

Amirkabir Journal of Mechanical Engineering

Amirkabir J. Mech. Eng., 52(2) (2020) 77-80 DOI: 10.22060/mej.2018.13707.5691

Performance Analyzing of an Inverted Absorber Basin Solar Still Equipped with Photovoltaic Cells

M. Karimi Takalloo, F. Sarhaddi*, F. Sobhnamayan

Department of Mechanical Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

ABSTRACT: In the present paper, a basin solar still with a curved inverted reflector under the basin is studied. In the investigated solar still, some photovoltaic cells are inserted on the glass cover of the condenser. Therefore, the system produces fresh water and electricity, simultaneously. By writing energy balance for different components of the system, photovoltaic cells temperature, condenser glass cover temperature, water temperature, and absorber temperature can be obtained. Also, the thermal and electrical efficiencies of the system are introduced. Present study simulation results are consistent with experimental data of the previous studies. Parametric study results show that increased water depth reduces freshwater productivity and its effect on the electricity production. Increased wind velocity and increase in the basin area increase freshwater productivity and electricity production. Also, an increase in the number of photovoltaic cells increases the electrical efficiency and reduces thermal efficiency, therefore, it decreases system overall efficiency. Water depth effect on electrical efficiency is negligible but, it decreases thermal efficiency and the overall efficiency of the system.

Review History:

Received: 13/11/2017 Revised: 11/03/2018 Accepted: 11/03/2018 Available Online: 18/03/2018

Keywords:

Basin solar still Inverted absorber Photovoltaic cells Energy analysis

1. INTRODUCTION

About three percent of the water resources available on the earth are potable [1]. In most countries of the world, including Iran, freshwater scarcity has become a serious problem. Regarding the rising cost of fossil fuels, with the reduction of its resources and the pollution caused by its untapped use, renewable energy has been considered. Therefore, given the fact that the Persian Gulf states, including Iran, enjoy the high potential for solar energy, interest in solar still systems has emerged. In 2015, El-Sebaii et al. [2] examined the effect of fin's connection to the absorber plate on the performance of the basin solar still. They reported that the production of fresh water with a thickness of fins and a height of fins had a direct and indirect relation, respectively. The excessive increase in fins and, consequently, the increase in the shade of fins, reduce the production of water. They reported that, in the best case with fins, fresh water production was 13.7 percent higher than usual.

The novelty of the paper is the presence of photovoltaic cells on the condenser glass cover and the correction of photovoltaic cells electrical model. In the past [1-4], simple and inverted absorber solar still have been investigated. But, in the present paper, the performance of an inverted absorber solar still equipped with photovoltaic cells has been investigated. In this case, in addition to fresh water production, electricity will be produced at the same time.

2. GOVERNING EQUATIONS OF PROBLEM

In the present study, a basin solar still system with a curved inverted reflector under the basin is studied. In the mentioned solar still, the water in the basin will be heated from both up and down. Also, with using the photovoltaic cells on the condenser glass cover, electricity is produced in addition to the water production. Fig. 1 shows a schematic diagram of the study system. Energy balance equations for various components of the solar still have been written for



*Corresponding author's email: fsarhaddi@eng.usb.ac.ir

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

the performance analysis and the simulation of the inverted absorber solar still, equipped with photovoltaic cells. A nonlinear ordinary algebraic differential equation is obtained to find the temperature of the various components of the system. A simulation code has been developed in MATLAB software in order to simulate the system and carry out parametric studies. Energy balance for photovoltaic cells, the condenser glass cover, the absorber plate and water in the basin can be seen in Eqs. (1) to (4), respectively [1-4].

$$\alpha_c G_s \beta_c A_{g1} = h_{ca} \beta_c A_{g1} (T_c - T_a) + \beta_c A_{g1} \eta_{el} G_s + h_{cg1} \beta_c A_{g1} (T_c - T_{g1})$$
(1)

$$\alpha_{g1}(1-\beta_c)A_{g1}G_s + h_{wg1}A_b(T_w - T_{g1}) + h_{cg1}\beta_cA_{g1}(T_c - T_{g1}) = h_{g1a}(1-\beta_c)A_{g1}(T_{g1} - T_a)$$
(2)

$$\tau_{g1}\tau_{w}\alpha_{b}(1-\beta_{c})A_{g1}G_{s} + \tau_{g2}r_{inv}^{N}\alpha_{b}A_{g2}G_{s} = h_{bw}A_{b}(T_{b}-T_{w}) + h_{ba}A_{b}(T_{b}-T_{a})$$
(3)

$$\tau_{g_1}\tau_w(1-\beta_c)A_{g_1}G_s + h_{bw}A_b(T_b - T_w) = M_w c_w \frac{dT_w}{dt} + h_{wg_1}A_b(T_w - T_{g_1}) + h_{wa}A_s(T_w - T_a)$$
(4)

The evaporative energy of the solar still and the amount of fresh water produced by the system are obtained as follows in Eqs. (5) and (6), respectively.

$$\dot{q}_{ev} = h_{ev}A_b(T_w - T_g) \tag{5}$$

$$m_{w} = \frac{\dot{q}_{ev}\Delta t}{h_{fg}} \tag{6}$$

Finally, the thermal efficiency of the system is obtained by Eq. (7).

$$\eta_{th} = \frac{\dot{q}_{ev}}{A_g \times G_s} \tag{7}$$

Table 1: Validation the results of this research

Parameter	Error percent (%)
Water temperature (T_w)	5.50
Absorber plate temperature (T_b)	4.33
Condenser glass temperature (T_{g1})	6.41
Freshwater production (m_w)	0.979



Fig. 2: Efficiency of the system in terms of the percentage of coating of the surface of the glass cover by photovoltaic cells

3. VALIDATION

Regarding the governing equations of the inverted absorber solar still, a MATLAB simulation code is developed. The simulation results of this code are validated with the results of Tiwari et al. [5] and are presented in Table 1.

According to Table 1, the present study simulation results are in good agreement with experimental data of Tiwari et al. [5].

4. RESULTS

Fig. 2 shows the diagram of the changes in thermal efficiency, electrical efficiency, and total system efficiency, based on changes in the percentage of surface coverage by photovoltaic cells and for optimal parameters.

According to Fig. 2, with the increase of photovoltaic cells, the electrical efficiency increases and thermal efficiency decreases. As the photovoltaic cells increase, electricity production increases and fresh water production decreases, and in general, the overall system efficiency decreases.

5. CONCLUSIONS

Main conclusions of the present study are as follows:

- The simulation results of this study are in good agreement with the experimental results of previous studies.

- Increase of photovoltaic cells increases the electrical efficiency and reduces the thermal efficiency, so it decreases system overall efficiency.

REFERENCES

- V. Velmurugan, M. Gopalakrishnan, R. Raghu, K. Srithar, Single basin solar still with fin for enhancing productivity, Energy Conversion and Magnagement, 49 (2008) 2602-2608.
- [2] A.A. El-Sebaii, M.R.I. Ramadan, S. Aboul-Enein, M. El-Naggar, Effect of fin configuration parameters on single basin solar still performance, Desalination, 365 (2015) 15-24.

