‌های مختلف سال نمایش داده شده است

میزان شدت تابش خورشید در ساعات بین ۸ تا ۱۸ در دسترس خواهد بود و در ساعت ۱۳ تا ۱۴ به بیشترین مقدار خود که نزدیک به ۹۰۰ وات است، خواهد رسید.

برای بدست آوردن سطح مورد نیاز برای تأمین برق مصرفی در واحد مسکونی، در ابتدا تمامی روابط را بر حسب یک متر مربع

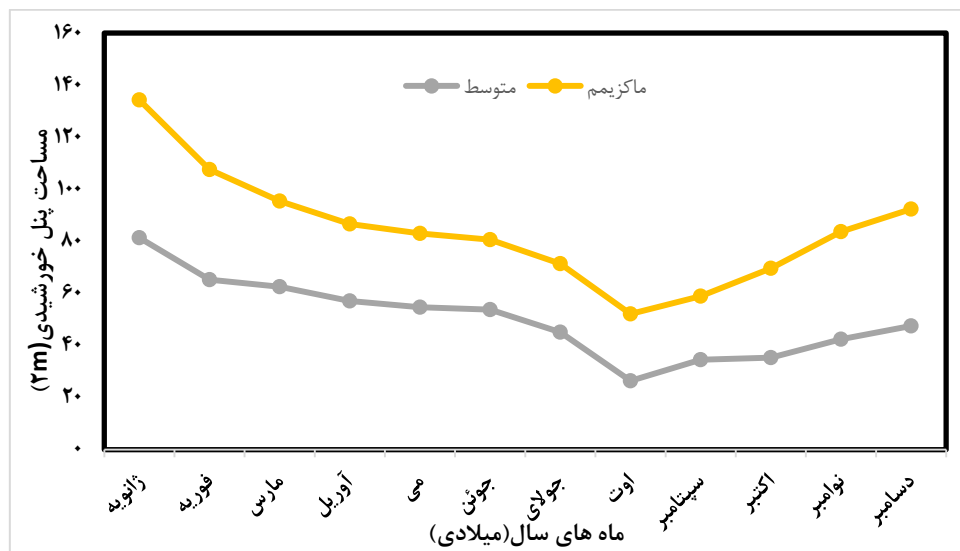


شکل ۸- میزان متوسط انرژی خروجی پنل خورشیدی

Figure 8. Average amount of solar panel output energy

در شکل ۹ در دو حالت ماکزیمم و متوسط مساحت مورد نیاز برای تولید برق در طول سال نشان داده شده است:

در شکل ۸ می‌توان مشاهده کرد که بیشترین میزان تولید برق در فصل تابستان و ماه‌های گرم سال خواهد بود و به ماکزیمم مقدار  $60 \text{ w/m}^2$  رسیده است.



شکل ۹- میزان بیشترین و متوسط مساحت مورد نیاز برای پنل های خورشیدی

Figure 9. The maximum and average area required for solar panels

## محاسبه باتری مورد نیاز پنل خورشیدی

مقدار باتری مورد نیاز جهت ذخیره انرژی برای این سیستم از اختلاف بین متوسط و بیشترین میزان تولید شده در حاصل ضرب مساحت متوسط و ماکزیمم بدست می‌آید:

با توجه به اینکه برای بدست آوردن مساحت مورد نظر پنل خورشیدی باید به برطرف کردن نیاز بار الکتریکی در ماه‌های اوج مصرف دقت داشت، بر همین اساس مساحت پنل در هر دو حالت متوسط و ماکزیمم محاسبه گردیده که بیشترین مساحت مورد نیاز ۱۳۴ متر مربع است و برای تأمین برق این مساحت انتخاب گردید.

## جدول ۲- محاسبات مربوط ظرفیت مورد نیاز باتری

Table 2. Calculations related to the required battery capacity

A(m <sup>2</sup> )	$\dot{E}_{pv-max}$	$\dot{E}_{pv-avg}$	Battery(kWh)
۱۳۴/۳۱۱۵	۱۷۴/۵۰۶	۶۲/۲۸۴۲	۶۰/۲۹۰۷
۸۱/۳۶۱۵	۱۷۴/۵۰۶	۶۲/۲۸۴۲	۳۶/۵۲۲۱

بیشترین ظرفیت باتری برای تأمین برق در زمان‌هایی که پنل خورشیدی قادر به تولید برق نخواهد بود، ۶۰ kWh است.

