

## بررسی تجربی و آنالیز انرژی و اگزرژی آب شیرین کن صفحه تخت در شیب‌های مختلف با استفاده از مواد متخلخل و روغن جاذب حرارت

استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران، msetare@jstu.ac.ir  
 دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران، assari@jstu.ac.ir  
 استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، hbasirat@aut.ac.ir  
 کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران، adolsolimani1993@jstu.ac.ir

میلاد ستاره\*  
 محمدرضا عساری  
 حسن بصیرت تبریزی  
 عادل سلیمانی عویضی

### چکیده

در این پژوهش عملکرد یک دستگاه آب شیرین کن خورشیدی صفحه تخت شیبدار در زوایای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه با حضور مواد متخلخل پشم فشرده و روغن جاذب گرما در شهر دزفول، ایران، به صورت تجربی بررسی شده است. سطح صفحه جاذب توسط ماده متخلخل پوشیده شده و روغن در لوله‌های متصل به صفحه جاذب در مدار بسته در گردش است. بازده انرژی با استفاده از مواد متخلخل در شیب زوایای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه به ترتیب برابر با ۱۶/۱۶ درصد، ۱۵/۱۵ درصد و ۹/۷۱ درصد و بدون استفاده از مواد متخلخل به ترتیب برابر با ۱۶/۳۹ درصد، ۱۴/۴۸ درصد و ۷/۶۲ درصد به ثبت رسید. همچنین بازده اگزرژی در شیب زوایای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه با حضور مواد متخلخل به ترتیب ۱/۶۵ درصد، ۶/۶۵ درصد و ۴/۷۸ درصد و بدون حضور مواد متخلخل برابر ۱/۵۱ درصد، ۷/۲۸ درصد و ۳/۴۵ درصد بدست آمده است. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار آب مقطر تولیدی در زاویه ۱۵ درجه در حالت عدم استفاده از ماده متخلخل بوده و برابر با ۳۳۰۰ میلی‌لیتر و در مدت زمان ۱۱ ساعت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب‌شیرین کن خورشیدی صفحه تخت، مواد متخلخل، سیال واسطه، بازده، انرژی، اگزرژی.

### Experimental Study and Energy and Exergy Analysis of Flat-Plate Solar Still at Different Slopes Using Porous Materials and Heat Absorbent Oil

**M. Setareh**  
**M. R. Assari**  
**H. Basirat Tabrizi**  
**A. Soleimani Ovezi**

Department of Mechanical Engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran  
 Department of Mechanical Engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran  
 Department of Mechanical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran  
 Department of Mechanical Engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran

### Abstract

In this research, the performance of a flat-plate solar still at three slope angles of 15°, 30°, and 45° with the presence of porous material of pressed wool and heat absorbent oil in Dezful city of Iran has been investigated experimentally. The surface of the absorber plate is covered by porous material and oil circulates in the pipes connected to the absorber plate in a closed cycle. Results indicated that the energy efficiency using porous materials at slope angles of 15, 30, and 45 degrees is equal to 16.16%, 15.15% and 9.71%, respectively, and without using porous materials is equal to 16.39%, 14.48% and 7.62%. In addition, the exergy efficiencies at the slope angles of 15, 30 and 45 degrees with the presence of porous materials is 1.65%, 6.65% and 4.78% respectively, and without the presence of porous materials is equal to 1.51%, 7.28% and 3.45%. The results showed that the maximum amount of distilled water produced at slope angle of 15 degree and in the state of not using porous material is equal to 3300 ml in a period of 11 hours.

**Keywords:** Solar still, Flat-plate collector, Porous material, Oil, Wool, Energy, Exergy.

داشته‌اند [۴].

