

ساخت و بررسی تجربی کاربرد لوله گرمایی و خنک کننده آبی در بهبود کارایی آب شیرین کن های خورشیدی

مهدی آریا فر^۱، هادی کارگر شریف آباد^{۲*}

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@semnaniau.ac.ir

چکیده

تأمین آب سالم و شیرین یکی از مسائل اساسی در مناطق مختلف جهان بخصوص در مناطق خشک و دورافتاده به شمار می‌رود. روش‌های مختلفی برای شیرین‌سازی آب‌های شور و آب‌های غیر شرب وجود دارند که از میان آن‌ها دستگاه‌های تقطیر خورشیدی می‌توانند راه‌حل مناسبی برای مناطق کم‌جمعیت که از شدت تابش خورشیدی کافی برخوردار هستند می‌باشند. در این تحقیق تلاش شده است تا ضمن بیان ضرورت تأمین آب آشامیدنی سالم، اصول و مبانی عملکرد دستگاه‌های آب شیرین کن خورشیدی با استفاده از منابع در دسترس مورد بررسی قرار می‌گیرد. در تحقیق حاضر اثر خنک‌کننده آبی با دو حالت: آب شیرین کن خورشیدی با لوله گرمایی و منیفولد (نیمه فعال) و آب شیرین کن خورشیدی با خنک‌کننده آبی ولوله‌های گرمایی و منیفولد (حالت فعال) از لحاظ آزمایش میزان تولید روزانه آب شیرین مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. آزمایش در ماه اوت (شهریور) در مختصات جغرافیایی (N:35° 34', E: 53° 22') در شهر سمنان انجام گرفته است. بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود بیشینه نرخ تولید آب شیرین در حالت فعال به $0.43 \text{ (kg/m}^2\text{)}$ در ساعت رسید. همچنین میزان راندمان روزانه حالت نیمه فعال از $1/87 \text{ (kg/m}^2\text{.day)}$ به روزانه $2/085 \text{ (kg/m}^2\text{)}$ در حالت فعال رسید.

کلیدواژگان

آب شیرین کن خورشیدی، خنک‌کننده آبی، لوله گرمایی، منیفولد

Construction and Experimental Investigation of heat pipe and water cooling in improving the efficiency of solar desalination

Mahdi Aryafar¹, Hadi Kargar Sharif Abad^{2*}

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@semnaniau.ac.ir

Abstract

Healthy and fresh water supply is one of the fundamental issues in different regions of the world, particularly in remote areas is dry. Various methods of desalination of brackish and non-potable water are among them solar distillation devices can be a suitable solution for sparsely populated areas that are of sufficient intensity solar radiation. In this study, we have tried to express the necessity of providing safe drinking water, principles and guidelines for the performance of solar desalination using available resources placed studied. In the present study the effect of water cooling with two modes: solar desalination heat pipe and manifold (semi-active) and solar desalination to water cooling and heat pipe manifold (active mode) tested in terms of daily production of fresh water were examined and compared. Tests in August (September) in geographical coordinates (N:35°34', E:53°22') is located in the city of Semnan. Based on the results observed The maximum rate of production of fresh water in active mode $0/43 \text{ (kg / m}^2\text{)}$ per hour. As well as the daily yield semi-active mode from $1/87 \text{ (kg / m}^2\text{.day)}$ daily $2/085 \text{ (kg / m}^2\text{)}$ reached in active mode.

Keywords

Solar desalination, water cooling, heat pipe, manifold

برابر شصت میلیون لیتر در روز می‌باشد که با افزایش تعداد آب شیرین کن‌ها تا سال ۲۰۲۰، تولید آب شیرین به ۱۲۰ میلیون مترمکعب در روز پیش‌بینی شده است [۲]. از آنجاکه این نوع آب شیرین کن‌ها با سوخت فسیلی کار می‌کنند علاوه بر سوخت، مشکل آلودگی زیست‌محیطی را نیز به همراه دارد استفاده از انرژی خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت، لذا انرژی خورشیدی را می‌توان به‌عنوان یک منبع انرژی مناسب برای تولید آب شیرین از آب شور به‌ویژه در بسیاری از کشورهای آفریقایی و آسیایی، منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا که در آب‌وهوای نیمه‌خشک و آفتابی قرار گرفته‌اند مورد استفاده قرارداد [۳]. از آنجایی که اکثر مناطق کشورمان را نواحی خشک تشکیل می‌دهد،

