



## مدلسازی ریاضی و مطالعه پارامتری یک آب شیرین کن خورشیدی با عملکرد پیوسته

الیاس موثق - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان

امیر رحیمی - استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان

E-mail Address: [rahimi@eng.ui.ac.ir](mailto:rahimi@eng.ui.ac.ir)

**چکیده:** در این مقاله عملکرد یک دستگاه آب شیرین کن خورشیدی مختلف جهت، در حالت پایا و به کمک تکنیک مدلسازی ریاضی، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. در راستای بهبود سطح مدلسازی و بر خلاف اغلب مدلسازی های انجام شده در زمینه ی آب شیرین کن های خورشیدی علاوه بر بحث انتقال حرارت، پدیده انتقال جرم نیز مدنظر قرار گرفته و همچنین از دیدگاهی جدید تشعشع خورشیدی موجود در این سیستم ها مورد آنالیز قرار گرفته است. تأثیر متغیرهای عملیاتی چون دمای شیشه، دبی مایع موجود در فرایند و شار تشعشع خورشید بر راندمان این سیستم مورد بررسی قرار گرفته و از سوی دیگر اثر پارامترهای طراحی دستگاه مانند حرارت اتلافی از کف و همچنین طول دستگاه بر میزان مایع چگالش یافته (تصفیه شده) بررسی و در قالب نمودارهایی ارائه شده است. علاوه بر موارد پیش گفته نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای مهم از جمله ضریب جذب مایع جاری و سطح قطرات تشکیل شده نشانگر میزان اهمیت و تأثیر این پارامترها بر راندمان دستگاه است. روش به کار گرفته شده در این تحلیل می تواند ایده ای نوین جهت مدلسازی دیگر سیستم های آب شیرین کن به ویژه انواع دستگاه تقطیر حوضچه ای باشد.

واژه های کلیدی: آب دریا، آب شیرین کن خورشیدی، مدلسازی ریاضی، راندمان شیرین سازی

## Mathematical Modeling and Parametric Study of a Continuous Solar Still

E. Movassagh, Department of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Isfahan.

A. Rahimi, Department of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Isfahan.

**Abstract:** In this paper, a comprehensive mathematical model is proposed in order to investigate the performance of a counter-current solar desalination system. Unlike the former models, in addition to heat transfer analysis, the mass transport is also considered to improve the model precision and capability. Moreover a new approach is used for analyzing the radiative heat transfer in these systems. The effects of operating parameters including glass temperature, liquid flow rate and radiation flux on performance of system are being investigated. Besides, the design variables including heat losses and also collector length on the quantity of the refined liquid are analyzed and being shown in the relevant graphs. The results of sensitivity analysis of important factors such as the absorptivity of water and the percent of glass surface covered by condensing droplets show the importance and effect of these parameters on the performance of the equipment. The undertaken method in this analysis can be a new idea toward modeling other continuous solar desalination systems

**Keywords:** Sea water, Solar still, Mathematical Modelling, Efficiency.

## ۱- مقدمه

اقیانوس ها یکی از مهم ترین منابع ذخیره آب می باشند. با این وجود به دلیل داشتن حدود ۳/۵ درصد وزنی از املاح مختلف در آن ها استفاده مستقیم از این آب ها در بیشتر موارد میسر نیست، لذا حذف قسمت اعظم املاح آب اقیانوس ها و یا انجام پاره ای از تغییرات در محتوای آن ها قبل از مصرف، ضروری است [1].

فرایند آب شیرین سازی (نمک زدایی) صنعتی، به معنی جدا کردن آب بدون نمک از آب دریا یا هر آب شور دیگری است که طی آن علاوه بر آب، آب نمک تغلیظ یافته نیز به دست خواهد آمد [2]. یکی از راه های تصفیه آب دریا استفاده آب شیرین کن های خورشیدی است. در دسته بندی این نوع آب شیرین کن ها که خود نوعی نمک زدایی گرمای می باشند، آن ها را به دو دسته ی مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می کنند. در دستاورد مستقیماً از تشعشع خورشید برای تبخیر آب در دستگاه یا جمع کنندهاستفاده می شود و در دسته ی غیر مستقیم از انرژی خورشیدی در کنار سایر روش های معمول آب شیرین سازی مانند تبخیر ناگهانی چند مرحله ای و برای پیش گرم نمودن آب شور ورودی به دستگاه های اصلی بهره برده می شود [3].

سیستم های تقطیر خورشیدی معمولاً همان آب شیرین کن های خورشیدی تماس مستقیم شناخته می شوند. این تجهیزات معمولاً برای تولید در مقیاس پایین کاربرد دارند و در مناطقی که میزان تقاضای آب کمتر از  $200m^3$  در روز است به کار می آیند [4]. دستگاه تقطیر از نوع حوضچه ای قدیمی ترین نوع برای استفاده از انرژی خورشیدی به صورت مستقیم است [5].

