

بررسی تاثیر عمق آب شور در آب شیرین کن خورشیدی پلکانی با استفاده از نرم افزار Comsol

فروغ درانی، سید محمد حسینی، محمد رضا سردشتی بیرجندی، فرهاد شهرکی*

گروه مهندسی شیمی، دانشکده شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

مشخصات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۲۱ تیر ۱۳۹۹

دریافت پس از اصلاح: ۸ آذر ۱۳۹۹

پذیرش نهایی: ۲۷ دی ۱۳۹۹

کلمات کلیدی:

آب شیرین کن خورشیدی

آب شیرین کن پلکانی

شبیه سازی

نرم افزار Comsol

آب شیرین کن خورشیدی پلکانی از جمله انواع دستگاه‌هایی است که در زمینه تصفیه آب به کار می‌روند. در این مقاله به شبیه سازی آب شیرین کن خورشیدی پلکانی موجود در دانشگاه سیستان و بلوچستان با نرم افزار Comsol پرداخته شده است. پس از مقایسه داده‌های تجربی و نتایج حاصل از نرم افزار، تاثیر پارامتر عمق آب شور روی پله‌ها بر میزان تولید آب شیرین خروجی از آب شیرین کن مورد بررسی قرار گرفت. عملکرد دستگاه برای عمق‌های آب شور ۰/۰۵ و ۰/۰۷۵ و ۰/۱ متر با نرخ آب شور ورودی (kg/min) ۰/۲ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش عمق آب شور، دمای آب به دست آمده کاهش یافته و همچنین اختلاف دما بین سطح آب و سطح شیشه کاهش می‌یابد و از میزان آب شیرین تولیدی نیز کاسته می‌شود.

* عهده دار مکاتبات

fshahraki@eng.usb.ac.ir

حقوق ناشر محفوظ است.

در سال‌های اخیر، استفاده از ماده تغییر فاز^۱ (PCM) جهت بهبود عملکرد حرارتی آب شیرین کن مورد بررسی قرار گرفته است. تحقیقات نشان می‌دهد که اگر چه استفاده از ماده تغییر فاز سبب می‌شود که عملکرد حرارتی آب شیرین کن پایین تر باشد اما امکان تولید آب شیرین را حتی در شب که خورشید غروب کرده است را نیز فراهم می‌آورد [۱۵].

کشتگر و همکاران توانستند تاثیر دو پارامتر سرعت باد و ضخامت شیشه را با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی، مورد بررسی قرار دهند. نتایج نشان داد که با افزایش سرعت باد از یک متر بر ثانیه به شش متر بر ثانیه، بهره‌وری آب شیرین کن به میزان ۱۴/۴٪ افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش ضخامت شیشه از ۴ میلی متر به ۲ میلی متر، بهره‌وری آب شیرین کن به میزان ۳/۵٪ افزایش می‌یابد [۱۶].

در سال ۲۰۲۰، عبدالله و همکاران یک آب شیرین کن خورشیدی پلکانی را با افزودن آینه‌ها و افزایش سطح بازتاب کننده به صورت تجربی و تئوری مورد بررسی قرار دادند. این تغییر سبب افزایش قابل توجهی در سطح تبخیر در معرض تابش خورشید گردید. بعلاوه، نتایج نشان داد که با افزایش آینه، میزان بهره‌وری آب شیرین ۵۸٪ افزایش می‌یابد [۱۷].

با توجه به تحقیقاتی که در زمینه آب شیرین کن‌های خورشیدی انجام گرفته است، مشخص می‌شود که هدف اصلی افزایش راندمان و تأمین آب شیرین بیشتر با روش‌های مرسوم بوده است. می‌توان مجموعه اقدامات لازم برای افزایش راندمان و بهینه‌سازی عملکرد را در سه گروه کلی به شرح زیر دسته بندی نمود:

۱- طراحی و ساخت مناسب دستگاه که شامل (جنس و پوشش روی دستگاه، جنس صفحه، توزیع جریان آب شور، فاصله بین شیشه و صفحه جمع کننده انرژی) می‌شود.

۲- نصب و کاربرد مناسب دستگاه (جهت مناسب، زاویه یه مناسب)

۳- استفاده مناسب از انرژی دریافت شده
در این پژوهش، آب شیرین کن پلکانی ساخته شده در دانشگاه سیستان و بلوچستان با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی^۲ و بکارگیری نرم افزار Comsol شبیه‌سازی شده است. سپس تاثیر پارامتر عمق آب شور بر روی پله‌ها بر روی میزان آب شیرین تولیدی مورد بررسی قرار گرفته است.

ساخته شده در روزهای سرد و گرم مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که با استفاده از سیستم دو مرحله‌ای، می‌توان مصرف انرژی را کاهش و آب خروجی و میزان آب تولید شده به نسبت مساحت کلکتور را افزایش داد. همچنین نسبت به حالت تک مرحله‌ای، میزان تولید ۲۰ درصد افزایش نشان داده است [۱۱].

مفتاح و همکاران در سال ۲۰۱۷ میلادی، عملکرد آب شیرین کن خورشیدی پلکانی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به منظور افزایش عملکرد، تغییراتی بر روی آب شیرین کن خورشیدی پلکانی ایجاد نمودند، که از آن جمله می‌توان به منعکس کننده‌های داخلی و خارجی، مواد جذب کننده و کندانسور خارجی اشاره نمود. به منظور مقایسه عملکرد سیستم آب شیرین کن قبل و بعد از اعمال تغییرات از مدل تعادل انرژی استفاده شده است. با کمک پارامترهایی از جمله اختلاف دما بین آب شور و پوشش شیشه‌ای، بهره‌وری سیستم، ضریب انتقال حرارت، تأثیر تغییرات اعمال شده بررسی شد. بهره‌وری روزانه سیستم پس از اصلاح از ۶/۹ به ۸/۹ کیلوگرم در متر مربع افزایش یافت. در نهایت مشخص گردید که عملکرد حرارتی سیستم اصلاح شده به مراتب از سیستم قبل بهتر و بالاتر است [۱۲].

در سال ۲۰۱۷، کابل و همکاران اثر استفاده از نانو مواد را بر روی بهره‌وری آب شیرین کن پلکانی به صورت تجربی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از اکسید مس به عنوان ماده نانو ذرات استفاده نمودند. این نانو ذرات سیاه رنگ به پله آب شیرین کن اضافه گردید تا عملکرد آن را افزایش دهد. نتایج نشان داد که با افزودن نانو ذرات، سرعت انتقال حرارت و دمای آب شور افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که میزان تقطیر در حالت استفاده از نانو ذرات برای آب شیرین کن نسبت به آب شیرین کن معمولی ۱۶٪ بیشتر است [۱۳].

