

مروری بر کارهای عددی انجام شده در زمینه آب شیرین کن خورشیدی به منظور بررسی پارامترهای موثر بر روی ضرایب انتقال جرم و حرارت جابجایی و میزان بهره وری

پدرام علی اکبری^۱، علی حیدری^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران pedram.aliakbari@gmail.com

۲- استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

* سمنان، صندوق پستی ۱۷۹-۳۵۱۴۵، heydari.a@gmail.com

چکیده

در سال های اخیر بدلیل افزایش جمعیت و کاهش منابع آبی، بشر را مجبور به شیرین سازی آب های شور کرده است. در حالی که این کار انرژی و هزینه های بالایی را در بر می گیرد. از این رو دانشمندان مطالعات بسیاری را در مورد آب شیرین کن های خورشیدی و عوامل موثر بر آنها را انجام داده اند. در این تحقیق سعی شده مروری بر مقالات شبیه سازی عددی آب شیرین کن های خورشیدی با فرضیات جابجایی طبیعی آرام، انتقال چرم و حرارت به روش حجم محدود ارائه شده توسط محققان و اساتیدی که در این زمینه فعالیت داشته اند، بپردازیم تا پژوهشگران علاقمند به این موضوع یا کسانی که قصد آشنایی با آب شیرین کن خورشیدی را دارند، مرجعی مناسب جهت مطالعه تخصصی در اختیار داشته باشند.

کلیدواژگان

آب شیرین کن خورشیدی، جابجایی طبیعی آرام، انتقال جرم و حرارت، حجم محدود.

A review of numerical studies on solar stills to determine the effective parameters on heat and mass transfer and efficiency

Pedram Aliakbari¹, Ali Heydari^{2*}

1- Master of science student, mechanical engineering department, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

2- mechanical engineering department, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

* P.O.B. 35141-179 Semnan, Iran, [email: heydari.a@gmail.com](mailto:heydari.a@gmail.com)

Abstract

In recent years, due to population growth and the reduction of water resources, the human has forced to sweeten brackish water. While this work takes energy and high costs. Thus, the scientists studied a lot about solar desalination and the factors influencing them. In this study, we tried to have a review on the literature of numerical simulation of solar desalination systems with Assumptions: laminar natural convection, heat and mass transfer using finite volume method which presented by researchers who have been working in this field. This research is prepared for researchers who interested in this subject or those who intend to get acquainted of solar desalination systems, to have an appropriate reference for specialized study.

Keywords:

Solar still, laminar natural convection, heat and mass transfer, finite volume.

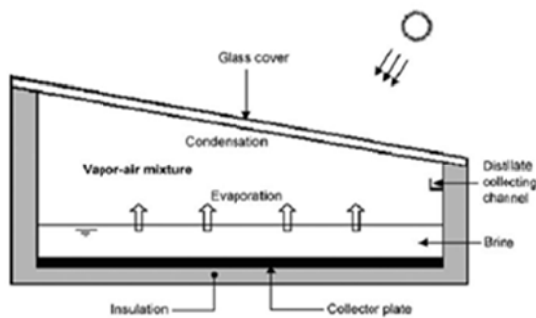
آب شده و بخار آب به سمت بالا حرکت می کند، بدین ترتیب جریان سیال داخل آب شیرین کن برقرار می شود و بخار آب بالا رفته به شیشه سرد

۱- مقدمه

آب مایه حیات است. اهمیت آب در زندگی انسان و تمام موجودات زنده کاملاً مشخص است. در میان آب ها، آب آشامیدنی یا به اصطلاح آب شیرین برای انسان بسیار مهم است. بنابراین، تبدیل آب های شور دریا به آب آشامیدنی در مباحث محیط زیست برای ما نیز از اهمیت برخوردار است.

روش های گوناگون شیرین کردن آب بر دو پایه دمایی و غشایی مانند روش های تقطیر، اسمز معکوس، الکترو دیالیز و ... می باشند. با توجه به شرایط کنونی جهان روشی مورد توجه عموم است، که دارای ویژگی هایی نظیر مصرف انرژی پایین، راندمان بالا، سهولت استفاده، ارزان، پاک بودن و ... باشد. با توجه به ویژگیهای نام برده شده، روش تقطیری می تواند روشی مناسب برای شیرین کردن آب باشد.

اساس کار آب شیرین کن خورشیدی در شکل ۱ نشان داده شده است. در یک آب شیرین کن خورشیدی ابتدا تشعشع خورشید جذب کف ظرف حاوی آب شور شده و آب شروع به گرم شدن می کند. حرارت باعث تبخیر



برخورد و تقطیر می شود.

شکل ۱ یک نمونه آب شیرین کن خورشیدی ساده [۱۲]

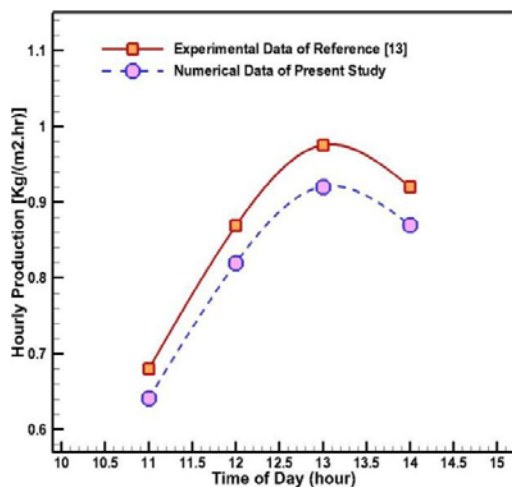
• عایق و جنس بدنه

۲- کارهای انجام شده :

احسان فتوحی بافقی، نادر رهبر و جواد ابوالفضل صافهانی در سال ۱۳۹۲ مقاله‌ای بنام بهسازی تولید در آب شیرین کن خورشیدی لوله‌ای با استفاده از مدل سازی عددی را به چاپ رساندند. [۱۰] در این تحقیق به بررسی تاثیر هندسه ی ظرف آب شور، مکان قرارگیری، عمق آب داخل آن و همچنین شعاع پوشش دایروی، بر روی آب شیرین کن خورشیدی لوله‌ای پرداختند. تحلیل آنها برای جریان با جابجایی طبیعی، پایدار، آرام و دو بعدی و همچنین سیال تراکم ناپذیر بوده و معادلات حاکم مسئله پیوستگی، بقای ممنت، بقای انرژی و نفوذ جرم در مختصات دکارتی می باشد.

برای حل این معادلات ذکر شده از نرم افزار فلونت ۶،۳،۲۶ و به روش حجم محدود استفاده کردند و شبکه مورد نظر برای مدل سازی عددی به صورت غیر سازمان یافته توسط نرم افزار گمبیت ۲،۴،۶ می باشد. جهت اعتبار سازی نتایج بدست آمده حل عددی، از تحقیق تجربی ایسلام و فوکوها [۴] استفاده شده است. مقایسه ی بدست آمده از نتایج تحقیق عددی با تحلیل تجربی در شکل ۲ نشان داده شده و حداکثر ۵/۷ درصد خطا دارد که تطابق بسیار خوبی می باشد. در این مقاله نتایج زیر حاصل شده است:

- هندسه ی نیم دایره بهترین هندسه برای ظرف حاوی آب شور می باشد. حداکثر نرخ تولید آب شیرین در صورتی که عمق آب در حداکثر فاصله ی کف ظرف آب شور تا بالای پوشش دایره ای برابر ۱۲۴/۹ میلی متر باشد، بدست آمده است که این نقطه می تواند نقطه ی بهینه مکان قرار گیری ظرف آب شور باشد.
- حداکثر و حداقل نرخ تولید آب شیرین به ترتیب در عمق ۴۸ و ۲۰ میلی متر بوده و در نتیجه عمق آب شور ۴۸ میلی متر داخل ظرف بهترین عمق آب شور به منظور داشتن حداکثر تولید می باشد.
- حداکثر نرخ تولید در شعاع پوشش دایره ای، برابر ۸۰ میلی متر بدست آمده است. که این نقطه می تواند بهترین شعاع پوشش دایره ای به منظور داشتن بیشترین نرخ تولید آب شیرین در نظر گرفته شود.