### ۱- مقدمه

ابوحیجله و ربابا [۵] در یک پژوهش تجربی از مکعب‌های اسفنجی درون آب‌شیرین‌کن خورشیدی استفاده کردند که نتیجه آن افزایش ۱۸ تا ۲۷۳ درصدی راندمان بوده است. الانگوو همکاران [۶] تأثیر استفاده از نانو ذرات مختلف شامل  $Al_2O_3$ ،  $ZnO$ ،  $Fe_2O_3$  و  $SnO_2$  را بر کارایی آب‌شیرین‌کن خورشیدی بررسی کردند که نانو ذره  $Al_2O_3$  بازدهی بالاتری به میزان ۲۹/۹۵ درصد داشته است. شرشیر و همکاران [۷] از اکسید مس و گرافیت به عنوان نانو ذرات در آب‌شیرین‌کن خورشیدی استفاده کردند نتایج آنها نشان داد که بازده به ترتیب ۴۶، ۴۹ و ۳۰ درصد افزایش پیدا کرده است. پارسا و همکاران [۸] در شهر تهران و ارتفاعات اطراف آن (۴۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا) به روی یک سیستم سنتی حوضچه ای از نانوسیال نقره جهت تعیین میزان تأثیر

آب سرم‌نشاء حیات و باعث پدید آمدن تمدن‌ها است. آب شیرین از رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و یا منابع زیرزمینی تامین می‌گردد و این منابع، فقط حدود یک درصد از کل آب‌های کره زمین را شامل می‌شود [۱]. برخی مناطق با کمبود آب‌شیرین مواجه هستند و یکی از راه‌های تامین آب‌شیرین استفاده از آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی است [۲]. یکی از عمده مشکلات آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی، پایین بودن بازده آن‌ها می‌باشد [۳]. لذا، پژوهشگران با انجام تحقیقات گسترده و ارائه ایده‌های جدید و همچنین بکارگیری فناوری‌های جدید مانند تولید بخار سرد فراصوتی، توری‌های فلزی، نانوسیال، چگالنده کمکی و غیره سعی در افزایش بازده آب‌شیرین‌کن خورشیدی

\* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: msetare@jstu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۰۱/۱۰/۰۳

تاریخ پذیرش: ۰۲/۰۲/۱۱

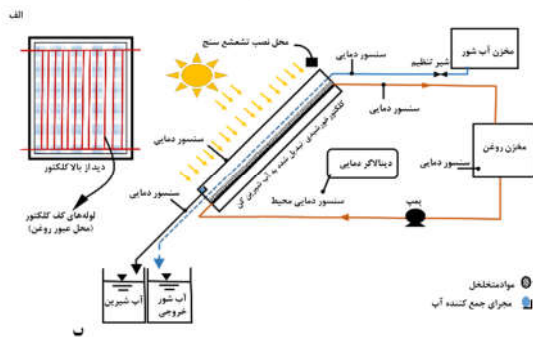
نانوسیال در افزایش بازده آب شیرین کن خورشیدی استفاده کردند، بازده کلی در ارتفاعات و با استفاده از نانوسیال حدود ۹ درصد و برای شهر تهران، برابر با ۵ درصد حاصل گردید. عساری و همکاران [۹] به بررسی تجربی یک سیستم نمک زدایی خورشیدی با استفاده از نانوسیال، مواد تغییر فاز دهنده و لوله پیش گرم پرداختند. استفاده همزمان از نانوسیال و لوله پیش گرم باعث افزایش ۵۱ درصدی بازده شده و مقدار آب تولید شده در طول روز برابر ۶/۴۲ لیتر گزارش شد. همچنین استفاده از نانوسیال جذب تابش خورشیدی را به میزان ۲/۱ درصد افزایش داده است و استفاده از مواد تغییر فاز دهنده، میزان تولید شبانه آب را به میزان ۹/۶ درصد افزایش داد. گچکاران و جدا [۱۰] بررسی، طراحی و بهینه سازی یکپارچه آب شیرین کن خورشیدی با ذخیره سازی انرژی با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد اگر مواد تغییر فاز دهنده دارای چگالی و رسانایی گرمایی بالاتر و جرم آب شور درون حوضچه کمتر باشد، میزان آب شیرین تولیدی بیشتر است. گشایشی و همکاران [۱۱] برای بهبود بازده آب شیرین کن پلکانی از پارافین/اکسید گرافن استفاده کرده اند. نتایج نشان داد بازده آب شیرین کن خورشیدی با پارافین/اکسیدگرافن به طور متوسط ۲۵ درصد بهبود می یابد.

