

بررسی تجربی آب شیرین کن خورشیدی با سیستم افزایش تبخیر و میعان غلامرضا خسروی^۱، هادی کارگر شریف آباد^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار سمنان، 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 3519697951، پست الکترونیکی h.kargar@semnaniau.ac.ir

چکیده

با توجه به محدود بودن منابع آب شیرین موجود و کاهش روزافزون این منابع، در سال‌های گذشته توجه بسیار زیادی به استفاده از آب شیرین کن‌های خورشیدی جهت شیرین سازی آب‌های موجود شده است. در این مقاله یک آب شیرین کن با استفاده از کلکتور، لوله‌های حرارتی، هیئت‌رئیس خورشیدی و هواکش طبیعی طراحی و ساخته شده است. برای افزایش بازده آب شیرین کن راه کارهای مختلفی مورداستفاده قرار گرفته است مانند پیش گرم کردن آب در کلکتور توسط لوله‌های حرارتی و چرخش آب توسط پمپ و همچنین استفاده از هواکش طبیعی جهت کاهش فشار سطح سیال برای پایین آوردن دمای تبخیر آب و همچنین استفاده از خنک کننده آب در مسیر هواکش طبیعی برای تقطیر بخارات موجود در این مسیر. پس از طراحی و ساخت این دستگاه کلیه داده‌ها در شرایط آب و هوایی سمنان ثبت گردید و در پایان عملکرد دستگاه در حالات مختلف مورد مقایسه قرار گرفت.

کلیدواژگان

آب شیرین کن خورشیدی، لوله حرارتی، خنک کننده آبی، هواکش طبیعی

Experimental Study of solar desalination with increased evaporation and condensation system

Gh. Khosravi¹, H. Kargarsharifabad^{2*}

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran
2- Energy and Sustainable Development research Center, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran
* P.O.B.3519697951 Semnan, Iran, h.kargar@semnaniau.ac.ir

Abstract:

Due to the limited fresh water sources and reduce the increasing these resource In recent years a lot of attention to the use of solar desalination for water desalination is available In this paper, a desalination using collector, heat pipe, solar panels and natural ventilation design and built. To increase the efficiency of desalination has used various means Such as pre-heat the water in the collector by heat pipes and water circulation pump and the use of natural ventilation to reduce the pressure of the fluid level To lower the temperature of the water evaporates As well as the use of natural ventilation for cooling water in the steam distillation available on this route After designing and constructing this system, all data were recorded on weather conditions of Semnan And at the end performance of the device in different scenarios were compared.

Keywords:

Solar still, heat pipe, water cooling, natural ventilation

دسته اول: فرایندهای جداسازی با حرارت؛ همانند تقطیر و انجماد که در این دو روش تغییر فاز رخ می‌دهد [۲].

دسته دوم: فرایندهای جداسازی با غشاء؛ همانند فرایندهای اسمز معکوس^۱ و الکترودیالیز^۲ که به ترتیب از نیروی مکانیکی (فشاری) و الکتریکی استفاده می‌کنند.

تقسیم‌بندی دیگری که در بعضی از منابع وجود دارد، جداسازی بر اساس نمک از آب (مثل الکترودیالیز و تعویض یون)، یا آب از نمک (مثل تقطیر، انجماد و اسمز معکوس) است [۳]. قدیمی‌ترین و همچنین توسعه‌یافته‌ترین روش شیرین کردن آب، روش تقطیری است. در آغاز آب تولیدشده جبران هزینه‌های جانبی و ساخت دستگاه را نمی‌کرد لذا تحقیقات و پژوهش‌های مختلفی برای افزایش راندمان این دستگاه‌ها صورت گرفت