شکل ۲ مقایسه نرخ تولید آب شیرین توسط حل عددی با نتایج تجربی ایسلام و فوکوها [۴] در ساعات مختلف روز [۱۰]

آب شیرین کن های خورشیدی در شکل های مختلفی مانند دوزنقه ای (شکلی ساده)، لوله ای، کروی و ... ساخته می شوند.

از آنجا که دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) ابزاری قدرتمند برای آنالیز پارامترها، مقاصد تحلیلی و تشخیص می باشد. تاکنون از آن جهت تحلیل و بررسی و فرآیند های انتقال حرارت، جریان سیال درون آب شیرین کن ها و غیره استفاده وسیعی شده است. در ادامه به تحقیقاتی که در این زمینه و با دینامیک سیالات محاسباتی ارائه شده، اشاره می کنیم.

متداولترین مدل مورد استفاده برای محاسبه ضریب انتقال حرارت در آب شیرین کن خورشیدی توسط دانکل [۱] ارائه شده است. امری و ارفی [۲] به تحقیق در مورد یک نوع آب شیرین کن مثلثی پرداخته و نشان دادند که جریان سیال و میزان انتقال حرارت به طور محسوسی به شکل آب شیرین کن و عدد رایلی وابسته بوده و در زاویه ۳۵ درجه بیشترین میزان انتقال حرارت و بالاترین کارایی برای آب شیرین کن بدست می آید.

ایسلام و همکاران [۳] به بررسی انتقال جرم داخل آب شیرین کن پرداخته و نشان دادند که ثابت مدل دانکل همیشه ثابت نبوده و به تغییرات دما وابسته است و با افزایش دمای آب افزایش می یابد. در تحقیق دیگری ایسلام و فوکوها [۴] با موازنه ی جرم و انرژی معادلاتی تئوری ارائه داده و با استفاده از نتایج تجربی، ضرایب انتقال حرارت جابجایی و جرم را برای آب شیرین کن بدست آوردند. آنان همچنین مدل هایی بر حسب اختلاف دما بین سطح گرم و سرد را برای محاسبه ضرایب انتقال حرارت جابجایی و جرم ارائه نمودند.

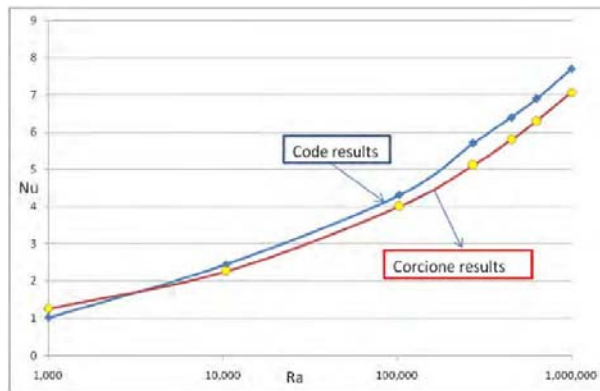
ژی تاویو و دوستانش [۵] نیز به آنالیز عددی انتقال حرارت جابجایی طبیعی آرام داخل محفظه ی دایره ای با یک محفظه مثلثی درون آن به منظور بررسی تاثیر عدد پرناتل بر روی ساختار جریان و انتقال پرداخته و در نهایت مدل هایی را به منظور محاسبه ی نرخ انتقال حرارت متوسط داخل محفظه با توجه به عدد پرناتل و رایلی برای هر دو نسبت ظاهری ارائه داده اند.

احمد اومری [۶] در یک پژوهش برای یک جریان طبیعی در یک محفظه مثلثی نامتقارن به بررسی عددی بهینه سازی ابعاد آب شیرین کن خورشیدی و اثر ابعاد سطوح شیب دار بر روی میدان های دما و دینامیک پرداخته است. ایبان [۷] برای یک جریان دوبعدی و حالت پایدار با مرزهای دما ثابت، کارایی آب شیرین کن را مورد بررسی قرار داده است. نرگس ستوده [۸] در یک مدل سه بعدی دو فاز به بررسی و مقایسه ضریب انتقال حرارت همرفتی و تبخیر حاصل از نتایج تجربی و دینامیک سیالات محاسباتی پرداخته است. همچنین وی در پژوهشی دیگر بررسی اثرات زاویه سطح تقطیر شیب دار بر روی کارکرد آب شیرین کن خورشیدی با استفاده دینامیک سیالات محاسباتی را انجام داده است. در پژوهشی دیگر پایا نیکو لائو [۹] جابجایی طبیعی و انتقال گرما در هوای موجود را در یک آب شیرین کن کارخانه ای نامتقارن به صورت عددی بررسی نموده است.

همانطور که قبلاً اشاره شد، در این گزارش به بررسی کارهای عددی انجام شده روی آب شیرین کن ساده می پردازیم. ولی قبل از بررسی کامل، پارامترهای موثر بر روی آب شیرین کن خورشیدی را به طور کلی بیان می کنیم.

- زاویه و شدت تابش خورشید
- سرعت باد
- دمای هوا
- موقعیت جغرافیایی

استفاده از نتایج بدست آمده رابطه ای برای محاسبه عدد ناسلت بین آب و شیشه ارائه دادند و همچنین به بررسی تاثیر زاویه شیشه و ارتفاع ظرف بر روی ضریب انتقال حرارت جابجایی داخل ظرف پرداخته اند. از یک روش عددی بر مبنای روش حجم محدود جهت گسسته سازی معادلات ناویر استوکس که با معادله انرژی کوپل شده اند، استفاده گردیده است. کد استفاده شده از طریق فرترن و جهت ارتباط بین سرعت و فشار در برنامه از الگوریتم سیمپل استفاده شده است. آب شیرین کن خورشیدی مورد استفاده در این مسئله به صورت دوزنقه ای شکل و سیال مورد نظر هوا و گاز ایده آل در نظر گرفته شده است و همچنین زاویه های مورد نظر ۱۰ تا ۴۵ درجه می باشد. فرضیات در نظر گرفته شده جریان دو بعدی در حالت پایدار و سیال مورد نظر گاز ایده آل تراکم ناپذیر می باشد همچنین خواص سیال را ثابت در نظر گرفته بجز ویسکوزیته که مطابق فرمول ساترلند تابعی از دمای می باشد. دمای آب و شیشه ثابت، دو طرف آب شیرین کن عایق و به علت دما ثابت بودن مرزها، از انتقال حرارت تشعشع صرف نظر شده است. برای اعتبار سنجی نتایج از مقاله آقای کورسیونه [۱۳] استفاده شده است و اختلاف بین کد ارائه شده و تحقیق آقای کورسیونه بسیار جزئی و قابل چشم پوشی می باشد و بیشترین خطا ۱۰٪ می باشد و در شکل ۴ نمودار مقایسه نتایج عدد ناسلت کد و مقاله کورسیونه را مشاهده می کنید.