باتوجه به مطالب فوق، هدف اصلی مطالعات و پژوهش های صورت گرفته، بررسی افزایش بازده آب شیرین کن خورشیدی با استفاده از روش های مختلف است. با مطالعه و بررسی روش های بکار گرفته شده پیشین، در این پژوهش اثر استفاده از مواد متخلخل پشم و سیال واسطه روغن بهران بندر بر کارایی آب شیرین کن خورشیدی در زوایای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه مورد بررسی قرار می گیرد. آزمایش های تجربی در شهر دزفول با موقعیت جغرافیایی ۴۸/۴۹ درجه شرقی و ۳۲/۲۰ درجه شمالی انجام می شود. با مطالعه موردی تاثیرات روغن و مواد متخلخل و تغییر زاویه آب شیرین کن، بالاترین بازده برای این سیستم تعیین می گردد.

## ۲- سامانه آزمایشگاهی و تشریح آزمون های تجربی

گردآور از فولاد ضدزنگ با ضخامت یک میلی متر و قاب آلومینیومی ساخته شده است. در این گردآور از ۱۲ عدد لوله مسی با قطر ۸ میلی متر و طول ۱/۸۳ متر و ۲ عدد توزیع کننده از جنس مس با قطر ۱۶ میلی متر و طول ۹۱ سانتی متر استفاده شده است. ضخامت شیشه استفاده شده به روی گردآور ۶ میلی متر می باشد. نوع مواد متخلخل استفاده شده در این پژوهش، پشم فشرده شده ماشینی سیاه رنگ با ضخامت ۵ میلی متر و با ابعاد ۸۰ در ۱۸۰ سانتی متر مربع می باشد. تخلخل با تقسیم حجم منافذ برحجم کل ماده به دست می آید. براساس دسته بندی آیوپاک [۱۲] ساختار محیط متخلخل با توجه به میانگین ابعاد حفره ها می تواند شامل حفره هایی کوچکتر از ۲ نانومتر با نام میکرو حفره، حفره هایی بین ۲ تا ۵۰ نانومتر با نام مزو حفره و حفره هایی بزرگتر از ۵۰ نانومتر با نام ماکرو حفره باشد. ماده متخلخل استفاده شده فضای کلی صفحه جاذب را پوشش می دهد. به منظور انجام آزمون های تجربی، ابتدا صفحه گردآور با ماده متخلخل پشم کاملاً پوشانده شده سپس یک مخزن به حجم ۲۰ لیتر از آب شور پر شده و در ارتفاعی بالاتر از گردآور قرار داده می شود. مخزن آب از طریق یک شیلنگ پلاستیکی به قطر ۳/۴ اینچ به لوله تقسیم کننده از جنس

پی وی سی متصل شده است. قابل ذکر است از یک شیر سوزنی برای تنظیم مقدار آب شور ورودی به پخش کننده استفاده می شود. آب شور از طریق پخش کننده به صورت یکنواخت از قسمت بالای گردآور به روی صفحه جاذب جاری می شود. در تمام آزمایش ها، مقدار آب شور ورودی به دستگاه ۱۰ لیتر بر ساعت می باشد. از روغن بهران بندر به عنوان سیال واسطه با حجم ۵ لیتر در چرخه آزمایشی استفاده شده است. شکل شماره ۱ شماتیک دستگاه را نشان می دهد.



شکل ۱- سامانه آزمایشگاهی الف) شماتیک، ب) دستگاه آزمایشگاهی

## ۳- روند انجام آزمون ها

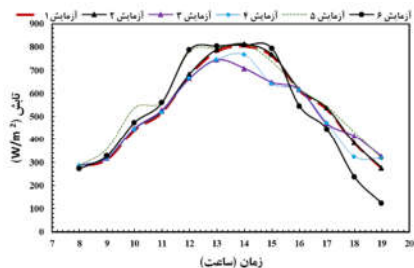
نرخ تابش خورشیدی در طول شبانه روز در این منطقه از کشور در طول تابستان تقریباً ثابت بوده، لذا فاصله زمانی بر روی نتایج بدست آمده، تأثیری قابل توجهی ندارد. جهت قرارگیری آب شیرین کن ثابت و رو به جنوب می باشد. جدول شماره ۱ آزمایش های انجام شده را نشان می دهد همچنین به منظور ارزیابی دقت دستگاه های اندازه گیری بر عدم قطعیت پارامترهای مشتق شده مانند بازده انرژی و انرژی، دقت تجهیزات اندازه گیری در جدول ۲ آورده شده است. برای محاسبه مقادیر انحراف و درصد خطا از رابطه های (۱) و (۲) که معروف به معادله هولمن است، استفاده می شود [۱۳].