۱- مقدمه

اهمیت وجود آب شیرین در حیات و تمدن بشری برکسی پوشیده نیست اکثر تمدن‌های بزرگ جهان در اطراف آب‌ها پدید آمده‌اند که نه تنها فراهم‌کننده آب شیرین برای آن‌ها بود بلکه در کشاورزی، بازرگانی، حمل‌ونقل و دفاع نقش کلیدی بر عهده داشته است [۱]. منابع آب شیرین حاصل از رودخانه‌ها و منابع آب زیرزمینی محدود است و با سرعت فزاینده‌ای در حال تهی شدن است و زنگ خطر را در بسیاری از مناطق جهان به صدا درآورده است. دستیابی به آب تمیز و قابل آشامیدن در بسیاری از کشورهای درحال توسعه جهان ضرورت مهمی محسوب می‌شود. اغلب منابع آبی در دسترس به صورت شور بوده و یا حاوی باکتری‌های مضر می‌باشند و لذا قابل آشامیدن نیستند. به‌طور کلی می‌توان گفت فناوری‌های نمک‌زدایی (شیرین سازی آب) برای تولید آب آشامیدنی در دودسته‌ی بزرگ تقسیم‌بندی می‌شود:

¹ Reverse osmose

² Electrodyaliz

شیرین در خروجی می‌گردد زیرا سبب سرد شدن شیشه و افزایش اتلاف حرارت از شیشه به محیط می‌شود در نتیجه نرخ چگالش افزایش میابد [۱۰].

۲-۱- برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت

اصول کار دستگاه تصفیه آب خورشیدی بسیار ساده است. سرپوش پلاستیکی یا شیشه‌ای در سطح فوقانی دستگاه نقشی اساسی را در عملکرد سیستم دارد. با عبور اشعه خورشید، کف حوضچه آب‌شور که برای جذب بالاتر گرما معمولاً سیاه‌رنگ هست، آب دریا یا آب‌شور داخل خود را گرم و درجه حرارت آب بالا می‌رود، سپس بخار آب ایجاد شده و پس از برخورد به سطح داخلی سرپوش شیشه‌ای که دمای به دلیل ارتباط با محیط بیرون پایین تر از دمای داخل آب‌شیرین‌کن است، شروع به تقطیر می‌کند که با جمع‌آوری این آب مقطر، آب شیرین به دست می‌آید. سیستم آب‌شیرین‌کن از نظر نحوه عملکرد به دو روش مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شود. در روش مستقیم فقط از انرژی حرارتی خورشیدی استفاده می‌شود درحالی‌که در روش غیرمستقیم از انرژی برق به‌عنوان انرژی کمکی استفاده می‌شود [۱۱].

۳-۱ شرح چگونگی انجام آزمایش

در این روش سعی بر آن است تا با چرخش آب توسط پمپ و عبور آن از داخل منیفولد گرمای لوله‌های حرارتی به آب منتقل شو دو پس از برگشت آب به داخل حوضچه فضای کافی برای حرکت بخارات به سمت تقطیرکننده به وجود خواهد آمد. همچنین با استفاده از اجکتور که در قسمت بالای مخزن و در معرض جریان هوا تعبیه شده است، بخار به طرف بیرون مکیده می‌شود و با خنک‌کننده آبی که در مسیر خروجی اجکتور نصب گردیده است، بخار در حال خروج به آب شیرین‌کنانس شده و جمع‌آوری می‌گردد. همان‌طور که می‌دانیم نقطه‌جوش تابع مستقیمی از فشار محیط است و کاهش فشار محیط، کاهش نقطه‌جوش را به همراه خواهد داشت، لذا انتظار می‌رود با استفاده از این قابلیت اجکتور یعنی افت فشاری که درون فضای داخلی مخزن و روی سطح مایع ایجاد می‌کند، بازده تولید آب شیرین افزایش یابد. مدل آزمایش گاهی ساخته شده در این پژوهش، مربوط به آب‌شیرین‌کن با منیفولد، لوله‌های حرارتی و استفاده از اجکتور و خنک‌کننده آب جهت افزایش راندمان آن هست که در ادامه به شرح جزئیات مربوط به آن خواهیم پرداخت.