شکل ۴ نمودار مقایسه نتایج مقاله کورسیونه [۱۳] و عدد ناسلت کد ارائه شده [۱۲]

جهت دستیابی به یک رابطه عمومی برای آب شیرین کن های خورشیدی ساده از اعداد ناسلت محاسبه شده گردیده و توسط رگرسیون خطی چند متغییره یک رابطه برای عدد ناسلت بر حسب زاویه و عدد رایلی بصورت زیر پیشنهاد می گردد :

$$Nu = 1/14 Ra^{0.24} (1 + \sin \theta)^{-2/12} \quad (1)$$

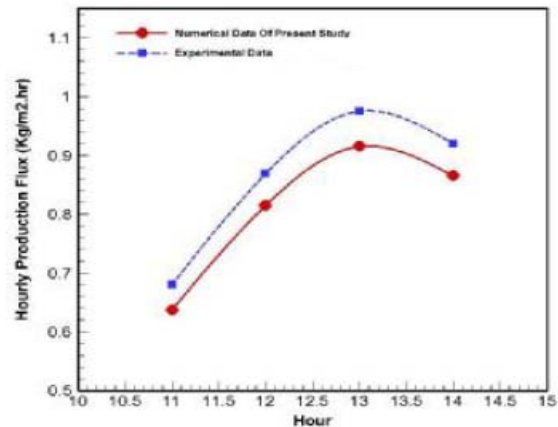
در این مقاله نتایج زیر حاصل شده است:

- افزایش زاویه شیشه آب شیرین کن تاثیر معکوس بر روی ضریب انتقال حرارت داخل محفظه دارد.
- در یک زاویه ثابت، افزایش عدد رایلی (افزایش ارتفاع یا اختلاف دمای شیشه و آب) باعث افزایش ضریب انتقال حرارت داخل آب شیرین کن خواهد شد.
- رابطه ارائه شده می تواند جهت محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی درون محفظه مورد استفاده قرار گیرد.

محمد فلسفی در سال ۱۳۹۴ مقاله ای بنام مدل سازی دستگاه آب شیرین کن خورشیدی و بررسی عددی تاثیر پارامترهای مختلف بهره وری روزانه به چاپ رساند. [۱۴] در آن به بررسی پارامترهایی چون دمای محیط هوا،

احسان فتوحی بافقی، جواد ابوالفضل صافهانی ونادر رهبردر سال ۱۳۹۲ مقاله ای بنام آنالیز عددی آب شیرین کن خورشیدی لوله ای بمنظور بررسی پارامترهای موثر بر روی انتقال جرم و حرارت جابجایی طبیعی درون آن ها به ثبت رساندند. [۱۱] در این مقاله به بررسی تاثیر شرایط دمایی و نسبت ظاهری بر روی انتقال جرم و حرارت جابجایی طبیعی داخل محفظه پرداختند. جریان با جابجایی طبیعی پایدار، آرام، دو بعدی در نظر گرفته و همچنین سیال تراکم ناپذیر می باشد و معادلات حاکم بر این مسئله، معادلات پیوستگی، اندازه حرکت، بقای انرژی و نفوذ جرم در مختصات دکارتی می باشد.

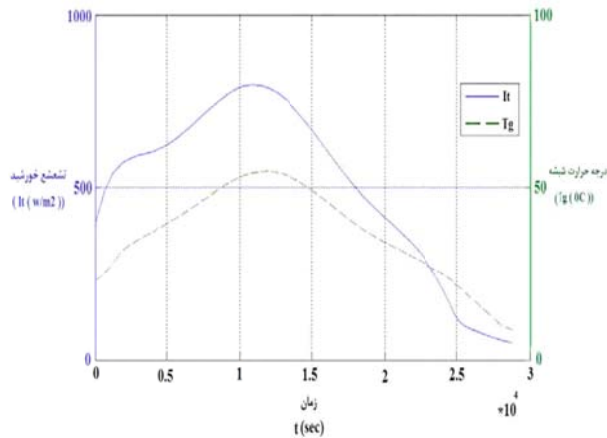
برای حل این معادلات ذکر شده از نرم افزار فلونت ۶،۳،۲۶ به روش محدود استفاده شده و شبکه مورد نظر برای مدل سازی عددی به صورت غیر یکنواخت و مثلثی توسط نرم افزار گمبیت ۲،۴،۶ ایجاد شده است. به منظور اعتبار سازی این تحلیل عددی با نتایج تحقیق تجربی ایسلام و فوکوهارا [۴] مقایسه شده است. مقایسه بین نتایج حل عددی و نتایج تحلیلی برای اختلاف دماهای بین سطح گرم و سرد در ساعات مختلف روز در شکل ۳ نشان داده شده است، که حداکثر خطا بین آن ها ۶٪ می باشد.



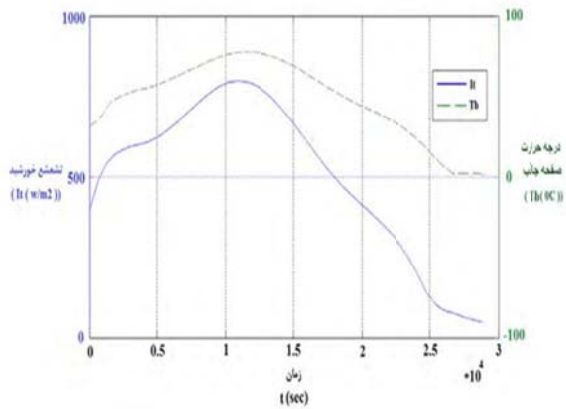
شکل ۳ مقایسه نرخ تولید حل عددی با تحلیل تجربی ایسلام و فوکوهارا [۴] برای ساعات مختلف روز [۱۱]

در این مقاله نتایج زیر حاصل شده است:

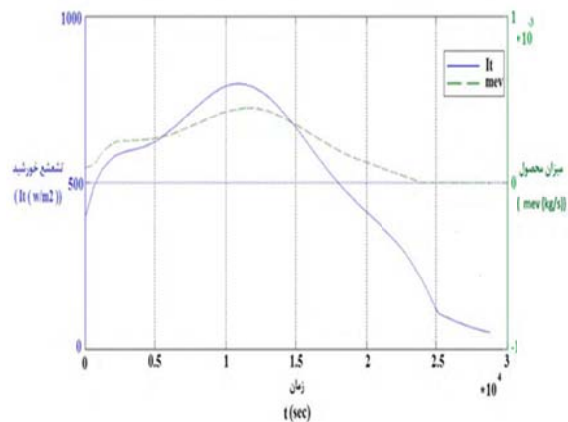
- تحلیل عددی به روش دینامیک سیالات محاسباتی می تواند میزان خروجی آب شیرین کن را با دقت خوبی پیش بینی کند.
- افزایش عدد رایلی، ناشی از افزایش اختلاف دما بین سطوح گرم و سرد و افزایش نسبت ظاهری، منجر به افزایش نرخ متوسط انتقال جرم و حرارت از سطح گرم آب شور به سطح پوشش می شود.
- روند تغییرات نرخ متوسط انتقال جرم و حرارت با افزایش عدد رایلی بسیار به هم شبیه بوده و نرخ انتقال جرم تابعی از نرخ انتقال حرارت می باشد.
- مدل های پیشنهادی به منظور محاسبه ی نرخ متوسط انتقال جرم و حرارت با دقت بسیار خوبی می توانند نتایج عددی را محاسبه نمایند.
- محمد کاظمیان، نادر رهبر، جواد ابوالفضل در سال ۱۳۹۱ مقاله ای بنام تخمین ضریب انتقال حرارت جابجایی درون آب شیرین کن خورشیدی ساده به کمک نرم افزار (CFD) به ثبت رساندند. [۱۲] در این تحقیق به بررسی و مدل سازی جریان سیال درون یک آب شیرین کن خورشیدی پرداختند و با



