

# ساخت و بررسی تجربی اثر خنک کننده موضعی در بهبود کارایی آب شیرین کن های خورشیدی

مهدی آریا فر<sup>۱</sup>، هادی کارگر شریف آباد<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

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

\* سمنان، صندوق پستی ۳۵۱۹۸۱۳۳۶۳ h.kargar@semnaniu.ac.ir

## چکیده

مناطق گسترده‌ای از جهان با توجه به ویژگی‌های مطلوب و دارای توسعه با کمبود آب شیرین مواجه هستند در حال حاضر در مناطق خشکی که در مقیاس بزرگ توسعه اتفاق افتاده است مانند بخش‌هایی از شمال آفریقا و خاورمیانه، برای تولید آب شیرین بوسیله آب شیرین کن‌ها به انرژی زیادی نیاز دارند مطالعات و تحقیقات زیادی جهت توسعه آب شیرین کن‌های خورشیدی توسط انرژی خورشیدی در حال انجام می‌باشد. با هدف شناسایی چالش‌های فنی کلیدی و فرصت‌های بالقوه انرژی خورشیدی، انواع فن‌آوری‌ها برای دریافت بهینه انرژی خورشیدی و همچنین فن‌آوری‌های مختلف برای سیستم آب شیرین کن خورشیدی شامل فن‌های پیشرفته برای احیای انرژی موردبررسی قرار گرفته است؛ بنابراین نتیجه می‌گیریم که توسعه دستگاه‌های آب شیرین کن خورشیدی مقرون به صرفه و با انرژی کارآمد در آینده نزدیک ممکن است زمینه‌ای برای تأمین آب مناطق کویری جهان شود. در این تحقیق اثر خنک کننده آبی با دو حالت: آب شیرین کن ساده (غیرفعال) و آب شیرین کن با نصب خنک کننده آبی (فعال) از لحاظ آزمایش میزان تولید روزانه موردبررسی و مقایسه قرار گرفته است. آزمایش در ماه آگوست (مرداد) در مختصات جغرافیایی (N:35° 34', E: 53° 22') انجام گرفته و بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود بیشینه نرخ تولید آب شیرین غیرفعال به ۰,۲۶ (kg/m<sup>2</sup>) در ساعت رسید. همچنین میزان راندمان روزانه حالت غیرفعال از ۱,۰۳۵ (kg/m<sup>2</sup>.day) به روزانه ۱,۵۳۰ (kg/m<sup>2</sup>) در حالت فعال رسید.

## کلیدواژگان

آب شیرین کن خورشیدی، خنک کننده آبی، آب شیرین

## Construction and Experimental Investigation of local cooling to improve the efficiency of solar desalination

Mahdi Aryafar<sup>1</sup>, Hadi Kargar Sharif Abad<sup>2\*</sup>

1- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Semnan, Iran.

2- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

\* P.O.B. 3519813363 Semnan, Iran, h.kargar@semnaniu.ac.ir

## Abstract

Due to the favorable properties of wide regions of the world and has developed a shortage of fresh water in dry areas that already face large-scale development has occurred Such as parts of North Africa and the Middle East, to produce fresh water by desalination to need a lot of energy and a lot of research studies for the development of solar desalination is being done by solar energy With the aim of identifying key technical challenges and potential opportunities for solar energy, A variety of technologies for the optimum amount of solar energy as well as various technologies for solar desalination system includes advanced technique for restoring energy is studied we conclude that the development of solar desalination system for cost-effective and energy-efficient in the near future may be grounds for water supply desert regions of the world. The effects of water cooling with two modes: simple desalination (passive) by installing cooling and desalination of water (active) examined and compared in terms of daily production has been tested. Tests in August (August) in geographical coordinates (N:35°34',E:53°22') carried on the basis of the results observed maximum production rate freshwater disabled 0.26 (kg / m<sup>2</sup>) per hour. Moreover, the daily output disable mode of 1.035 (kg / m<sup>2</sup>.day) daily 1.530 (kg / m<sup>2</sup>) reached in active mode.

## Keywords

Solar desalination, water cooling, fresh water

## ۱- مقدمه

درصد از آب جهان در دریاها وجود دارد با اهداف تبدیل آب شور به آب شیرین با فن‌آوری‌های مختلف که در میان آن‌ها تقطیر آب بوسیله انرژی خورشیدی مورد توجه قرار داد با توجه به اینکه انرژی خورشیدی بصورت فراوان و پایدار و بدون آلودگی و در دسترس می‌باشد ساده‌ترین راه برای دستیابی به آب شیرین تقطیر بوسیله انرژی خورشیدی می‌باشد که این انرژی ارزان، نیاز به نگهداری کم و دارای بهره‌وری کم هستند [۱]. به تازگی برای ساخت انواع مختلف آب شیرین کن‌ها برای افزایش کارایی و بهره‌وری بوسیله

نزدیک به ۵۰ کشور با توجه به روند گرم شدن زمین و کم شدن آب‌های زیرزمینی تا سال ۲۰۲۵ با بحران کم‌آبی روبرو خواهند شد یکی از چالش‌های اصلی جهان کمبود آب شیرین می‌باشد. آب آشامیدنی نه تنها برای زندگی بلکه برای اهداف صنعتی و کشاورزی مهم می‌باشد با توجه به اینکه بیش از ۷۵ درصد از کره زمین را آب فراگرفته است تنها ۱۴ درصد از آن برای موجودات و انسان‌ها قابل استفاده است، از طرف دیگر با توجه به اینکه ۹۷,۵