۲- ساخت سیستم آزمایشگاهی

در این دستگاه برای افزایش دمای آب پنج عدد لوله حرارتی که به منیفولد متصل شده‌اند استفاده می‌شود. آب به‌وسیله پمپ DC که توان موردنیاز آن توسط پنل خورشیدی و باطری سیلد اسید تأمین می‌گردد به حرکت درآمده و به حوضچه وارد می‌شود به دلیل خلأ ایجاد شده توسط هواکش طبیعی عمل تبخیر آب در دمای کمتر انجام می‌شود. بخارات تشکیل شده روی شیشه‌بر اثر انتقال حرارت شیشه با محیط بیرون تقطیر شده و به سمت ناودانی که روی بدنه دستگاه تعبیه شده سر می‌خورند و از انتهای آن جمع‌آوری می‌گردند. بخارات خروجی از مسیر هواکش طبیعی نیز توسط خنک‌کننده آب تقطیر و جمع‌آوری می‌گردند. نکته قابل‌توجه در این مدل آب‌شیرین‌کن استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر وعدم استفاده از سوخت‌های فسیلی جهت تهیه آب شیرین هست و به همین دلیل قابلیت استفاده در نقاط دورافتاده و کمتر توسعه‌یافته را دارد و در کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی نقش مهمی دارد.

۱-۲- لوله‌های حرارتی

در این پروژه برای افزایش بازده تولید آب شیرین، راه‌کار جدیدی پیشنهاد می‌گردد و آن استفاده از لوله‌های حرارتی^۱، منیفولد^۲ هواکش طبیعی جهت پیش گرم نمودن آب ورودی به مخزن آب‌شیرین‌کن و کاهش فشار سطح مایع جهت تبخیر سریع‌تر آب و استفاده از واترکولر جهت تبخیر بخارات در صورت امکان است که با طراحی، ساخت و آزمایش این پروژه، انتظار می‌رود راندمان تولید به‌طور چشمگیری افزایش یابد.

شیفعی و همکاران [۴] آب‌شیرین‌کنی را مورد آزمایش قرار دادند که در آن از لوله‌های حرارتی ترموسیفون جهت افزایش راندمان تولید استفاده شده است. آن‌ها دریافتند که بیشینه میزان تولید آب شیرین $1.02 \text{ (kg/m}^2\cdot\text{h)}$ و بهترین راندمان برابر ۲۲.۹ درصدی باشد. آن‌ها همچنین بهترین جنس پوشش روی مخزن را پس از آزمایش تعیین کردند و آن پوشش شیشه در مقایسه با پوشش فولادی و آلومینیومی بود. همچنین با آزمایش روی عمق آب‌شور از ۱ تا ۵ سانتی‌متر، در عمق ۲ سانتی‌متری بیشترین میزان تولید آب شیرین اتفاق افتاد. رای^۳ و همکاران دستگاهی را آزمایش کرده‌اند که در آن کلکتور تخت گرمای خود را از طریق صفحه جاذب به آب منتقل می‌کند و آب دمابالا به مخزن از طریق لوله وارد می‌شود. یک پمپ برای جریان آب از مخزن به کلکتور تخت استفاده می‌شود [۵]. این گروه دریافتند که دستگاه با کلکتور تخت ۲۴٪ تولید روزانه بیشتری نسبت به مدل مشابه بدون کلکتور دارد. مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که تولید روزانه با افزایش غلظت نمک کاهش می‌یابد. نمک اضافی کشش سطحی را افزایش و در نتیجه تبخیر را کاهش می‌دهد. بهترین عملکرد مربوط به زمانی است که کلکتور به دستگاه جفت شده و کف ظرف کاملاً سیاه‌رنگ شده است. همچنین آن‌ها فهمیدند که تولید ۳۰٪ با افزودن رنگ سیاه به کف آب زیاد می‌شود. عایق دیواره‌ها و کف نیز یک پارامتر مهم است که در آب‌شیرین‌کن ساده عملکرد بهتری نشان می‌دهد زیرا به افزایش سطح مؤثر، عملکرد کاهش می‌یابد. آزمایش‌های تیواری و دیمان^۴ [۶] 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. تیواری و کامره^۵ [۷] مشاهده کردند که دمای آب و بازده گرمایی با افزایش مساحت مخزن کاهش می‌یابد که به خاطر ظرفیت گرمایی بالای آب و عمق آب هست. با افزایش تعداد کلکتورها تولید زیاد شده است.