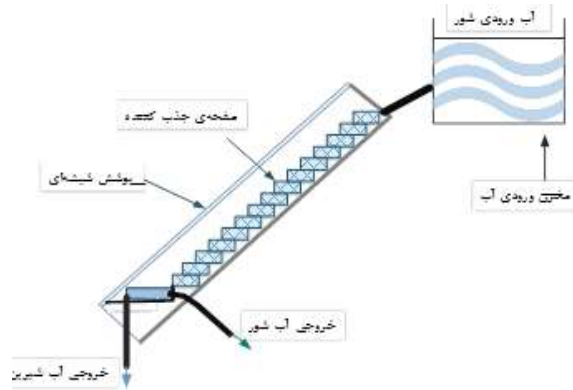
شادی و همکاران در سال ۲۰۱۸، عملکرد آب شیرین کن خورشیدی پلکانی از جنس فلز مس را در مناطق گرمسیری مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با هدف افزایش عملکرد سیستم، از سینی‌های شیبدار استفاده نمودند. ضریب انتقال حرارت جابجایی، تبخیر و تابش، بهره‌وری آب و بازده سیستم را برای هر ساعت محاسبه نمودند. براساس نتایج، حداکثر بهره‌وری ساعتی برای سیستم ۶۰۵ میلی لیتر بر متر مربع در ساعت بدست آمد [۱۴].

² Computational fluid dynamics

¹ Phase change material

۲- آب شیرین کن پلکانی

شکل ۱ نمای کلی از آب شیرین کن خورشیدی پلکانی را نمایش می‌دهد. در آب شیرین کن خورشیدی پلکانی، آب شور در داخل محفظه دستگاه از بالا به پایین جریان می‌یابد. صفحه جذب کننده زیرین محفظه پلکانی معمولاً تیره رنگ می‌باشد، تا نور خورشید عبوری از سطح شفاف (شیشه) را کاملاً جذب نماید و به همین طریق آب گرم شده و بخار می‌شود تا آنکه هوای داخل ظرف به حالت اشباع برسد. در این حالت میعان بر روی سردترین سطح یعنی شیشه رخ می‌دهد. با توجه به زاویه آب شیرین کن با افق، قطرات میعان شده به سمت پایین روی شیشه حرکت می‌کنند و به سمت مخزن ذخیره سازی آب شیرین هدایت می‌شوند.



شکل (۱) نمای کلی آب شیرین کن خورشیدی پلکانی

۳- مدل سازی آب شیرین کن

هدف از مدل سازی ایجاد سیستم مورد نظر در ابعادی کوچکتر از اندازه واقعی برای بررسی و تجزیه و تحلیل بهتر و بهینه سازی نتایج و همچنین صرفه جویی در زمان و هزینه های عملیاتی می‌باشد. در ابتدا هندسه جریان به تعداد زیادی سلول های محاسباتی تقسیم می‌شود. گسسته سازی، روش تقریب زدن معادلات دیفرانسیل با یک سیستمی از معادلات جبری برای متغیرهای موجود در نقاط گسسته در فضا و مکان می‌باشد. این مکان های گسسته به عنوان شبکه یا مش در نظر گرفته می‌شوند. اطلاعات پیوسته حاصل از حل دقیق معادلات دیفرانسیل پاره ای ناویر-استوکس با این مقادیر گسسته جایگزین می‌شوند. هندسه به تعداد زیادی سلول های محاسباتی مش بندی می‌شود. تعداد مش ها از چندین هزار برای یک مسئله ساده تا میلیون ها مش برای مسائل پیچیده تغییر می‌کند.

۳-۱- مراحل مدل سازی

در اولین گام به انتخاب مدل مناسب با توجه به فرآیند تبخیر و چگالش که در سیستم مورد نظر اتفاق می‌افتد، می‌پردازیم و معادلات اساسی حاکم بر مدل انتخاب و شرایط مرزی و اولیه را ایجاد می‌کنیم. سپس به رسم هندسه مدل توسط نرم افزار خواهیم پرداخت. در ادامه به مش بندی مدل که از مهم ترین قسمت های مدل سازی می‌باشد پرداخته و در پایان مدل را به بخش محاسبه گر فرستاده و نتایج بدست آمده را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم.

۳-۲- روش مدل سازی

در این مقاله با توجه به اینکه جریان دو فاز می‌باشد و به دلیل پایین بودن سرعت جریان و مهم بودن سطح مشترک دو فاز و عدد رینولدز پایین، جریان مورد نظر مدل جریان آرام دو فاز انتخاب شده است. این مدل بر اساس سطح مشترک دو فاز عمل می‌کند. در این مدل معادلات پیوستگی و مومنتوم به صورت همزمان برای دو فاز حل خواهد شد. در ادامه به این معادلات که در نرم افزار Comsol تعریف شده است و همچنین شرایط مرزی و شرط اولیه برای هر یک از معادلات، اشاره می‌گردد.

برای فاز مایع:

برای فاز مایع معادلات پیوستگی و مومنتم (ناویر-استوکس) تراکم ناپذیر به صورت زیر بیان می‌گردد [۱۹].

الف) معادله پیوستگی

$$\nabla \cdot u_L = 0 \quad (1)$$

ب) معادله مومنتم

$$\rho_L \frac{\partial u_L}{\partial t} + \rho_L (u_L \cdot \nabla) u_L = \nabla \cdot [-p_L + \mu_L (\nabla u_L + (\nabla u_L)^T)] + \rho_L g \quad (2)$$

در این رابطه

$$\rho_L \text{ دانسیته مایع بر حسب } kg/m^3$$

$$u_L \text{ سرعت مایع بر حسب } m/s$$

$$\mu_L \text{ ویسکوزیته دینامیکی مایع بر حسب } Pa \cdot s \text{ می باشد.}$$

برای فاز گاز:

معادلات پیوستگی و ناویر-استوکس به صورت زیر بیان

می‌شود.

الف) معادله پیوستگی:

الف) فرضیات

به منظور تحلیل نتایج و ساده سازی معادلات فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:
 خواص فیزیکی سیال ثابت، حالت ناپایا، جریان آرام، حالت دوبعدی برای دو فاز آب-مخلوط هوا و بخار آب، هر فاز به طور جداگانه و پیوسته فرض شده و دوفاز تنها از طریق سطح مشترک شان به هم مرتبط شده اند و دیواره های جانبی آدیاباتیک فرض شده است.