آزمایش دریافتند که با افزایش دمای ورودی و دمای محیط افزایش میزان تولید ۲۰٪ و ۳۰٪ به ترتیب برای حالت‌های غیرفعال و فعال خواهیم داشت. با افزایش دمای ورودی، تولید محفظه بالایی زیاد شده ولی تولید در محفظه پایین به علت کاهش اختلاف دما بین شیشه و آب کم می‌شود [۱۲]. نتایج آزمایش تیواری و شارما<sup>۴</sup> بر روی دستگاه با مبدل حرارتی نشان می‌دهد افزایش ۳۰٪ در حالت فعال به خاطر شار جریان بر روی محفظه بالایی وجود دارد و نیز با افزایش طول مبدل افزایش کلی در بازده خواهیم داشت [۱۳]. نتایج آزمایش تیواری و سان جی و کومار<sup>۵</sup> نشان می‌دهد تولید بیشتر از محفظه داخلی با ماکزیمم  $3.34 \text{ (kg/m}^2\text{h)}$  در ظهر به خاطر دمای  $95^\circ\text{C}$  در آن زمان است. با افزایش جرم آب، دمای آب محفظه پایینی کمتر شده در نتیجه تولید و عملکرد را پایین می‌آورد. تولید روزانه با افزایش مساحت کلکتور افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش مساحت کلکتور گرمای ورودی به محفظه زیاد می‌شود [۱۴]. نتایج مطالعات سانجی کومار<sup>۶</sup> و تیواری بر روی کفه یگانه و دوگانه نشان می‌دهد که یک دستگاه فعال با جریان آب روی شیشه بیشترین خروجی را دارد. دستگاه با تأثیر دوگانه به خاطر شار جریان کم بر روی شیشه  $10 \text{ (ml/min)}$  بهبود چندانی در تولید روزانه انجام نمی‌دهد. آن‌ها آزمایش‌هایی برای تخمین انتقال جرم جابجایی بر روی آب‌شیرین‌کن فعال انجام دادند [۱۵]. بچیر چائوچی<sup>۷</sup> و همکاران یک آب‌شیرین‌کن خورشیدی کوچک مجهز به متمرکز کننده سهموی را طراحی کرده و ساخته است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین بازدهی مربوط به بیشترین دریافت تابش خورشیدی در ساعت ۲ بعدازظهر است. در این ساعت مخزن تولید بخار در حالت افقی است که سطح انتقال حرارت را بیشتر می‌کند [۱۶]. سولامن<sup>۸</sup> [۱۷] بررسی کرد که خروجی آب تمیز با کاهش زاویه شیشه افزایش می‌یابد و سپس از ۶۰ تا ۷۵ درجه نرخ تبخیر سیر نزولی را طی می‌کند تیواری و توماس<sup>۹</sup> [۱۸] بررسی کردند که در روزهای سرد افزایش زاویه‌ی شیشه موجب افزایش تولید آب تمیز و در روزهای گرم افزایش شیب شیشه موجب کاهش میزان تولید آب تمیز می‌گردد. تغییر در زاویه‌ی شیشه موجب دگرگونی در درون شیشه تا سطح آب‌شور نیز می‌گردد. بنابراین باید تلاش نمود تا حد ممکن کمترین فاصله بین شیشه تا سطح آب‌شور گزینش نمود تا فضای درون محفظه به گونه‌ی کامل از بخار اشباع گردد.

شفیعی و همکاران [۱۹] از لوله‌های حرارتی ترموسیفونی جهت آب‌شیرین‌کن مورد آزمایش قراردادند که آن‌ها دریافتند که بیشینه میزان تولید آب شیرین  $1.02 \text{ (kg/m}^2\text{h)}$  و راندمان ۲۳٪ به دست آوردند. آن‌ها همچنین بهترین جنس پوشش روی مخزن در مقایسه با پوشش‌های دیگر پس از آزمایش، شیشه تعیین نمودند. همچنین با آزمایش روی عمق آب‌شور از ۱ تا ۵ سانتی‌متر، در عمق ۲ سانتی‌متری بیشترین میزان تولید آب شیرین اتفاق افتاد. بدران<sup>۱۰</sup> و همکاران [۲۰] آزمایش‌هایی بر روی بهبود آب‌شیرین‌کن با کلکتور تخت با آب معمولی و آب‌شور انجام داده‌اند. آن‌ها دریافتند تولید با استفاده از آب ساده ۲۳٪ و با آب‌شور ۵۰٪ بهبود می‌یابد. تیریس<sup>۱۱</sup> و همکاران [۲۱] آزمایش‌هایی را روی آب‌شیرین‌کن مخزنی با دو کلکتور تخت کوپل شده انجام داده‌اند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این نوع

تقطیر خورشیدی آزمایش‌های زیادی انجام شده است.

دستگاه‌های تقطیر خورشیدی عمدتاً به دودسته فعال و غیرفعال طبقه‌بندی می‌شوند در دستگاه تقطیر خورشیدی غیرفعال تنها پارامتر استفاده از انرژی خورشیدی می‌باشد ولی در دستگاه‌های فعال علاوه بر انرژی خورشیدی علاوه بر انرژی خورشیدی اضافی مانند فن [۲]، پمپ [۳]، در تبخیر و افزایش درجه حرارت آب تأثیر دارند. فن‌آوری خنک‌کننده و آب‌شیرین‌کن تنها نیاز به مقدار زیادی انرژی جهت خنک‌کنندگی سطح دستگاه و تولید آب شیرین دارد. ترکیب این سیستم به نظر جذاب می‌رسد که نه تنها به کاهش میزان مصرف انرژی و انعطاف‌پذیری بیشتر در کار بلکه برای ملاحظات زیست‌محیطی تأثیرگذار خواهد بود. علاوه بر این، با استفاده از انرژی خورشیدی ترکیب این سیستم با دستگاه آب شیرین جالب به نظر می‌رسد [۴]. هم‌اکنون ۱۴۴۵۱ واحد آب شیرین‌سازی در دنیا وجود دارد که میزان تولید آب شیرین حاصل از آن‌ها برابر شصت میلیون لیتر در روز می‌باشد که با افزایش تعداد آب‌شیرین‌کن‌ها تا سال ۲۰۲۰، تولید ۱۲۰ میلیون مترمکعب در روز آب شیرین پیش‌بینی شده است [۵]. از آنجا که این نوع آب‌شیرین‌کن‌ها با سوخت فسیلی کار می‌کنند علاوه بر بالا بودن هزینه‌های سوخت، مشکل آلودگی محیط‌زیست را نیز به همراه دارد که در این خصوص استفاده از انرژی پاک خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت. یک منبع انرژی مناسب برای تولید آب شیرین از آب‌شور به‌ویژه در بسیاری از کشورهای آفریقایی و آسیایی، منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا که در آب‌وهوای نیمه‌خشک و آفتابی قرار گرفته‌اند می‌توان از انرژی خورشیدی به‌عنوان یک انرژی پاک مورد استفاده قرارداد [۶]. از آنجایی که بیشتر مناطق کشورمان نواحی خشک تشکیل شده است لذا استفاده از آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی باران‌دمان بالا، مفید می‌باشد. همچنین مسئولین اجرایی کشور می‌توانند جهت تحقق نیازمندی‌ها از این پروژه‌ها با توجه به استفاده از انرژی خورشیدی بخصوص در نواحی گرم و خشک بهره‌گیرند. از جمله ابزارهای مورد استفاده، دستگاه خنک‌کننده آبی جهت افزایش راندمان دستگاه جهت تولید آب شیرین می‌باشد [۷].