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} (x_1 - x_{ave})^2 + (x_2 - x_{ave})^2 + \dots + (x_n - x_{ave})^2} \quad (1)$$

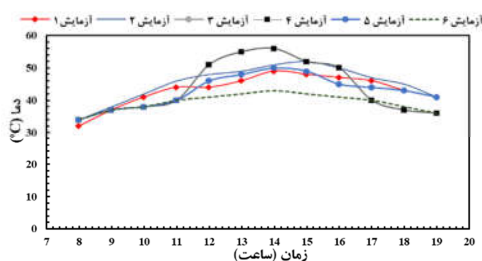
$$x_{ave} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \quad (2)$$

که در اینجا  $S_x$  خطای آزمایشی و  $x_1$ ،  $x_2$  تا  $x_n$  پارامترهای اندازه گیری شده (مقدار آب بدست آمده در ساعات مختلف) و  $x_{ave}$  میانگین مقدار آب تقطیر شده در طول روز است. با محاسبه مقدار متوسط آب در طول روز از طریق رابطه (۲) و قرار دادن آن در رابطه (۱)، مقدار خطا برابر با ۱۵۳/۳۵ میلی لیتر بدست می آید.

۳ نشان داده شده است. مقدار تابش و دمای محیط با توجه به شرایط جوی تغییر خواهد کرد و بیشترین مقدار تابش و دما در بین ساعت ۱۱ تا ۱۵ می باشد. هرچقدر زاویه گردآور نزدیک به سطح افق باشد مقدار تابش بیشتری توسط گردآور جذب می شود.



شکل ۲- تابش خورشیدی در همه آزمایش‌ها



شکل ۳- دماها در همه آزمایش‌ها

#### ۶- تغییرات دمایی در تمامی زوایای

در این بخش تغییرات دمایی فضای داخلی آب شیرین کن، صفحه جاذب و دمای روغن در حال گردش و همچنین تاثیر استفاده از ماده - متخلخل و عدم استفاده از آن مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. تغییرات دمایی در زاویه ۳۰ درجه، هنگامی که از مواد متخلخل استفاده می شود (شکل ۴)، دمای فضای داخلی بیشتر از دمای صفحه - جاذب می باشد زیرا مواد متخلخل مانع از برخورد مستقیم تابش - خورشید به صفحه جاذب می شود در نتیجه دمای صفحه جاذب پایین خواهد ماند و به دنبال آن دمای روغن نیز نسبت به دمای فضای داخل و صفحه جاذب، کمتر خواهد شد. با مقایسه نتایج در زاویه ۳۰ درجه دریافت می شود که دمای صفحه جاذب و روغن در حالت عدم استفاده از مواد متخلخل نسبت به حالت استفاده از این مواد، بیشتر می باشد. شکل های ۶ و ۷ نتایج حاصل از آزمایش مربوط به زاویه ۴۵ درجه در حالت های استفاده از ماده متخلخل و عدم استفاده از آن برای دماهای صفحه جاذب، روغن و فضای داخلی را نشان می دهند. پایین بودن دمای روغن نسبت به بقیه آزمایش ها به دلیل تند بودن زاویه گردآور می باشد زیرا باعث می شود روغن با سرعت بیشتری حرکت کرده و فرصت زمان اندکی برای تبادل گرمایی داشته باشد. تغییرات دمایی در زاویه ۱۵ درجه و در مواقعی که ماده متخلخل استفاده نشده است (شکل ۸) بیشترین دمای صفحه جاذب به ثبت رسیده است و مقدار آن بیشتر از ۸۰ درجه سلسیوس می باشد. شرایط جوی، بالا بودن دمای محیط در روز آزمایش و پایین بودن شیب گردآور تاثیر به سزایی در ثبت این دما داشته است. هر چقدر که زاویه گردآور پایین تر و نزدیک