شکل ۷ تغییرات درجه حرارت شیشه بر حسب تغییرات تشعشع خورشید در زمان های مختلف روز [۱۴]



شکل ۸ تغییرات درجه حرارت صفحه جاذب بر حسب تغییرات تشعشع خورشید در زمان های مختلف روز [۱۴]



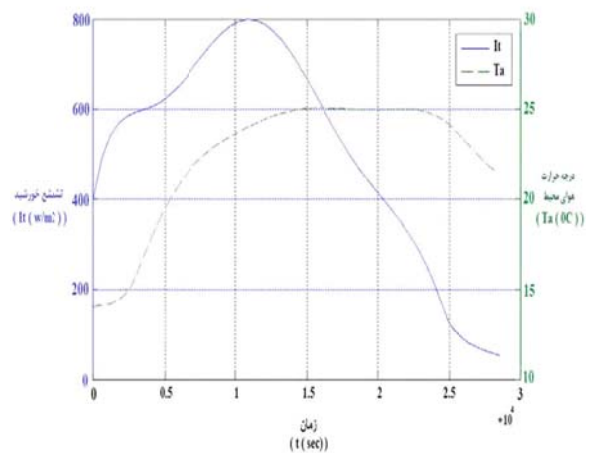
شکل ۹ میزان تاثیر تشعشع خورشید در زمان های مختلف بر میزان محصول [۱۴]

شدت انرژی خورشید و سرعت باد بین دستگاههای تقطیر خورشیدی فعال پرداخته است. در این مقاله از رابطه دانکل [۱] برای ضریب انتقال حرارت جابجایی و از رابطه لونیس [۱۵] برای درجه حرارت کم و از رابطه دافی و همکارانش [۱۶] برای ضریب انتقال حرارت کلی و از روابط (شاپو، حفی، ۲۰۰۸) [۱۷] و (گراتر ۲۰۰۱) [۱۸] برای محاسبه دمای آب و از رابطه گراتر (۲۰۰۱) [۱۸] برای انتقال حرارت همرفت شیشه و از رابطه دافی و همکارانش [۱۶] برای دمای صفحه جاذب استفاده شده است و در نهایت میزان بهره وری و بهره-وری کل را از روابط بدست آورده است.

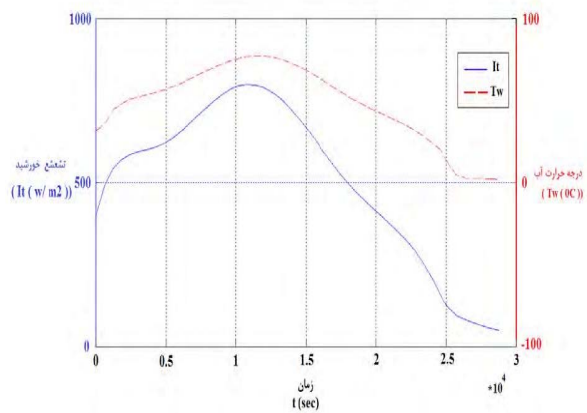
$$m_{ev} = \frac{A_g h_{ev}}{h_{fg}} \times (T_w - T_g) \quad (2)$$

$$\dot{M}_{ev} = \sum_{t=0}^{28800 \text{ sec}} m_{ev} \quad (3)$$

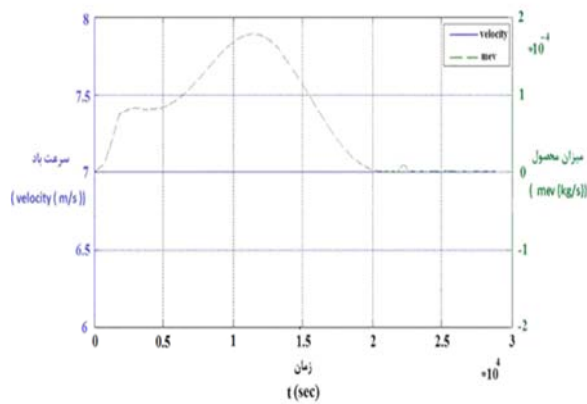
برای درک بهتر، از مطالعه پارامتریک استفاده شده و نتایج به حالت نموداری ارائه شده است، که به صورت زیر مشاهده می کنید :



شکل ۵ تغییرات تشعشع خورشید و درجه حرارت هوای محیط بر حسب زمان [۱۴]



شکل ۶ تغییرات درجه حرارت آب بر حسب تغییرات تشعشع در زمان های مختلف روز [۱۴]

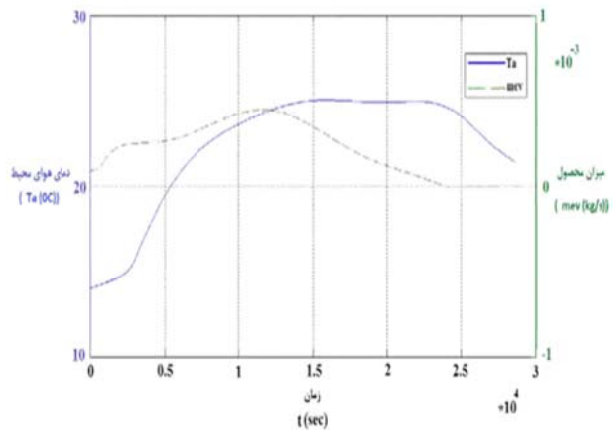


شکل ۱۳ تغییرات میزان محصول نسبت به سرعت باد در سرعت ۷ متر بر ثانیه [۱۴]

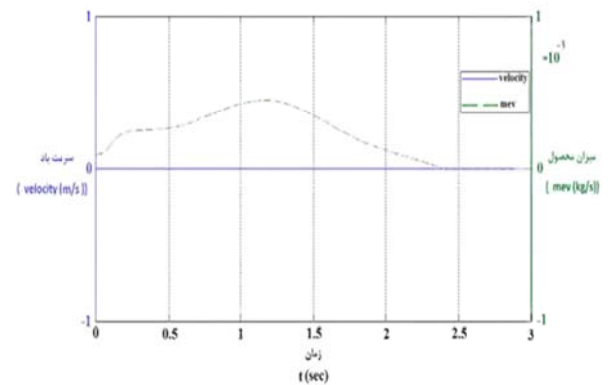
در این تحقیق شرایط هوای محیط متراکم و راکد مقایسه شده است. وقتی افزایش سرعت باد (شکل ۱۲ و ۱۳) داشته باشیم، ضریب انتقال گرمایی همرفتی از پوشش شیشه ای به هوای محیط افزایش می یابد و دمای پوشش شیشه کاهش که افزایش اختلاف دمایی آب و کاور شیشه ای سبب افزایش محصول دستگاه تقطیری خورشیدی می شود و از دیگر نتایج بدست آمده می توان به رابطه مستقیم تشعشع با میزان محصول اشاره کرد. میانگین خطا در برآورد مقادیر محصول ساعت به ساعت با این فرض که هر دو دمای پوشش شیشه ای داخلی و خارجی برابر است با مقایسه مدل حرارتی تجربی (زکی ۱۹۹۲) [۱۹] ۲٪ است.