در تقطیر حوضچه ای، تشتی از آب نمک، توسط یک قاب شیشه ای محصور می گردد. پس از مدتی که انرژی خورشید در درون سیستم تجمع پیدا کرد، آب و هوای محصور گرم شده و

با تبخیر آب و میعان آن در سطح داخلی پوشش شیشه ای، به دلیل شیب دار بودن شیشه، آب خالص در ظروف جانبی تعبیه شده جمع آوری می شود. همچنین طی این افزایش طبیعی دمای آب در دستگاه، باکتری های پاتوژنیک (بیماری زا) از بین می روند [3]. میزان آب مورد نیاز یک انسان بین ۲ تا ۸ لیتر در روز تخمین زده می شود، بنابراین طی محاسبات سرانگشتی برای هر انسان یک عدد از این سیستم ها به مساحت تقریبی  $2m^2$  مورد نیاز است. [6]

آب شیرین کن تقطیری ناهمسوی همراه با پوشش یکی دیگر از انواع سیستم های تقطیر خورشیدی است که بحث مدلسازی این نوع آب شیرین کن موضوع تحقیق پیش روست. در این سیستم ها فیلم نازکی از آب شور دریا از بالا، به سیستم وارد و در طول دستگاه مسیر را طی می کند و پس از تبخیر بر روی جداره داخلی پوشش چگالیده می شود.

یکی از راه های بالا بردن بازده چنین سیستم هایی افزایش اختلاف دمای میان مایع ریزان و پوشش است که برای نیل به این هدف دو راهکار پیشنهاد شده است [7]:

۱) استفاده از جریان برگشتی

۲) استفاده از آب سرد کننده ناهمسو بر روی جداره ی

پوششی

بر طبق تحقیقات *Elsayed et al.* روش اول به جهت پیش گرم شدن آب سرد کننده به عنوان خوراک ورودی به دستگاه، نسبت به روش دوم بازدهی بیشتری دارد [8].

بررسی های صورت گرفته نشان می دهد علیرغم وجود مقالات متعدد در زمینه آب شیرین کن های خورشیدی مدلسازی ریاضی جامعی در خصوص این نوع سیستم ها به ویژه نوع پیوسته با جریان ناهمسو ارائه نگردیده است. لذا این تحقیق با هدف ارائه یک مدل ریاضی جامع و کارآمد در خصوص

عملکرد آب شیرین کن های خورشیدی و آنالیز دقیق مکانیزهای انتقال حرارت و جرم در آن ها انجام می گردد.

## ۲-۲- فرضیات

- ۱) عمق (Y) دستگاه برابر واحد طول در نظر گرفته می شود.
- ۲) دماهای کف، مایع، گاز و شیشه صرفاً تابع Z (راستای حرکت دو سیال) فرض می شود.
- ۳) به دلیل زیاد نبودن گرادیان دما و غلظت در سیستم، در موازنه ی جرم گاز و موازنه ی انرژی مایع، گاز، شیشه و کف از ترم های نفوذ (انتقال حرارت هدایتی و انتقال جرم از نوع نفوذ مولکولی) در مقایسه با انتقال جابجایی آن ها صرف نظر می شود.
- ۴) به دلیل ترکیب خاص هوای عبور از سیستم از جذب تشعشع توسط هوا و همچنین از تشعشع بین مایع و هوا چشم پوشی می شود.
- ۵) کف جسم سیاه فرض می گردد.
- ۶) شیشه از نظر نوع بازتابش نور خورشیدی سطحی آینه ای (و نه پخشی) فرض می گردد.
- ۷) ضرایب نشر و جذب برای شیشه و آب به ازای انواع طول موج ها و دماها عددی ثابت (و به صورت متوسط) در نظر گرفته می شود (فرض جسم خاکستری).
- ۸) به منظور شباهت سیستم با دستگاه آب شیرین کن مطرح شده توسط *Fath* [7] و به جهت عبور مایع سرد کننده از روی شیشه دمای آن ثابت در نظر گرفته می شود.
- ۹) دمای مایع چگالش یافته بر روی شیشه برابر دمای شیشه در نظر گرفته می شود، همچنین دمای مرز مشترک گاز و مایع برابر دمای مایع در همان Z فرض می شود (مقاومت انتقال حرارت در مایع چگالش یافته و مایع جاری ناچیز گرفته می شود).
- ۱۰) جذب تشعشع توسط مایع چگالش یافته نادیده گرفته می شود.