دمای شیشه پارامتر دیگری است که بر عملکرد دستگاه تأثیر می‌گذارد. نرخ تبخیر با کاهش دمای شیشه زیاد می‌شود. بررسی‌ها نشان داد که با کاهش دمای محیط، دمای شیشه کاهش می‌یابد و این باعث اختلاف دمای سطح آب‌شور و شیشه می‌گردد و سبب افزایش میزان آب چگالش یافته می‌گردد. البته کاهش دمای محیط سبب یک کاهش کلی در دمای دستگاه می‌گردد [۸]. هر چه هوا صاف‌تر باشد میزان تابش مستقیم رسیده از خورشید به دستگاه بیشتر می‌شود و قابلیت جذب پرتوهای خورشید افزایش می‌یابد. نظریه‌های پژوهش‌گران در مورد تأثیر سرعت باد متفاوت هست. تیواری بررسی کرد که افزایش سرعت باد سبب کاهش در میزان خروجی آب شیرین می‌شود. تیواری بررسی کرد که افزایش سرعت باد باعث کم شدن دمای شیشه و افزایش میزان چگالش در حوضچه‌های عمیق می‌شود و تأثیری بر کارکرد حوضچه‌های کم‌عمق ندارد [۹]. سلیمان^۶ بررسی کرد که افزایش سرعت باد سبب افزایش میزان آب

^۱ Heat pipe

^۲ Manifold

^۳ Rai

^۴ Dhiman

^۵ Sanjeev Kamer

^۶ Soliman

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 به‌وسیله‌ی 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. ظرفیت گرمایی ویژه‌ی آب هم بالاتر است، یعنی به ازای افزایش دمای یک‌درجه‌ای برای جرم مشخص، گرمای بیش‌تری را دریافت می‌کند و به زبان ساده‌تر، دیرتر گرم می‌شود.



شکل ۲ نمای کلی واترکولینگ

۳- ساخت دستگاه آب‌شیرین‌کن

در ساخت یک آب‌شیرین‌کن برخی عوامل باید در نظر گرفته شود از جمله این‌که در برابر خوردگی مقاوم باشد، جهت جلوگیری از خروج بخارات کاملاً آب‌بندی باشد، وزن کمی داشته باش دو جهت کاهش انتقال حرارت از حوضچه به محیط اطراف به‌خوبی عایق‌بندی شود.

مخزن آب‌شیرین‌کن از ورق‌های گالوانیزه به ضخامت ۰/۶ میلی‌متر و به ابعاد ۵۰*۵۰ سانتی‌متر مربع ساخته‌شده است. به‌منظور آب‌بندی کامل و بالا بردن مقاومت ورق‌ها، پس از برش به ابعاد موردنظر، آن‌ها را توسط دستگاه نقطه‌جوش، جوش داده و مخزن ساخته‌شده را در داخل جعبه‌ی دیگری از همین جنس قرار می‌دهیم. فضای بین دو مخزن را به‌وسیله فوم پلی اورتان^۳ به ضخامت ۳ سانتی‌متر به‌طور کامل عایق کرده و برای خروج آب شیرین شده، یک ناودانی با شیب ملایم جوش داده می‌شود که به یک لوله خروجی جهت جمع‌آوری آب متصل است. برای آب‌بندی بهتر دستگاه همه درزها با چسب آبرزی‌دان آب‌بندی می‌شود کف و دیواره‌های داخلی مخزن را با رنگ سیاه مات می‌پوشانیم. پوشش روی مخزن که شیشه‌ی شفاف به ضخامت ۳ میلی‌متر هست، نصب می‌گردد و به‌دقت آب‌بندی می‌شود. محل قرارگیری شیشه طوری تعبیه‌شده که بخار حاصل از تبخیر آب، به دلیل اختلاف دمای داخل و بیرون شیشه، پس از تقطیر روی سطح داخلی شیشه، به‌طرف پایین سرخورده و در ناودانی جمع شده و از لوله‌ی خروجی، جمع‌آوری می‌شود. کف مخزن نیز پس از نصب روی پایه‌ها جهت کاهش انتقال حرارت به محیط با پشم‌شیشه، عایق می‌گردد. با توجه به ایده‌ی پروژه برای پیش گرم کردن آب، از یک لوله‌ی آهنی ۲ اینچی به طول ۴۰ سانتی‌متر به‌عنوان منیفلد استفاده می‌گردد. دو طرف لوله کپ^۴ جوش داده می‌شود دو عدد سوراخ جهت نصب اتصالات ورود و خروج آب