ندا یوسفی مقاله ای بنام بررسی عددی تاثیر قرارگیری تیغه های عمودی بر ضریب انتقال حرارت جابجایی داخل یک آب شیرین کن خورشیدی ساده به ثبت رساند. [۲۰] در آن با قرار دادن تیغه به ارتفاع ۰/۳ تا ۰/۲۱ متر در آب شیرین کن خورشیدی دوزنقه ای به بررسی اثرات جابجایی طبیعی پرداخت. در این تحقیق تلاش شده است تا با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی به حل عددی جریان سیال درون آب شیرین کن خورشیدی ارائه شده توسط رهبر و ابوالفضلی [۲۱] با قرار دادن یک تیغه در محفظه پرداخته شود و با هدایت و کنترل گردابه های ایجاد شده حاصل از جابجایی طبیعی که از اختلاف دمای بین آب و شیشه ناشی میگردد، افزایش ضریب انتقال حرارت حاصل آید. فرضیات حالت پایدار، جریان آرام و گاز ایده آل تراکم ناپذیر در نظر گرفته و شرایط مرزی برای دیواره های جانبی عایق و برای سطح آب و شیشه دما ثابت می باشد.

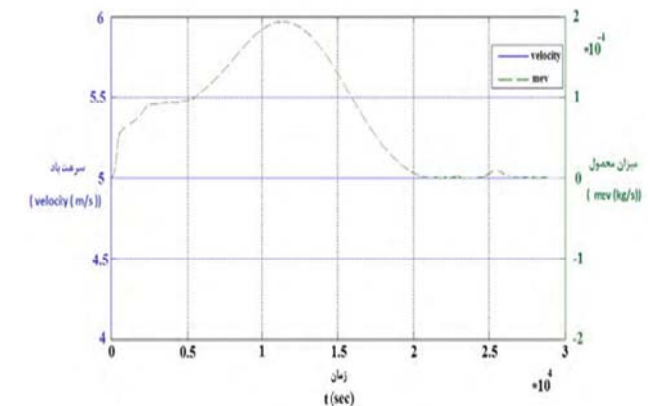
مدل عددی بر اساس الگوریتم سیمپل سی می باشد که برای حل معادلات ممتنم، غلظت و جرم استفاده شده است. به منظور اعتبار سنجی نتایج عددی، از آب شیرین کن خورشیدی تک شیب بدون تیغه، ابوالفضلی و رهبر [۲۱] استفاده شده است. همانطور که گفته شد، در این تحقیق هدف بررسی تاثیر تیغه با ارتفاع مناسب بر عملکرد آب شیرین کن است. ابتدا از تیغه ای برای نمونه استفاده می کنند، ولی ارتفاع تیغه قادر به تقسیم گردابه اصلی به دو گردابه نمی باشد به همین دلیل عدد ناسلت افت قابل توجهی نسبت به حالت بدون تیغه پیدا می کند. در واقع نشان می دهد که عدد ناسلت تابع یکنواختی از ارتفاع تیغه نمی باشد. شکل ۱۴ تاثیر ارتفاع تیغه بر عدد ناسلت را نشان می دهد.



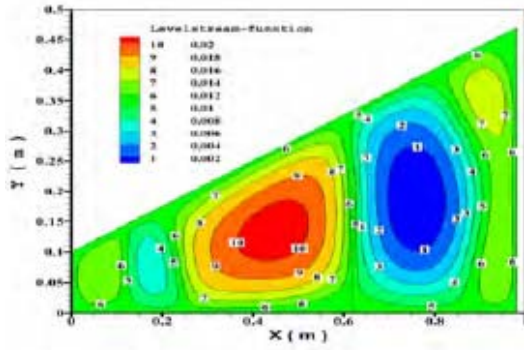
شکل ۱۰ میزان تاثیر دمای هوای محیط در زمان های مختلف بر میزان محصول [۱۴]



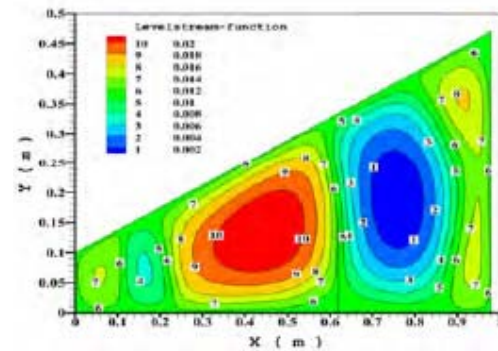
شکل ۱۱ تغییرات میزان محصول نسبت به سرعت باد در سرعت راکد [۱۴]



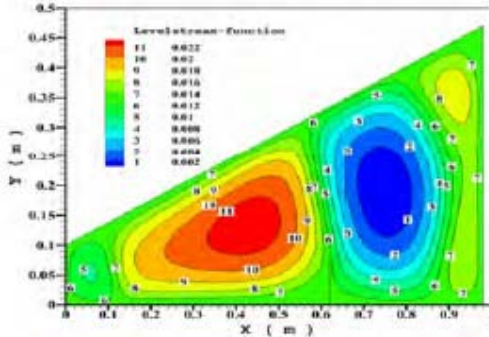
شکل ۱۲ تغییرات میزان محصول نسبت به سرعت باد در سرعت ۵ متر بر ثانیه [۱۴]



شکل ۱۷ نمودار تغییرات تابع جریان در داخل آب شیرین کن خورشیدی ساده با تیغه به ازای ارتفاع ۰/۰۸ متر [۲۰]

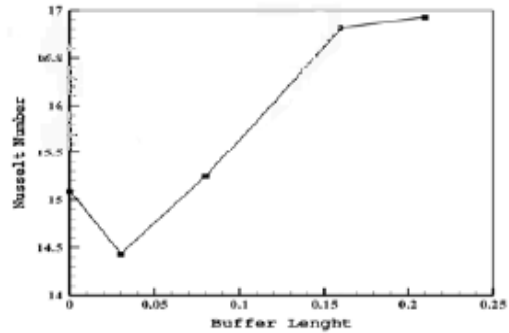


شکل ۱۸ نمودار تغییرات تابع جریان در داخل آب شیرین کن خورشیدی ساده با تیغه به ازای ارتفاع ۰/۱۶ متر [۲۰]



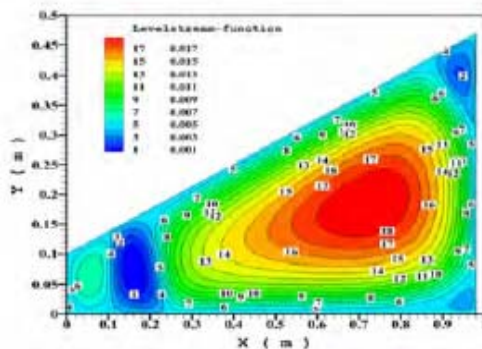
شکل ۱۹ نمودار تغییرات تابع جریان در داخل آب شیرین کن خورشیدی ساده با تیغه به ازای ارتفاع ۰/۲۱ متر [۲۰]

شکل های ۲۰ تا ۲۴ تغییرات دما در داخل آب شیرین کن را به ازای ارتفاع های مختلف تیغه نشان می دهند. بررسی های انجام شده نشان می دهد که نصب تیغه در موقعیت و ارتفاع مناسب، درون گردابه های اصلی که مهمترین نقش را در انتقال حرارت و جرم و در نهایت تولید آب شیرین کن دارا می باشد، باعث می شود جریانهای چرخشی گاهی در دو طرف تیغه حاصل آید که فرصت لازم را برای تبادل حرارت بین سطح گرم و سرد ایجاد می کند. به عبارتی افزایش ارتفاع تیغه موجب افزایش قدرت سلول

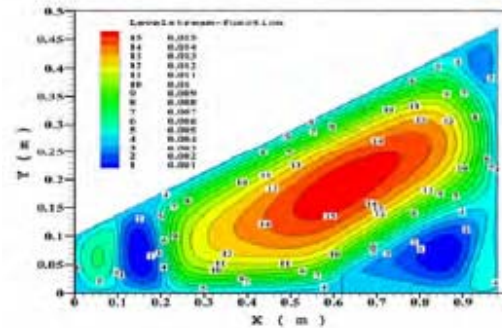


شکل ۱۴ تاثیر ارتفاع تیغه بر عدد ناسلت [۲۰]

همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می کنید، با افزایش ارتفاع تیغه، گردابه اصلی به دو گردابه تبدیل شده و همین کاهش سرعت گردابه ها باعث افزایش عدد ناسلت می شود. در شکل های ۱۵ تا ۱۹ نمودار تغییرات تابع جریان در داخل آب شیرین کن ساده بدون تیغه و با تیغه به ارتفاع های مختلف نمایش داده شده است.