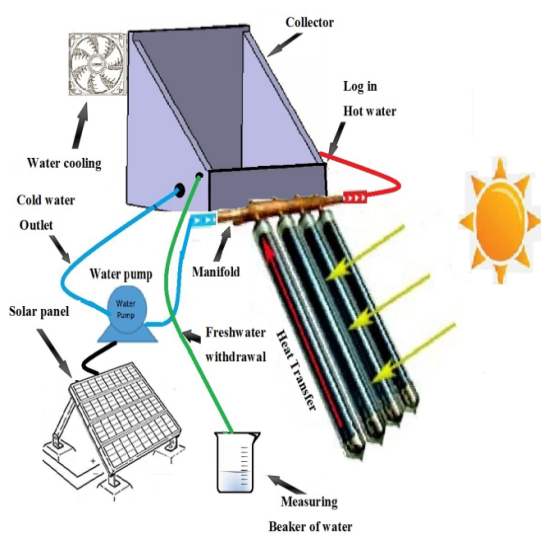
۱- مقدمه

با توجه به روند گرم شدن زمین و کم شدن آب‌های زیرزمینی تا سال ۲۰۲۵ نزدیک به ۵۰ کشور با بحران کم‌آبی روبرو خواهند شد بیش از ۷۰٪ سطح زمین را آب پوشانده است که تنها ۲/۵٪ از آب‌های کره زمین قابل شرب هستند و ۹۷/۵٪ باقیمانده به علت شور بودن غیرقابل شرب هستند که این امر موجب اختلال در اقتصاد کشورها شده و سلامت انسان‌ها را به خطر می‌اندازد. یک راهکار مناسب برای تهیه آب سالم و آشامیدنی در مناطق خشک و دوردست، استفاده از انرژی خورشیدی می‌باشد [۱]. در حال حاضر ۱۴۴۵۱ واحد آب شیرین‌سازی در دنیا وجود دارد که تولید آب شیرین آن‌ها

می‌شود و این باعث کاهش افت دمایی از طریق جابجایی می‌شود و باعث محصور شدن انرژی خورشیدی در محفظه دستگاه آب‌شیرین‌کن خورشیدی می‌شود و مداومت این کار باعث افزایش دمای آب و تولید بخار آب در محفظه می‌گردد. به تدریج که رطوبت نسبی در محفظه افزایش می‌یابد بخار آب در اثر دفع حرارت از شیشه، روی سطح داخلی شیشه تقطیر شده و آب شیرین حاصله به طرف ظرف جمع‌آوری آب شیرین توسط کانال‌های تعبیه‌شده هدایت می‌یابد و به این ترتیب به وسیله انرژی خورشیدی عمل تقطیر انجام و سپس آب شیرین تهیه می‌شود. آب شور غلیظ شده به‌طور مداوم از دستگاه خارج و آب معمولی جایگزین می‌گردد.

۱-۲- آب‌شیرین‌کن خورشیدی مدل آزمایشگاهی

در شکل ۱ شماتیک دستگاه آب‌شیرین‌کن خورشیدی آزمایشگاهی با لوله حرارتی ترموسیفون، خنک‌کننده آبی و منیفولد نشان داده شده است.