## ۱-۲- مروری بر کارهای انجام‌شده و مراجع

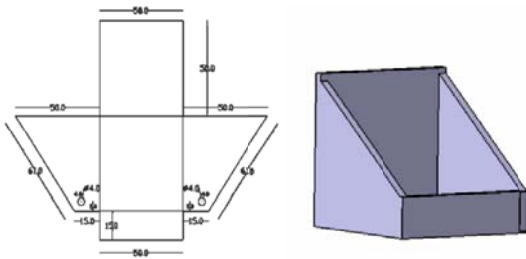
سان جو و کامر<sup>۱</sup> مشاهده کردند که دمای آب و بازده گرمایی با افزایش مساحت مخزن کاهش می‌یابد که به خاطر ظرفیت گرمایی بالای آب و عمق آب می‌باشد. با افزایش تعداد کلکتورها تولید زیاد شده است. مشاهدات نشان می‌دهد که  $8 \text{ m}^2$  کلکتور بهینه می‌باشد و بیشتر از آن دستگاه دوباره عملکرد بهتری نشان نمی‌دهد [۸]. تیواری و همکاران استنباط کردند که ضریب انتقال حرارت داخلی، با استفاده از دمای داخلی پوشش شیشه‌ای برای حالت فعال و غیرفعال باید به دست آید. این ضریب اساساً به شکل پوشش، مواد سازنده پوشش و اختلاف دمای پوشش و آب مخزن بستگی دارد [۹]. بر پایه محاسبات عددی تیواری و سینک<sup>۲</sup> دریافتند که ماکزیمم تولید سالیانه در حالت زاویه پوشش برابر با عرض جغرافیایی و زاویه کلکتور برابر با  $28/58^\circ$  برای زاویه پوشش  $18/58^\circ$  برای دهلی‌نو باشد [۱۰]. استفاده از روش ترموسیفون واقعی‌تر، ساده‌تر و به‌صرفه‌تر از چرخش اجباری است. نتایج آزمایش‌های تیواری نشان می‌دهد که بازده آب‌شیرین‌کن فعال کمتر از آب‌شیرین‌کن ساده است و نیز تولید روزانه دستگاه با افزایش عمق آب کاهش می‌یابد. درحالی‌که این مسئله برعکس است [۱۱]. لارنس و تیواری<sup>۳</sup> از طریق

4. Sharma  
5. Kumar Sanjeev  
6. Sunjay Kumar  
7. Bechir Chaouchi  
8. S. Solaiman  
9. Thomas  
10. Ali A Bardan  
11. Tiris

1. Sanjeev Kamer  
2. Singh  
3. Lawrence

## ۲-۱- مخزن آب‌شیرین‌کن خورشیدی

ظرف آب‌شیرین‌کن خورشیدی ساخته‌شده با ورق از جنس گالوانیزه به ابعاد  $50 \times 50$  سانتی‌متر ساخته‌شده است و به‌وسیله جوش و چسب‌های آب‌بندی، آب‌بندی‌شده است و به جهت جلوگیری از اتلاف حرارتی از ظرف مخزن، مخزن بزرگ‌تر دیگری ساخته‌شده و دو مخزن درون هم به فاصله ۲ سانتیمتر از هر طرف قرار گرفته‌اند فضای مابین دو مخزن به دلیل جلوگیری بیشتر از اتلاف حرارتی با عایق حرارتی فوم پلی اورتان پر شده است، به جهت هدایت آب تقطیرشده از داخل ظرف به بیرون از ظرف ناودانی‌هایی نصب‌شده است که آب‌های حاصل از تقطیر به یک نقطه خروجی هدایت می‌شوند. شیب قاب متصل روی مخزن جهت نصب شیشه ۳۵ درجه بر اساس عرض جغرافیایی سمنان می‌باشد؛ که در شکل ۱ نشان داده‌شده است.



شکل ۱ نقشه اولیه و مخزن ساخته‌شده آب‌شیرین‌کن خورشیدی

## ۲-۲- خنک‌کننده آبی:

روش برای خنک کردن قطعات و تجهیزات صنعتی است که در آن از آب برای انتقال گرما به بیرون از دستگاه‌ها استفاده می‌شود. خنک‌کنندگی آبی بر پایه اصل همرفت طبیعی عمل می‌کند. بدین ترتیب که گرما همیشه از جسم گرم‌تر به جسم سردتر جریان می‌یابد. هرچه جسم سردتر گرما دریافت می‌کند و گرم می‌شود، به همان شکل هم جسم گرم‌تر گرما از دست می‌دهد و خنک‌تر می‌شود. خنک‌کنندگی با مایع چیز عجیبی نیست و یک فرآیند رایج است. طبق قانون گفته‌شده، آب گرم‌تر می‌شود و قطعات موتور سردتر. سپس این آب از موتور به سمت رادیاتور یا همان سردکن که از چند لوله و پره تشکیل شده و سطح بیرونی آن وسیع است جریان می‌یابد. در این مرحله گرما از آب به رادیاتور انتقال پیدا می‌کند و آب خنک‌تر می‌شود و رادیاتور گرم‌تر. مرحله‌ی بعدی مربوط به رادیاتور است که باید گرمای جذب‌شده را به‌وسیله فن‌ها به بیرون هدایت کند تا بتواند در چرخه‌ی بعدی، گرمای آب را دریافت کند. این چرخه همین‌طور ادامه پیدا می‌کند تا سیستم خنک‌کنندگی تحقق یابد. لازم است این نکته را بدانید که رسانندگی گرمایی آب بیش‌تر از هواست و می‌تواند گرما را سریع‌تر انتقال دهد. از سامانه‌های خنک کاری آبی معمولاً برای خنک کردن موتور خودروها به‌وسیله رادیاتور و در صنایع بزرگ برای خنک‌سازی تجهیزات نیروگاه‌های بخار، مولدهای برق‌آبی، پالایشگاه‌ها و کارخانه‌های شیمیایی بهره می‌گیرند. از دیگر کاربردهای این‌گونه سامانه‌ها می‌توان به خنک کردن قطعات رایانه اشاره کرد. مزیت به کار بردن خنک کاری آبی بر خنک کاری با هوا این است که آب نسبت به هوا ظرفیت گرمایی ویژه بالاتری دارد و چگالی و رسانندگی گرمایی آن نیز بیشتر است. این باعث می‌شود تا آب گرما را در مسافت‌های بیشتری جابجا کند و درعین حال جریان حجمی بسیار کمتر و تفاوت‌های گرمایی کمتری را پدید آورد. در این شکی نیست که فرآیند خنک‌سازی با استفاده از جریان سیال آب در حال حاضر یکی از پرکاربردترین و درعین حال مرسوم‌ترین