ب) شرایط مرزی و شرط اولیه

انتقال حرارت از صفحه به آب و وارد شدن پرتوهای خورشید به درون محفظه، موجب گرم شدن آب می گردد. تبخیر آب باعث می شود بخار آب تولید شده به درون هوای خشک محفظه نفوذ کرده و موجب پیدایش هوای مرطوب گردد. از طرفی اختلاف دمای بین سطح آب شور و پوشش شیشه ای و تغییر چگالی بخار آب باعث چرخش هوای مرطوب در فضای محفظه می شود. این انتقال حرارت به صورت جابه جایی طبیعی صورت می پذیرد. انتقال حرارت به شکل جابجایی طبیعی به صورت یک شرط مرزی در سیستم اعمال شده است. که معادله آن بصورت زیر می باشد.

$$-n \cdot (-k \nabla T) = h_{air} \cdot (T_{int} - T) \quad (8)$$

در این معادله h ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا و T_{int} دمای محفظه دستگاه می باشد که تقریباً بین ۴ الی ۵ درجه سانتی گراد فرض می شود.

انتقال حرارت تابشی نیز به صورت یک شرط مرزی اعمال شده است. که معادله (۹) در ادامه آورده شده است.

$$-n \cdot (-k \nabla T) = \varepsilon \sigma (T_{amb} - T) \quad (9)$$

در این معادله ε ضریب گذر، σ ثابت استفان بولتزمن $(5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 k^4})$ و T_{amb} دمای محیط بر حسب درجه سانتی گراد می باشد.

به دلیل نداشتن دمای کف پله ها از شار حرارتی ثابت که میزان آن مشخص بود، استفاده شده است.

$$-n \cdot (-k \nabla T) = q_0 \quad (10)$$

در این معادله q_0 شار حرارتی ثابت بر حسب W/m^2 می باشد که مقدار آن به صورت میانگین ساعتی بعنوان یکی از داده های تجربی مشخص مورد استفاده قرار گرفته است.

$$\frac{\partial \rho_v}{\partial t} \nabla \cdot (\rho_v u_v) = 0 \quad (3)$$

ب) معادله ناویر استوکس

$$\rho_v \frac{\partial u_v}{\partial t} + \rho_v (u_v \cdot \nabla) u_v = \nabla \cdot [-p_v + \mu_v (\nabla u_v + (\nabla u_v)^T)] + \rho_v g \quad (4)$$

ρ_v دانسیته گاز بر حسب kg/m^3

u_v سرعت گاز بر حسب m/s

μ_v ویسکوزیته دینامیکی گاز بر حسب Pa.s می باشد.

ج) شرط مرزی و شرط اولیه

در ادامه برای این قسمت شرط مرزی به صورت مشخص نمودن میزان دبی آب شور ورودی در نظر گرفته شده است و سرعت جریان در $t=0$ برابر صفر فرض شده است. مدل دیگری که برای این فرآیند مورد استفاده می باشد، معادله انرژی می باشد که به صورت زیر می باشد [۲۰]:

معادله انرژی:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p u \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (5)$$

با توجه به این که در فرآیند تبخیر و چگالش، تغییر فاز صورت می پذیرد از معادلات زیر در حل معادله انرژی استفاده شده است.

$$C_p = \theta C_{p, phase1} + (1 - \theta) C_{p, phase2} + L \frac{d\alpha}{dT} \quad (6)$$

$$\rho = \frac{\theta \rho_{phase1} C_{p, phase1} + (1 - \theta) \rho_{phase2} C_{p, phase2}}{\theta C_{p, phase1} + (1 - \theta) C_{p, phase2}} \quad (7)$$

در روابط بالا

C_p ظرفیت گرمایی ویژه سیالها بر حسب $(j/kg.k)$ ، $C_{p, phase1}$

ظرفیت ویژه فاز یک (مایع)، $C_{p, phase2}$ ظرفیت ویژه فاز دو (گاز)

ρ دانسیته سیالها بر حسب (kg/m^3) و ρ_{phase1} دانسیته فاز یک

(مایع) و ρ_{phase2} دانسیته فاز دو (گاز)

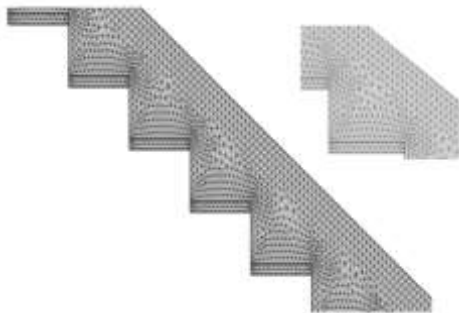
α جزئی از فاز مایع که به فاز گاز تغییر فاز داده است.

θ و $(1 - \theta)$ به ترتیب جزیی از فاز مایع و جزئی از فاز گاز بعد از تغییر فاز صورت گرفته می باشند.

L آنتالپی تبخیر و بر حسب (J/kg)

با توجه به این که در سیستم تبخیر و چگالش همزمان صورت می پذیرند، معادله انرژی همزمان برای تغییر فاز مایع به گاز و عکس آن حل خواهد شد.

خطا) و دمای بدست آمده از مش بندی دومی ۳۳۴/۱۵ درجه سانتی گراد (میزان ۰/۰۳ خطا) بدست آمده است. همان طور که مشخص است مش بندی به شکل مثلثی ساختار نایافته خطای کمتری نسبت به نمونه دیگر دارد، به همین دلیل در این مقاله از این نوع مش بندی استفاده شده است. شبکه بندی آب شیرین کن خورشیدی پلکانی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل (۳) شبکه بندی مدل به شکل مثلثی ساختار نایافته

۳-۵- استقلال مش از شبکه

برای بررسی استقلال مش از شبکه، متغیر دمای آب خروجی برای المان های متفاوت مورد بررسی قرار گرفت.



شکل (۴) نمودار استقلال از مش

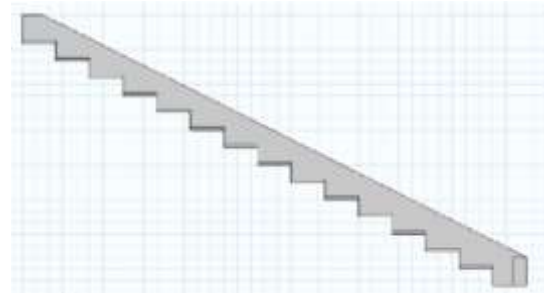
جدول (۱) دمای آب خروجی محاسبه شده برای المان های متفاوت در یک مرحله از مدل سازی

تعداد المان	دمای آب خروجی محاسبه شده (°C)	میزان خطا %
۳۷۷۷	۳۳۲/۸۴	۰/۳۶
۴۰۲۴	۳۳۲/۸۸	۰/۳۵
۴۴۵۷	۳۳۳/۰۹	۰/۲۹
۴۸۵۸	۳۳۳/۱۱	۰/۲۸
۵۳۶۲	۳۳۳/۳۰	۰/۲۲
۵۴۹۲	۳۳۳/۳۹	۰/۲
۵۹۴۰	۳۳۳/۴۲	۰/۱۹

دیگر شرط مرزی دمای شیشه است که در هر مرحله از مدل سازی به صورت ثابت در نظر گرفته شده است.

$$T=T_0 \quad (11)$$

شرط اولیه آب شیرین کن مربوط به دمای آب شور ورودی به دستگاه آب شیرین کن در $t=0$ به عنوان شرط اولیه فرض شده است.