- [3] M. Afrand, R. Kalbasi, A. Karimipour, S. Wongwises, Experimental investigation on a thermal model for a basin solar still with an external reflector, Energies, 10 (2016) 1-18.
- [4] Z.M. Omara, A.S. Abdullahb, T. Dakroryc, Improving the productivity of solar still by using water fan and wind

turbine, Solar Energy, 147 (2017) 181-188.

[5] R. Dev, S.A. Abdul-Wahab, G.N. Tiwari, Performance study of the inverted absorber solar still with water depth and total dissolved solid, Applied Energy, 88 (2011) 252-264. This page intentionally left blank

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، دوره ۵۲، شماره ۲، سال ۱۳۹۹، صفحات ۲۹۷ تا ۳۱۰ DOI: 10.22060/mej.2018.13707.5691

بررسی عملکرد آبشیرینکن خورشیدی حوضچهای جاذب معکوس مجهز به سلولهای فتوولتائیک

معین کریمی تکلو، فرامرز سرحدی*، فاطمه صبحنمایان

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران

خلاصه: سیستم مورد بررسی در تحقیق حاضر یک آبشیرین کن خورشیدی حوضچهای است که به زیر آن یک بازتابنده منحنی شکل متصل میباشد و تعدادی سلول فتوولتائیک بر روی شیشه چگالنده آن تعبیهشده است. بنابراین سیستم مذکور علاوه بر تولید آب شیرین، برق نیز تولید می کند. با نوشتن موازنه انرژی برای اجزای مختلف سیستم، عباراتی برای محاسبه دمای سلول فتوولتائیک، دمای شیشه چگالنده، دمای آب و دمای صفحه جاذب به دست آمده است. همچنین بازدهی گرمایی و الکتریکی سیستم نیز معرفی شده ند نتایج شبیه سازی تحقیق حاضر در توافق خوبی با داده های آزمایشگاهی مراجع گذشته است. بر مبنای مطالعات پارامتری انجام گرفته مشخص شد که افزایش عمق آب حوضچه، از تولید آب شیرین می کاهد و تأثیر آن در تولید برق محسوس نیست. افزایش سلول های فتوولتائیک باعث کاهش تولید آن شیرین و افزایش تولید برق می شود. افزایش سرعت وزش باد، باعث افزایش سلول های فتوولتائیک باعث کاهش تولید مساحت حوضچه، باعث افزایش تولید آب شیرین و برق می شود. همچنین افزایش سلول های فتوولتائیک باعث کاهش تولید افزایش بازدهی الکتریکی و کاهش بازدهی گرمایی و درمجموع باعث کاهش بازدهی کل سیستم می شود. افزایش عمق مساحت حوضچه، باعث افزایش تولید آب شیرین و برق می شود. همچنین افزایش سلول های فتوولتائیک باعث کاهش تولید

تاریخچه داوری: دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۲ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۲/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۰ ارائه آنلاین: ۱۳۹۶/۱۲/۲۷

کلمات کلیدی: آبشیرین کن خورشیدی حوضچهای جاذب معکوس سلول های فتوولتائیک تحلیل انرژی

۱– مقدمه

در بسیاری از کشورهای درحالتوسعه جهان، دستیابی به آب تمیز و قابل آشامیدن ضرورت مهمی تلقی میشود. بیشتر منابع آبی، شور و یا حاوی باکتریهای مضر بوده و قابل آشامیدن نیستند. این در حالی است که تنها سه درصد منابع آبهای موجود زمین قابل شرب میباشند [۱]. در بیشتر کشورهای جهان ازجمله ایران کمبود آب شیرین به یک معضل جدی تبدیل شده است. در سالهای اخیر با توجه به افزایش قیمت انرژیهای فسیلی همراه با کاهش منابع آن و مباحث مربوط به آلودگی محیطزیست ناشی از استفاده بیرویه این سوختها، استفاده از انرژیهای تجدید پذیر مورداستفاده قرار گرفته سوختها، استفاده از انرژی های تجدید پذیر مورداستفاده قرار گرفته به فنآوری پرهزینه و پیشرفته میتواند بهعنوان یک منبع مفید به کار به اینکه از منابع غنی انرژی خورشیدی بهرهمند هستند، علاقه زیادی *نویسنده عهدهدار مکاتبات: fsarhaddi@eng.usb.ac.ir

به فرایندهای آبشیرین کنهای مبتنی بر منابع انرژی تجدید پذیر از خود نشان دادهاند. بهطور معمول اغلب مناطقی که با کمبود آب شرب مواجه هستند از پتانسیل بالای انرژی خورشیدی برخوردار میباشند. ازاین رو استفاده از آبشیرین کنهای خورشیدی میتواند مشکل آب قابل شرب را تا حدود زیادی برطرف کند. شیرین سازی آبهای شور بهمنظور تأمین آب مصرفی به روشهای مختلفی انجام می گیرد. یکی از روشهای مناسب، تقطیر آبشور دریاها و یا منابع آبهای زیرزمینی نامطلوب است. تقطیر درواقع روندی است که در آن املاح آب (نظیر نمک) از منابع آب نظیر آب دریا، آبهای زیرزمینی و پسابها جدا میشود. سادهترین روش برای شیرین نمودن آبهای شور، تقطیر خورشیدی میباشد. حال با توجه به این که اغلب آبشیرین کنهای خورشیدی طراحی و ساخت خارج میباشند و مناسب برای استفاده در ایران نیستند، تحقیق و پژوهش در این زمینه و دستیابی به این علم ضروری خواهد بود. در گذشته مطالعات بسیاری در این زمینه انجامشده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره میشود.

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

عمق آب بهینهشده برای آبشیرینکن خورشیدی جاذب معکوس ۰/۰۳ متر بهدست آمد به طوریکه اضافه کردن بازتابنده به کف حوضچه تأثیر چشم گیری روی کارایی آن در مقایسه با آبشیرین کن ساده نداشت. در سال ۲۰۱۲ عبدالوهاب و همکاران [۱۱] به بررسی عملکرد آبشیرینکن خورشیدی جاذب معکوس همراه با چرخه تبرید پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که تولید روزانه در آبشیرین کن خورشیدی همراه با چرخه تبرید با افزایش عمق آب در مقایسه با حالت معمول آبشیرین کن افزایش بیشتری خواهد داشت. در سال ۲۰۱۳ شاه و دامور [۱۲] اثر مواد جذب کننده برای یک آبشیرین کن دو شیب را بررسی کردند و نشان دادند هنگامی که رنگ سیاه استفاده شود حدود ۲۷ درصد عملکرد آبشیرینکن نسبت به زمانی که رنگ سیاه استفاده نشود بهتر است. در سال ۲۰۱۴ کابیل و همکاران [۱۳] عملکرد یک آب شیرین کن خورشیدی مجهز به چگالنده خارجی را با نانوسیال بررسی کردند. آنها مقداری ذرات اکسید آلومینیوم به داخل آب حوضچه اضافه کردند و گزارش دادند که خواص ترمودینامیکی آب تغییر میکند. حضور نانوسیال در حوضچه باعث افزایش دمای آب و در نتیجه تبخیر آن می شود. تحقیقات آنها نشان داد زمانی که از نانوسیال استفاده می شود افزایش قابل توجه در تولید آب شیرین نسبت به حالت معمول رخ میدهد. در سال ۲۰۱۵ السبایی و همکاران [۱۴]. تأثیر کاربرد فین در حوضچه آبشیرین کن را بر عملکرد آبشیرین کن حوضچهای بررسی کردند. آنها گزارش دادند که تولید آب شیرین با ضخامت فین و ارتفاع فین به ترتیب نسبت عکس و مستقیم دارد. افزایش بیش از حد فینها در نتيجه افزايش ايجاد سايه فينها، باعث كاهش توليد آب مي شود. آنها گزارش دادند در بهترین حالت با کاربرد فینها تولید آب شیرین ۱۳/۷ درصد نسبت به حالت معمول افزایش دارد در سال ۲۰۱۶ افرند و همکاران [1۵] به بررسی تجربی بر روی یک مدل حرارتی برای آبشیرین کن خورشیدی با بازتابنده خارجی پرداختند. مدل حرارتی معرفی شده بهطور قابل اعتماد مقدار آب تقطیر شده و کارایی سیستم با بازتابنده خارجی را برآورد میکند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که بهرهوری سیستم در ساعات اولیه روز کم است، در حالی که در بعدازظهر ۴۴ درصد افزایش یافته است. همچنین مقدار آب تولید شده برای حالت تئوری و تجربی به ترتیب ۴۶۰۰ و ۴۳۰۰ میلی لیتر در روز است. در سال ۲۰۱۷ اومارا و همکاران [۱۶] به بررسی تأثیر