## ۲- مدلسازی و حل آن

سیستمی که جهت مدلسازی انتخاب گردیده است دستگاه آب شیرین کن شیب دار خورشیدی مختلف الجهت همراه با پوشش شیشه ای است که به صورت پیوسته کار می کند. در مقاله *Fath* [7] در زمینه شیرین سازی آب با استفاده از تشعشع مستقیم خورشید، به این نوع آب شیرین کن ها اشاره گردیده و همچنین در کتاب *Elsayed et al.* [8] به بررسی این نوع آب شیرین کن ها به عنوان یک دستگاه تقطیر خورشیدی پرداخته شده است. اهدافی خاص در پی مدلسازی چنین سیستم های گرمایی دنبال می شود که می توان به چند مورد آن اشاره نمود از جمله: امکان تخمین هزینه دستگاه برای ساخت اولین نمونه آن، امکان بهینه سازی اجزاء سیستم جهت طراحی، یافتن تغییرات دمای سیالات موجود در سیستم و همچنین تخمین میزان انرژی مورد نیاز [9]

## ۲-۱- شرح فیزیک سیستم

شمای ساده ای از سیستم منتخب در شکل ۱ نشان داده شده است. این سیستم از کف پوش عایق و پوشش شیشه ای جهت چگالش مایع، به عنوان اجزای اصلی، ساخته شده است. البته منظور از عایق بودن کف، عایق بودن حرارتی کامل آن نیست و همچنان که در مدلسازی مشاهده خواهد گردید ترم اتلاف حرارتی از کف دستگاه لحاظ شده است. فیلم نازکی از آب شور دریا از بالا، به سیستم وارد و در طول دستگاه و به سمت پایین حرکت می کند. جریان هوا نیز در خلاف جهت آب و از پایین به سمت بالا، مسیر را طی می کند.

(۱۱) ترم مربوط به تشعشع شیشه با محیط در نظر گرفته نمی شود.  
 (۱۲) از ریزش احتمالی مایع چگالش یافته بر روی مایع جاری در کف سیستم چشم پوشی می شود.  
 (۱۳) مخلوط هوا و بخار آب را گاز ایده آل در نظر گرفته و برای ظرفیت گرمایی آن از مقدار متوسط و مستقل از دما استفاده می شود.  
 (۱۴) از تجمع املاح بر روی کف صرف نظر می شود.  
 (۱۵) چگالش بر روی سطوح غیر از شیشه (دیواره های جانبی) نادیده گرفته می شود.  
 (۱۶) شار تشعشعی خورشید ثابت در نظر گرفته می شود.  
 (۱۷) فرض می شود که در فصل مشترک دو فاز گاز و مایع، تعادل ترمودینامیکی برقرار باشد (عدم وجود مقاومت انتقال جرم در فصل مشترک).  
 (۱۸) ضریب نشر و ضریب جذب شیشه برابر فرض می شود (برابری کریشوف).  
 (۱۹) چگالی مایع در رابطه ی حاصل از بقای جرم مایع جاری، ثابت فرض می شود، در عین حال در هر  $z$  مطابق با دما و غلظت نمک مجدداً محاسبه می شود.

(۱) ترم مربوط به تشعشع شیشه با محیط در نظر گرفته نمی شود.  
 (۱۲) از ریزش احتمالی مایع چگالش یافته بر روی مایع جاری در کف سیستم چشم پوشی می شود.  
 (۱۳) مخلوط هوا و بخار آب را گاز ایده آل در نظر گرفته و برای ظرفیت گرمایی آن از مقدار متوسط و مستقل از دما استفاده می شود.  
 (۱۴) از تجمع املاح بر روی کف صرف نظر می شود.  
 (۱۵) چگالش بر روی سطوح غیر از شیشه (دیواره های جانبی) نادیده گرفته می شود.  
 (۱۶) شار تشعشعی خورشید ثابت در نظر گرفته می شود.  
 (۱۷) فرض می شود که در فصل مشترک دو فاز گاز و مایع، تعادل ترمودینامیکی برقرار باشد (عدم وجود مقاومت انتقال جرم در فصل مشترک).  
 (۱۸) ضریب نشر و ضریب جذب شیشه برابر فرض می شود (برابری کریشوف).  
 (۱۹) چگالی مایع در رابطه ی حاصل از بقای جرم مایع جاری، ثابت فرض می شود، در عین حال در هر  $z$  مطابق با دما و غلظت نمک مجدداً محاسبه می شود.

۲-۳-۱- معادله موازنه کلی جرم برای فاز مایع:

این معادله به صورت رابطه زیر بیان می شود:

$$-\rho_l \frac{dQ_l}{dz} = N_{wla} M_w \quad (۱)$$

توجه شود که منظور از  $N_{wla}$ ، شار مولی آب تبخیر شده است که از فاز مایع ( $l$ ) وارد فاز گاز ( $a$ ) می شود.

۲-۳-۲) معادله ی موازنه جرم جزئی بخار آب در فاز گاز:

این معادله به صورت رابطه زیر بیان می شود:

$$\dot{m}_a \frac{dy'}{dz} = N_{wac} M_w f_c - N_{wla} M_w \quad (۲)$$

در اینجا  $f_c$  ضریبی از سطح شیشه است که سطح مایع چگالش یافته برای انتقال حرارت و انتقال جرم داراست، همچنین  $f_g$  کسری از سطح شیشه می باشد که خشک باقی مانده است (در معادلات بعدی استفاده خواهد شد).