شکل (۲) هندسه رسم شده مدل در نرم افزار

۳-۳- هندسه مدل

شکل ۲ هندسه رسم شده برای آب شیرین کن را نشان می دهد.

۳-۴- شبکه بندی

در این قسمت از مدل سازی به شبکه بندی (مش بندی) مدل می پردازیم. یکی از مهمترین قسمت های مدل سازی ایجاد شبکه بندی مناسب جهت حل معادلات اساسی حاکم بر سیستم می باشد. می توان با یک مش بندی مناسب به همگرا شدن حل معادلات کمک زیادی کرد.

حالت های گوناگونی برای شبکه بندی مدل ها وجود دارد که در این مقاله با توجه به هندسه مدل از شبکه های ساختار نایافته مثلثی استفاده کردیم. این ساختار زوایا را بخوبی پوشش می دهد و با توجه به ریزتر بودن نسبت به سایر مش بندی ها تعداد گره بیشتری ایجاد کرده که باعث نزدیک شدن نتایج حاصل از مدل سازی با داده های تجربی می گردد. با توجه به اهمیت دمای سطح مشترک بین دو فاز و میزان آب شیرین تولیدی، شبکه بندی بر روی سطح مشترک دوفاز و سطح شیشه ریزتر از سایر نقاط انجام گرفته است. علاوه بر توضیحات فوق، مقایسه ای بین دو نمونه مش بندی (۱- مثلثی ساختار نایافته و ۲- مربعی بر روی سطح شیشه و مثلثی ساختار نایافته برای سایر نقاط) با دمای تجربی انجام گرفته شده است. دمای تجربی ۳۳۴/۰۵ درجه سانتی گراد می باشد که دمای بدست آمده از مش بندی مثلثی ساختار نایافته ۳۳۴/۰۹ درجه سانتی گراد (میزان ۰/۰۱

در این تحقیق از مدل تیواری و کومار [۱] برای بدست آوردن h_{cw} استفاده شده است که از روابط زیر بدست می‌آید:

$$h_{cw} = \frac{k}{d} C (Gr \cdot Pr)^n \quad (15)$$

$$Gr = \frac{\beta g d^3 \rho^2 \Delta T}{\mu^2} \quad (16)$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (17)$$

در این رابطه C و n ثابت‌هایی هستند که از طریق داده‌های تجربی بدست می‌آیند [۵]. Gr و Pr به ترتیب اعداد بدون بعد گراش و اصلاح شده و پراوتل می‌باشند. در این مقاله از ثابت‌های بدست آمده برای بدست آوردن h_{cw} استفاده شده است. رابطه‌های لازم برای بدست آوردن متغیرهای موجود در جدول ۲ آورده شده است.

در رابطه ۱۸، اختلاف دما بین سطح شیشه و آب ΔT از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta T = (T_w - T_g) + \frac{(P_w - P_g)(T_w + 273)}{(268.9 \times 10^3 - P_w)} \quad (18)$$

در رابطه بالا به ترتیب فشار بخار اشباع بر روی سطح آب و فشار بخار اشباع بر روی شیشه از روابط زیر محاسبه می‌گردد.

$$P_w = \exp\left(25.317 - \frac{5144}{T_w + 273}\right) \quad (19)$$

$$P_g = \exp\left(25.317 - \frac{5144}{T_g + 273}\right) \quad (20)$$

در جدول ۲، T_v میانگین دمای آب T_w و دمای سطح شیشه T_g می‌باشد.

۷-۳ بازده دستگاه

بازده آب شیرین کن‌های غیرفعال از رابطه زیر به دست می‌آید [۲۱]:

$$\eta = \frac{\sum m_{ew} \cdot h_{fg}}{\sum I(t) \cdot A_p + m_w \cdot C_w (T_{ini} - T_{amb})} \quad (21)$$

در این رابطه $I(t)$ میزان تابش، A_p سطح تبخیر کننده، h_{fg} آنتالپی تبخیر، m_w دبی آب شور ورودی، C_w ظرفیت گرمایی آب، T_{ini} دمای آب ورودی و T_{amb} دمای محیط می‌باشند. به دلیل آنکه دمای آب ورودی با دمای محیط برابر فرض شده است، ترم دوم در مخرج کسر صفر خواهد شد.

۴- شبیه سازی و نتایج

برای تحلیل از یک سیستم سخت افزاری با پردازنده ی ۲/۴ گیگا هرتز پنج هسته ای و حافظه ی رم ۶ گیگابایت استفاده

۸۰۹۳	۳۳۳/۸۰	۰/۰۷۵
۹۱۸۹	۳۳۴/۰۹	۰/۰۱
۹۴۹۵	۳۳۴/۲۳	۰/۰۵۴
۱۰۴۱۳	۳۳۴/۳۱	۰/۰۷۷
۱۱۲۸۱	۳۳۴/۴۶	۰/۱۲
۱۲۱۳۳	۳۳۴/۶۱	۰/۱۶

در نهایت برای تعداد المان ۹۱۸۹ کمترین مقدار خطا برای دمای آب خروجی محاسبه شده با دمای آب خروجی تجربی به دست آمد. در این المان دمای تجربی ۳۳۴/۰۵ درجه سانتیگراد می باشد و نتایج در جدول ۱ و در شکل ۴ نمایش داده شده است.

۳-۶ میزان آب شیرین تولیدی

میزان آب شیرین تولیدی برای هر مرحله از مدل سازی از روابط زیر بدست آمده است [۱].

$$m_{ew} = q_{ew} A_w t / h_{fg} \quad (12)$$

$$q_{ew} = h_{ew} (T_w - T_g) \quad (13)$$

$$h_{ew} = 0.01623 h_{cw} \left[\frac{P_w - P_g}{T_w - T_g} \right] \quad (14)$$

در روابط بالا m_{ew} میزان آب شیرین تولیدی ($kg/m^2 hr$)، q_{ew} میزان انتقال حرارت تبخیر (m^2/W)، A_w سطح آب شور (m^2)، t زمان (ثانیه)، h_{fg} آنتالپی ویژه تبخیر (J/kg)، h_{ew} ضریب انتقال حرارت تبخیر ($W/m^2 C$)، T_w و T_g به ترتیب دمای آب شور و پوشش شیشه‌ای، P_w و P_g فشار بخار آب اشباع بر روی سطح آب شور و پوشش شیشه‌ای (Pa) می‌باشند.