مکانیزم‌های معمول و مرسوم انتقال حرارت در مهندسی به‌منظور ایجاد گرمایش و سرمایش، نیاز به توان خارجی، صرف هزینه جاری علاوه بر هزینه ساخت اولیه دارد و در اغلب موارد دارای قطعات متحرک هستند که نیاز به بازرینی، تعمیرات و بررسی دوره‌ای را دارد لذا، یک لوله حرارتی و سیله‌ای نسبتاً ساده است که بدون هیچ قسمت متحرکی، قابلیت انتقال مقادیر بالای حرارت را در فواصل مختلف دارد. فکر اولیه‌ی لوله‌های حرارتی در ابتدا به‌وسیله‌ی گاکلر^۱ در سال ۱۹۴۲ پیشنهاد شد؛ اما تا سال ۱۹۶۲ طول کشید تا گروور^۲ مهندسی که در لوس آلاموس روی خنک کاری دستگاه‌های تولید انرژی اتمی در فضا کار می‌کرد، آن را اختراع کند [۱۲]. جهت گرم نمودن آب در حال چرخش در منیفلد، از پنج عدد لوله‌ی حرارتی (هیت پایپ) با طول ۱/۸ متری استفاده می‌گردد و محل اتصال آن‌ها به منیفلد توسط چسب حرارتی کاملاً آب‌بندی و تست‌شده است. پس از انجام آزمودن نشستی جهت کاهش انتقال حرارت از آب به محیط منیفلد با پشم‌شیشه عایق می‌گردد.

۲-۲- هواکش طبیعی

به‌طورکلی هواکش‌های طبیعی وسایلی هستند که برای ایجاد خلأ در محفظه‌های بسته مورد‌استفاده قرار می‌گیرند، لیکن در ساختمان آن‌ها هیچ‌گونه قطعه متحرک مکانیکی وجود ندارد. لذا تعمیرات و نگهداری آن‌ها ساده و کم‌هزینه است. این هواکش برای کارایی نیاز به جریان باد دارد که با ۰/۸ متر بر ثانیه سرعت باد (یک نسیم ملایم) شروع به کار کردن می‌کند و از آنجایی‌که این هواکش مثل هواکش‌های توربینی نیست که نیاز به چرخیدن دائمی‌اش باشد پس نیاز به قدرت شدید باد ندارد شکل ۱.



شکل ۱: نمونه هواکش طبیعی مورد‌استفاده

۳-۲- خنک‌کننده آب

تاریخچه خنک‌کننده‌های آبی برمی‌گردد به سال ۱۹۸۵. عملکرد خنک‌کننده‌های آبی شبیه به سیستم خنک‌کننده‌ی خودروها هست. هر دو از یک قانون پایه‌ای و ساده‌ی ترمودینامیک استفاده می‌کنند 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

^۳ Polyurethane
^۴ GAP

^۱ Gagler
^۲ Grower

میزان تشعشع و همچنین میزان آب خروجی و کیفیت آن (TDS, PH) اندازه گیری شد. به علت تأثیرپذیری هواکش طبیعی از سرعت باد در کل دوره آزمایش سرعت باد ثابت در نظر گرفته شد و کلیه دیتاها در هر ساعت ثبت گردید.