آب‌شیرین‌کن ۱۰٪ بهبود در تولید نسبت به مدل ساده آن دارد. نتایج آزمایش‌های بردان و ال-تاهانیش<sup>۱۲</sup> [۲۲] می‌دهد بیشینه نرخ تولید برای کمترین عمق آب ۲cm است. در آزمایش‌های انجام‌شده توسط کارگر و همکاران [۲۳] که بر روی آب‌شیرین‌کن خورشیدی با لوله‌های حرارتی نوسانی صورت گرفته است، بیشینه میزان تولید آب برای حالت غیرفعال  $0.5 \text{ (kg/m}^2\cdot\text{h)}$  و برای حالت فعال  $0.875 \text{ (kg/m}^2\cdot\text{h)}$  بین ساعت ۱۲:۳۰ تا ۱۳:۳۰ ظهر دیده می‌شود که همگام با بیشینه شدت پرتو خورشید می‌باشد. تحقیق دیگر آن‌ها بر روی تأثیر عمق آب بوده است و بالاترین نرخ تولید در عمق یک سانتیمتر اتفاق افتاده است. افزایش عمق آب، تولید را به دلیل ظرفیت گرمایی ویژه بالای آب، کاهش می‌دهد. این نتیجه با دستاوردهای دیگر محققان همخوانی دارد. راجش و تریپانی<sup>۱۳</sup> [۲۴] دریافتند که ضریب انتقال حرارت جابجایی بین سطح داخل شیشه و آب به عمق آب بستگی زیادی دارد. همچنین مشاهده شد که تولید برای عمق‌های بالا مثل ۰/۱ یا ۰/۱۵ متر در ساعتی که تابش خورشید نداشته‌اند بیشتر از زمانی است که تابش انجام‌شده است. در آب‌شیرین‌کن خورشیدی عایق دیواره‌ها و کف مخزن نیز یکی از پارامترهای مهمی است که در صورت افزایش سطح، عملکرد کاهش می‌یابد. آزمایش‌های تیواری و دین نشان می‌دهد که تنها ۱۲٪ بهبود در تولید به وجود می‌آید. با افزایش طول مبدل از ۶ به ۱۲ متر، بازده کل از ۱۵٪ به ۱۹٪ افزایش می‌یابد [۲۵].

## ۲- ساخت دستگاه آزمایش

قسمت‌های دستگاه‌هایی که اغلب برای تولید آب شیرین با استفاده از انرژی خورشیدی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، به این شرح است:

\* یک تشتک کم‌عمق که کف آن کاملاً سیاه شده و روی آن توسط جسم شفاف، مانند شیشه، پوشیده شده است. جسم شفاف ممکن است از جنس پلاستیک هم باشد.

\* پوشش شیشه یا پلاستیک را به این دلیل روی تشتک قرار می‌دهند که هوای مرطوب شده در تشتک، نتواند از آن خارج شود. به‌علاوه از سطح آن که با هوای خارج در تماس است، به‌عنوان سطح تقطیرکننده استفاده شود. این پوشش شفاف (شیشه و غیره) باید طوری قرار گیرد که اولاً کاملاً آب‌بند باشد و از نفوذ حرارت به خارج جلوگیری کند و در ثانی، شیب آن طوری باشد که قطره‌های آب بر اثر نیروی ثقل به قسمت جمع‌کننده بلغزد و آن قدر باشد که قطره، دوباره به تشکیلات برگردد.

\* تشتک واحدهای خورشیدی را می‌توان از جنس موادی چون چوب، سیمان، پلاستیک یا فلز ساخت. سطح پوشش (شیشه یا دیگر ماده شفاف) باید در حال به‌قدر کافی سرد باشد تا بخار را تقطیر کند.

\* بر اثر تشعشع خورشید، آب داخل تشتک گرم می‌شود و بخار حاصل از آن، روی سطح زیرین شیشه، در نتیجه تماس سطح بالایی به نسبت سرد آن در خارج، به قطره‌های آب (کندانس) تبدیل می‌شود که از همان زیر شیشه (سطح زیرین) به‌طرف قسمتی که برای جمع‌آوری آب شیرین کار گذاشته‌شده است حرکت می‌کند.

بنابراین به کار بردن این روش برای تهیه آب شیرین به مقدار زیاد و برای شبکه زیاد یک منطقه امکان‌پذیر نیست. در ضمن از مسائل و دیگر ضعف‌های این دستگاه‌ها، آسیب‌پذیری آن‌ها در مقابل عوامل جوی ماند باد و توفان است.

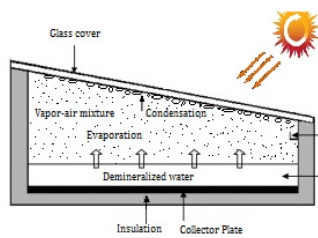
12. Al-Tahainesh  
13. Rajesh and Trypaty

### ۳- آزمایش‌ها:

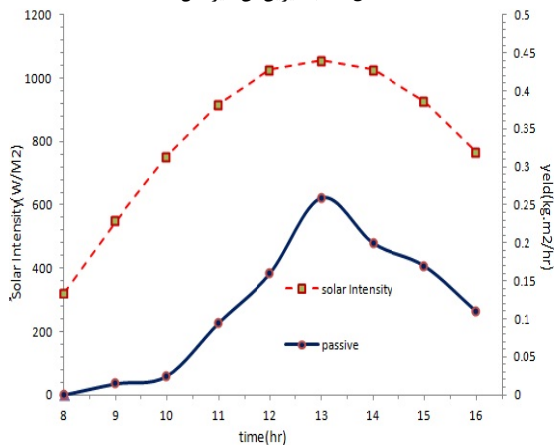
دستگاه آب‌شیرین‌کن خورشیدی در دو حالت دستگاه غیرفعال و فعال به‌طور جداگانه مورد آزمایش قرار گرفته است که در ذیل موارد آزمایش توضیح داده می‌شود.