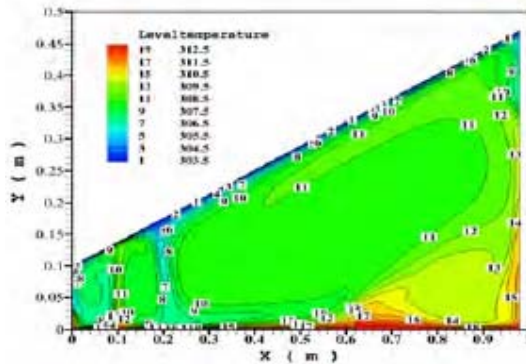


شکل ۱۵ نمودار تغییرات تابع جریان در داخل آب شیرین کن خورشیدی ساده بدون تیغه [۲۰]

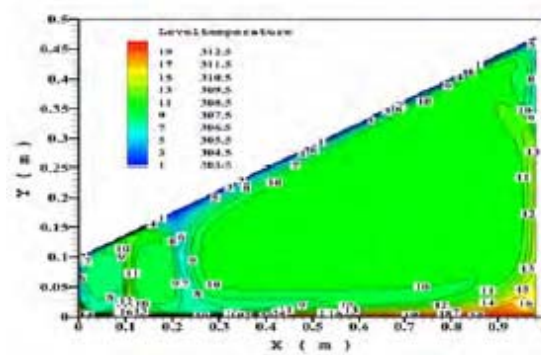


شکل ۱۶ نمودار تغییرات تابع جریان در داخل آب شیرین کن خورشیدی ساده با تیغه به ازای ارتفاع ۰/۳ متر [۲۰]

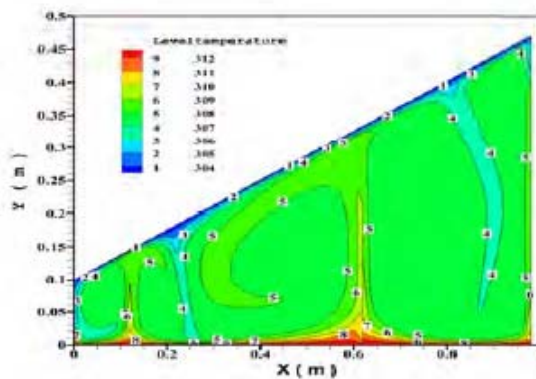
های چرخشی می شود که عدد ناسلت را به طور قابل توجه ای افزایش خواهد داد.



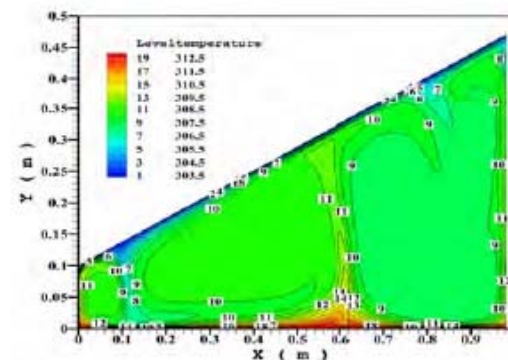
شکل ۲۳ نمودار تغییرات دما در داخل آب شیرین کن خورشیدی ساده با تیغه به ازای ارتفاع ۰/۱۶ متر [۲۰]



شکل ۲۰ نمودار تغییرات دما در داخل آب شیرین کن خورشیدی ساده بدون تیغه [۲۰]



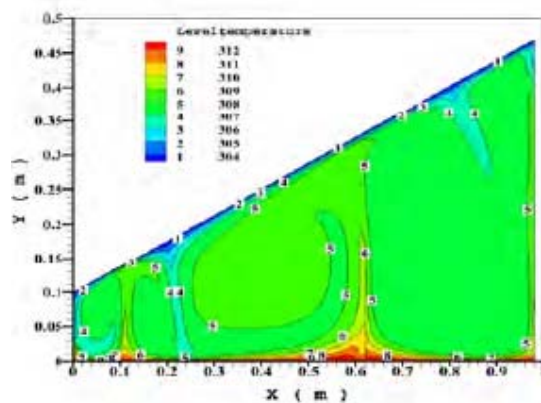
شکل ۲۴ نمودار تغییرات دما در داخل آب شیرین کن خورشیدی ساده با تیغه به ازای ارتفاع ۰/۲۱ متر [۲۰]



شکل ۲۱ نمودار تغییرات دما در داخل آب شیرین کن خورشیدی ساده با تیغه به ازای ارتفاع ۰/۰۳ متر [۲۰]

نادر رهبر، جواد ابوالفضلی اصفهانی، احسان فتوحی بافقی در سال ۲۰۱۵ مقاله ای بنام ارزیابی ضریب انتقال حرارت جابجایی و بهره وری آب با استفاده از آنالیز توری و شبیه سازی عددی در آب شیرین کن خورشیدی لوله ای به ثبت رساندند. [۲۲] هدف از این تحقیق طرح ریزی روش عددی برای مطالعه ساختار سیال و گرما و پدیده انتقال جرم در آب شیرین کن خورشیدی می باشد. علاوه بر این، رابطه ی جدیدی برای شبیه سازی گرما و انتقال جرم در آب شیرین کن خورشیدی پیشنهاد دادند. معادلات حاکم بر این مسئله، بقای جرم، اندازه حرکت، بقای انرژی و غلظت می باشد. برای حل معادلات از نرم افزار آنسیس فلونت ۱۴ و برای محاسبه ی ارتباط بین سرعت و فشار از الگوریتم سیمپل سی استفاده شده است. در این مطالعه آب و کاور شیشه ای و شرایط دیواره ی ظرف آب، دما ثابت در نظر گرفته شده است. به منظور اثبات تحلیل عددی (اعتبار سنجی) از گزارش هندسی داده های تجربی ایسلام و فوکوها را [۴] استفاده شده و حداکثر خطا بین دو مدل ۱۵٪ است.

دما و ضخامت ناحیه متراکم تاثیرات قابل توجهی روی بهره وری آب شیرین کن خورشیدی دارد. شکل ۲۵ تاثیر دمای شیشه بر محصولات ساعتی آب شیرین کن خورشیدی لوله ای را نشان می دهد، که بوسیله معادله (۴) محاسبه شده است.