شکل ۱ شماتیک آب‌شیرین‌کن خورشیدی مدل آزمایشگاهی

۲-۲- پمپ و پنل خورشیدی

گردش آب از مخزن به داخل منیفولد و سپس بازگشت آن از طرف دیگر به داخل مخزن و همچنین چرخش مجدد آب به منظور افزایش دمای آن و در نتیجه افزایش راندمان، توسط پمپ کوچک الکتریکی ۱۲ ولت و ۰/۲ آمپر مخصوص آب آشامیدنی انجام می‌گیرد. نیروی محرک پمپ به وسیله یک پنل ۲۰ سانتی‌متر تأمین می‌گردد. انرژی ارسالی از پنل خورشیدی ۳۵ وات و ابعاد فیزیکی ۱۵ جهت ذخیره DC خورشیدی توسط کنترل شارژ ۱ آمپری به باتری سید اسید ۰/۳۶ با مشخصات ۱۲ ولت فرستاده می‌شود و به این ترتیب، باتصال به پمپ مورد نظر، آن را به حرکت درمی‌آورد. در شکل ۲ پمپ و پنل خورشیدی نشان داده شده است.

استفاده از آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی باران‌دما بالا، به‌طور قطع مفید است. همچنین مسئولین اجرایی کشور می‌توانند از این دست پروژه‌ها جهت تحقق نیازمندی‌ها و توجه روزافزون به استفاده از انرژی خورشیدی بخصوص در نواحی گرم و خشک بهره‌گیرند. از جمله ابزارهای مورد استفاده، تلفیق لوله‌های حرارتی و منیفولد و خنک‌کننده آبی جهت پیش گرم نمودن آب ورودی به مخزن آب‌شیرین‌کن و در نتیجه افزایش راندمان آن است [۴].

۱-۲- مروری بر کارهای انجام‌شده و مراجع

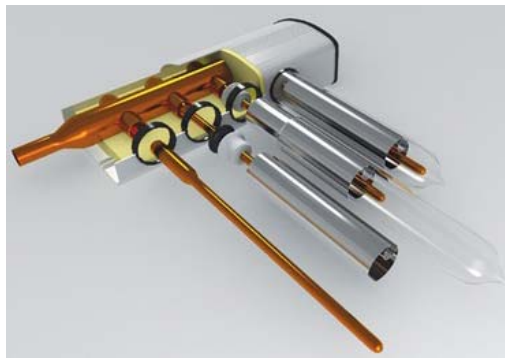
شبیعی و همکاران [۵] از لوله‌های حرارتی ترموسیفونی جهت آب‌شیرین‌کن مورد آزمایش قرار دادند که آن‌ها دریافتند که بیشینه میزان تولید آب شیرین $1/02(\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{h})$ و راندمان ۲۳٪ به دست آوردند. آن‌ها همچنین بهترین جنس پوشش روی مخزن در مقایسه با پوشش‌های دیگر پس از آزمایش، شیشه تعیین نمودند. همچنین با آزمایش روی عمق آب‌شور از ۱ تا ۵ سانتی‌متر، در عمق ۲ سانتی‌متری بیشترین میزان تولید آب شیرین اتفاق افتاد. بردان^۱ و همکاران [۶] 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^۲ و همکاران [۷] آزمایش‌هایی را روی آب‌شیرین‌کن مخزنی با دو کلکتور تخت کوپل انجام داده‌اند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این نوع آب‌شیرین‌کن ۱۰٪ بهبود در تولید نسبت به مدل ساده آن دارد. نتایج آزمایش‌های بردان و ال-تاهائینش^۳ [۸] می‌دهد بیشینه نرخ تولید برای کمترین عمق آب ۲ cm است. در آزمایش‌های انجام‌شده توسط کارگر و همکاران [۹] که بر روی آب‌شیرین‌کن خورشیدی با لوله‌های حرارتی نوسانی صورت گرفته است، بیشینه میزان تولید آب برای حالت غیرفعال $0/5(\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{h})$ و برای حالت فعال $0/875(\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{h})$ 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 تریپاتی^۴ [۱۰] 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 انجام شده 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 [۱۱].