۲-۳-۳- معادله ی موازنه انرژی برای فاز مایع:

داریم:

(۳)

$$\rho_l C_{pl} Q_l \frac{dT_l}{dz} = N_{wla} M_w C_{pl} (T_l - T_o) + q''_{sun} (1 - a_g) a_1 + q''_{g} a_1 + q''_{h} (1 - a_1) r_a a_1 + h_{bl} (T_b - T_l) - h_{la} (T_l - T_a)$$

لیست نمادها:  $q''_{sun}$  تابش خورشید،  $q''_{g}$  تابش به کار گرفته شده جهت مدل سازی (در  $T_l$  و  $T_o$ )،  $q''_{h}$  تابش از تشعشعی این سیستم بر مبنای دنبال کردن تشعشع ورودی به سیستم و نیز تشعشع ذاتی سطوح می باشد. به عنوان مثال بخشی از انرژی تشعشع خورشیدی رسیده به دستگاه که جذب کف آن می شود عبارت است از:  $q''_{lost} = q''_{g} (1 - a_g) (1 - a_1) + q''_{sun} (1 - a_1) + q''_{h} (1 - a_1) r_g a_g - q''_{b} (1 - a_1)^2 r_g - h_{bl} (T_b - T_l)$  بود که (در آن  $T_b$ )  $= 0$

۲-۳-۴- معادله موازنه انرژی برای کف:

(۴)

$$q''_{g} (1 - a_g) (1 - a_1) + q''_{sun} (1 - a_1) + q''_{h} (1 - a_1) r_g a_g - q''_{b} (1 - a_1)^2 r_g - h_{bl} (T_b - T_l) = 0$$

$$N_{wla}M_w = k_{yla}M_a(y'_i - y') \quad (9)$$

$$q''_b = \sigma(T_b + 273/15)^4 \quad (10)$$

$$q''_g = \epsilon_g \sigma(T_g + 273/15)^4 \quad (11)$$

$$H_v|_T = C_v(T - T_o) + \lambda_o \quad (12)$$

برای محاسبه اعداد بی بعد جهت یافتن ضرایب انتقال جرم و حرارت نیاز به سرعت های دو فاز خواهد بود. لذا براساس مدلسازی سیستم فیلم ریزان در کتاب [10] Bird et al. برای ضخامت فاز مایع، در سیستم با عمق واحد، به دست می آید:

$$\begin{aligned} \dot{m}_a(C_a + yC_v) &= \frac{dT_a}{dt} \frac{3\mu_l Q_l}{\phi \mu_g \sin(\theta)} (T_a - T_g) f_g \quad (13) \\ u_l &= \frac{h_{ac}(T_a - T_g) f_c + N_{wac} M_w H_v|_{T_g} f_c}{-h_{ia}(T_l - T_a) - N_{wla} M_w H_v|_{T_l}} \\ &\quad - \frac{[N_{wac} M_w f_c]}{N_{wla} M_w} \frac{f_c}{[C_v(T_a - T_o) + \lambda_o]} \end{aligned}$$

همچنین سرعت فاز گاز نیز بر اساس فرض گاز ایده آل قابل محاسبه خواهد بود:

$$u_a = \frac{RT_a \dot{m}_a}{P_t(L-\delta)} \left( \frac{1}{M_a} + \frac{y'}{M_w} \right) \quad (15)$$

چگالی، ظرفیت گرمایی ویژه، ویسکوزیته، ضریب انتقال حرارت هدایتی و صعود نقطه جوش (BPE) فاز مایع بر حسب دما و غلظت نمک در فاز مورد نظر و بر مبنای توابع موجود در ضمیمه کتاب [10] محاسبه می شود. بر مبنای رابطه گاز ایده آل و ظرفیت گرمایی ویژه آن بر اساس تقریب زیر به دست می آید:

$$C_{pff} = (1 - y)C_a + yC_v \quad (16)$$

برای یافتن رطوبت اشباع از مقدار BPE محاسبه شده استفاده می شود:

$$BPE|_{^{\circ}C} = f(w_s, T_l|_{^{\circ}C}) \quad (17)$$

$$T^{sat}|_{^{\circ}C} = T_l|_{^{\circ}C} - f(w_s, T_l|_{^{\circ}C}) \quad (18)$$

$$P_w|_{kPa} = \exp\left(16/3872 - \frac{3885/7}{T^{sat}|_{^{\circ}C} + 230/17}\right) \quad (19)$$

$$y_i = \frac{P_w|_{kPa}}{P_t|_{kPa}} \Rightarrow y'_i \cong \frac{M_w y_i}{M_a(1-y_i)} \quad (20)$$

ضرایب انتقال به صورت متوسط و بر اساس جداول مربوط به دست می آید [11]. برای حل عددی پنج معادله دیفرانسیل و دو

در این معادله نیز عبارت  $q''_b(1 - a_1)^2 r_g$  مربوط به ترم بازگشت تشعشع ساطع شده از کف، در پی انعکاس شیشه می باشد. بدیهی است که تشعشع به دنبال انعکاس دو مرتبه از مایع گذر می کند و دوباره به کف باز می گردد.