جدول (۲) خواص فیزیکی بخار آب بر حسب دما

رابطه	نماد	کمیت
$999.2 + 0.1434T_v^1 + 1.101 \times 10^{-4}T_v^2 - 6.7581 \times 10^{-8}T_v^3$	C_p	ظرفیت گرمایی ویژه ($J/kg.C$)
$353.44/T_v + 273.15$	ρ	دانسیتته (kg/m^3)
$0.0244 + 7.673 \times 10^{-4}T_v$	K	ضریب انتقال حرارت هدایتی ($W/m.C$)
$1.718 \times 10^{-5} + 4.620 \times 10^{-8}T_v$	μ	گرانروی (kg/ms)
$2.4935 \times 10^6 [1 - 9.4779 \times 10^{-4}T_v + 1.3131 \times 10^{-7}T_v^2 - 4.7974 \times 10^{-9}T_v^3]$	h_{fg}	گرمای نهان تبخیر آب (J/kg)
$\frac{1}{T_v + 273.15}$	β	ضریب انبساط حجمی ($1/C$)

بررسی تاثیر عمق آب شور در آب شیرین کن خورشیدی پلکانی با استفاده از نرم افزار Comsol

۶۰۶/۵	۳۱/۵	۱۶-۱۷
۳۷۳/۵	۳۰/۵۵	۱۷-۱۸
۱۲۸	۲۹/۱	۱۸-۱۹

در جدول ۵ مقادیر میانگین ساعتی دمای آب، دمای سطح شیشه و میزان آب شیرین تولیدی برای نرخ ورودی ۰/۲ (kg/min) آب شور آورده شده است.

جدول (۵) مقادیر میانگین ساعتی داده‌های تجربی برای نرخ ورودی (kg/min) ۰/۲

میزان آب شیرین تولیدی (kg/hr)	دمای سطح شیشه (C)	دمای آب (C)	زمان (hr)
۰/۰۹۵	۳۴/۷	۳۶/۹	۸-۹
۰/۱۹۱	۴۱/۵	۴۴/۱	۹-۱۰
۰/۳۸۸	۴۵/۶	۴۹/۳	۱۰-۱۱
۰/۴۸۸	۴۸/۶	۵۳/۴	۱۱-۱۲
۰/۶	۵۰/۸	۵۵/۵	۱۲-۱۳
۰/۶۸۸	۵۳/۲	۵۷/۵	۱۳-۱۴
۰/۶۶	۵۳/۸	۵۷/۹	۱۴-۱۵
۰/۵۲۳	۴۹/۸	۵۳/۹	۱۵-۱۶
۰/۱۷۷	۴۳/۸	۴۷/۸	۱۶-۱۷
۰/۰۹۳	۳۷/۳	۴۰/۶	۱۷-۱۸
-	۳۲/۴	۳۳/۵	۱۸-۱۹

در جدول ۶ ثابت‌های C و n که برای بدست آوردن h_{ew} از طریق مدل تیواری و کومار مورد استفاده قرار گرفته، آورده شده است.

جدول (۶) ثابت‌های بدست آمده از مدل تیواری و کومار

ثابت‌ها	نرخ ورودی آب شور (kg/min) ۰/۲
C	۱/۱۱۴
n	۰/۲۰۸

برای بررسی دقت شبیه سازی دمای سطح آب شور و میزان آب شیرین تولیدی که از شبیه سازی به دست آمده با نتایج تجربی برای دبی آب شور با نرخ ورودی (kg/min) ۰/۲ مقایسه شده است. دمای سطح آب شور به دست آمده انطباق خوبی با داده های تجربی دارد که این مطلب در جدول ۷ نشان داده شده است. برای بهتر دیده شدن میزان خطا در شکل ۵ نمودار داده ای تجربی و مقادیر به دست آمده، آورده شده است.

شده است. با توجه به محدودیت سخت افزاری، می بایست برای شبیه سازی دستگاه در طول یک روز، تحلیل را به مراحل یک ساعته تقسیم کرد. در زمان حل، معادلات گسسته شده بقاء تا زمان همگرایی بصورت متوالی حل می شوند. در این شبیه سازی، در مدت ۷۰۰ ثانیه، حل همگرا شده است. همچنین شرایط مرزی و شرایط اولیه مورد استفاده در نرم افزار در جدول ۳ گزارش شده است. مشخصات آب شیرین کن مورد مطالعه به صورت زیر می باشد [۵]: زاویه دستگاه با سطح افق ۳۰ درجه و سطح آن ۱ متر مربع و فاصله سطح شیشه با پلکان های دستگاه ۰/۰۵ متر می باشد. ارتفاع هر پله ۰/۰۳ متر و عرض ۰/۰۵ متر و همچنین طول هر پله ۰/۶ متر می باشد. بر روی هر پله یک بند به ارتفاع ۰/۰۵ متر تعبیه شده است.

آزمایش‌ها در ۴ روز از فصل تابستان بصورت متوالی در دانشگاه سیستان و بلوچستان به انجام رسیده است. این آزمایش‌ها از ساعت ۸ صبح تا ۱۹ بعدازظهر انجام گرفته است.

داده‌های تجربی مورد استفاده که شامل مقادیر میانگین ساعتی دمای محیط و میزان تابش خورشید می باشد، در جدول ۴ نشان داده است. در مدل سازی به دلیل نداشتن دمای آب ورودی به دستگاه آب شیرین کن و دمای کف پله‌ها، به ترتیب دمای محیط و میزان تابش خورشید استفاده شده است.

جدول (۳) شرایط مرزی و شرایط اولیه آب شیرین کن

شرایط اولیه	میزان دبی آب شور ورودی در لحظه $t=0$	$1.67 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$
	سرعت جریان در لحظه $t=0$	$u_i = u_v = 0$
	دمای آب شور ورودی به دستگاه در لحظه $t=0$	$T_0 = 306.95 K$
شرایط مرزی	شار حرارتی ثابت برای کف پله ها	$q_0 = 786 \frac{W}{m^2}$
	دمای شیشه	$T_0 = 318.55 K$

جدول (۴) مقادیر میانگین ساعتی داده‌های تجربی آب و هوایی

زمان (hr)	دمای محیط (C)	میزان تابش (W/m^2)
۸-۹	۳۲/۸۵	۵۹۸
۹-۱۰	۳۳/۸	۷۸۶
۱۰-۱۱	۳۴/۹۵	۹۱۱
۱۱-۱۲	۳۵/۳	۹۷۸
۱۲-۱۳	۳۵/۲۵	۱۰۰۱/۵
۱۳-۱۴	۳۵/۱۵	۹۹۰/۵
۱۴-۱۵	۳۴/۱۵	۹۳۲/۵
۱۵-۱۶	۳۲/۷	۸۰۳/۵

بر اساس جدول ۷ و شکل ۵، آزمایش تجربی از ساعت ۸ صبح شروع و تا ساعت ۱۹ بعدازظهر ادامه داشته است. با گذشت زمان و افزایش میزان تابش خورشید دمای سطح آب شور افزایش یافته و تبخیر آب صورت می‌گیرد. با افزایش اختلاف دما بین سطح آب شور و پوشش شیشه‌ای بخار آب تولید و محفظه از بخار آب، اشباع می‌گردد. به دلیل این اختلاف دما و تغییرات چگالی بخار آب درون محفظه، موجب چرخش هوای مرطوب درون دستگاه می‌شود و تا حدود ساعت ۱۴ میزان تولید آب شیرین افزایش یافته، بعد از آن به دلیل کاهش میزان تابش خورشید از میزان تولید آب شیرین کاهش می‌یابد.