تقطیر خورشیدی بهعنوان یک فنآوری جهت تولید آب شیرین قدمتي طولاني دارد بهطوريكه اولين دستنوشتهها كه فرايند تقطير را توضيح مىدهد مربوط به قبل ميلاد مسيح (ع) مىشود. در ابتدا هدف اصلی تولید نمک بوده است [۲]. در سال ۱۹۹۴ تایواری و همکاران [۳] حالت بهینه شیب پوشش آبشیرینکن را برای آب هوای دهلینو در طول سال یافتند. آنها گزارش دادند که در طول تابستان شیب ۱۰ درجه و در طول زمستان شیب ۶۰ درجه بهترین عملکرد را برای آبشیرینکن دارد. در سال ۱۹۹۹ سونجا و تایواری [۴] به بررسی تأثیر عمق آب بر آبشیرینکن خورشیدی تکشیب جاذب معکوس پرداختند. به این نتیجه رسیدند که بازده روزانه یک آبشیرین کن خورشیدی جاذب معکوس دوگانه با افزایش عمق آب نسبت به حالت یگانه آن افزایش بیشتری دارد. در سال ۱۹۹۹ سانجا و تایواری [۵] به مطالعه پارامتری آبشیرینکن خورشیدی جاذب معکوس سه گانه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که آب شیرین کن خورشیدی جاذب معکوس سهگانه عملکرد بهتری نسبت به حالتهای دوگانه و یگانه آن دارد. در سال ۲۰۰۶ تایواری و سودا [۶] با یک مدل جدید برای یک جمع کننده فتوولتائیک مقدار عددی برای دمای مدول فتوولتائیک و آب بهدست آوردند. در سال ۲۰۰۷ جوشی و تایواری [۷] کارایی گردآورندههای فتوولتائیک را براساس مفهوم انرژی و اکسرژی مورد بررسی قرار دادند و بازدهی انرژی را ۵۵ تا ۵۷ درصد و بازدهی اکسرژی را در حدود ۱۲ تا ۱۵ درصد بیان کردند. در سال ۲۰۰۸ کومار و تایواری [۸] عملکرد یک آبشیرین کن خورشیدی حوضچهای فعال را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که تولید آب شیرین در آبشیرین کن فعال نسبت به غیرفعال ۳/۵ برابر بیشتر است. در سال ۲۰۱۱ تایواری و همکاران [۹] به بررسی معادلات مشخصه آبشیرینکن خورشیدی جاذب معکوس پرداختند. براساس تجزیه و تحلیل اقتصادی که انجام دادند به این نتیجه رسیدند که هزینههای تولید هر کیلوگرم مترمربع آب تقطیرشده در آبشیرینکن جاذب معکوس و آبشیرینکن ساده به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۵۴ روپیه است. در سال ۲۰۱۱ تایواری وهمکاران [۱۰] به بررسی تغییرات عمق آب بر عملکرد آب شیرین کن خور شیدی جاذب معكوس پرداختند. به اين نتيجه رسيدند كه افزايش عمق آب حوضچه باعث افزایش عملکرد آب شیرین کن خور شیدی جاذب معکوس و همچنین آبشیرینکن خورشیدی ساده می شود. حداکثر

فن آب بر عملکرد آبشیرین کن خورشیدی معمولی در عمقهای ۲،۲،۱ و ۴ سانتیمتر پرداختند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که حداکثر بهرموری در عمق آب ۱ سانتیمتر، برای فن با سرعت دورانی کمتر از ۲۲ دور بر دقیقه و در عمق ۳ سانتیمتر، برای فن با سرعت دورانی بیشتر از ۲۲ دور بردقیقه خواهد بود. همچنین بهرموری روزانه در این حالت ۲۹/۸ درصد بهدست آمد که در مقایسه با کار مشابه در حالت بدون فن، حدود ۳ درصد افزایش بهرموری نشان داد. در سال ۲۰۱۷ اومارا و همکاران [۱۷] به بررسی عملکرد آبشیرین کن خورشیدی همراه با بازتابندمها پرداختند. در این مقاله به بررسی طرحهای مختلف آبشیرین کن برای افزایش کارایی پرداخته شد و در نهایت به این نتیجه رسیدند که آبشیرین کن همراه با بازتابندمها یکی از کارآمدترین و موثرترین طرحها برای افزایش کارایی سیستم است.

نوآوری مقاله حاضر، قرار گرفتن سلولهای فتوولتائیک بر روی شیشه چگالنده و تصحیح مدل الکتریکی برای تحلیل سلولهای فتوولتائیک میباشد. در پژوهشهای قبل [۱۹–۱]، آبشیرین کنهای ساده و جاذب معکوس مورد بررسی قرار گرفتهاند، اما در مقاله حاضر به بررسی عملکرد آبشیرین کن حوضچهای خورشیدی جاذب معکوس مجهز به سلولهای فتوولتائیک پرداخته شده است. در این حالت علاوه بر تولید آب شیرین، همزمان برق هم تولید خواهد شد که میتوان برای مصارف مختلف استفاده کرد. برای تحلیل عملکرد و شبیهسازی آبشیرین کن خورشیدی جاذب معکوس مجهز به سلولهای فتوولتائیک، معادلات موازنه انرژی برای تک تک اجزای این آبشیرین کن نوشته شده است. سپس یک کد شبیهسازی در نرم افزار متلب توسعه داده شده است و بهوسیله آن مطالعات پارامتری انجام خواهد گرفت.