### ۲-۳-۵- معادله ی موازنه انرژی برای فاز گاز:

داریم:  
(5)

### ۲-۳-۶- معادله ی موازنه انرژی برای مجموعه شیشه و مایع:

چگالیده:  
داریم:  
(6)

### ۲-۳-۷- معادله ی موازنه جرم برای جزء نمک در فاز مایع:

داریم:  
(7)

$$\frac{dw_s}{dz} = \frac{w_s N_{wla} M_w}{\rho_l Q_l} \quad (7)$$

### ۲-۴- محاسبه خواص و پارامترهای مورد نیاز در حل مدل:

در این معادلات شارهای حرارتی و جرمی و نیز مقدار آنتالپی بخار با کمک معادلات زیر محاسبه می شوند:

$$N_{wac} M_w = k_{yac} M_a (y' - y'_{sat}) \quad (8)$$

صفر اختیار گردید، در این جابه اثر وجود چنین اتلافی پرداخته می-شود. واضح است که در پی اتلاف حرارتی از کف، شار گرمایی کمتری در مایع صرف تبخیر گردیده و لذا با کاهش سرعت تبخیر، مایع تصفیه شده ی کمتری به دست می آید.

معادله غیر خطی، به صورت همزمان، از تلفیق دو روش اویلر و گوس-سایدل استفاده می شود.

### ۳- نتایج و بحث

در این قسمت تأثیر پارامترهای عملیاتی و طراحی بر نتایج حاصل از مدل و عملکرد سیستم ارائه می شود. یادآور می شود زمانی که اثر یک پارامتر بررسی می گردد، سایر مشخصات عملیاتی ثابت بوده و مقادیر پیش فرض جدول ۱ برای آن ها جایگذاری می شود (مقادیر در سیستم SI ارائه شده است):

#### ۳-۱- اثر پارامترهای عملیاتی

در شکل ۲ اثر دبی فاز مایع بر میزان مایع تصفیه شده ملاحظه می شود. با کاهش دبی مایع زمان ماند آن در سیستم افزایش یافته و با جذب انرژی بیشتر دمای بیشتری به خود خواهد گرفت، شکل ۳ نیز گویای همین مطلب است. بنابراین با افزایش دما، رطوبت اشباع در فصل مشترک افزایش یافته و سرعت تبخیر در پی زیاد شدن اختلاف غلظت، افزایش خواهد یافت. توجه شود که شکل ۳ به عنوان نمونه بوده و در شرایط جدول ۱ به دست نیامده است. در دو شکل ۴ و ۵ تأثیر دمای شیشه (که ثابت و برابر دمای آب سردکننده بود) و نیز شار تشعشعی خورشید مشاهده می شود. با کاهش دمای شیشه میزان غلظت اشباع بخار در هوای نزدیک شیشه کاهش می یابد و بنابراین اختلاف غلظت توده گاز و هوای نزدیک شیشه افزایش یافته و سرعت چگالیده شدن بخار آب روی سطح شیشه زیاد می-شود.

#### ۳-۲- اثر پارامترهای طراحی

همچنان که بدیهی است و در شکل ۶ نیز ملاحظه می شود با افزایش طول دستگاه، میزان بیشتری مایع تصفیه شده حاصل می گردد. در شکل ۷ اثر اتلاف حرارتی از کف مشاهده می شود. در اعداد پیش فرض، میزان اتلاف حرارتی، با فرض عایق بودن کف

#### ۳-۳- اثر تغییرات $a_1$ و $f_c$ (آنالیز حساسیت)

در شکل ۸ ملاحظه می شود که تأثیر ضریب  $f_c$  بسیار محسوس است. بدیهی است که در پی افزایش  $f_c$  سطح انتقال جرم افزایش یافته و در پی آن میزان مایع چگالش یافته نیز افزایش می یابد. در شکل ۹ به اثر ضریب جذب مایع پرداخته شده است. بسته به تغییر ضخامت مایع، افزودن مواد رنگی و یا میزان گل آلود بودن مایع ورودی به سیستم، ضریب جذب تشعشعی مقادیر متفاوتی را اختیار می کند که در زیر نمودار مربوط به تأثیر آن آمده است.

#### ۴- نتیجه گیری

به دلیل اندک بودن انرژی ورودی به این سیستم های خورشیدی و نیز حرارت زیاد مورد نیاز برای تغییر فاز دستگاه همراه با راندمان این سیستم ها از نظر تولید آب شیرین چندان بالا نیست. بنابراین با وجود رایگان بودن انرژی مصرفی (نزدیک صفر بودن هزینه عملیاتی)، میزان بالای سرمایه گذاری اولیه و کم بودن بازده، عواملی هستند که بهره بردن از چنین سیستم هایی را با چالش مواجه می کنند. لذا برای تصفیه آب در مقیاس زیاد استفاده صرف از تشعشع خورشیدی مقرون به صرفه نبوده و استفاده از آن در کنار سایر روش های تصفیه صنعتی توصیه می شود.