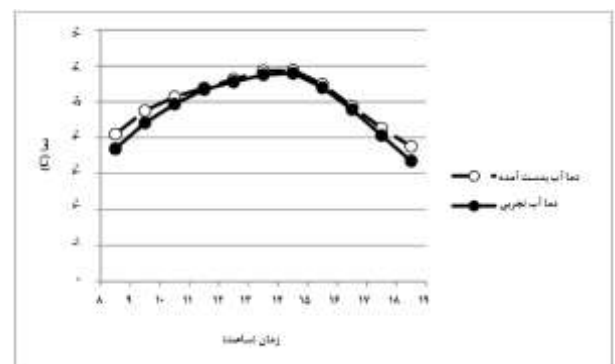
برای بررسی دقت شبیه سازی، همچنین میزان آب شیرین تولیدی به دست آمده و مقادیر تجربی آن برای دبی آب شور ورودی با نرخ (kg/min) ۰/۲ در جدول ۸ آورده شده است. جدول (۸) میزان آب شیرین تولیدی به دست آمده از نرم افزار و مقادیر تجربی

میزان خطا %	میزان آب شیرین تولیدی به دست آمده (kg/m ² hr)	میزان آب شیرین تولیدی تجربی (kg/m ² hr)	زمان (hr)
۷۲	۰/۳۱۴	۰/۰۹۵	۹-۸
۵۵/۵	۰/۴۲۹	۰/۱۹۱	۱۰-۹
۲۵/۹	۰/۵۲۴	۰/۳۸۸	۱۱-۱۰
۶/۵	۰/۵۲۲	۰/۴۸۸	۱۲-۱۱
۴/۳	۰/۶۲۷	۰/۶	۱۳-۱۲
۰	۰/۶۸۸	۰/۶۸۸	۱۴-۱۳
۳/۹۳	۰/۶۳۵	۰/۶۶	۱۵-۱۴
۱/۱۱	۰/۵۳۹	۰/۵۳۳	۱۶-۱۵
۵۵/۵۷	۰/۴	۰/۱۷۷	۱۷-۱۶
۶۹/۷	۰/۳۰۷	۰/۰۹۳	۱۸-۱۷
-	۰/۲۳	-	۱۹-۱۸

همان طور که در جدول ۸ مشاهده می شود میزان آب شیرین به دست آمده برای ساعت‌های مختلف، با مقادیر تجربی آن در این ساعت‌ها دارای انطباق خوبی می‌باشند. میزان میانگین خطا برای آب شیرین به دست آمده از مقدار تجربی به دست آمده ۲۶/۷۷٪ می‌باشد. برای بهتر دیده شدن میزان خطای آب شیرین تولیدی به دست آمده با مقادیر تجربی آن داده های جدول ۸ به صورت نمودار در شکل ۶ رسم شده است.

جدول (۷) دمای آب شور تجربی و دمای آب شور به دست آمده از شبیه سازی

میزان خطا %	دمای آب شور به دست آمده (C)	دمای آب شور تجربی (C)	زمان (hr)
۹/۹	۴۰/۹۶	۳۶/۹	۹-۸
۷/۱	۴۷/۴۸	۴۴/۱	۱۰-۹
۴	۵۱/۳۷	۴۹/۳	۱۱-۱۰
۰/۷۶	۵۲/۸۱	۵۲/۴	۱۲-۱۱
۱/۳	۵۶/۲۶	۵۵/۵	۱۳-۱۲
۱/۸	۵۸/۵۹	۵۷/۵	۱۴-۱۳
۱/۴	۵۸/۷۶	۵۷/۹	۱۵-۱۴
۱/۷	۵۴/۸۴	۵۳/۹	۱۶-۱۵
۱/۸	۴۸/۷۱	۴۷/۸	۱۷-۱۶
۴/۶	۴۲/۵۸	۴۰/۶	۱۸-۱۷
۱۰/۷	۳۷/۵۳	۳۳/۵	۱۹-۱۸



شکل (۵) مقایسه دمای آب شور تجربی و دمای آب شور به دست آمده از شبیه سازی

همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود دما آب به دست آمده در بعضی ساعت‌ها مانند ساعت‌های ابتدایی یا انتهایی

بررسی تاثیر عمق آب شور در آب شیرین کن خورشیدی پلکانی با استفاده از نرم افزار Comsol

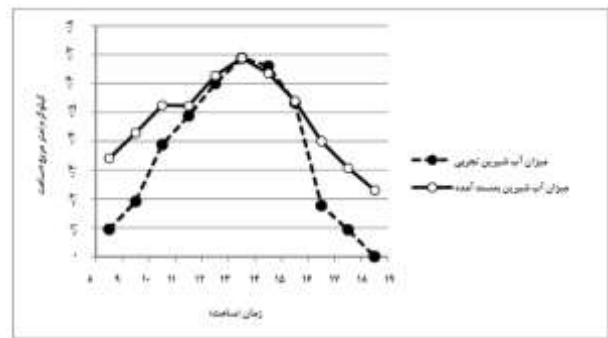
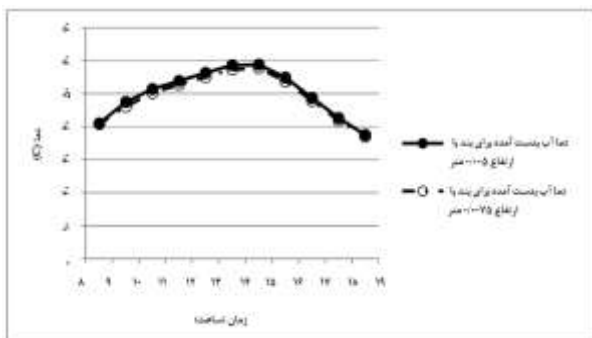
سطح شیبدار بوده، میزان بازده برای ساعت ۱۹-۱۸ از ۱ بیشتر و در جدول آورده نشده است.

۴-۲ نتایج حاصل از بررسی عمق آب

با توجه به اینکه داده تجربی برای این قسمت وجود نداشت و از طرفی چون نتایج به دست آمده دمایی انطباق خوبی با داده های دمایی تجربی داشت، از داده های دمایی به دست آمده بعنوان مقیاسی برای بررسی تاثیر عمق آب شور بر دمای سطح آب شور استفاده گردیده است. در این قسمت تاثیر عمق آب شور با ایجاد بند هایی با ارتفاع ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۷۵ و ۰/۰۱ متر بر روی عملکرد حرارتی دستگاه مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول ۱۰، دمای سطح آب شور به دست آمده برای دبی آب شور ورودی با نرخ (kg/min) ۰/۲ با بندهایی به ارتفاع ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۷۵ و ۰/۰۱ متر آورده شده است.