۲- معادلات حاکم بر مسئله

هدف از تحلیل انرژی بهدست آوردن روابطی برای محاسبه دمای اجزای مختلف سیستم همچون دمای شیشه، دمای صفحه جاذب و دمای آب درون حوضچه میباشد. روابطی که از تحلیل انرژی بهدست میآید به ازای ورودیهای مشخص مانند شدت تابش خورشیدی، دمای محیط، سرعت باد، خروجیهایی مانند دمای شیشه، دمای آب درون حوضچه، دمای صفحه جاذب، میزان تولید آب و توان الکتریکی

خروجی را به ما خواهد داد. تحلیل انرژی آبشیرین کن خورشیدی مورد نظر از دو قسمت تشکیل شده است که در ابتدا تحلیل حرارتی آبشیرین کن حوضچهای و سپس تحلیل الکتریکی مدول فتوولتائیک انجام می شود.

۲-۱-تعريف مسئله

هدف اصلی این تحقیق بررسی تئوری عملکرد آبشیرین کن حوضچهای خورشیدی جاذب معکوس مجهز به سلولهای فتوولتائیک میباشد. شکل ۱، شماتیک کلی مسئله تحقیق حاضر است. سیستم مورد مطالعه تحقیق حاضر یک حوضچه ساده است که زیر حوضچه یک بازتابنده منحنی شکل قرار دارد تا آب موجود در حوضچه هم از بالا و هم از پایین گرم شود. همچنین روی شیشه چگالنده سلولهای فتوولتائیک قرار دارد که علاوه بر تولید آب، برق هم تولید شود.

۲-۲-فرضيات مسئله

۱- اغلب فرآیندها در حالت جریان دائم در نظر گرفته می شود [۴]
 و ۱۰].

۲- از مدل انتقال حرارتهای یک بعدی و ظرفیت متمرکز استفاده می گردد.

۳- شرایط جوی و دادههای تابشی برای یک روز نمونه آفتابی از دادههای تجربی دیگران استفاده می شود.

۴- خواص تابشی سطوح انتقال حرارت شامل ضریب صدور، ضریب جذب، ضریب انتقال و غیره ثابت فرض می شود.



شکل ۱: شماتیک کلی از آبشیرین کن خورشیدی جاذب معکوس مجهز به سلولهای فتوولتائیک

Fig. 1: General schematic of an inverted absorber basin solar still equipped to photovoltaic cells

$$\tau_{g1}\tau_{w}\alpha_{b}(1-\beta_{c})A_{g1}G_{s} + \tau_{g2}r_{inv}{}^{N}\alpha_{b}A_{g2}G_{s} = h_{bw}A_{b}(T_{b}-T_{w}) + h_{ba}A_{b}(T_{b}-T_{a})$$
(9)

از موازنه انرژی برای صفحه جاذب معادلهای برای دمای صفحه جاذب بهدست میآید:

$$T_{b} = \frac{\tau_{g1}\tau_{w}\alpha_{b}(1-\beta_{c})G_{s} + \tau_{g2}r_{inv}{}^{N}\alpha_{b}G_{s}\left(A_{g2}/A_{g1}\right)}{\left(h_{bw} + h_{ba}\right)\cos\theta}$$
(Y)

 $+h_{bw}T_{w}\cos\theta+h_{ba}T_{a}\cos\theta$

در ادامه با جایگذاری معادلات (۴) و (۷) در معادله (۵)، یک معادله دیفرانسیل معمولی برای دمای آب شور درون حوضچه بهدست میآید.

$$\begin{cases} \frac{dT_{w}}{dt} + aT_{w} = f(t) \\ T_{w}(0) = T_{w0} \end{cases}$$
(A)

$$T_{w} = \frac{1}{t} \int_{0}^{t} T_{w} dt = \frac{f_{1}(t)}{\alpha_{1}} \left[1 - \frac{1 - \exp(-\alpha_{1}\Delta t)}{\alpha_{1}\Delta t} \right] +$$
(9)
$$T_{w0} \left[\frac{1 - \exp(-\alpha_{1}\Delta t)}{\alpha_{1}\Delta t} \right]$$

نرخ انرژی تبخیری آبشیرینکن و میزان تولید آب شیرین سیستم در بازه زمانی ∆، به ترتیب بهصورت معادلات (۱۰) و (۱۱) بهدست میآید [۴]:

$$\dot{q}_{ev} = h_{ev} A_b (T_w - T_g) \tag{(1)}$$

$$m_w = \frac{\dot{q}_{ev}\Delta t}{h_{fg}} \tag{11}$$

در نهایت بازده حرارتی از رابطه (۱۲) محاسبه میشود [۴ و ۱۰]: ۵- سلولهای فتوولتائیک از نوع سیلیکونی میباشد.

$$\alpha_c G_s \beta_c A_{g1} = h_{ca} \beta_c A_{g1} (T_c - T_a) + h_{cg1} \beta_c A_{g1} (T_c - T_{g1}) + \beta_c A_{g1} \eta_{el} G_s$$

$$(1)$$

از موازنه انرژی برای سلولهای فتوولتائیک معادلهای برای دمای سلولهای فتوولتائیک بهدست میآید:

$$T_{c} = \frac{h_{ca}T_{a} + h_{cg}T_{g1} + \alpha_{c}G_{s} - \eta_{el}G_{s}}{h_{ca} + h_{cg1}}$$
(Y)

$$\alpha_{g1}(1-\beta_c)A_{g1}G_s + h_{wg1}A_b(T_w - T_{g1}) + h_{g1}\beta_cA_{g1}(T_c - T_{g1}) = h_{g1a}(1-\beta_c)A_{g1}(T_{g1} - T_a)$$
(7)

از موازنه انرژی برای شیشه چگالنده معادلهای برای دمای شیشه چگالنده بهدست میآید:

$$T_{g1} = \frac{\alpha_{g1}(1 - \beta_c)G_s + h_{wg1}T_w \cos\theta + h_{cg1}\beta_c}{h_{wg1}\cos\theta + h_{cg1}\beta_c}$$

$$\frac{h_{cg1}\beta_cT_c + h_{g1a}(1 - \beta_c)T_a}{+h_{g1a}(1 - \beta_c)}$$
(f)

موازنه انرژی برای آب درون حوضچه:

$$\tau_{g_{1}}\tau_{w}(1-\beta_{c})A_{g_{1}}G_{s} + h_{bw}A_{b}(T_{b}-T_{w}) =$$

$$M_{w}c_{w}\frac{dT_{w}}{dt} + h_{wg_{1}}A_{b}(T_{w}-T_{g_{1}}) + h_{wa}A_{s}(T_{w}-T_{a})$$
(Δ)

موازنه انرژی صفحه جاذب:



شکل ۲: مدل الکتریکی معادل مدل چهار پارامتری [۱۸]

Fig. 2: Equivalent electrical model of the four-parameter model

$$R_{s,ref} = \frac{a_{ref} Ln \left(1 - \frac{I_{mp,ref}}{I_{sc,ref}}\right) + V_{oc,ref} - V_{mp,ref}}{I_{mp,ref}}$$
(1A)

در شرایط مرجع مقادیر
$$I_{\,sc,ref}$$
 ، $V_{\,mp,ref}$ ، $I_{\,mp,ref}$ و
 $V_{oc,ref}$ توسط سازندگان مدولهای فتوولتائیک ارائه میشود.
برای محاسبه ولتاژ، جریان و پارامترهای مدل در شرایط جدید از
بکسری معادلات انتقال استفاده میشود که بهصورت معادلات (۱۹)
نا (۲۷) آورده شده است [۱۸].