## نتایج بازدهی و تلفات اکسرژی سیستم

با توجه به داده‌ها و روابط حاکم مشخصات اکسرجیکی سیستم اسمز معکوس محاسبه و در جدول ۳ آورده شده است:

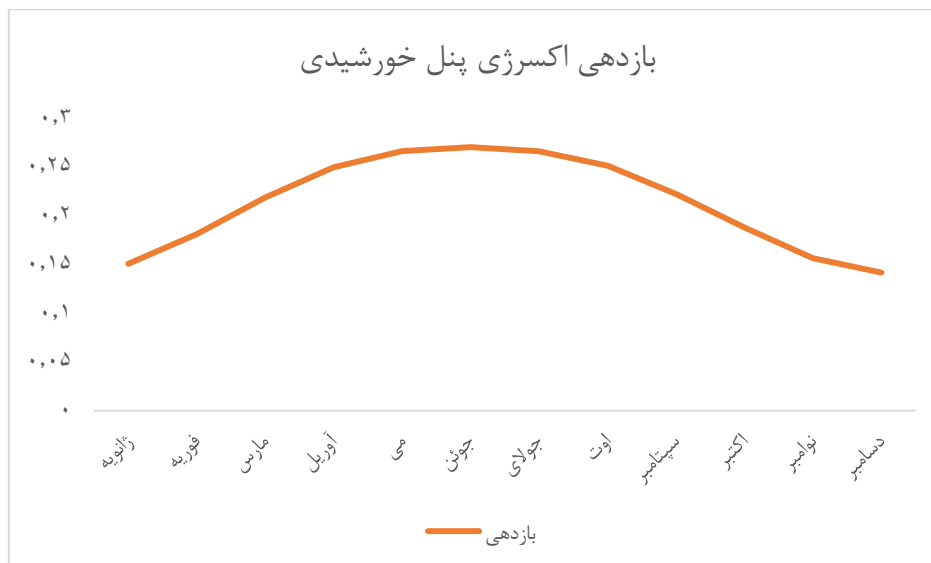
## جدول ۳- اکسرژی سیستم اسمز معکوس

Table 3. Exergy of reverse osmosis system

#	Components	Exergy efficiency	Exergy destruction rate
1	Pump I	۰/۳۳۲۹	۱/۳۶۲ (kW)
2	Pump II	۰/۳۳۲۹	۱/۳۶۲ (kW)
3	Membrane I	۰/۳۳	۱۲/۳۲ (kW)
4	Membrane II	۰/۳۳	۱۲/۳۲ (kW)
5	System RO	۰/۲۷۲	۲۷/۳۶۴ (kW)

میزان بازدهی اکسرژی پنل‌های خورشیدی نیز در شکل ۱۰ بر اساس ماه‌های سال قابل مشاهده است:

در جدول ۳ بازدهی و تخریب اکسرژی در قسمت‌های مختلف سیستم بیان گردیده است. بیشترین میزان بازدهی مربوط به پمپ‌ها در این سیستم می‌باشد.



شکل ۱۰- میزان بازدهی اکسرژی پنل‌های خورشیدی در ماه‌های مختلف سال

Figure 10. Exergy efficiency of solar panels in different months of the year

مقدار بازدهی اکسرژی حدود ۱۹/۵٪ و مقدار تخریب اکسرژی حدود ۱۷۹۰ کیلووات رسیده‌اند (۱۲).

- عتب و همکاران در تحقیقی به مقایسه استفاده از یک توربین جهت افزایش میزان بازدهی سیستم پرداخته‌اند که در این زمینه برای تولید ۲۴۰۰ متر مکعب در روز به بازدهی اکسرژی حدود ۳۲٪ و میزان بازدهی پمپ آن حدود ۳۰ درصد بیان شده است (۱۳).

#### نتایج اقتصادی

با توجه به روابط حاکم موجود نتایج اقتصادی حاصل از پروژه در جدول ۴ قابل مشاهده است:

بیشترین بازدهی اکسرژی پنل‌های خورشیدی در ماه‌های گرم سال و در حالت ماکزیمم به بازدهی اکسرژی ۲۵ درصد خواهد رسید.

#### مقایسه نتایج اکسرژی با در مقالات

با توجه به تولید حدود ۲۲۰ لیتر آب در شبانه روز توسط سیستم پیاده شده در این واحد مسکونی، برای صحت‌سنجی مقادیر اکسرژی بیان شده به استناد به دو مرجع آورده شده در ذیل می‌توان به صحت داده‌ها اطمینان پیدا کرد:

- خوشگفتارمنش و همکاران به بررسی ترمودینامیکی استفاده از ترکیب سیستم RO و MED پرداخته‌اند با حدود تولید ۲۰ kg/s آب تصفیه شده و سوزاندن سوخت فسیلی، در قسمت سیستم اسمز معکوس به

#### جدول ۴- مشخصات اقتصادی پروژه

Table 4. Economic specifications of the project

Parameter	Value	UNIT
$C_n$	$4/9954 \times 10^4$	US\$
$C_F$	$9/134 \times 10^3$	US\$
$SPP$	۵/۴۶	years
$PP$	۶/۹۴	years
$NPV$	$9/2754 \times 10^4$	US\$
$IRR$	۰/۱۷	-