#### جدول ۱- آزمایش های انجام شده.

آزمایش	نوع مواد متخلخل	زاویه	تاریخ انجام آزمایش
۱	پشم با ضخامت ۵ میلی متر	۳۰	۲۰ تیر ۱۴۰۰
۲	بدون مواد متخلخل	۳۰	۲ مرداد ۱۴۰۰
۳	پشم با ضخامت ۵ میلی متر	۴۵	۳ مرداد ۱۴۰۰
۴	بدون مواد متخلخل	۴۵	۶ مرداد ۱۴۰۰
۵	بدون مواد متخلخل	۱۵	۱۵ مرداد ۱۴۰۰
۶	پشم با ضخامت ۵ میلی متر	۱۵	۲۷ مرداد ۱۴۰۰

#### جدول ۲- دقت تجهیزات اندازه گیری.

ردیف	نام دستگاه	دقت
۱	تابش سنج	$\pm 0.1 \text{ W/m}^2$ برای مقادیر کمتر از $200 \text{ W/m}^2$
۲	دیتالاگرمایی	$\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$
۳	PH سنج	$\pm 0.1$
۴	ترازو	$\pm 2 \text{ gr}$

#### ۴- بازده انرژی و انرژی

بازده انرژی و انرژی در آب شیرین کن صفحه تخت به صورت

زیر محاسبه می شود [۱۴].

$$\eta_{th} = \frac{\sum P_d \lambda_{fg}}{A_b \times \sum I_d(t) \times 3600} \quad (3)$$

$$\sum \dot{E}x_{in} - \sum \dot{E}x_{out} = \sum \dot{E}x_{dest} \quad (4)$$

$$\eta_{Ex} = \frac{\dot{E}x_{product}}{\dot{E}x_{in}} = 1 - \frac{\dot{E}x_{dest}}{\dot{E}x_{in}} \quad (5)$$

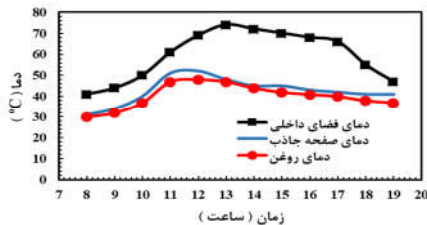
$$\dot{E}x_{product} = \frac{\dot{m}_{ew}}{3600} \times \left[ L \times \left( 1 - \frac{T_a + 273}{T_w + 273} \right) \right] \quad (6)$$

$$\dot{E}x_{in} = \dot{E}x_{sun}(ss) = A_s \times I(t) \times \left[ 1 - \frac{4}{3} \times \left[ \frac{T_a + 273}{T_{sun} + 273} \right] + \frac{1}{3} \times \left[ \frac{T_a + 273}{T_{sun} + 273} \right]^4 \right] \quad (7)$$

که در آن مجموع آب شیرین تولید شده برحسب  $\lambda_{fg}$ ، kg/h گرمای نهان تبخیر برحسب  $J/kg$ ،  $A_b$  مساحت صفحه جاذب بر حسب  $m^2$ ،  $I_d(t)$  تابش ساعتی برحسب  $W/m^2$  و  $\eta_{th}$  بازده انرژی می باشند.  $\dot{E}x_{out}$  نشان دهنده انرژی خروجی و  $\dot{E}x_{dest}$  انرژی تلف شده است.  $\dot{m}_{ew}$  دبی آب شیرین کن خورشیدی برحسب  $kg/hr$  و  $T_a$  دمای محیط و  $T_w$  دمای آب برحسب سلسیوس و  $L$  گرمای نهان تبخیر برحسب  $J/kg$  می باشد.  $T_{sun}$  برابر با  $6000 \text{ K}$  است.  $A_s$  مساحت حوضچه و  $I(t)$  تابش خورشیدی روی سطح شیشه تحت زاویه می باشند. با استفاده از روابط فوق و جای گذاری مقادیر مربوط به هر پارامتر، مقدار انرژی ورودی و خروجی حاصل می گردد.

#### ۵- تابش و دمای محیط

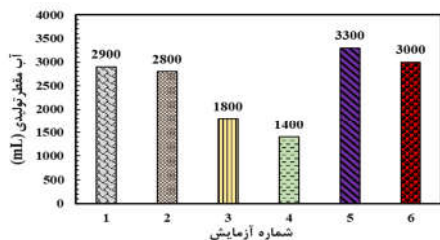
با توجه به اینکه روند آزمایش ها از تیر تا مرداد بوده است، تغییرات دمای محیط و میزان تابش در طول آزمایش ها، تغییرات زیادی ندارد. تابش و دمای محیط مربوط به هر آزمایش به ترتیب در شکل های ۲



شکل ۹- تغییر دما در زاویه ۱۵ درجه با استفاده از ماده متخلخل.