$$R_s = R_{s,ref} \tag{19}$$

$$\frac{a}{a_{ref}} = \frac{T_c}{T_{c,ref}} \tag{(Y \cdot)}$$

$$\frac{I_o}{I_{o,ref}} = \left(\frac{T_c}{T_{c,ref}}\right)^3 \exp\left[\left(\frac{\varepsilon_s N_c}{a_{ref}}\right) \left(1 - \frac{T_c}{T_{c,ref}}\right)\right]$$
(71)

$$I_{L} = \frac{G}{G_{ref}} \left[I_{L,ref} + \alpha \left(T_{c} - T_{c,ref} \right) \right]$$
(YY)

$$\Delta T = T_c - T_{c,ref} \tag{(YT)}$$

$$\Delta I = \alpha \left(\frac{G}{G_{ref}}\right) \Delta T + \left(\frac{G}{G_{ref}} - 1\right) I_{sc,ref} \tag{7F}$$

$$\Delta V = \beta \Delta T - R_s \Delta I \tag{7a}$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{q}_{ev}}{A_g \times G_s} \tag{11}$$

۴-۲-تحلیل الکتریکی در تحقیقات گذشته راندمان الکتریکی مدولهای فتوولتائیک از رابطه (۱۳) محاسبه شده است:

$$\eta_{el} = \eta_{el,ref} \left[1 - \beta_{ref} \left(T_c - T_a \right) \right] \tag{17}$$

سرحدی و همکاران [۱۸]، نشان دادند که معادله (۱۳) نقصهایی دارد. اول این که در شدت تابش خورشیدی پایین، راندمان الکتریکی مدول فتوولتائیک را برابر با راندمان الکتریکی در شرایط مرجع (مدول فتوولتائیک را برابر با راندمان الکتریکی در شرایط مرجع ($\eta_{el} = \eta_{el,ref}$) میدهد. دوم این که معادله (۱۳) جزئیات تغییرات پارامترهای الکتریکی مانند ولتاژ مدار باز، جریان اتصال کوتاه، ولتاژ و جریان در نقطه ماکزیمم، توان الکتریکی و غیره را بیان نمی کند. در این مقاله از مدل چهار پارامتری استفاده شده است. مدل چهار پارامتری برای معرفی منحنی (V - I) سلول خورشیدی به صورت رابطه (۱۴) تعریف می شود [۱۸].

$$I = I_L - I_O \left[\exp\left(\frac{V + IR_S}{a}\right) - 1 \right]$$
(14)

چهار پارامتر این مدل R_s ، I_L و I_o به ترتیب مقاومت سری، جریان نوری، جریان اشباع معکوس و ضریب مطلوبیت میباشند. شکل ۲، مدار الکتریکی مدل چهار پارامتری را نشان میدهد.

برای محاسبه چهار پارامتر مدل در شرایط مرجع (10) $G_{ref} = 1... W/m^2$, $T_{cell,ref} = 70 °C$ تا (1۸) استفاده می شود [۱۸].

$$I_{L,ref} = I_{sc,ref} \tag{1a}$$

$$I_{O,ref} = \frac{I_{sc,ref}}{\exp(V_{oc,ref} / a_{ref})}$$
(19)

$$a_{ref} = \frac{2V_{mp,ref} - V_{oc,ref}}{\left(\frac{I_{mp,ref}}{I_{sc,ref} - I_{mp,ref}}\right) + Ln\left(1 - \frac{I_{mp,ref}}{I_{sc,ref}}\right)}$$
(1Y)

$$I_{new} = I_{ref} + \Delta I \tag{(79)}$$

$$V_{new} = V_{ref} + \Delta V \tag{(YY)}$$

در این معادلات \mathcal{R} ، \mathcal{R}_c ، \mathcal{R} به ترتیب انرژی شکاف باند، تعداد سلولها در مدول خورشیدی، ضرایب دمایی ولتاژ و جریان است.

حداکثر توان الکتریکی خروجی از مدول فتوولتائیک بهصورت معادله (۲۸) محاسبه میشود [۱۸]:

$$p_{el} = V_{mp} I_{mp} \tag{7A}$$

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{\dot{S}} \tag{19}$$

$$\dot{S} = GN_s N_m A_{\rm mod} \tag{(7.)}$$

در این معادلات \dot{S} ، M_m ، N_s ، A_{mod} ، \dot{S} به ترتیب شار خورشیدی رسیده به سطح مدول فتوولتائیک، مساحت سطح سلول فتوولتائیک، تعداد رشته و تعداد سلولها در هر رشته است. توان الکتریکی تولید شده به صورت معادله (۳۱) به دست می آید [۱۸]:

$$\dot{q}_{el} = \eta_{el} \times A_g \times G_s \tag{(T1)}$$

۵-۲-بازده کل سیستم بازده کلی آبشیرین کن از دیدگاه تحلیل انرژی بهصورت معادله (۳۲) محاسبه میشود [۱۰]:

$$\eta_{en} = \frac{Desired.output.energy}{Input.energy} = \frac{\dot{E}_{o,des}}{\dot{E}_i} = \frac{\dot{q}_{ev} + (\dot{q}_{el}/C_f)}{A_g \times G_s} \qquad (\Upsilon\Upsilon)$$

معادله (۳۲) بهصورت انرژی خروجی مطلوب نسبت به انرژی ورودی بیان شده است. به دلیل این که از لحاظ کیفیت، انرژی الکتریکی با انرژی گرمایی متفاوت میباشد در صورت کسر، مقدار توان الکتریکی تولیدی بر ضریب ثابت ۰/۳۸ تقسیم شده است.

8-۲-الگوريتم حل

گام اول: مقداردهی اولیه به پارامترهای ثابت ورودی جوی، $N \cdot M_w \cdot K_g \cdot C_w \cdot A_s \cdot A_{g2} \cdot A_{g1} \cdot A_b$) عملکردی و طراحی ($\tau_c \cdot \tau_{g1} \cdot \tau_w \cdot \Delta t \cdot \theta \cdot r_{inv} \cdot c_f \cdot \varepsilon_g \cdot \beta_c \cdot \alpha_w \cdot \alpha_c \cdot \alpha_{g1} \cdot \alpha_b$, $\tau_c \cdot \tau_{g1} \cdot \tau_w \cdot \Delta t \cdot \theta \cdot r_{inv} \cdot c_f \cdot \varepsilon_g \cdot \beta_c \cdot \alpha_w \cdot \alpha_c \cdot \alpha_{g1} \cdot \alpha_b$, $\sigma_s \cdot \sigma_s \cdot c_f \cdot \varepsilon_g \cdot \beta_c \cdot \alpha_w \cdot \alpha_c \cdot \alpha_{g1} \cdot \alpha_b$,

گام دوم: حدس اولیه برای دماهای آب، شیشه چگالنده، صفحه جاذب و سلولهای فتوولتائیک ($T_{c,in}$, $T_{g1,in}$, $T_{w,in}$). گام سوم: محاسبه ضرایب انتقال حرارت (h_{cg1} , h_{cg1} , h_{cg1} , h_{cg1} , h_{cg1} , h_{g1a}).