جدول (۱۰) دمای سطح آب به دست آمده برای آب شور ورودی با نرخ (kg/min) ۰/۲ برای بندهایی با ارتفاع مختلف

زمان (hr)	دمای سطح آب برای بند با ارتفاع ۰/۰۰۵ متر	دمای سطح آب برای بند با ارتفاع ۰/۰۰۷۵ متر	دمای سطح آب برای بند با ارتفاع ۰/۰۱ متر
۹-۸	۴۰/۹۶	۴۰/۸	۴۰/۴۹
۱۰-۹	۴۷/۴۸	۴۶/۰۷	۴۵/۴
۱۱-۱۰	۵۱/۳۷	۵۰/۲۱	۴۹/۵۳
۱۲-۱۱	۵۳/۸۱	۵۲/۷	۵۲/۲۹
۱۳-۱۲	۵۶/۲۷	۵۵/۰۱	۵۴/۳۵
۱۴-۱۳	۵۸/۵۹	۵۷/۲۸	۵۶/۵۸
۱۵-۱۴	۵۸/۷۶	۵۷/۷۲	۵۷/۰۸
۱۶-۱۵	۵۴/۸۴	۵۳/۶۹	۵۳/۱
۱۷-۱۶	۴۸/۷۱	۴۷/۸	۴۷/۲۳
۱۸-۱۷	۴۲/۵۸	۴۱/۷۸	۴۱/۳۳
۱۹-۱۸	۳۷/۵۳	۳۷/۰۳	۳۶/۸۳



شکل (۶) نمودار مقایسه میزان آب شیرین تولیدی به دست آمده و مقادیر تجربی

همان طور که در شکل ۶ مشخص می باشد هر چه به ساعت ۱۳ نزدیک شده با افزایش میزان تابش خورشید، تبخیر از سطح آب شور افزایش یافته و به همان نسبت میزان آب شیرین تولیدی نیز افزایش می یابد، ولی با گذشت زمان از میزان تابش خورشید کاسته شده و تبخیر کمتر صورت می گیرد در نتیجه آب شیرین کمتری تولید می گردد.

۴-۱ بازده دستگاه

در این مرحله به محاسبه بازده دستگاه آب شیرین کن خورشیدی پلکانی پرداخته شده است. طبق رابطه ۲۱ بازده دستگاه برای دبی آب شور با نرخ ورودی (kg/min) ۰/۲ در ساعت های انجام آزمایش در جدول ۹ آورده شده است.

جدول (۹) بازده دستگاه آب شیرین کن خورشیدی پلکانی

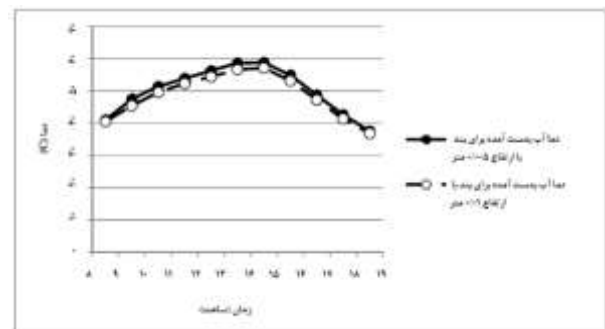
زمان (hr)	بازده %
۹-۸	۳۸/۱۲
۱۰-۹	۳۶/۱۷
۱۱-۱۰	۳۷/۹۸
۱۲-۱۱	۳۵/۱۷
۱۳-۱۲	۱۴/۱۳
۱۴-۱۳	۴۵/۵۳
۱۵-۱۴	۴۴/۶۱
۱۶-۱۵	۴۴
۱۷-۱۶	۴۳/۰۵
۱۸-۱۷	۵۴/۸۸
۱۹-۱۸	-

همان طور که انتظار می رفت بازده دستگاه با گذشت زمان و افزایش میزان آب شیرین تولیدی، افزایش یافته است. با توجه به اینکه در ساعت های انتهایی آزمایش میزان تابش خورشید به حداقل خود رسیده و از طرفی طبق رابطه ۲۱ بازده حاصل تقسیم میانگین انتقال حرارت تبخیر به میانگین میزان تابش به واحد

شکل (۷) نمودار دما سطح آب شور برای دبی شور با نرخ 0.2 (kg/min) با بندهایی به ارتفاع 0.005 و 0.0075 متر

همان طور که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود با افزایش عمق آب شور بر روی پله‌ها دما آب شور کاهش می‌یابد در نتیجه این کاهش، اختلاف دمای آب شور و سطح شیشه که تاثیر مستقیم بر میزان تبخیر آب شور دارد، کم شده و میزان تولید آب شیرین نیز کاهش می‌یابد. نتایج به دست آمده در شکل‌های ۷ و ۸ بصورت نمودار رسم شده، تا میزان اختلاف به خوبی قابل ملاحظه باشد.

همان طور که در شکل‌های ۷ و ۸ مشخص است با افزایش عمق آب دما سطح آب شور کاهش می‌یابد و با توجه به اینکه دمای شیشه ثابت فرض شده، اختلاف دما بین سطح آب شور و پوشش شیشه‌ای و میزان تبخیر آب شور کاهش یافته و در نتیجه میزان آب شیرین تولیدی نیز کاهش خواهد یافت.



شکل (۸) نمودار دما سطح آب شور برای دبی شور با نرخ 0.2 (kg/min) با بندهایی به ارتفاع 0.005 و 0.01 متر

✓ با افزایش عمق آب دما سطح آب شور کاهش می‌یابد و با توجه به اینکه دمای شیشه ثابت فرض شده است، اختلاف دما بین سطح آب شور و پوشش شیشه‌ای و میزان تبخیر آب شور کاهش یافته و در نتیجه میزان آب شیرین تولیدی نیز کاهش خواهد یافت.

✓ با گذشت زمان و افزایش میزان تابش خورشید آب شور و در نتیجه فرآیند چگالش بخار آب تولید شده بر روی سطح شیشه با سرعت بیشتری صورت گرفته و افزایش میزان تولید آب شیرین تا ساعت ۱۳ بعد از ظهر ادامه دارد. بعد از این ساعت به دلیل کاهش میزان تابش خورشید میزان آب شیرین تولیدی نیز کاهش خواهد یافت.