۲- طراحی و ساخت دستگاه آزمایش

در دستگاه‌های تقطیر خورشیدی آب‌شور را به ظرف کم‌عمقی که کاملاً آب‌بندی شده و با هوای خارج ارتباطی ندارد وارد می‌کنند. سطح فوقانی ظرف را با پوشش شیشه‌ای و یا شفاف می‌پوشانند، نور خورشید از پوشش شفاف گذشته و با ظرف و آب داخل ظرف و سطح جاذب برخورد نموده و آب گرم می‌شود پوشش شیشه‌ای مانع خروج گرمای داخل ظرف به خارج از ظرف

1. Ali A Bardan
2. Tiris
3. Al-Tahainesh
4. Rajesh and Trypaty

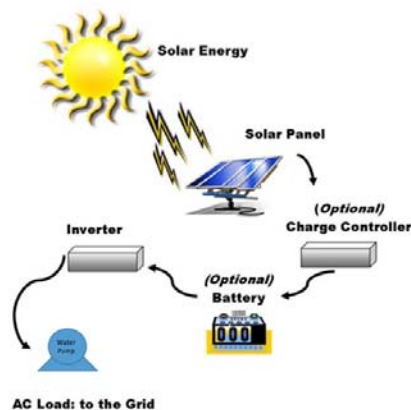
استقرار سر مسی لوله حرارتی تعبیه‌شده، به‌طوری‌که سر لوله‌های حرارتی کاملاً وارد منی‌فولد شده و آب‌بندی شده است. وقتی که آب به‌وسیله پمپاژ از منی‌فولد عبور می‌نماید در مسیر عبور خود با سر مسی لوله‌های حرارتی تماس پیدا می‌نماید و در نتیجه انتقال حرارت از سر مسی لوله‌های حرارتی به آب صورت می‌گیرد.



شکل ۴ منی‌فولد مورد استفاده در آزمایش آب‌شیرین‌کن خورشیدی

۴-۲- خنک‌کننده آبی

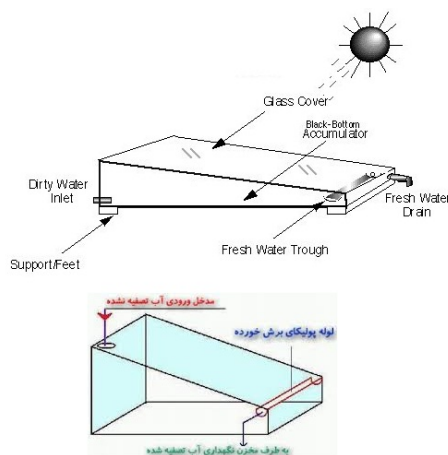
روشی برای خنک کردن قطعات و تجهیزات صنعتی است که در آن از آب برای انتقال گرما به بیرون از دستگاه‌ها استفاده می‌شود. خنک‌کنندگی آبی بر پایه اصل همرفت طبیعی عمل می‌کند. از سامانه‌های خنک کاری آبی معمولاً برای خنک کردن موتور خودروها به‌وسیله رادیاتور و در صنایع بزرگ برای خنک‌سازی تجهیزات نیروگاه‌های بخار، 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 در عین 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 پربازده‌ترین و در عین حال مرسوم‌ترین 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 واتر بلاک، لوله‌های انتقال آب، واتر پمپ، فن و رادیاتور تشکیل شده‌اند [۱۲]. 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، تهویه بهتر و سازگاری تضمین شده با ساختارهای رده‌بالا خلاصه می‌شود. در شکل ۵ یک نوع خنک‌کننده آبی مدل GLC120-A (GLACIER 120) با تجهیزات و متعلقات نشان داده شده است.



شکل ۲ پمپ و پنل خورشیدی

۳-۲- مخزن آب‌شیرین‌کن خورشیدی

مخزن آب‌شیرین‌کن خورشیدی به ابعاد ۵۰ * ۵۰ سانتی‌متر با ورق گالوانیزه ساخته شده است و آب‌بندی آن به‌وسیله جوش انجام شده است و به جهت استحکام مخزن، مخزن بزرگتر دیگری ساخته شده و دو مخزن درون هم به فاصله ۱ سانتی‌متر از هر طرف قرار گرفته‌اند فضای مابین دو مخزن با عایق حرارتی فوم پلی اورتان پر شده است به‌طوری‌که اتلاف حرارتی نداشته باشیم، داخل مخزن به جهت خروج آب تقطیر شده ناودانی‌هایی نصب شده 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 ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳ مخزن آب‌شیرین‌کن خورشیدی