در این پژوهش برای بازدهی بالاتر سیستم از بیشترین مقدار مساحت یعنی ۱۳۴ متر مربع بدست آمده، استفاده می‌شود تا سیستم در ماکزیمم مقدار بار مصرفی دچار اختلال نگردد. در این حالت سیستم علاوه بر تأمین بار الکتریکی مصرفی واحد مسکونی، می‌تواند در زمان‌هایی که مصرف پایین‌تر می‌باشد در باتری‌های خود انرژی را ذخیره کرده تا در مواقع عدم دسترسی به نور خورشید، سیستم همچنان فعال باقی بماند.

همچنین در فصل‌های سرد سال که مقدار مصرف بار الکتریکی کمتر است این امکان را ایجاد می‌کند که برق مازاد تولیدی را به شبکه توزیع فروخت تا از نظر اقتصادی برای سودهی سیستم کمک شایانی گردد.

در طول شبانه روز میزان ۲۲۰ لیتر آب قابل شرب برای این واحد مسکونی که دارای ۴ نفر خانوار است، تولید خواهد شد که با توجه به مشکل کمبود آب شیرین در بندرعباس و به طور کلی جنوب کشور، این معزل کاملاً برای یک خانه برطرف خواهد شد. البته در کشور امروزه در این راستا فعالیت‌هایی به صورت گسترده صورت می‌گیرد ولی به خاطر استفاده از سوخت‌های فسیلی، میزان تولید آلاینده‌گی در این مناطق بسیار بالاتر خواهد رفت که با استفاده از اینگونه سیستم‌ها می‌توان تا میزان قابل توجهی از تولید گازهای گلخانه‌ای جلوگیری کرد.

این پروژه در طول ۲۵ سال کارایی خود درآمدی حدود ۹۰ هزار دلار و با نرخ بازدهی داخلی ۱۷ درصد، خواهد داشت و در حدود ۷ سال سیستم به سودهی خواهد رسید. با توجه به سرمایه گذاری بالای اولیه، دولت باید در این زمینه به کمک بخش خصوصی آمده و با دادن تسهیلات مناسب، انجام آن را در بخش‌های مختلف کشور تسهیل کند. در بسیاری از مناطق در جنوب و جنوب شرقی و جنوب غربی. حتی نواحی مرکزی کشور امروزه با معزل کمبود آب شیرین مواجه هستند و این گونه سیستم‌ها می‌تواند بسیاری از مشکلات آب منطقه را برطرف نماید.

البته در برخی از نقاط کشور شیرین سازی آب در حال انجام می‌باشد اما با استفاده از سوخت‌های فسیلی و استفاده بیش از اندازه برق در حال اجرا می‌باشد که این امر موجب افزایش

میزان بازگشت سرمایه در حدود ۷ سال است و بازدهی داخلی سیستم ۱۷ درصد می‌باشد. با توجه به اینکه درآمد حاصل از فروش هر کیلووات ساعت برق برابر  $0.08 \text{ US}/kWh$  و درآمد حاصل از تولید آب برای هر لیتر برابر  $0.05 \text{ US}/Lit$  است، با انجام محاسبات بیان شده در طول مدت زمان کارکرد، سیستم حدود ۹۰ هزار دلار درآمد خواهد داشت.

### بحث و نتیجه گیری

امروزه با توجه به رشد روز افزون جمعیت و افزایش تقاضا برای آب تصفیه شده در مصارف خوراکی و صنعتی، به خصوص در مناطق کم آب، فن آوری های شیرین سازی آب مورد توجه قرار گرفته است. در مواردی که آب شیرین در دسترس نباشد و یا آب‌های موجود در منطقه به دلیل بالابودن املاح قابل استفاده نبوده و حمل و یا انتقال آب شیرین از محل‌های دیگر به آنجا از نظر اقتصادی امکان پذیر نباشد، تنها راهی که برای تأمین آب به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های شیرین سازی آب می‌باشد. همچنین فرآیند نمک زدایی از ذخایر عظیم آب دریاها و آب‌های شور تبدیل به یک منبع مهم و جدید برای تولید آب شیرین شده است.