#### ۳-۱- آب‌شیرین‌کن حالت غیرفعال:

آب‌شیرین‌کن غیرفعال همان آب‌شیرین‌کن ساده است که آب تا ارتفاع ۲ سانتیمتری درون مخزن پر شده است. پس از گذشت زمانی در حدود نیم ساعت آب شروع به تبخیر می‌کند. بیشینه نرخ تولید در حالت غیرفعال بین ساعت ۱۳ تا ۱۴ بعدازظهر دیده می‌شود که هم‌زمان با بیشینه شدت تابش خورشید است. شدت کمتر پرتوی خورشید در ابتدای روز به تولید کمتر منجر خواهد شد. همچنین با توجه به اینکه بیشینه پرتوی خورشید در ساعت ۱۳ اتفاق خواهد افتاد منجر به افزایش راندمان بین ساعت ۱۳ تا ۱۴ خواهد شد.



شکل ۳ آب‌شیرین‌کن غیرفعال

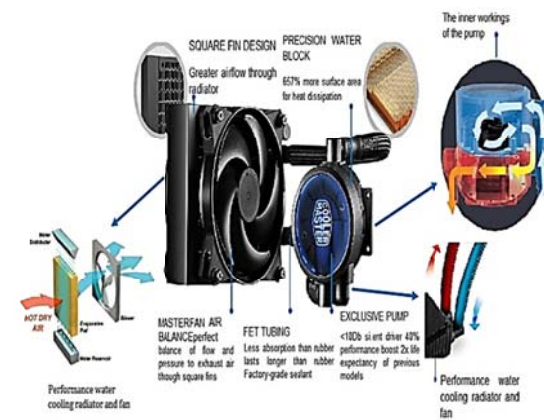


شکل ۴ نمودار تغییرات نرخ تولید آب‌شیرین‌کن در حالت غیرفعال

روند تغییرات نرخ تولید با شدت پرتوی خورشید در ساعات مختلف نمایانگر افزایش نرخ تولید همگام با افزایش شدت پرتوی خورشید خواهد بود. در دماهای محیط بالاتر این تأثیر کمتر خواهد شد که بیانگر وابستگی میزان خروجی به هردو پارامتر شدت پرتوی خورشید و دمای محیط است. چنانچه در نیز مشهود است راندمان دستگاه در بعدازظهر بالاتر از ساعات اولیه صبح است بنابراین تأثیر تشعشعات خورشید بر راندمان دستگاه در دماهای پایین‌تر بیشتر مشهود است.

به جهت محبوس شدن دما در مخزن و مداومت تابش خورشید درجه حرارت آب بالاتر می‌رود و موجبات بخارآب را فراهم می‌آورد بخارآب با سطوحی با دمای پایین‌تر برخورد و به‌صورت قطران ایجاد می‌شود و توسط کانال‌های ایجادشده در کناره‌های دیواره و کنار سطح شیشه شیب‌دار آب

فن‌های دفع حرارت در دستگاه‌ها، قوای محرکه و قطعات صنعتی مدرن حال حاضر محسوب می‌شود؛ اما شاید تا حالا در مورد خنک‌کننده‌های آبی مخصوص قطعات الکترونیکی و کامپیوتری کم‌تر شنیده باشید. ساختار خنک‌کننده آبی به‌کاررفته در سوپر کامپیوتر با خنک‌کننده‌های آبی جدید در حال حاضر به‌کلی فرق می‌کند. به‌طور کلی خنک‌کننده‌های آبی مدرن امروزی از پنج بخش واترلاک، لوله‌های انتقال آب، واترپمپ، فن و رادیاتور تشکیل شده‌اند [۲۶]. به‌طور کلی دو نوع خنک‌کننده‌های مرسوم آبی و هوایی وجود دارند که دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود می‌باشند؛ اما برگ برنده خنک‌کننده‌های آبی سیکل بسته مرسوم کنونی نسبت به خنک‌کننده‌های هوایی به‌طور کلی در ۵ بخش کارایی نسبتاً خوب، فضای نصب کم، وزن کمتر، تهیه بهتر و سازگاری تضمین‌شده با ساختارهای رده‌بالا خلاصه می‌شود. در شکل ۲ یک نوع خنک‌کننده آبی مدل GLC120-A (GLACIER 120) با تجهیزات و متعلقات نشان داده شده است.



شکل ۲ دستگاه خنک‌کننده آبی

از مهم‌ترین مشخصات فنی این محصول می‌توان به عمر بسیار بالای ۱۰۰۰۰۰ ساعتی فن و ۷۰۰۰۰ ساعتی واترپمپ به همراه جریان و فشار هوای جالب‌توجه فن اشاره کرد. همچنین واترپمپ بسیار پرسرعت ۷۰۰۰ RPM این خنک‌کننده تنها ۳/۱ W مصرف دارد که در عمل نقش مهمی در افزایش کارایی این کولر آبی خواهد داشت.

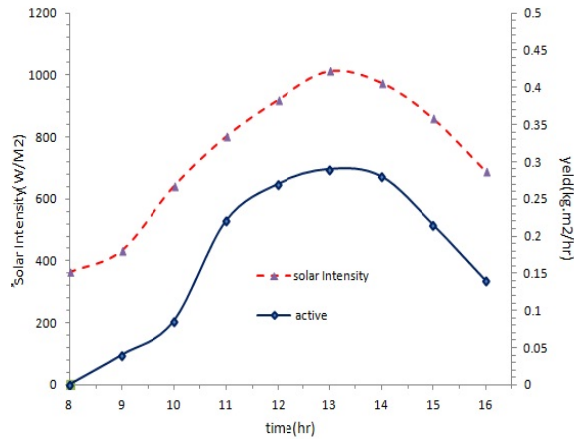
#### ۳-۲- وسایل اندازه‌گیری:

بیش از ۹۵ درصد انرژی خورشید در شهرستان سمنان بین ساعت‌های ۸ الی ۱۸ می‌توان استفاده نمود تمام آزمایش‌های انجام‌شده در طول ماه آگوست ۲۰۱۶ به مدت ۳۱ روز انجام‌شده است اندازه‌گیری تغییرات درجه حرارت‌های مختلف از جمله دمای سطح داخل شیشه (TGi)، دمای آب مخزن (Twi)، دمای محیط (Tao)، دمای محیط داخل مخزن (Tai)، دمای کف حوضچه (Tb)، دمای دیواره مخزن (Tfc)، توسط وسایل اندازه‌گیری ذیل انجام و ارقام ثبت گردید.

۱- ترموکوپل نوع PT100: که برای اندازه‌گیری دماهای مورد آزمایش بر روی دستگاه نصب می‌گردد.

۲- تشعشع سنج: که برای اندازه‌گیری میزان تشعشع خورشید در طول روز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳- دیتالاگر: وسیله‌ای که پس از اتصال ترموکوپل درجه حرارت اندازه‌گیری خوانده می‌شود.