✓ در ساعت‌های ابتدایی و انتهایی داده‌های عددی، اختلاف دمای بیشتری با داده‌های تجربی دارند. این امر به دلیل مشخص نبودن دمای کف پله‌هاست بنابراین از میزان تابش خورشید به صورت میانگین ساعتی استفاده شده است. با این حال دمای آب به دست آمده انطباق خوبی با مقدار تجربی آن دارد و مقدار میانگین خطا به دست آمده از مقدار تجربی آن برابر با $1/4\%$ می‌باشد.

مراجع

- [1] G.N. Tiwari, J.M. Thomas, E. Khan, (1994) "Optimization of glass cover inclination for maximum yield in a solar still", *Heat Recovery Systems and CHP*, 14, 447-455.
- [2] H. Al-Hinai, M.S. Al-Nassri, B.A. Jubran, (2002) "Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still", *Energy Conversion and Management*, 43, 1639-1650.
- [3] A.R. Pourmoayed, R. Rahmati; M. Golami, (2018) "A new model for two-phase flow in a solar still improved by a porous layer", *Journal of Solid and Fluid Mechanic*, 8, 171-182.
- [4] S.S. Hosseini, M. Farhadi, K. Sedighi, (2017) "Experimental Study of Solar Distillation using PCM and Flow Turbulators", *Modares Mechanical Engineering*, 17, 117-127.
- [5] M. Dashtban, (2009) "Experimental and Theoretical Investigation of Thermal Efficiency of a Cascade Solar Still", *M.Sc. Thesis, the University of Sistan & Baluchestan*.
- [6] S. Sadinini, (2008) "Theory and experimental investigation of a weir-type inclined solar still", *Energy*, 33, 71-80.
- [7] J. Blanco, L. García-rodríguez, I. Martín-mateos, (2009) "Seawater desalination by an innovative solar-powered membrane distillation system: The MEDESOL project", *Desalination*, 246, 567-576.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک آب شیرین کن خورشیدی پلکانی موجود در دانشگاه سیستان و بلوچستان، توسط نرم افزار Comsol شبیه سازی گردیده است. داده‌های تجربی با داده‌های شبیه سازی شده مورد مقایسه قرار گرفته است که انطباق خوبی با هم داشتند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به جای ساخت و استفاده از دستگاه آب شیرین کن خورشیدی با استفاده از شبیه سازی می‌توان زمان و هزینه‌ها را کاهش و شرایط را برای رسیدن به نتایجی بهینه تغییر داد. در انتها تاثیر عمق آب شور بر عملکرد حرارتی دستگاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به صورت زیر به دست آمده است:

- [8] A.E. Kabeel, Z.M. Omara, M.M. Younes, (2013) "Enhancing the stepped solar still performance using internal reflectors", *Desalination*, 314, 67–72.
- [9] A.E. Kabeel, Z.M. Omara, M.M. Younes, (2015) "Techniques used to improve the performance of the stepped solar still - A review", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 46, 178–188.
- [10] H. Aghaei Zoori, F.F. Tabrizi, F. Sarhaddi, F. Hashmatnezhad, (2013) "Application of Exergy Analysis to Improve Performance a Weir-type Cascade Solar Still", *Journal of Separation Science and Engineering*, 5, 37-46.
- [11] M. Zamen, S.M. Soufari, S. Abbasian Vahdat, M. Amidpour, M.A. Zeinali, H. Izanloo, H. Aghababaie, (2014) "Experimental investigation of a two-stage solar humidification – dehumidification desalination process", *Desalination*, 332, 1–6.
- [12] A.F. Muftah, K. Sopian, M.A. Alghoul, (2017) "Performance of basin type stepped solar still enhanced with superior design concepts", *Desalination*, 435, 198-209.
- [13] A.E. Kabeel, Z.M. Omara, F.A. Essa, A.S. Abdullah, T. Arunkumar, R. Sathyamurthy, (2017) "Augmentation of a solar still distillate yield via absorber plate coated with black nanoparticles", *Alexandria Engineering Journal*, 56, 433-438.
- [14] M. Shadi, S. Abujazar, S. Fatihah, E.R. Lotfy, A.E. Kabeel, S. Sharil, (2018) "Performance evaluation of inclined copper-stepped solar still in a wet tropical climate", *Desalination*, 425, 94–103.
- [15] V.S. Vigneswaran, G. Kumaresan, B.V. Dinakar, K. Karthick Kamal, R. Velraj, (2019) "Augmenting the productivity of solar still using multiple PCMs as heat energy storage", *Journal of Energy Storage*, 26, 101-019.
- [16] M. Keshtkar, M. Eslami, K. Jafarpur, (2020) "Effect of design parameters on performance of passive basin solar stills considering instantaneous ambient conditions: A transient CFD modeling", *Solar Energy*, 201, 884-907.
- [17] A.S. Abdullah, M.M. Younes, Z.M. Omara, F.A. Essa, (2020) "New design of trays solar still with enhanced evaporation methods – Comprehensive study", *Solar Energy*, 203, 164-174.
- [18] V. Rai, A. Pratap, H. Kumar, R. Khatri, (2017) "Modelling and Performance Enhancement of Single Slope Solar Still using CFD", *Energy Procedia*, 109, 447–455.
- [19] N. Setoodeh, R. Rahimi, A. Ameri, (2011) "Modeling and determination of heat transfer coefficient in a basin solar still using CFD", *Desalination*, 268, 103–110.
- [20] M.R. kazemi, (2018) "CFD simulation of seawater purification using direct contact membrane desalination (DCMD) system", *Desalination*, 443, 323-332.
- [21] A.K. Tiwari, G.N. Tiwari, (2007) "Thermal modeling based on solar fraction and experimental study of the annual and seasonal performance of a single slope passive solar still", *Desalination*, 207, 84–204.

Investigation of the Impact of Salt Water Depth on Stair Solar Desalination Using Comsol Software

Forogh Dorani, Seyed Mohammad Hoseini, Mohammad Reza Sardashti Birjandi, Farhad Shahraki*

Department of Chemical Engineering, Shahid Nikbakht Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

ABSTRACT

Staircase solar water purifiers are among the many devices used in water purification. This paper deals with the simulation of a staircase solar water desalination at the University of Sistan and Baluchestan with Comsol software. After comparing the experimental data and the results of the software, the influence of saline depth parameter on the stairs on the amount of fresh water output from desalination was investigated. For this purpose, the performance of the device for saline water depths of 0.005, 0.0075 and 0.01 m with inlet saline flow rate of 0.2 (kg / min) was investigated. The results show that with increasing salt-water depth, the water temperature decreases and the temperature difference between the water surface and the glass surface decreases and the amount of fresh water produced decreases.

ARTICLE INFO

Article history:

Received July 11, 2020

Received in revised form: November 28, 2020

Accepted: January 16, 2021

Key words:

Solar still desalination

Stepping desalination

Simulation

Comsol software

All right reserved.

* Corresponding author
fshahraki@eng.usb.ac.ir