#### ۷- مقدار آب تقطیر شده در هر سه زاویه

استفاده از مواد متخلخل که فضای کلی صفحه جاذب را پوشانده است دو کاربرد اساسی و مهمی را به همراه دارد، اولاً باعث ذخیره شدن مقدار آب ورودی بیشتری شده، ثانیاً باعث کاهش سرعت حرکت آب بر روی صفحه جاذب می‌شود، در نتیجه آب ورودی در مدت زمان بیشتری در معرض تابش خورشید قرار می‌گیرد. باتوجه به شکل ۸، در زاویه ۱۵ درجه و در حالت عدم استفاده از ماده متخلخل، مقدار آب - مقطر بیشتری حاصل شده است. قابل ذکر است بر اساس مطالعات پیشین، شیب بهینه گردآور برای برخورد تابش خورشید به صورت عمود بر سطح جاذب برابر با اختلاف عرض جغرافیایی منطقه از ۴۵ می‌باشد و این مقدار برای محل آزمایش در این پژوهش برابر با ۱۲/۸ است، لذا بدست آمدن بیشترین آب تقطیر شده در زاویه ۱۵ درجه به- دلیل برخورد تابش تقریباً عمودی به سطح جاذب، در تطابق با پژوهش‌های پیشین است. در زاویه ۴۵ درجه مهم‌ترین عامل کاهش بازده سیستم، تند بودن زاویه و شیب گردآور می‌باشد در حالی که در زاویه ۱۵ درجه عکس قضیه ثابت شده است و پایین بودن شیب و زاویه گردآور باعث افزایش بازده شده است. پس علاوه بر تابش جذب شده توسط سیستم و دیگر پارامترهای تاثیرگذار در تولید آب مقطر، پایین بودن شیب گردآور تاثیر فراوانی در تولید آب مقطر خواهد داشت. به طور کلی وجود ماده متخلخل در زوایای (۳۰ و ۴۵ درجه) باعث افزایش بهره‌وری سیستم شده است. شکل ۱۰ مقدار کل آب تقطیر شده را نشان می‌دهد.

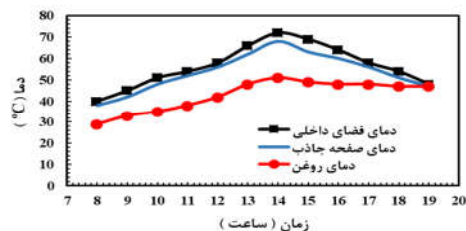


شکل ۱۰- مقدار آب تقطیر شده در همه زوایا.

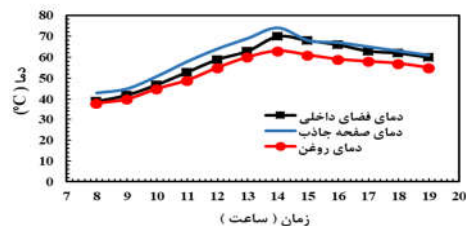
#### ۸- نتایج انرژی و آگرزوی

در زاویه ۴۵ درجه، دلیل اینکه شیب گردآور بسیار زیاد است، آب ورودی با سرعت زیاد به سمت پایین حرکت کرده و میزان تبخیر آب شور، کاهش می‌یابد به همین دلیل مقدار بازده انرژی در این زاویه، بسیار کمتر از دیگر زوایا می‌باشد. بازده انرژی در زوایای ۱۵ و ۳۰ درجه، تفاوت چندانی ندارد که این نقش مؤثر استفاده از ماده متخلخل

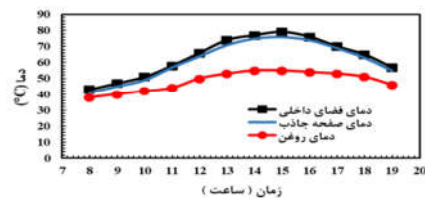
به سطح افق باشد مقدار تابش بیشتری جذب سیستم خواهد شد، توجه به پایین بودن شیب گردآور در زاویه ۱۵ درجه، آب ورودی با سرعت کمتری به سمت پایین حرکت می‌کند و فرصت کافی برای تبادل گرمایی خواهد داشت لذا صفحه جاذب بیشترین تبادل گرمایی را با آب خواهد داشت و استفاده از ماده متخلخل باعث افت بیشتر دمای صفحه جاذب شده است.