گام چهارم: محاسبه دماهای آب، شیشه چگالنده، صفحه جاذب و سلولهای فتوولتائیک (معادلات (۲)، (۴)، (۷) و (۹)). و سلولهای فتوولتائیک (معادلات (۲)، (۴)، (۷) و (۹)). گام پنجم: چک کردن شرط همگرایی (۰۰۰) $\left| \frac{T_w - T_w - T_w}{T_w} \right|$): اگر شرط همگرایی برقرار باشد به گام بعدی برود. در غیر اینصورت مقادیر بهدست آمده برای دمای آب، شیشه چگالنده ، صفحه جاذب مقادیر به دست آمده برای دمای آب، شیشه چگالنده ، صفحه جاذب و سلول را به عنوان حدس اولیه در نظر گرفته و به گام سوم برود. گام ششم: محاسبه پارامترهای مطلوب (m_w , q_{el} , m_e).

۳- **نتایج و بحث** ۱-۳- اعتبارسنجی

با توجه به معادلات حاکم بر سیستم آبشیرین کن حوضچهای خورشیدی جاذب معکوس یک کد کامپیوتری نوشته شده است. نتایج شبیه سازی این کد کامپیوتری با نتایج پژوهش تایواری و همکاران [۱۰]، اعتبار سنجی شده است. در این پژوهش تایواری و همکاران به تأثیر عمق آب بر کارایی سیستم آب شیرین کن خورشیدی جاذب معکوس پرداختند. در این قسمت پارامترهای دمای شیشه چگالنده، دمای آب، دمای صفحه جاذب و میزان تولید آب اعتبار سنجی شده است و درصد خطای متوسط آن توسط رابطه زیر گزارش شده است.



شکل ۵: تغییرات مقادیر شبیه سازی میزان کل تولید آب شیرین بر حسب مقادیر تجربی متناظر



$$r = \frac{n\left(\sum_{i=1}^{n} X_{\exp,i} X_{sim,i}\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} X_{\exp,i}\right) \left(\sum_{i=1}^{n} X_{sim,i}\right)}{\sqrt{n\left(\sum_{i=1}^{n} X^{2}_{\exp,i}\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} X_{\exp,i}\right)^{2}} \sqrt{n\left(\sum_{i=1}^{n} X^{2}_{sim,i}\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} X_{sim,i}\right)^{2}}$$
(7°F)

ضریب خطی رگرسیون میزان وابستگی خطی دادههای شبیهسازی شده را نسبت به دادههای تجربی متناظر نشان میدهد و مقدار آن بین صفر تا یک تغییر میکند. هرچه مقدار خطی رگرسیون به یک نزدیکتر باشد بهتر است.

شکل ۴ میزان تولید آب شیرین را در حالت شبیهسازی و آزمایشگاهی مقایسه میکند.

شکل ۵ میزان تغییرات مقادیر شبیه سازی میزان کل تولید آب شیرین بر حسب مقادیر تجربی متناظر و همچنین ضریب رگرسیون را نمایش می دهد. براساس شکل ۵ رابطه وابستگی داده های شبیه سازی بر حسب داده های تجربی برای میزان کل تولید آب شیرین خطی و ضریب خطی رگرسیون آن برابر ۰/۹۷۹ است.

۲-۳- مطالعات پارامتری

این بخش به بررسی پارامترهای طراحی و عملکردی برای ارزیابی دقیق نقش این پارامترها در عملکرد سیستم می پردازد. مطالعات



شکل ۳: مقادیر شبیهسازی و تجربی دماهای اجزای مختلف آبشیرینکن خورشیدی بر حسب زمان

Fig. 3: Simulation and experimental values of different components temperature of solar still versus time



Fig. 4: Total freshwater production versus time

$$Er = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{X_{sim,i} - X_{exp,i}}{X_{exp,i}} \right| \times 100$$
(77)

شکل ۳ مقادیر شبیه سازی شده و آزمایشگاهی دماهای اجزای مختلف آب شیرین کن را بر حسب زمان آزمایش نشان می دهد. مقدار خطای بین داده های مقاله موردنظر و داده های شبیه سازی شده برای دمای کف حوضچه، دمای آب و دمای شیشه چگالنده به ترتیب ۴/۳۳، ۵/۵۰ و ۶/۴۱ درصد به دست آمده است.

زمانی که دادههای تجربی و شبیهسازی کوچک هستند محاسبه خطای نسبی متوسط نمیتواند ملاک مناسبی برای مقایسه دادهها



Fig. 8: Simulation values of freshwater production versus time with the change of photovoltaic cell coverage percentage



شكل ٩: مقادير شبيهسازى ميزان توليد توان الكتريكى بر حسب زمان Fig. 9: Simulation values of electrical power generation versus time

با توجه به شکل ۸، با افزایش ۱۰ درصدی پوشش سطح توسط سلولهای فتوولتائیک، میزان تولید آب شیرین ۱۱ درصد کاهش پیدا میکند. چون با افزایش سلولهای فتوولتائیک میزان تابش خورشیدی رسیده به آب درون حوضچه به دلیل ایجاد سایه کاهش مییابد.

شکل ۹ میزان تولید انرژی الکتریکی در ۴ مقدار متفاوت درصد پوشش سطح توسط سلولهای فتوولتائیک را بیان میکند. با توجه به شکل با افزایش ۱۰ درصدی پوشش شیشه توسط سلولهای فتوولتائیک، تولید برق ۴۲ درصد بیشتر میشود. افزایش درصد پوشش سطح توسط سلولهای فتوولتائیک به منزله افزایش تعداد سلولها و به طبع افزایش توان الکتریکی میباشد.



Fig. 6: Changes of solar radiation intensity on 11 July [20]



Fig. 7: Ambient temperature changes on 11 July [21]

پارامتری در شهر زاهدان و در روز ۲۰ تیر انجام گرفته است. شکلهای ۶ و ۷ به ترتیب شدت تابش خورشیدی و دمای محیط را در این روز نشان میدهد.

در ابتدا تأثیر تغییر پارامتر درصد پوشش سطح را بر جرم آب تولیدی و توان الکتریکی تولیدی به ازای سایر پارامترهای ثابت بررسی شده است. شکل ۸ میزان تولید آب شیرین را بر حسب زمان در ۴ مقدار متفاوت درصد پوشش سطح توسط سلولهای فتوولتائیک نشان میدهد. این پارامترها به صورت زیر ثابت در نظر گرفته می شوند:

$$v_w = 2.5 \,\mathrm{m/s}, H_w = 0.040 \mathrm{m}, A_b = 1.0 \mathrm{m}^2$$
 (Ta)



شکل ۱۲: مقادیر شبیهسازی میزان تولید آب شیرین بر حسب زمان برای تغییرات سرعت وزش باد



شکل ۱۰ میزان تولید آب شیرین را بر حسب زمان در ۴ مقدار متفاوت عمق آب شور حوضچه نشان میدهد.

با توجه به شکل ۱۰، با افزایش ۱۰ درصدی عمق آب حوضچه مقدار جرم تولیدی آب کاهش ۷ درصد پیدا می کند. افزایش ارتفاع آب درون حوضچه به معنی کاهش ضریب عبور آب و کاهش شدت تابش خورشیدی جذب شده توسط صفحه جاذب می باشد که این باعث کاهش دمای آب درون حوضچه و در نهایت باعث کاهش تولید آب شیرین می شود.