۴-۲- منی‌فولد

منی‌فولد تشکیل شده است از یک لوله ۲ اینچ با قطر ۳۵ سانتی‌متر که دوسر لوله با درپوش فلزی جوشکاری و بسته شده است. سوراخ‌های روزه شده‌ای بر روی بدنه لوله جهت نصب اتصالات و دو سوراخ بر روی درپوش به جهت ورودی و خروجی آب ایجاد شده است. سوراخ‌های روی بدنه لوله به جهت

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

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

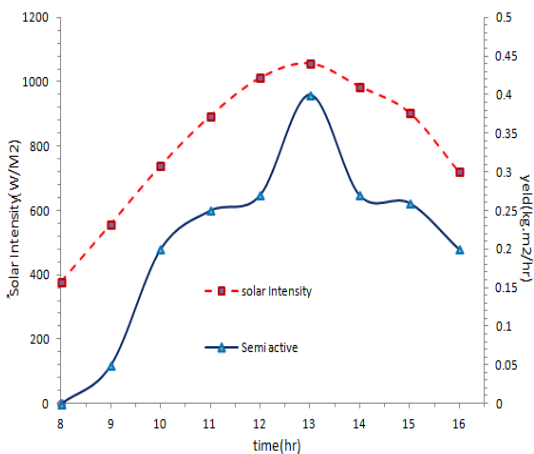
۴- دماسنج دیجیتال: برای اندازه‌گیری دمای محیط کاربرد دارد.

۳- آزمایش‌ها

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

۳-۱- آب‌شیرین‌کن حالت نیمه فعال

در این حالت دستگاه ساخته‌شده شامل مخزن، منیفولد، هیت پایپ، پمپ آب مورد آزمایش قرار گرفته است عمق آب در این مرحله ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته‌شده است بدین‌صورت که آب داخل مخزن توسط پمپ به داخل منیفولد هدایت می‌شود و به دلیل قرار گرفتن هیت پایپ‌ها در مسیر جریان آب داخل منیفولد، آب گرم شده و به داخل همان مخزن هدایت می‌شود و به جهت تکرار این کار درجه حرارت آب بالاتر می‌رود و موجبات بخارآب را فراهم می‌آورد بخارآب سطوح با دمای پایین‌تر برخورد و به‌صورت قطران ایجاد می‌شود و توسط کانال‌های ایجادشده در کناره‌های دیواره و کنار سطح شیشه شیب‌دار آب شیرین به خارج از مخزن هدایت می‌شود با توجه به کمتر شدن شدت تابش خورشید تولید آب شیرین کمتر می‌شود میزان خروجی آب هر یک ساعت اندازه‌گیری می‌گردد لذا اندازه‌گیری انجام‌شده در حالت نیمه فعال در شکل ۶ نمایش داده‌شده است. بیشینه نرخ تولید در این حالت، به میزان $0.4 \text{ (kg/m}^2\text{.h)}$ در ساعت $14/30$ الی $13/30$ و میزان راندمان تولیدشده توسط دستگاه برابر $1/87 \text{ (kg/m}^2\text{. day)}$ به‌دست آمده است.



شکل ۶ نمودار تغییرات نرخ تولید آب شیرین‌کن در حالت نیمه فعال

۳-۲ آب‌شیرین‌کن حالت فعال

در این حالت دستگاه ساخته‌شده مانند حالت نیمه فعال است با این تفاوت که خنک‌کننده آبی بر روی دیواره پشت مخزن به دلیل کاستن درجه حرارت دیواره مخزن و به دنبال آن افزایش قطران نصب‌شده است در این حالت در



شکل ۵ 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 7000 RPM این خنک‌کننده تنها $3/1 \text{ W}$ مصرف دارد که در عمل نقش مهمی در افزایش کارایی این کولرآبی خواهد داشت.