شکل ۷ نمودار نرخ تولید آب شیرین کن فعال

#### ۵- تحلیل اقتصادی آب شیرین کن خورشیدی

به طور معمول در طراحی یک آب شیرین کن خورشیدی هدف اصلی حداقل کردن هزینه ها است. در جدول ۱ اجزا مختلفی که برای ساخت آب شیرین کن خورشیدی با لوله های حرارتی پیشنهاد شده آورده شده است.

جدول ۱ هزینه های قطعات جهت ساخت آب شیرین کن در حالت های متفاوت

Component	Quantity	Unit	Cost Per Item(\$)	active	passive
Pump	1	No.	7.042	0	0
Water cooling dark color	1	No.	53.521	53.521	0
Base Structure	2	No.	2.254	4.507	4.507
Solar Panel	1	Kg	14.085	14.085	14.085
Glass 3 mm	1	No.	11.831	11.831	11.831
Adhesive	1	m²	1.408	1.408	1.408
Polyurethane	2	No.	4.225	8.451	8.451
Vacuum Tube	4	No.	3.803	15.211	15.211
Data logger	5	No.	22.535	0	0
Thermocouple	1	No.	28.169	28.169	28.169
Manifold	5	No.	7.042	35.211	35.211
Thermometer	1	No.	14.085	0	0
Human graded Galvanized Sheet 0.6 mm	1	No.	5.634	5.634	5.634
Fabrication cost	1	No.	2.535	2.535	2.535
	3	m²	9.859	24.648	24.648
total expenses			42.254	42.254	42.254
				247	194

تحلیل اقتصادی آب شیرین کن های خورشیدی توسط کومار و تیواری<sup>۵</sup> [۲۷]، کابیل<sup>۶</sup> و همکاران [۲۸] و راهول دیو<sup>۷</sup> و همکاران [۲۹] قبلاً در تحقیقاتشان ارائه شده است. پارامترهای اصلی تحلیل اقتصادی آب شیرین کن خورشیدی عبارتند از: CRF<sup>۸</sup>, ASV<sup>۹</sup>, FAC<sup>۱۰</sup>, Sff<sup>۱۱</sup>; و هزینه سالیانه<sup>۱۲</sup> A5C می باشند؛ و جهت تحلیل پارامترهای دیگری مانند<sup>۱۳</sup> AMC و<sup>۱۴</sup> CPL نیز جهت محاسبات مورد استفاده قرار می گیرند. معمولاً

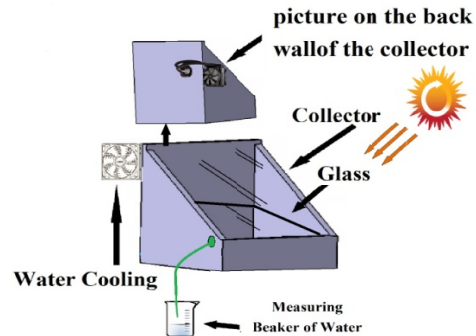
شیرین به خارج از مخزن هدایت می شود با توجه به کمتر شدن شدت تابش خورشید تولید آب شیرین کمتر می شود میزان خروجی آب هر یک ساعت اندازه گیری می گردد لذا اندازه گیری انجام شده در حالت غیرفعال در شکل ۴ نشان داده شده است. بیشینه نرخ تولید در این حالت، به میزان (kg/m<sup>2</sup>.h) ۰/۲۶ در ساعت ۱۴/۳۰ الی ۱۳/۳۰ و میزان راندمان تولید شده توسط دستگاه برابر (kg/m<sup>2</sup>.day) ۱/۰۳۵ در روز رسید.

#### ۴-۲- آب شیرین کن حالت فعال:

در این حالت دستگاه ساخته شده مانند حالت غیرفعال است با این تفاوت که خنک کننده آبی بر روی دیواره پشت مخزن به دلیل کاستن درجه حرارت دیواره مخزن و به دنبال آن افزایش قطران نصب شده است.



شکل ۵ آب شیرین کن خورشیدی فعال



شکل ۶ شماتیک آب شیرین کن خورشیدی فعال مدل آزمایشگاهی

در این حالت در مقایسه با حالت نیمه فعال، بازده و نرخ تولید آب شیرین افزایش می یابد. با توجه به شکل ۷ بیشینه نرخ تولید در این حالت، به میزان (kg/m<sup>2</sup>.h) ۰/۲۹ در حدود ساعت ۱۴/۳۰ الی ۱۳/۳۰ به دست آمده است. میزان راندمان تولید شده توسط دستگاه برابر (kg/m<sup>2</sup>.day) ۱/۵۳۰ به دست آمده است.

5. Kumar and Tivari  
6. Kabyle  
7. Rahul Dave  
8. capital recovery factor  
9. annual salvage value  
10. fixed annual cost  
11. sinking fund factor  
12. annual cost  
13. annual maintenance operational cost  
14. cost per liter

در این پژوهش تمام اندازه‌ها به‌طور یکسان توزیع شده و عدم اطمینان (قطعیت) استاندارد به‌صورت رابطه ۱ بیان می‌شود.

$$U = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

S دقت دستگاه

U عدم قطعیت استاندارد

n تعداد اندازه‌گیری‌ها [۳۰] که در رابطه فوق مقدار مربوط به دقت دستگاه‌های استفاده‌شده و تعداد اندازه‌گیری‌ها است.

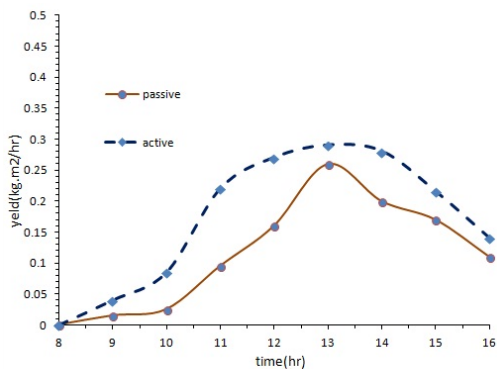
این عدم اطمینان مربوط به دستگاه‌های استفاده‌شده در آزمایشگاه هست که در جدول ۳ آورده شده است [۳۱].