شکل ۱۱ میزان تولید انرژی الکتریکی آبشیرین کنخورشیدی به ازای تغییر عمق آب حوضچه را نشان میدهد. با توجه به شکل عمق آب حوضچه در تولید انرژی الکتریکی تقریباً بی تأثیر است.

مقدار مطلوب برای ارتفاع آب درون حوضچه ۲۰/۰ متر می باشد. چون کمتر از این مقدار برای سیستم با ابعاد هندسی مورد نظر مطلوب نیست و همچنین با افزایش ارتفاع آب درون حوضچه، جرم آب درون حوضچه افزایش می یابد که به معنی کاهش ضریب عبور آب و کاهش شدت تابش خورشیدی جذب شده توسط صفحه جاذب می باشد که این باعث کاهش دمای آب درون حوضچه و در نهایت باعث کاهش تولید آب شیرین می شود.

شکل ۱۲ میزان تولید آب شیرین بر حسب زمان در ۴ مقدار متفاوت سرعت وزش باد به ازای پارامترهای ثابت زیر بررسی می کند.

$$\beta_c = 0.25, H_w = 0.015 \text{m}, A_b = 1.0 \text{m}^2 \tag{(7Y)}$$



شکل ۱۰: مقادیر شبیهسازی میزان تولید آب شیرین بر حسب زمان با تغییرات عمق آب

Fig. 10: Simulation values of freshwater production versus time with the change of water depth



شکل ۱۱: مقادیر شبیهسازی میزان تولید انرژی الکتریکی بر حسب زمان برای تغییرات عمق آب

Fig. 11: Simulation values of electrical power generation versus time for water depth variations

مقدار مطلوب برای درصد پوشش سطح توسط سلولهای فتوولتائیک ۰/۲۵ میباشد. زیرا با افزایش این مقدار، تولید آب شیرین به دلیل ایجاد سایه و کاهش جذب شدت تابش خورشیدی توسط آب کاهش مییابد و کمتر از این مقدار نیز میزان تولید برق را کاهش میدهد که مطلوب نیست.

حال تأثیر تغییر پارامتر عمق آب حوضچه بر جرم آب تولیدی و توان الکتریکی تولیدی به ازای سایر پارامترهای ثابت بررسی شده است. این پارامترها به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

$$v_w = 2.5 \,\mathrm{m/s}, \beta_c = 0.25, A_b = 1.0 \mathrm{m}^2$$
 (79)



شکل ۱۵: مقادیر شبیهسازی میزان تولید انرژی الکتریکی بر حسب زمان برای تغییرات سطح جاذب حوضچه





$$v_w = 3.5 \,\mathrm{m/s}, \beta_c = 0.25, H_w = 0.015 \mathrm{m}$$
 (TA)

با توجه به شکل ۱۴، با افزایش ۱۰ درصدی مساحت سطح حوضچه تولید آب شیرین ۱۱ درصد افزایش مییابد. افزایش مساحت صفحه جاذب به منزله افزایش شدت تابش خورشیدی جذب شده توسط سطح صفحه جاذب میباشد لذا دمای آب درون حوضچه و به دنبال آن نرخ انتقال حرارت تبخیری افزایش مییابد که در نهایت باعث افزایش جرم آب تولیدی میشود.

شکل ۱۵ میزان تولید انرژی الکتریکی را بر حسب زمان در چهار مقدار متفاوت سطح جاذب حوضچه نشان میدهد. با توجه به شکل با افزایش ۱۰ درصدی مساحت سطح تولید انرژی الکتریکی ۸ درصد افزایش مییابد. افزایش مساحت سطح کف حوضچه به معنای کاهش ارتفاع آب و افزایش میزان تبخیر است. که این باعث افزایش چگالش بخار آب روی شیشه چگالنده میشود. افزایش چگالش بخار آب باعث



شکل ۱۳: مقادیر شبیهسازی میزان تولید انرژی الکتریکی بر حسب زمان برای تغییرات سرعت وزش باد

Fig. 13: Simulation values of electrical power generation versus time for wind speed variations



شکل ۱۴: مقادیر شبیهسازی میزان تولید آب شیرین بر حسب زمان برای تغییرات سطح جاذب حوضچه

Fig. 14: Simulation values of freshwater production versus time for the changes of basin absorber area

با توجه به شکل ۱۲ با افزایش ۱۰ درصدی سرعت وزش باد جرم تولیدی آب ۵ درصد افزایش مییابد. چون افزایش سرعت وزش باد باعث خنکسازی شیشه چگالنده میشود.

شکل ۱۳ میزان تولید انرژی الکتریکی را بر حسب زمان در چهار مقدار متفاوت سرعت وزش باد نشان میدهد. با توجه به شکل، با افزایش ۱۰ درصدی سرعت وزش باد تولید توان الکتریکی ۱ درصد افزایش مییابد. زیرا افزایش سرعت باد باعث خنکسازی سلولهای فتوولتائیک میشود که این باعث افزایش کارایی سلولهای فتوولتائیک است.

$$G_{s} = 600 \text{W/m}^{2}, v_{w} = 3.5 \text{ m/s}, H_{w} =$$

$$0.015 \text{m}, A_{b} = 1.0 \text{m}^{2}, T_{a} = 25^{\circ} \text{C}$$
(T9)

با توجه به شکل ۱۶ با افزایش سلولهای فتوولتائیک بازدهی الکتریکی افزایش و بازدهی گرمایی کاهش مییابد. زیرا با افزایش سلولهای فتوولتائیک تولید برق افزایش و تولید آب شیرین کاهش مییابد و درمجموع بازدهی کلی سیستم کاهش مییابد. شکل ۱۷ نمودار تغییرات بازدهی گرمایی، بازدهی الکتریکی و بازدهی کلی سیستم را بر حسب تغییرات عمق آب حوضچه نشان میدهد. در این حالت تنها عمق آب حوضچه تغییر می کند و برای سایر پارامترها مقدار مطلوب آنها مانند زیر در نظر گرفته شده است:

$$G_{s} = 600 \text{ W/m}^{2}, v_{w} = 3.5 \text{ m/s}, \beta_{c} = (\text{f} \cdot \text{)}$$
$$0.25, A_{b} = 1.0 \text{m}^{2}, T_{a} = 25^{\circ} \text{C}$$

با توجه به شکل ۱۷ با افزایش عمق آب حوضچه، بازدهی الکتریکی تقریباً ثابت باقی میماند. در حالیکه بازدهی گرمایی با افزایش عمق آب حوضچه کاهش مییابد و نتیجه این که با افزایش عمق آب حوضچه بازدهی کلی سیستم کاهش مییابد.

۴- نتیجهگیری

۱- نتایج تحقیق حاضر با نتایج پژوهشهای گذشته در توافق
 خوبی می باشد.

۲- با ۱۰ درصد افزایش سطح پوشش شیشه توسط سلولهای
 فتوولتائیک تولید برق و آب شیرین به ترتیب ۴۲ درصد افزایش و ۱۱
 درصد کاهش مییابد.