۵- فهرست نمادها

۳-۵- نمادها

۱-۵ ثابت‌ها

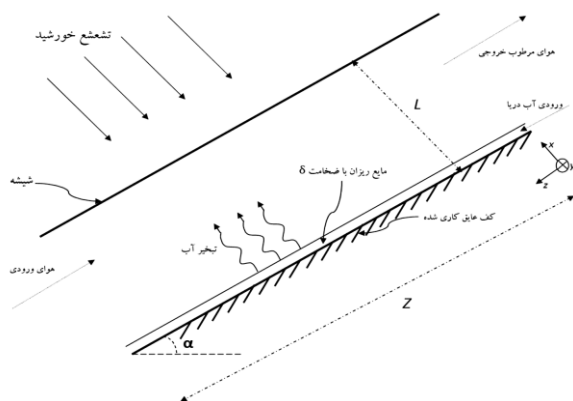
°C	T	دما	$m/s^2$	g	شتاب ثقل زمین (۹/۸)
		رطوبت مطلق			
		کسر مولی			
		دبی جرمی			
		دبی مولی			
		دبی حجمی			
		چگالی			
		شار مولی انتقال جرم			
		جرم مولکولی			
		ضریب انتقال جرم بر مبنای اختلاف کسر مولی			
		ضریب انتقال حرارت هدایتی			
		ظرفیت گرمایی ویژه ی جرمی			
		ضریب انتقال حرارت جابجایی			
		آنتالپی			
		شار انتقال حرارت			
		ضریب جذب تشعشعی			
		گرمای نهان تبخیر			
		ضریب صدور تشعشعی			
		ضخامت مایع جاری			
		فاصله شیشه از کف			
		فاصله مکان مورد نظر از مبدأ مختصات			
		طول دستگاه			
		زاویه کف دستگاه با سطح افق			
		گرانروی			
		فشار			
		سرعت			
		ضریب انعکاس تشعشعی			
		کسر جرمی نمک موجود در آب جاری			
		ضریب عبور تشعشعی			

۲-۵ زیر نویس‌ها		
	b	کف دستگاه
	g	شیشه
	s	محیط
	w	آب خالص
	c	مایع چگالش یافته
	l	مایع جاری (مخلوط آب و نمک های آن)
	a	هوا
	v	بخار آب
	o	محاسبه شده در شرایط مینا
	f	سیال گازی (مخلوط بخار آب و هوا)
	sat	محاسبه شده در شرایط اشباع
	avg	محاسبه شده در شرایط متوسط
	t	محاسبه شده برای کل
	i	محاسبه شده در فصل مشترک و شمارنده طول در حل عددی
	sun	مربوط به خورشید
	in	در شرایط ورودی
	out	در شرایط خروجی

جدول (۱) مقادیر پیش فرض برای برخی از پارامترهای عملیاتی و ساختاری سیستم مورد مطالعه

پارامتر	مقدار	واحد
$f_c$	0/6	بی بعد
$q''_{Lost}$	0	$W/m^2$
$T_s$	25	$^{\circ}C$
$u_s$	2	$m/s$
$Z$	15	$m$
$L$	0/5	$m$
$T_g$	15	$^{\circ}C$
$Q_l$	0/00001	$m^3/s$
$q''_{sun}$	700	$W/m^2$
$T_{i,in}$	30	$^{\circ}C$
$y'_{in}$	0/02	$Kg Vapor / Kg Dry$
$P_t$	101300	$Pa$
$T_{a,out}$	25	$^{\circ}C$
$\dot{m}_a$	0/05	$Kg/s$
$f_g$	0/5	بی بعد
$w_s$	0/035	بی بعد



شکل (۱) شمای سیستم مورد بررسی

۶- مراجع

۱- حاج سقطی، ا.، ۱۳۸۷، " اصول و کاربرد انرژی خورشیدی، چاپ سوم، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت.

[2] Hisham T.El, Hisham M.Ettoumey, 2004, "Salt Water Desalination", Department of chemical Engineering College of Engineering and Petroleum Kuwait University, Elsevier.

[3] Mohameed H., Banat F., 2008, "Solar thermal desalination technologies, Vol. 220, 633-644.

[4] Garzia-Rodriguez, L., 2002, "Seawater desalination driven", Renewable Energies, Vol. 143, 103-113.

[5] Nasim M., Mervat A., El-kawi A., 2003, "Nonconventional solar stills with charcoal particles as absorber, Part 1", Vol. 153, 55-64.

[6] Spiegler K., 1977, 2<sup>nd</sup> edn, "Salt-Water purification, Pergamon Press.