جدول ۳ مقادیر درصد خطا برای دستگاه‌های استفاده‌شده

Device	Accuracy	Accuracy	Standard uncertainties
Thermometer kt-90	0.1	0-100°C	0.06°C
Data logger SUN 15PT	0.2	0-100°C	0.11°C
PH meter	0.01PH	0-14	0.006PH
Volume meter	0.2ml	0-5ml	0.115ml

## ۷- بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش در سمنان در ماه آگوست با مختصات جغرافیایی (22° 53' E, 34° 35' N)، مردادماه ۱۳۹۵ و به جهت جذب حداکثر میزان تابش، مابین ساعات ۸ الی ۱۷ انجام‌گرفته است. اطراف آب‌شیرین‌کن را عایق و آب‌بند و آب تا عمق ۲ سانتی‌متر موجود است. هر آزمایش (حالت)، حداقل در ۳ روز با شرایط یکسان تکرار شده و روزهای مشابه در حالت‌های مختلف از نظر شدت تابش و دما، ملاک عمل قرار می‌گیرد.



شکل ۸ نمودار مقایسه نرخ تولید آب‌شیرین‌کن غیرفعال و فعال

در ادامه نتایج این تحقیق بیان می‌شوند:

- ۱- در آزمایش‌های صورت گرفته، مشاهده شد که بیشترین شدت تابش خورشید ساعات ۱۲ تا ۱۳ روز است.
- ۲- راندمان آب‌شیرین‌کن نیز با توجه به نرخ تولید در ساعات مختلف رشد قابل توجهی دارد به‌طوری‌که راندمان از ۱/۰۳۵ در حالت غیرفعال به ۱/۵۳۰ در حالت تلفیقی رسید یعنی رشدی معادل ۳۸ درصد را نشان می‌دهد.
- ۳- بیشترین میزان تولید در حالت غیرفعال حدود یک ساعت بعد که بین ساعات ۱۳ تا ۱۴ هست می‌باشد اما در حالت فعال در ساعت ۱۳.

۱۰٪ هزینه فعلی به‌عنوان هزینه نگهداری AMC در نظر گرفته می‌شود. همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده‌شده است، مقدار  $CPL (\$/l/m^2)$  ۰/۰۸۵۷۱ دلار به ازای هر لیتر با سطح مقطع آب تولیدی و برای عمر مفید آب‌شیرین‌کن فعال به‌دست‌آمده است. میانگین تولید روزانه برای عمق ۲ سانتی‌متر،  $1/530 \text{ kg/m}^2$  در نظر گرفته‌شده است.

جدول ۲ تحلیل اقتصادی آب‌شیرین‌کن خورشیدی در حالت‌های مختلف

Description	active	passive
Principle cost (P)	247	194
Salvage value (S) (10% of principle value)	25	19
Life of the solar still (n)	12	12
Interest rate (i) 10%	12%	12%
Capital recovery factor CRF	0.177	0.177
Sink fund factor SFF	0.057	0.057
Annual first cost (CRF * P)	44	34
Annual salvage value (SFF * S)	1	1
Annual maintenance cost (0.05* annual first cost)	2	2
Annual first cost+ annual maintenance cost - annual salvage value	45	35
Annual yield of the still (average daily yield* 365) (assuming average daily yield = 2.085kg/m2, at water depth 0.02 m)	520	378
Annual useful energy (annual yield * latent heat of vaporization) latent heat of vaporization = 0.65 kW h/kg	338	246
Annual cost of distilled water per kg (annual first cost/annual yield)	0.08421	0.09087
Annual cost of distilled water per kW h (annual first cost/annual useful energy)	0.12956	0.13980
CPL (cost per liter)	0.08571	0.09249

هزینه تمام‌شده برای آب‌شیرین‌کن غیرفعال حدود ۰/۰۹۲۴ دلار می‌باشد که این هزینه شامل هزینه کالا و ساخت می‌باشد با توجه به اینکه این اختلاف کم است، انتظار می‌رود که در تحقیقات آینده با بهبود قابلیت انتقال حرارت لوله‌های حرارتی، آب‌شیرین‌کن‌های با لوله‌های حرارتی ارزان‌تر ساخته شوند.

## ۶- تحلیل‌های نامطمئن (عدم قطعیت)

خطاهای حقیقی داده‌های تجربی آن عواملی هستند که همیشه تا حدی مبهم هستند و عدم قطعیت به دنبال دارند. پس بایستی تعیین شود یک مشاهده معین دقیقاً تا چه اندازه عاری از قطعیت است. وقتی مبحث عدم قطعیت مدنظر می‌باشد دو نوع خطا وجود دارد خطای رندم و خطای دستگاهی. وقتی که شرایط آزمایش ثابت است خطای تصادفی تغییر می‌کند ولی خطای دستگاهی بدون تغییر باقی می‌ماند. دو نوع عدم قطعیت وجود دارد. نوع اول از خطاهای رندم است و می‌تواند به‌صورت تکراری یا به‌صورت آماری اندازه‌گیری شود؛ اما نوع دوم عضو خطاهای سیستماتیک است و می‌توان با نگاه کردن به مقادیر ویژه در اطراف اندازه‌گیرها محاسبه شود مانند پیدا کردن گزارش مربوط به کالیبراسیون در دفترچه داده‌ها.

توزیع خطاهایی که عدم قطعیت نوع دوم را تشکیل می‌دهند بیشتر مواقع یکنواخت هستند و بیشتر مواقعی اتفاق می‌افتند که تغییرات متوالی وجود دارد مانند ولتاژ وقتی که اندازه‌گیری و نمایش داده می‌شود با یک مالتی متر دیجیتالی.