۳- با ۱۰ درصد افزایش عمق آب حوضچه میزان جرم تولیدی
 آب شیرین ۷ درصد کاهش مییابد و در تولید انرژی الکتریکی تقریباً
 بی تأثیر است.

۴- با ۱۰ درصد افزایش سرعت وزش باد تولید برق و آب شیرین
 به ترتیب ۱ و ۵ درصد افزایش می یابد.



Fig. 16: System efficiency versus the surface coverage percentage of condenser glass with photovoltaic cells



شکل ۱۷: بازدهی بر حسب تغییرات عمق آب حوضچه Fig. 17: Efficiency versus of the changes of basin water depth

کاهش دمای شیشه و سلولهای فتوولتائیک شده که خنکسازی سلولها باعث افزایش کارایی آن میشود.

مقدار مطلوب مساحت صفحه جاذب ۱ متر مربع میباشد چون با افزایش مساحت صفحه جاذب پس از مقدار مطلوب آن، ضخامت آب شور درون حوضچه کم می شود که عملکرد سیستم را مختل می کند.

شکل ۱۶ نمودار تغییرات بازدهی گرمایی، بازدهی الکتریکی و بازدهی کلی سیستم را بر حسب تغییرات درصد پوشش سطح توسط سلولهای فتوولتائیک و به ازای پارامترهای مطلوب نشان میدهد. در این حالت تنها درصد پوشش سطح توسط سلولهای فتوولتائیک تغییر میکند و برای سایر پارامترها مقدار مطلوب آنها به صورت زیر

۵- با ۱۰ درصد افزایش مساحت سطح کف حوضچه تولید برق و آب شیرین به ترتیب ۱۱ و ۸ درصد افزایش می یابد.

۶– با افزایش سلولهای فتوولتائیک با فرض ثابت بودن سایر پارامترها، بازدهی الکتریکی و بازدهی گرمایی به ترتیب افزایش و کاهش مییابد. ولی درمجموع بازدهی کلی سیستم کاهش مییابد.

٧- با افزایش عمق آب حوضچه با فرض ثابت بودن سایر پارامترها، بازدهی الکتریکی تقریباً ثابت باقی میماند. در حالیکه بازدهی گرمایی کاهش می یابد. درنهایت با افزایش عمق آب حوضچه، بازدهی کلی سیستم کاهش می یابد.

فهرست نشانهها

علائم انگلیسی

- مساحت، ^m A
 - انرژی، J E
- نرخ انرژی، W Ė
- تابش خورشيد بر واحد سطح، W/m G_{a}
 - ضريب انتقال حرارت، W/K.m² h
 - ارتفاع، m Η
 - جريان الكتريكي، A Ι
 - т جرم، kg
 - توان الكتريكي، W р
 - نرخ انرژی، W ġ
 - Ω مقاومت الكتريكي، R
 - دما، K Т
 - زمان، s t
 - ولتاژ، V V

علائم يوناني

ضريب جذب α درصد پوشش سطح توسط سلول β_{c} بازدہ (کارایی) η زاویه شیب θ

ضریب عبور
$$au$$
 ضریب عبور Δ علامت تغییر در یک پارامتر

;

- شيشه جمع كننده g_2 بازتابنده زير حوضچه inv
- نقطه ماكزيمم mp
- ref مرجع
- مربوط به خور شید S
 - اتصال كوتاه SC

مربوط به آب

بالانويس

w

تعداد ميانگين بازتابها N

منابع و مراجع

- [1] V. Velmurugan, M. Gopalakrishnan, R. Raghu, K. Srithar, Single basin solar still with fin for enhancing productivity, Energy Conversion and Magnagement, 49 (2008) 2602-2608.
- [2] E. Delyannis, Historic background of desalination and renewable energies, Solar Energy, 75 (2003) 357-366.
- [3] G.N. Tiwari, J.M. Thomas, Emran Khan, Optimization of glass cover inclination for maximum Yield in a

3 (2013) 143-148.

- [13] A.E. Kabeel, Z.M. Omara, F.A. Essa, Enhancement of modified solar still integrated with external condenser using nanofluids: An experimental approach, Energy Conversion and Management, 78 (2014) 493-498.
- [14] A.A. El-Sebaii, M.R.I. Ramadan, S. Aboul-Enein, M. El-Naggar, Effect of fin configuration parameters on single basin solar still performance, Desalination, 365 (2015) 15-24.
- [15] M. Afrand, R. Kalbasi, A. Karimipour, S. Wongwises, Experimental investigation on a thermal model for a basin solar still with an external reflector, Energies,10 (2016) 1-18.
- [16] Z.M. Omara, A.S. Abdullahb, T. Dakroryc, Improving the productivity of solar still by using water fan and wind turbine, Solar Energy, 147 (2017) 181-188.
- [17] Z.M Omara, A.E. Kabeel, A.S. Abdullah, A review of solar still performance with reflectors, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 68 (2017) 638-649.
- [18] F. Sarhaddi, S. Farahat, H. Ajam, A. Behzadmehr, M. Mahdavi Adeli, An improved thermal and electrical model for a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector, Applied Energy, 87 (2010) 2328-2339.
- [19] J.J. Hermosillo, C.A. Arancibia-Bulnes, C.A. Estrada , Water desalination by Air humidification: Mathematical model and experimental study, Solar Energy, 86 (2012) 1070-1076.
- [20] M. Nikbakht, Experimental investigation of exergy efficiency of an active basin solar still equipped with PV cells, Master's Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Sistan and Baluchestan, 2015 (in Persian).
- [21] Meteorological Office of Sistan and Baluchestan Province, http://www.sbmet.ir, 2017.

solar still, Heat Recovery Systems & CHP, 14 (1994) 447-455.

- [4] S. Sangeeta, G.N. Tiwari, Effect of water depth on the performance of an inverted absorber double basin solar still, Energy Conversion and Management, 40 (1999) 1885-1897.
- [5] S. Sangeeta, G.N. Tiwari, Parametric study of an inverted absorber triple effect solar still, Energy Conversion and Management, 40 (1999) 1871-1884.
- [6] G.N. Tiwari, M.S. Sodha, Performance evaluation of solar PV/T system An experimental validation, Solar Energy, 80 (2006) 751-759.
- [7] A.S. Joshi, A. Tiwari, Energy and exergy efficiencies of a hybrid photovoltaic–thermal (PV/T) air collector, Renewable Energy, 32 (2007) 2223-2241.
- [8] S. Kumar, A. Tiwari, An experimental study of hybrid photovoltaic thermal (PV/T) active solar still, International Journal of Energy Research, 32 (2008) 847-858.
- [9] R. Dev, G.N. Tiwari, Characteristic equation of the inverted absorber solar still, Desalination, 269 (2011) 67-77.
- [10] R. Dev, S.A. Abdul-Wahab, G.N. Tiwari, Performance study of the inverted absorber solar still with water depth and total dissolved solid, Applied Energy, 88 (2011) 252-264.
- [11] S.A. Abdul-Wahab, Y.Y. Al-Hatmi, Study of the performance of the inverted solar still integrated with a refrigeration cycle, Procedia Engineering, 33 (2012) 424-434.
- [12] R.R. Shah, A.B. Damor, Performance improvement of double slope solar still using heat absorbing materials, International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development,

بی موجعه محمد ا