روش‌های مختلفی جهت شیرین سازی آب استفاده می‌شود که در این میان روش اسمز معکوس نسبت به دیگر روش‌های شیرین سازی آب کاربرد بیشتری دارد. در کشور ما نیز اسمز معکوس مانند سایر کشورهای حوزه خلیج فارس از دهه ۱۹۹۰ شناخته شده و امروز علاوه بر صنایع نیروگاهی، پتروشیمی، خودروسازی و مانند آن، استفاده از این فناوری برای تأمین آب آشامیدنی رو به افزایش است. به نظر می‌رسد در آینده نزدیک استفاده گسترده‌تری خواهد داشت. اجرای کند پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر به خصوص در کشورهای در حال توسعه بیشتر به علت یارانه‌های دولت از فرآورده‌های سوختی متداول و الکتریسیته است. استفاده از آب شیرین کن های خورشیدی جایگزین منابع فسیلی علاوه بر کاهش آلودگی محیط زیست، ارزان‌تر و مقرون به صرفه‌تر می‌باشد که لازم است جزء برنامه‌های شیرین سازی آب قرار گیرد.

- desalination applications, Separation and Purification Technology, Vol.75, pp. 87-101.
6. Yargholi, R., Hosseinzadeh, S., Bidi, M., Naseri, A., 2020. Modeling and advanced exergy analysis of integrated reverse osmosis desalination with geothermal energy, Water Supply, Vol.20, pp. 984-996.
  7. Du, Y., Xie.L., Liu, J., Wang, Y., Xu, Y., Wang, S., 2014. Multi-objective optimization of reverse osmosis networks by lexicographic optimization and augmented epsilon constraint method, Vol.333, pp. 66-81.
  8. Bellos, E., Pavlovic, S., Stefanovic, V., Tzivanidis, C., 2019. Parametric analysis and yearly performance of a trigeneration system driven by solar-dish collectors. International Journal of Energy Research, Vol.43, pp.1534-1546.
  9. Shaygan, M., Ehyaei, M.A., Ahmadi, M., 2019. Energy, exergy, advanced exergy and economic analyses of hybrid polymer electrolyte membrane (PEM) fuel cell and photovoltaic cells to produce hydrogen and electricity, Journal of Cleaner Production, Vol. 234, pp.1082-1093.
  10. Bellos, E., Pavlovic, S., Stefanovic, V., Tzivanidis, C., 2019. Parametric analysis and yearly performance of a trigeneration system driven by solar-dish collectors. International Journal of Energy Research, Vol.43, pp.1534-1546.
  11. Edalati, S., Ameri, M., Iranmanesh, H., Gholampour, M., 2016. Technical and economic assessments of grid-connected photovoltaic power plants: Iran case study, Vol.114, pp. 923-9.

آلاینده‌های زیست محیطی و خسارت های جبران ناپذیر در منطقه می‌گردد.

امروزه در دنیا به خصوص کشورهای حاضر در خلیج فارس به دنبال احداث نیروگاه‌های خورشیدی و تجدید پذیر برای تولید انرژی و استفاده از آن در بخش‌های مختلف کشور و علی‌الخصوص در بحث شیرین سازی آب هستند و سهم قابل توجهی از آب دریای خلیج فارس را برای شیرین سازی آب استفاده می‌کنند و کشور ایران نیز باید در این راه قدم‌های بزرگی را بردارد و با استفاده از انرژی‌های پاک همچون انرژی خورشیدی، بادی و ... سهم خود را از حوزه خلیج فارس برداشت کند و بتواند بخش عظیمی از مناطق کشور که دچار کمبود آب هستند را پوشش دهد و در کنار آن نیز میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و صدمات حاصله از آن را در بخش محیط زیست به حداقل برساند.

## References

1. Siahkalrodi, M., Spring 2017. Water desalination processes, Khajeh Nasir Tusi University, Tehran, Iran. (In Persian)
2. Hooshmand, P., Shafiea, B., Winter 2016. Experimental study of a combined 1.5liter evaporative solar water desalination system using heat pipe and solar panel, Iranian Journal of Mechanical Engineering Tehran.Iran. (In Persian)
3. Mathioulakis, E., Belessiotis, V., Delyannis, E., 2007. Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art desalination, Vol.203, pp. 346-365.
4. Word Bank Group, 2020. Photovoltaic Power Potential: [https://rapano.ir/solar\\_irradiance/](https://rapano.ir/solar_irradiance/).
5. Tu, L., Nghiem, D., Chivas, A.R., 2010. Boron removal by reverse osmosis membranes in seawater

- Exergoenvironmental Analyses Processes, Vol.9, pp. 59.
13. Atab, M., Smallbone, A., Roskilly, R., 2019. Exergy Analysis of Reverse Osmosis for Potable Water and Land Irrigation, International Journal of Chemical and Molecular Engineering, Vol.13, pp. 118-122.
12. Khoshgoftar Manesh, M., Ghadikoleai, M.H., Shojaei, R., Vazini, R., Caroline, V., 2021. Integration of a Combined Cycle Power Plant with MED-RO Desalination Based on Conventional and Advanced Exergy, Exergoeconomic, and