- [15] Kumar Sanjay, Sinha S. Transient model and comparative study of concentrator coupled regenerative solar still in forced circulation mode. *Energy Conversion and Management* ۱۹۹۶; ۳۷ (۵):۶۲۹-۳۶.
- [16] Bechir Chaouchi, Adel Zrelli, Slimane Gabsi. Desalination of brackish water by means of a parabolic solar concentrator. *Desalination* ۲۰۰۷; ۲۱۷:۱۱۸-۲۶.
- [17] Soliman, S.H. Effect of wind on solar distillation, *Solar Energy*, Vol. ۱۲, pp. ۴۰۳-415, ۱۹۷۲.
- [18] Tiwari, G.N. Thomas, J.M. and Khan, E. Optimisation of glass cover inclination for maximum yield in a solar still, *Heat Recovery Systems*, Vol. ۱۴, pp. ۴۴۷-455, ۱۹۹۴.
- [19] Jahangiri Mamouri, S. Gholami Derami, H. Ghiasi, M. Shafii, M.B. Shiee, Z. 2014. Experimental investigation of the effect of using thermosyphon heat pipes and vacuum glass on the performance of solar still. *Energy* 75. 501-507. (In Persian)
- [20] Badran OO, Al-Tahainesh HA. The effect of coupling a flat plate collector on the solar still productivity. *Desalination* ۲۰۰۵; 183:137-42.
- [21] Tiris C, Tiris M, Erdalli Y, Sohnen M. Experimental studies on a solar still coupled with a flat plate collector and a solar basin still. *Energy Conversion and Management* 1998; 39(8):853-6.
- [22] Badran Ali A, Al-Hallaq Ahma d A, Imad A, Eyal Salman, Odat Mohammad Z. A solar still augmented with a flat plate collector. *Desalination* 2005; 172:227-34.
- [23] Kargar Sharif Abad, H. Ghiasi, M. Jajangiri Mamouri, S. Shafii, M.B. ۲۰۱۲. A novel integrated solar desalination system with pulsating heat pipe. *Desalination* ۳۱۱, ۲۰۶-۲۱۰.
- [24] Tripathi Rajesh, Tiwari GN. Effect of water depth on internal heat and mass transfer for active solar distillation. *Desalination* ۲۰۰۵; ۱۷۳:۱۸۷-۲۰۰. (In Persian)
- [25] Tiwari GN, Dhiman NK. Performance study of a high temperature distillation system. *Energy Conversion and Management* ۱۹۹۱; ۳۲ (۳): ۲۸۳-۹۱. [1۲] <http://koolance.com/۱۲۰۰-1700w-liquid-cooled-power-supply>
- [26] <http://koolance.com/۱۲۰۰-1700w-liquid-cooled-power-supply>
- [27] S. Kumar, G.N. Tiwari, Life cycle cost analysis of single slope hybrid (PV/T) active solar still, *Applied Energy* 86 (2009) 1995-2004.
- [28] A.E. Kabeel, et al, Cost analysis of different solar still configurations, *Energy* 35 (2010) 2901-2908.
- [29] Rahul Dev, Sabah 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
- [30] Stephanie Bell, A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement, National Physical Laboratory Teddington, 2001
- [31] Matthews, J.S. N.D. Coggeshall. 1959. Concentration of Impurities from organic compounds by progressive freezing. *Analytical Chem.* Vol 31: 1124-1125.

- ۴-افزایش تولید به شدت تشعشع خورشید به‌طور مستقیم وابسته می‌باشد.
- ۵-تأثیر شدت پرتو خورشید بر میزان تولید بیشتر از تأثیر سایر متغیرها مانند تغییر دمای محیط خواهد بود.
- ۶-درمجموع با تلفیق خنک‌کننده آبی در مقایسه باحالت غیرفعال، بازده و میزان تولید افزایش می‌یابد.
- ۷-همان‌طور که اشاره شد، در آزمایش مربوط به خنک‌کننده، بازده و میزان تولید در زمان ماکزیم تشعشع تابش خورشیدی افزایش چشمگیری داشت به‌طوری‌که بیشترین راندمان را ثبت نموده‌ایم و این ناشی از عملکرد صحیح خنک‌کننده آبی در آن مقطع است اما سیر نزولی در ساعات قبل و بعدازآن باعث کاهش راندمان کلی دستگاه گردید.

#### ۸-فهرست علائم

$T_{wi}$  دمای آب مخزن

$T_{ao}$  دمای محیط

$T_b$  ای کف حوضچه

$T_{Gi}$  دمای سطح داخل شیشه

$T_{Fc}$  دمای دیواره مخزن

$T_{ai}$  دمای محیط داخل مخزن

S دقت دستگاه

U عدم قطعیت استاندارد

n تعداد اندازه‌گیری‌ها

#### ۹-مراجع

- [1] Zori, H. Farshchi tabriz, F. Sarhadi, F.Heshmat nejad, Exergy efficiency of a solar desalination review of stepped waterfalls Third International Conference on Renewable Energy and Distributed Generation Iran, University of Esfahan, 2013. (In Persian)
- [2] Tripathi Rajesh, Tiwari GN. Effect of water depth on internal heat and mass transfer for active solar distillation. *Desalination* ۲۰۰۵; ۱۷۳:۱۸۷-۲۰۰. (In Persian)
- [3] Tiwari GN, Dhiman NK. Performance study of a high temperature distillation system. *Energy Conversion and Management* ۱۹۹۱; ۳۲ (۳): ۲۸۳-۹۱. [12] <http://koolance.com/۱۲۰۰-1700w-liquid-cooled-power-supply>
- [4] Charoensawan, P. Khandekar, S. Groll, M. Terdtoon, P. ۲۰۰۳. "Closed loop pulsating heat pipes Part A: parametric experimental investigations". *Journal of Applied Thermal Engineering*, ۲۳ (۱۶), pp. ۲۰۰۹-2020.
- [5] Henthorne, L (2009). The current state of desalination, International Desalination Association accessed 05.09.12.
- [6] M.z.Tehrani, Solar floating desalination using vacuumBA, Faculty of Mechanical Engineering Sharif University, Tehran, Iran, 2010. (In Persian)
- [7] M.Haghi,Ali.mshaykh, S. Hussein Puri, solar desalination and comparison with the types of desalination, master energy, Khajeh Nasir University page 10 to 24,2014. (In Persian)
- [8] Kumar Sanjay, Tiwari GN. Optimization of collector and basin areas for a higher yield for active solar stills. *Desalination* ۱۹۹۸; ۱۱۶:۱-۹.
- [9] Tiwari GN, Shukla SK, Singh IP. Computer modelling of passive/active solar stills by using inner glass temperature. *Desalination* ۲۰۰۲; ۱۵۴: ۱۷۱-۸۵.
- [10] Singh HN, Tiwari GN. Monthly performance of passive and active solar stills for different Indian climatic condition. *Desalination* ۲۰۰۴; ۱۶۸: ۱۴۵-۵۰.
- [11] Tiwari GN, Vimal Dimri, Arvind Chel. Parametric study of an active and passive solar distillation system: energy and exergy analysis. *Desalination* ۲۰۰۹; ۲۴۲:۱-۱۸.
- [12] Tiwari GN, Lawrence SA. Thermal evaluation of high temperature distillation under active mode of operation. *Desalination* ۱۹۹۲; ۸۵:۱۳۵-1۴۵.
- [13] Tiwari GN, Sharma SB. Analytical study of double effect distillation under active mode of operation. *Energy* ۱۹۹۱; ۱۶ (۶):۹۵۱-۸.
- [14] Kumar Sanjay, Tiwari GN. Optimization of daily yield for an active double effect distillation with water flow. *Energy Conversion and Management* ۱۹۹۹; ۴۰:۷۰۳-۱۵.