۳-۵- لوله حرارتی ترموسیفون (هیت پایپ) و لوله خلأ

یک لوله حرارتی وسیله‌ای نسبتاً ساده است که بدون هیچ قسمت متحرکی، قابلیت انتقال مقادیر زیادی حرارت را در فواصل مختلف دارد. یکی از مشخصه لوله حرارتی این است که در این سیستم، نیاز به انرژی خارجی نیست و لوله حرارتی فقط با اعمال گرما فعال می‌شود و درعین‌حال دارای ضریب رسانایی گرمایی مؤثر و بسیار بالایی است. جهت گرم نمودن آب در حال چرخش در منیفولد، از پنج عدد لوله‌ی حرارتی (هیت پایپ) استفاده می‌گردد و محل اتصال آن‌ها به منیفولد توسط چسب حرارتی کاملاً عایق و آزمایش‌نشده انجام می‌شود. پس از انجام آزمایش نشسته منیفولد بوسیله پشم‌شیشه جهت جلوگیری از اتلاف حرارتی عایق می‌گردد. آبی که از منیفولد عبور می‌نماید در اثر تماس با لوله‌های حرارتی $1/8$ متری گرم و سپس به مخزن وارد می‌شود [۱۳].

۳-۶- وسایل اندازه‌گیری

در سمنان بیش از ۹۵ درصد انرژی خورشید را بین ساعت‌های ۸ الی ۱۸ می‌توان استفاده نمود که تمام آزمایش‌های انجام‌شده در طول ماه ژوئیه و اوت ۲۰۱۶ به مدت ۴۷ روز انجام‌شده است اندازه‌گیری تغییرات درجه حرارت‌های مختلف از جمله دمای آب مخزن (Twi)، دمای محیط (Tao)، دمای کف حوضچه (Tb)، دمای سطح داخل شیشه (TGi)، دمای دیواره مخزن (TFc)، دمای محیط داخل مخزن (Tai)، توسط وسایل اندازه‌گیری ذیل انجام و ارقام ثبت گردید.

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

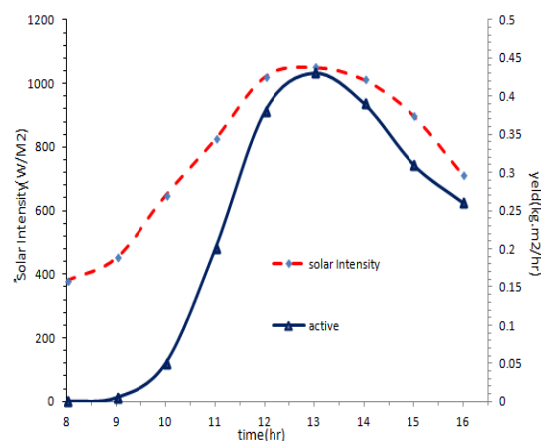
تحلیل اقتصادی آب‌شیرین‌کن‌ها قبلاً توسط کومار و تیواری⁵ [۱۴]، کابیل⁶ و همکاران [۱۵] و راهول دیو⁷ و همکاران [۱۶] ارائه داده شده است. پارامترهای اصلی تحلیل اقتصادی آب‌شیرین‌کن خورشیدی عبارتند از: CRF⁸، SFF¹¹، ASV⁹، FAC¹⁰ متوسط تولید سالیانه (M) و هزینه سالیانه¹² A5C می‌باشند. همچنین پارامترهای دیگری مانند AMC¹³ و CPL¹⁴ نیز جهت تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرند. عموماً ۱۰٪ هزینه فعلی به‌عنوان هزینه نگهداری AMC در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، مقدار CPL (\$/l/m²) ۰/۰۹۰۳ دلار به ازای هر لیتر به سطح مقطع آب تولیدی و برای عمر مفید آب‌شیرین‌کن فعال به‌دست‌آمده است. میانگین تولید روزانه برای عمق ۲ سانتی‌متر، ۲/۰۸۵ kg/m² در نظر گرفته شده است.