[7] Fath H., 1998, "Solar distillation a promising alternative for water provision with free energy", Desalination, Vol. 116, 45-56.

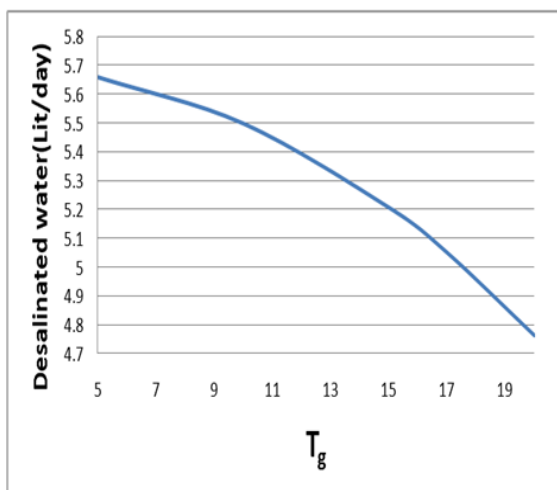
[8] Elsayed M.M., Taha I.S., Sabbagh J.A., 1994, "Design of solar thermal system", Jeddah, Saudi Arabia, King Abdulaziz University.

[9] Kalogirou S., Papamarcou C., "Modeling of a thermosyphon solar water heating system and simple model validation, Renewable.

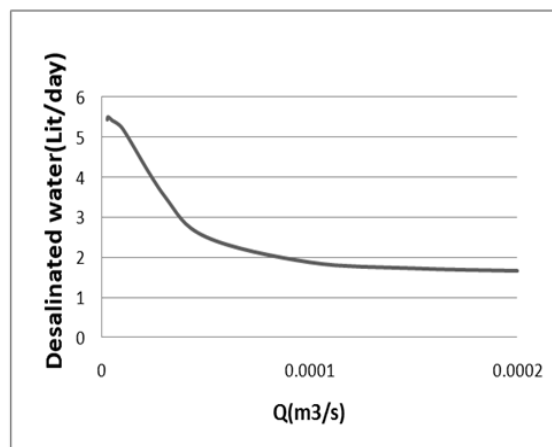
[10] Bird R.B., Stewart W.E., Lightfoot, E.N., 1960, Wiley, New York.

[11] Perry, R.H., Green, D.W., Maloney, J.O., "Perry's chemical Engineering Handbook", 7<sup>th</sup> edn, McGraw Hill, 20-56.

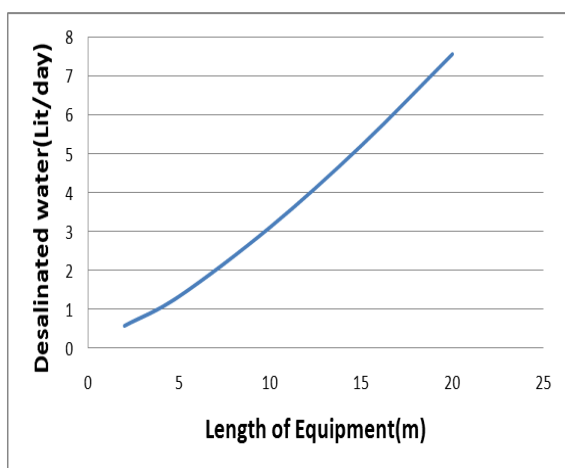




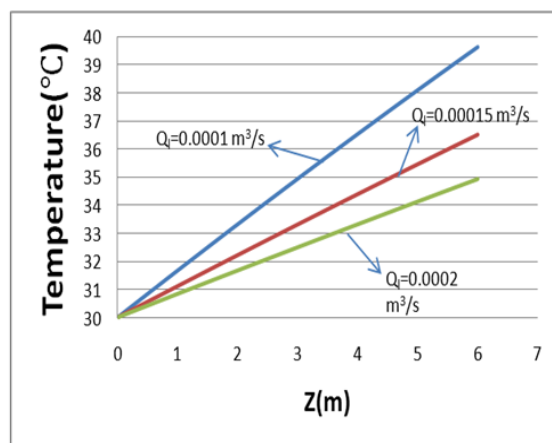
شکل ۵) تأثیر شار تشعشع خورشید بر میزان آب شیرین تولیدی



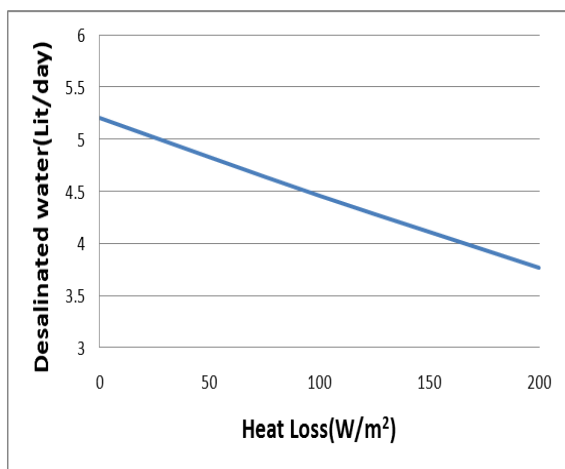
شکل ۶) تأثیر دبی مایع بر میزان آب شیرین تولیدی