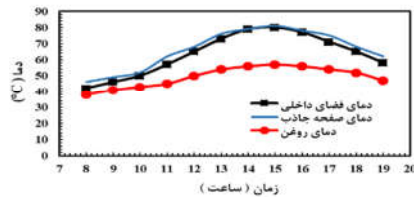
شکل ۴- تغییر دما در زاویه ۳۰ درجه با استفاده از ماده متخلخل.



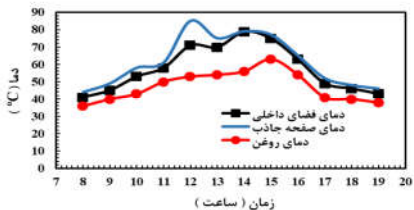
شکل ۵- تغییر دما در زاویه ۳۰ درجه و عدم استفاده از ماده متخلخل.



شکل ۶- تغییر دما در زاویه ۴۵ درجه با استفاده از ماده متخلخل.



شکل ۷- تغییر دما در زاویه ۴۵ درجه و عدم استفاده از ماده متخلخل.



شکل ۸- تغییر دما در زاویه ۱۵ درجه و عدم استفاده از ماده متخلخل.

EnergyChem. Vol. 2, 100027, 2020.

[3] Barbir F., Veziroğlu T. N., Plass H. J., Environmental damage due to fossil fuels use, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 15, pp. 739-749, 1990.

[۴] خامحمدی ش.، خانجانی س.، مطالعه تجربی اثر تولید بخار سرد فراصوتی بر بهبود عملکرد آب شیرین کن استخری خورشیدی با استفاده از فناوری برداشت از مه، مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، د. ۵۲، ش. ۱، ص. ۲۵۷-۲۶۶، ۱۴۰۱.

[5] Abu-Hijleh B. A., Rababah, H. M., Experimental study of a solar still with sponge cubes in basin, Energy Convers. Manag., Vol. 44, pp. 1411-1418, 2003.

[6] Elango T., Kannan A., Murugavel K. K., Performance study on single basin single slope solar still with different water nanofluids, Desalination, Vol. 360, pp. 45-51, 2015

[7] Sharshir S. W., Peng G., Wu L., Yang N., Essa F. A., Elsheikh A. H., Mohamed S. I. T., Kabeel A. E., Enhancing the solar still performance using nanofluids and glass cover cooling: Experimental study, Appl. Therm. Eng., Vol. 113, pp. 684-693, 2017.

[8] Parsa S. M., Rahbar A., Koleini M. H., Davoud Javadi Y., Afrand M., Rostami S., Amidpour M., First approach on nanofluid-based solar still in high altitude for water desalination and solar water disinfection (SODIS), Desalination. Vol. 491, 114592, 2020

[9] Assari M. R., Basirat Tabrizi H., Shafiee M., Cheshmeh Khavar Y., Experimental Performance of Desalination System Using Solar Concentrator, Nano-fluid, and Preheater Tube Accompanying Phase Change Material, Iran. J. Sci. Technol. - Trans. Mech. Eng. Vol. 45, pp. 1033-1044, 2021

[10] گچکاران آ. و جدا ف.، طراحی و بهینه سازی یکپارچه آب شیرین کن خورشیدی با ذخیره سازی انرژی گرمایی به کمک مواد تغییر فاز دهنده. مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، د. ۴۹، ش. ۱، ص. ۲۳۸-۲۴۴، ۱۳۹۸.

[11] گشایشی ح.، ادیبی طوسی س.، رستمی م.، جعفری آ.، تحقیق آزمایشگاهی جهت بهبود راندمان آب شیرین کن پلکانی با استفاده از پارافین/اکسید گرافن. مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، د. ۵۱، ش. ۲، ص. ۲۶۹-۲۷۳، ۱۴۰۰.