شکل ۲۲ نمودار تغییرات دما در داخل آب شیرین کن خورشیدی ساده با تیغه به ازای ارتفاع ۰/۰۸ متر [۲۰]

می باشد. در ابتدا محدودیت های از مدل دانکل [۱] ارائه شده که بصورت زیر می باشد:

$$h_{ev} = 0/016273 \times h_c \times \frac{P_w - P_g}{T_w - T_g} \quad (۵)$$

- مدل دانکل مستقل از ابعاد و اندازه است.
- مدل پیشنهادی برای دمای ۵۵ تا ۷۰ درجه سانتی گراد است.
- اختلاف دما بین آب و شیشه ۱۱ درجه سانتی گراد است.
- شیب کاور شیشه ای کم بوده ۱۰ درجه می باشد و همچنین سطح تقطیر و تبخیر تقریباً موازی هستند.
- لوئیس و مالیک [۱۵] معادله ای برای دمای زیر ۵۰ درجه سانتی گراد ارائه دادند:

$$h_{ev} = 0/013 \times h_c \times \frac{P_w - P_g}{T_w - T_g} \quad (۶)$$

کلارک [۲۳] مدل دیگری ارائه داد که درجه کاری آن بیش از ۸۰ درجه سانتی گراد می باشد. ضریب مدل کلارک نصف ضریب مدل دانکل می باشد.

$$h_{ev} = 0/008 \times h_c \times \frac{P_w - P_g}{T_w - T_g} \quad (۷)$$

فرید و شواقفه [۲۴] در نتیجه آزمایشاتی متوجه شدند که مدل دانکل [۱] حدوداً ۳۰٪ تولید اضافی بیش از حد دارد. پیشنهادی را بر اساس مدل های بالک و شیلتون ارائه دادند و با میزان دقت بیشتری در آزمایشات خود توانستند مقدار جذب صفحه را تخمین زده و همچنین مقدار انتقال از طریق شیشه و ضررهایی که سرعت باد دارد را در این مدل دریافتند. میزان صحت و دقت در این مدل بهتر از مدل دانکل می باشد.

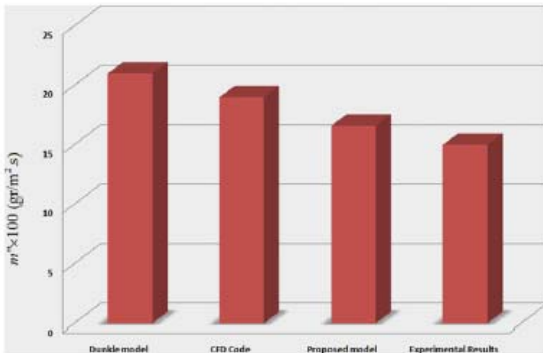
$$Nu_{bm} = 0/057 Ra^{1/3} \quad \text{Bulk - motion model} \quad (۸)$$

$$Nu_{cc} = 0/051 Ra^{1/3} \quad \text{Chilton - colburn} \quad (۹)$$

$$Ra = \frac{\rho^2 g \beta C_p H^3 \Delta T}{k \mu}, \quad H = \frac{(H_1 + H_r)}{2} \quad (۱۰)$$

ضریب انتقال حرارت جابجایی محاسبه شده:

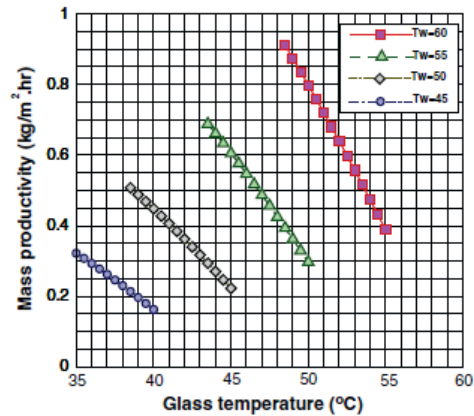
$$h_c = \frac{Nu \times k}{H} \quad (۱۱)$$



شکل ۲۷ مقایسه بین شبیه سازی و نتایج تجربی [۲۱]

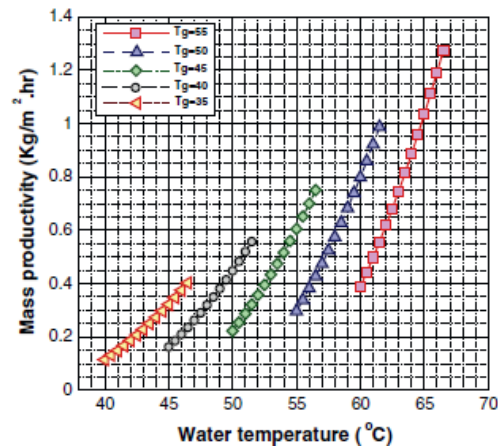
بمنظور اعتبار سنجی کدهای عددی از مدل تجربی فرید و شواقفه [۲۴] و تیواری [۲۵] استفاده شده است. مقایسه بازدهی بین مدل دانکل و کد دینامیک سیالات محاسباتی و مدل پیشنهادی و نتایج تجربی را در نمودار شکل ۲۷ مشاهده می کنید. خطای کد دینامیک سیالات محاسباتی و مدل ارائه شده نسبت به نتایج تجربی به ترتیب ۲۶/۶٪ و ۱۰/۶٪ می باشد. در این مطالعه برای ارزیابی بهره وری آب شیرین کن خورشیدی تک شیب توسط آنالیز تئوری و عددی تلاش شده است. در این راه دو روش،

$$\dot{m}_{ev} = C_1 \times C_2 \times T_i^m \times \frac{(T_w - T_g)}{h_{fg}} \times (\Delta T)^n \quad (۴)$$



شکل ۲۵ تاثیر دمای شیشه بر محصول ساعتی بهره وری جرم [۲۲]

شکل ۲۵ به ما نشان می دهد که دمای شیشه (ضخامت) تاثیر معکوس بر بهره وری آب شیرین کن خورشیدی دارد. شکل ۲۶ تاثیرات مستقیم دمای آب روی محصول ساعتی آب شیرین کن خورشیدی را نشان می دهد.



شکل ۲۶ تاثیر دمای آب بر محصول ساعتی بهره وری جرم [۲۲]

در این مقاله نتایج زیر حاصل شده است:

- جابجایی بین آب و شیشه با دقت ۱۰٪.
- وقتی دمای شیشه ۵ درجه سلسیوس افزایش یابد، بهره وری تقریباً ۲۰٪ کاهش پیدا می کند.
- نتایج نشان می دهد که وقتی دمای آب، فقط ۵ درجه سلسیوس افزایش یابد، بیش از ۲۵٪ افزایش بهره وری داریم.
- همچنین نتایج دینامیک سیالات محاسباتی، بر بیشترین تراکم در محدوده بالای کاور شیشه ای دلالت دارد.

نادر رهبر و جواد ابوالفضلی اصفهانی در سال ۲۰۱۲ مقاله ای بنام آنالیز عددی و نظری تخمین بهره وری آب شیرین کن خورشیدی تک شیب به ثبت رساندند. [۲۱] هدف از این مطالعه، ساختن روند عددی برای مطالعه ساختار سیال و ارزیابی بازده ساعتی آب شیرین کن خورشیدی تک شیب

| | |
|---------------------------|---------|
| تشعشع خورشید | It |
| درجه حرارت صفحه جاذب | T_b |
| درجه حرارت محیط | T_a |
| ضریب انتقال حرارت جابجایی | h_c |
| ارتفاع مخصوص | H |
| ارتفاع چپ دستگاه | H_l |
| ارتفاع راست دستگاه | H_r |
| هدایت حرارتی | K |
| دانسیته | ρ |
| شتاب گرانشی | g |
| گرمای مخصوص | C_p |
| ضریب انبساط | β |
| ویسکوزیته دینامیکی | μ |

۵- تقدیر و تشکر :

از زحمات دکتر حیدری و دکتر رهبر بابت آموزش و راهنمایی در موضوع بهره‌وری آب شیرین کن خورشیدی و نوع نگارش مقاله کمال تشکر را دارم.