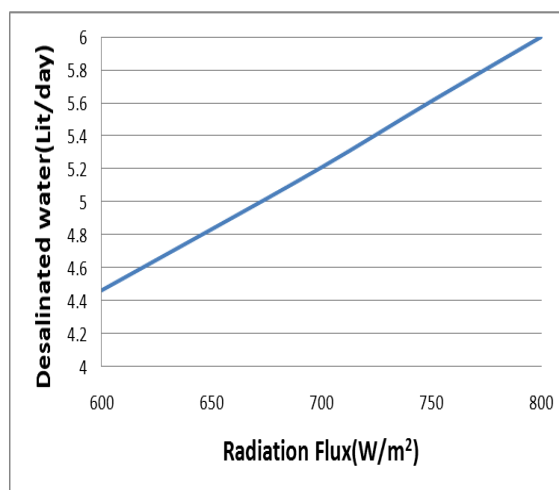
شکل ۷) تأثیر طول دستگاه بر میزان آب شیرین تولیدی



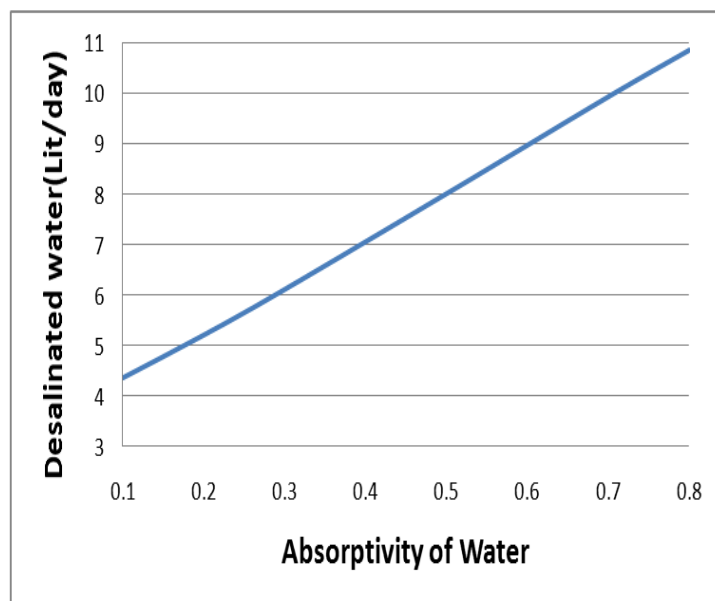
شکل ۸) تغییر دمای مایع در طول دستگاه در دبی های متفاوت



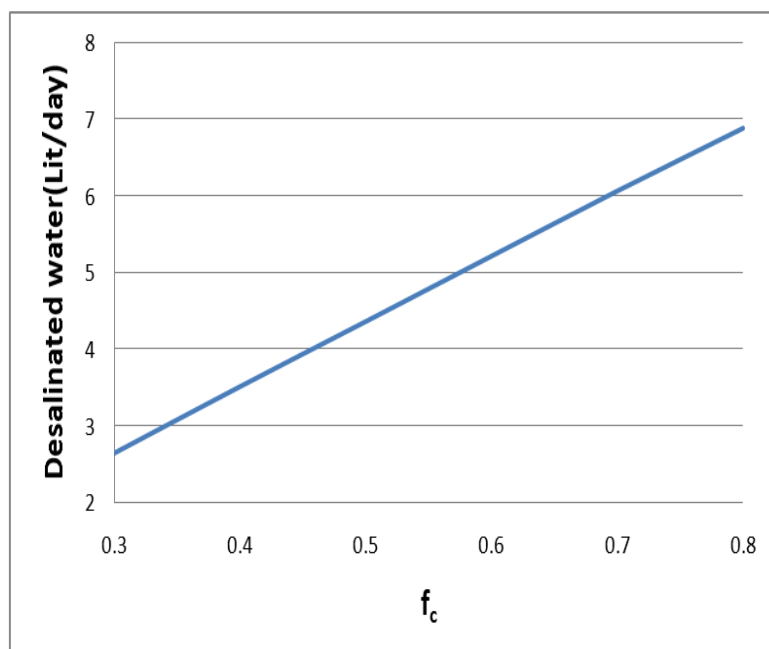
شکل ۹) تأثیر اتلاف حرارتی بر میزان آب شیرین تولیدی



شکل ۱۰) تأثیر دمای شیشه بر میزان آب شیرین تولیدی



شکل ۸) تأثیر  $f_c$  بر میزان آب شیرین تولیدی



شکل ۹) نمودار تأثیر  $a_1$  بر میزان آب شیرین تولیدی