[12] Sing K. S. W., Everett D. H., Haul R. A. W., Moscou L., Pierotti R. A., Rouquerol J., Siemieniewska T., Annexes: IUPAC Recommendations: Reporting Physisorption Data for Gas/Solid Systems, Handb. Heterog. Catal. Vol. 3-5, 1503-1516, 2008

[13] Assari M. R., Basirat Tabrizi H., Parvar M., Esfandeh E., Experimental study of solar desalination performance due to water depths, flow rates and using heat recovery from disposed brine, Int. J. Ambient Energy, Vol. 43, No. 1, pp. 6052-6061, 2021.

[14] Abd Elbar A. R., Hassan H., Energy, exergy and environmental assessment of solar still with solar panel enhanced by porous material and saline water preheating, J. Clean. Prod. Vol. 277 124175, 2020.

را نشان می‌دهد. واضح است که بهره‌وری انرژی نمی‌تواند دید جامعی از عملکرد سیستم ارائه دهد. بنابراین، تحلیل انرژی نیز برای بررسی برگشت‌ناپذیری سیستم برای آزمایش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در روند آزمایش و با توجه به مقادیر به دست آمده مشخص شده است که انرژی ورودی به شدت تابع تابش خورشید و زاویه گردآور بوده و حداکثر مقدار انرژی ورودی در ساعات بعد از ظهر اتفاق افتاده است. انرژی خروجی وابستگی شدیدی به زاویه گردآور و میزان آب حاصل شده در هر ساعت دارد و مقدار آب مقطر تولید شده در هر ساعت به دمای داخلی سیستم و دمای صفحه جذب وابسته است. طور کلی برای زوایای تند، بازده انرژی کل بالاتر از انرژی برای زاویه ۱۵ درجه است. جدول ۵ بازده مربوط به انرژی و انرژی برای تمامی زوایا را نشان می‌دهد.

جدول ۵- مقادیر مختلف بازده انرژی و انرژی.

آزمایش	زاویه	نوع ماده متخلخل	
		انرژی	انرژی
۱	۳۰°	پشم با ضخامت ۵ میلی‌متر	٪ ۱۵/۵۸
۲	۳۰°	بدون مواد متخلخل	٪ ۷/۲۸
۳	۴۵°	پشم با ضخامت ۵ میلی‌متر	٪ ۹/۷۱
۴	۴۵°	بدون مواد متخلخل	٪ ۳/۴۵
۵	۱۵°	بدون مواد متخلخل	٪ ۱۶/۳۹
۶	۱۵°	پشم با ضخامت ۵ میلی‌متر	٪ ۱۶/۱۶

## ۹- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از یک گردآور صفحه تخت به عنوان آب شیرین‌کن استفاده شده است. به منظور مطالعه پارامتری، اثر زاویه، ماده متخلخل، سیال واسطه و بازده انرژی و انرژی، گردآور مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در زاویه ۱۵ درجه و بدون حضور مواد متخلخل، بازده انرژی برابر با ۱۶/۳۹٪ و تولید آب تقطیر شده برابر با ۳۳۰۰ میلی‌لیتر می‌باشد. در زاویه ۴۵ درجه و عدم استفاده از ماده متخلخل، تولید آب تقطیر شده برابر با ۱۴۰۰ میلی‌لیتر می‌باشد که نشان دهنده این است با افزایش شیب گردآور، مقدار تولید آب تقطیر شده کاهش می‌یابد. بازده انرژی در گردآور با زاویه ۴۵ درجه و استفاده از ماده متخلخل، حدود ۶ درصد نسبت به گردآور با زاویه ۳۰ درجه کاهش یافته است. همچنین مقایسه نتایج نشان داد که در زاویه ۱۵ درجه، بازده انرژی در صورت عدم حضور ماده متخلخل حدود ۰/۲ درصد بیشتر از آزمایش با حضور ماده متخلخل است. به طور کلی می‌توان گفت که شیب گردآور علاوه بر سایر پارامترها، تاثیر به‌سزایی در میزان آب تقطیر شده خواهد داشت زیرا با پایین بودن شیب گردآور، آب ورودی با سرعت کمتری به سمت پایین حرکت کرده و مدت زمان بیشتری برای تبادل گرما خواهد داشت.

## ۱۰- مراجع

- [1] Jury A. W., Henry J. V., The Emerging Global Water Crisis: Managing Scarcity and Conflict Between Water Users, Adv. Agron. Vol. 95, pp. 1-76, 2007.
- [2] Li X., Yang X., Xue H., Pang H., Xu Q., Metal-organic frameworks as a platform for clean energy applications,