۶- مراجع :

- [1] R.Dunkle, (1961) "Solar water distillation; The roof type still and a multiple effect diffusion still, Internat,"Developments in Heat Transfer, ASME, Proc. Internat. Heat Transfer, Part V, University of Colorado, p.895
- [2] A. Omri, J. Orfi, and S. B. Nasrallah, (2005), "natural convection effects In solar stills", Desalination, vol: 183, pp.173-178
- [3] Islam, K.M.S., Fukuhara, T., Asano, F. (2004). "Mass transfer in tubular solar still". Proceeding of the 59th Annual Conference, JSCE Nagoya Japan, pp.236-237
- [4] Islam, K., Fukuhara, T (2007). "Production analysis of a tubular solar still". Doboku Gakkai Ronbunshuu B, Vol. 63, pp. 108-119
- [5] Z.-T. Yu, et al., 2010. "Prandtl Number Dependence of Laminar Natural Convection Heat Transfer in a horizontal Cylindrical Enclosure with an Inner Coaxial Triangular Cylinder". International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.53, pp. 1333-1340.
- [6] A.Omri , Numerical investigation on optimization of a solar distiller dimensions, Desalination 206(2007)373-379
- [7] Berge Djebedj ian, Magdy Abou Rayan, Theoretical investigation on the performance prediction of solar still, Desalination 128(200)139-145
- [8] NarjesSetoodeh, Rahbar Rahimi, Abolhasan Ameri, Modeling and determination of heat transfer coefficient in a nasin solar still using CFD, Desalination 268 (2011)103-110
- [9] E.Papanicolaou, K. Voropoulos, and V. Belessiotis, Natural Convection Heat Transfer in an Asymmetric Greenhouse-Type Solar Still-Effect Of Angle Of Inclination, Numerical Heat Transfer, part A, 42:855-880, 2002
- [10] Ehsan Fotouhi-Bafghi and NaderRahbar and javadabolfazli Esfahani, numerical simulation in a solar still: Effect on productivity, 2013
- [11] Ehsan Fotouhi-Bafghi and javadabolfazli Esfahani NaderRahbar, numerical analysis of heat and mass transfer in a tubular solar still: Effect of parameter, 2012
- [12] mohamad kazemian and Naderrahbar and javadabolfazli Esfahani, Estimation of convective heat transfer coefficient in solar still: the ability of CFD, 2012
- [13] M. Corcione, (2003), "Effects of the thermal boundary conditions at the sidewalls upon natural convection in rectangular enclosures heated from below and cooled from above," International Journal of Thermal Sciences, vol: 42, pp.199-208
- [14] mohamad falsafi, simulation in solar still and numerical analysis of variety effect of parameter in amount of daily effectivity, 2015
- [15] Malik MAS, Tiwari GN, Kumar A, Sodha MS. Solar distillation. Oxford, UK: Pergaman Press; 1982. P. 8-17
- [16] J.A Duffie and W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, New York, 1991.
- [17] Hou Shaobo, Zhang Hefei. A hybrid solar desalination process of the multi effect humidification dehumidification and basin type unit. Desalination 2008 ;220:552-7.

یکی محاسبه دینامیک سیالات محاسباتی و دیگری تشابه آن با تحلیل تجربی شیلتون - کالبرن استفاده شده است. تایید هر دو روش با توجه به نتایج بدست آمد. بعلاوه در این مقاله توانایی آنالیز دینامیک سیالات محاسباتی در بهینه سازی آب شیرین کن خورشیدی تحقیق شد، که می توان در غالب چند نکته نتیجه گیری کرد :

- ارتباط خوبی بین نتایج محاسبه دینامیک سیالات محاسباتی و مدل پیشنهاد شده و مدل چاپی شناخته شده بدست می آید.
- مقدار h_{ev}/h_c بستگی به دمای شیشه و آب دارد.
- بازدهی در مدل دینامیک سیالات محاسباتی بین مدل های بالک و شیلتون قرار دارد.
- در طول ثابت برای آب شیرین کن خورشیدی، افزایش بازدهی وقتی صورت می گیرد که کاهش ارتفاع مخصوص داشته باشیم.
- روند بازدهی آب همیشه شبیه روند ضریب انتقال حرارت جابجایی است.

۳- جمع بندی :

دستگاه آب شیرین کن خورشیدی هر چند از لحاظ اقتصادی برای انبوه-سازی توجیحی ندارد، ولی برای مناطقی که مصارف کمی دارند دارای ارزش بسیار زیادی می باشد. محققان برای افزایش بهره‌وری دستگاه مقالات بسیاری ارائه دادند. در این تحقیق سعی کردیم که اکثر پارامترهای موثر بر بازدهی آب شیرین کن خورشیدی را مورد بررسی قرار داده باشیم. مواردی چون :

- هندسه شکل
 - عمق آب شور
 - فاصله بین کف و پوشش شیشه ای
 - شعاع پوشش دایره ای
 - افزایش عدد رایلی
 - زاویه کاور شیشه ای
 - نصب تیغه در موقعیت و ارتفاع مناسب
 - سرعت باد
 - انرژی تشعشعی خورشید
 - نسبت ظاهری
 - افزایش عدد ناسلت
 - دمای آب شور
- هدف از نگارش این تحقیق نشان دادن اهمیت آب شیرین کن خورشیدی در زندگی انسان در مقابل کمبود آب آشامیدنی می باشد.

۴- فهرست علائم :

| | |
|--------------------------------|----------------|
| عدد ناسلت | Nu |
| عدد رایلی | Ra |
| میزان محصول (نرخ جرم بخار آب) | \dot{m}_{ev} |
| محصول کل | \dot{M}_{ev} |
| سطح مقطع شیشه | A_g |
| ضریب انتقال حرارت بخار آب | h_{ev} |
| گرمای نهان تبخیر | h_{fg} |
| درجه حرارت آب | T_w |
| درجه حرارت شیشه | T_g |

- [18] Friedar Grater, Michal Durrbeck, Jurgen Rheinlander. Multi-effect for hybrid solar/fossil desalination of sea and brackish water. *Desalination* 2001; 138:111-9.
- [19] G.M.Zaki, A. Al-Turki and M. Al-Fatani, Experimental investigation on concentrator assisted solar stills, *solar Energy*, 11 (1992) 193-199.
- [20] Neda yousefi and javadabolfazli Esfahani and Naderrahbar, numerical analysis of heat and mass transfer in a solar still: Effect of the vertical blade, 2013
- [21] NaderRahbar and javadabolfazli Esfahani, Estimation of convective heat transfer coefficient in a single-slope still: a numerical study, *Desalination and Water Treatment* 2012, 50(1-3):387-96
- [22] NaderRahbar and javadabolfazli Esfahani and ehsan Fotouhi-Bafghi, estimation of convective heat transfer coefficient and water-productivity in a tubular solar still-cfd simulation and theoretical analysis 2015,(314-22)
- [23] Clark JA. The steady-state performance of a solar still. *Solar Energy* 1990; 44(1):43-9.
- [24] Shawagfeh AT, Farid MM, New development in the theory of heat and mass transfer in solar still. *Solar Energy* 1995 ; 55(6):527-35.
- [25] Tiwari GN, Minocha A, Sharma PB, Emran Khan M. Simulation of convective mass transfer in a solar distillation process. *Energy Conversion and Management* 1997 ;38(8):761-70.