جدول ۲ تحلیل اقتصادی آب‌شیرین‌کن خورشیدی در حالت‌های مختلف

Description	active	Semi active
Principle cost (P)	381	328
Salvage value (S) (10% of principle value)	38	33
Life of the solar still (n)	12	12
Interest rate (i) 10%	0.12	0.12
Capital recovery factor CRF	0.177	0.177
Sink fund factor SFF	0.057	0.057
Annual first cost (CRF * P)	67	58
Annual salvage value (SFF * S)	2	2
Annual maintenance cost (0.05* annual first cost)	3	3
Annual first cost+ annual maintenance cost - annual salvage value	69	59
Annual yield of the still (average daily yield* 365) (assuming average daily yield =2.085kg/m ² . at water depth 0.01 m)	761	683
Annual useful energy (annual yield * latent heat of vaporization) latent heat of vaporization =0.65 kW h/kg	495	444
Annual cost of distilled water per kg (annual first cost/annual yield)	0.0887	0.0850
Annual cost of distilled water per kW h (annual first cost/annual useful energy)	0.1364	0.1308
CPL(cost per liter)	0.0903	0.0865

هزینه تمام‌شده برای آب‌شیرین‌کن با لوله‌های حرارتی و خنک‌کننده آبی (سیستم فعال) و آب‌شیرین‌کن معمولی (سیستم نیمه فعال) به ترتیب در حدود ۰/۰۹۰۳ دلار و ۰/۰۸۵۵ 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.

مقایسه باحالت نیمه فعال، بازده و نرخ تولید آب شیرین افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۷ بیشینه نرخ تولید در این حالت، به میزان ۰/۴۳(kg/m².h) در حدود ساعت ۱۴/۳۰ الی ۱۳/۳۰ به‌دست‌آمده است. میزان راندمان تولیدشده توسط دستگاه برابر ۲/۰۸۵(kg/m².day) به‌دست‌آمده است.



۴- تحلیل اقتصادی آب‌شیرین‌کن خورشیدی

به‌طورمعمول در طراحی یک آب‌شیرین‌کن خورشیدی هدف اصلی حداقل کردن هزینه‌ها است. در جدول ۱ اجزا مختلفی که برای ساخت آب‌شیرین‌کن خورشیدی با لوله‌های حرارتی پیشنهاد شده آورده شده است.

جدول ۱ هزینه‌های قطعات جهت ساخت آب‌شیرین‌کن در حالت‌های متفاوت

Component	Quantity	Unit	Cost Per Item(\$)	active	Semi active
Pump	1	No.	7.042	7.042	7.042
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	112.676	112.676
Thermocouple	1	No.	28.169	28.169	28.169
Manifold	5	No.	7.042	35.211	35.211
Thermometer	1	No.	14.085	14.085	14.085
Human graded	1	No.	5.634	5.634	5.634
Galvanized Sheet 0.6 mm	1	No.	2.535	2.535	2.535
Fabrication cost	3	m2	9.859	24.648	24.648
	1	-	42.254	42.254	42.254
total expenses				381	328

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

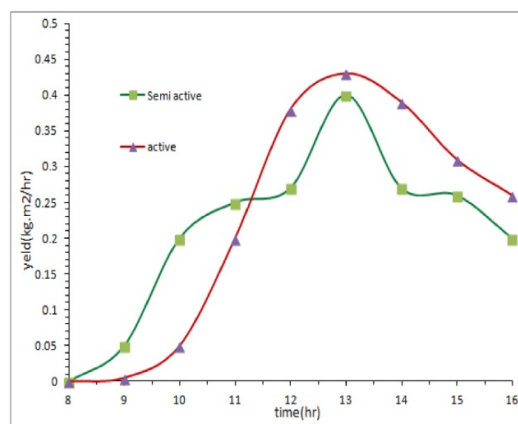
14. cost per liter

۷- 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] Henthorne, L (2009). The current state of desalination, International Desalination Association accessed 05.09.12.
- [3] M.z.Tehrani, Solar floating desalination using vacuumBA, Faculty of Mechanical Engineering Sharif University, Tehran, Iran, 2010. (In Persian)
- [4] 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)
- [5] 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 onthe performance of solar still. Energy 75. 501-507. (In Persian)
- [6] Badran OO, Al-Tahainesh HA. The effect of coupling a flat plate collector on the solar still productivity. Desalination 2005; 183:137-42.
- [7] Tiris C, Tiris M, Erdalli Y, Sohmen M. Experimental studies on a solar still coupled with a flat plate collector and a single basin still. Energy Conversion and Management 1998; 39(8):853-6.
- [8] 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.
- [9] Kargar Sharif Abad, H. Ghiasi, M. Jajangiri Mamouri, S. Shafii, M.B. ۲۰۱۳. A novel integrated solar desalination with pulsating heat pipe. Desalination ۳۱۱, ۲۰۶-۲۱۰.
- [10] 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)
- [11] Tiwari GN, Dhiman NK. Performance study of a high temperature distillation دستگاه E nergy Conversion and Management ۱۹۹۱; ۳۲ (۳):۲۸۳-۹۱. [12] <http://koolance.com/۱۳۰۰-1700w-liquid-cooled-power-supply>
- [12] <http://koolance.com/۱۳۰۰-1700w-liquid-cooled-power-supply>
- [13] Jahangiri Mamouri, S. Gholami Derami, H. Ghiasi, M. Shafii, M.B. Shiee, Z. ۲۰۱۴. Experimental investigation of the effect of using thermosyphon heat pipes and vacuum glass on the performance of solar still. Energy ۷۵. ۵۰۱-507.
- [14] S. Kumar, G.N. Tiwari, Life cycle cost analysis of single slope hybrid (PV/T) active solar still, Applied Energy 86 (2009) 1995-2004.
- [15] A.E. Kabeel, et al, Cost analysis of different solar still configurations, Energy 35 (2010) 2901-2908.
- [16] 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
- [17] H.KHafafe,A.Banakar,Solar Desalination With MikroWave Pre-heating,Department OfAgricultural Mechinary Engineering.Tarbiat Modares University Tehran Iran 1392.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

با تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارقام برداشت‌شده از آزمایش‌های صورت گرفته در این تحقیق، نتیجه زیر که مقایسه حالت‌های آزمایش‌شده در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸ نمودار تغییرات نرخ تولید آب شیرین کن حالت‌های نیمه فعال و فعال

با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌گردد تولید آب شیرین در حالت فعال ۱۲٪ نسبت به حالت نیمه فعال افزایش داشته است.

در این پژوهش آب شیرین کن خورشیدی با لوله‌های حرارتی ترموسیفون مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر پارامترهای بسیاری از جمله عمق آب، زاویه قرارگیری و عایق کاری مناسب همچنین مقایسه بین حالت غیرفعال و فعال بررسی شد. در ادامه مهم‌ترین نتایج این تحقیق بیان می‌شوند:

- ۱- افزایش عمق آب، تولید را به دلیل ظرفیت گرمایی ویژه بالاتر آب، کاهش می‌دهد. به همین دلیل عمق بهینه ۲ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.
- ۲- تأثیر خنک‌کننده آبی بر روی دیواره پشت مخزن باعث تقطیر بیشتر آب می‌شود به طوری که راندمان را نسبت به حالت غیرفعال افزایش دارد.
- ۳- بیشترین شدت تابش متعلق به حدود ساعات ۱۲ تا ۱۳ می‌باشد ولی بیشترین میزان تولید یک ساعت بعد رخ می‌دهد.
- ۴- میزان تولید روزانه از $۱/۰۳۵ \text{ (kg/m}^2\text{)}$ در حالت غیرفعال به روزانه $۲/۰۸۵ \text{ (kg/m}^2\text{)}$ در حالت تلفیقی رسید.
- ۵- استفاده از پیش گرمایش منجر به افزایش ۲۹۰ درصدی در میزان تولید ۲۲۱ درصدی در بازده دستگاه می‌شود [۱۷].

۶- فهرست علائم

Twi دمای آب مخزن

Tao دمای محیط

Tb دمای کف حوضچه

TGi دمای سطح داخل شیشه

TFc دمای دیواره مخزن

Tai دمای محیط داخل مخزن