۴-۱- راندمان آب شیرین کن

راندمان آب شیرین کن نیز با توجه به نرخ تولید در ساعات مختلف رشد قابل توجهی دارد به طوری که راندمان از 0.798 در حالت غیرفعال (بدون هواکش، هیت پایپ و خنک کننده آب) به 1.19 در حالت تلفیقی (با هواکش، هیت پایپ و خنک کننده آب) رسید یعنی رشدی معادل 49 درصد را نشان خواهد داد.

$$(1.19-0.798)/(0.798)=49\%$$

برای مقایسه راندمان آب شیرین کن فعال به صورت لحظه ای پارامتر η_i به کار برده می شود.

$$\eta_i = \frac{m h_{fg}}{I A_{still} + I A_{col}} \quad (1)$$

که در آن η بازده، m جرم آب کندانس شده بر حسب (kg/s) و h_{fg} گرمای نهان آب بر حسب (J/kg)، I شدت پرتوی خورشید روی جمع کن صفحه تخت و آب شیرین کن بر حسب (W/m^2)، A_{still} و A_{col} به ترتیب مساحت های مؤثر کلکتور (جمع کن) و کلکتور (شیرین کن) بر حسب (m^2) می باشند.

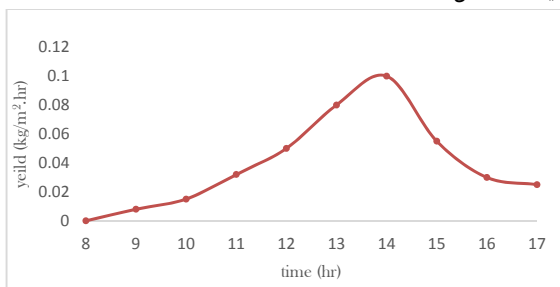
بازده روزانه با فرمول ۲ محاسبه خواهد شد:

$$\eta_d = \frac{\sum m h_{fg}}{3600(\sum I A_{still} + \sum I A_{col})} \quad (2)$$

۴-۲- نتایج آزمایش

۴-۲-۱- حالت غیرفعال

در ابتدا حجم مخزن تا ارتفاع ۲ سانتیمتری از آب پر شد و در ابتدای هر آزمایش این عمل تکرار گردید. پس از گذشت زمانی در حدود نیم ساعت آب شروع به تبخیر می کند. بیشینه نرخ تولید در حالت غیرفعال به میزان بین ساعت ۱۳ تا ۱۴ بعد از ظهر دیده می شود که همزمان با بیشینه شدت تابش خورشید است. شکل ۴



شکل ۴ تغییرات نرخ تولید آب شیرین کن غیرفعال در ساعات مختلف

میزان نرخ تولید در حالت غیرفعال برابر 0.798 kg/m^2 هست. شدت کمتر پرتوی خورشید در ابتدای روزه 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.

۴-۲-۲- حالت تلفیقی

در این مرحله با تلفیق لوله حرارتی، منیفلد، واترکولر و اجکتور راندمان نسبت به حالت غیرفعال افزایش قابل توجهی دارد. شکل ۵. در این مرحله با

در دو طرف ایجاد می گردد. روی بدنه ی لوله، پنج سوراخ جهت ورود لوله حرارتی تعبیه شده، به طوری که سر هیت پایپها کاملاً وارد منیفلد شده و پس از آب بندی، آب مخزن در حال عبور از آن، بیشترین سطح تماس را با آن ها دارد و در نتیجه انتقال حرارت از لوله مسی هیت پایپ به آب در بهترین وضعیت صورت می گیرد. گردش آب از مخزن به داخل منیفلد 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 پیستونی ۱۲ ولت و ۲۰ آمپر مخصوص آب آشامیدنی انجام می گیرد. نیروی محرک پمپ به وسیله ی یک پنل خورشیدی با توان ۵ وات و ابعاد فیزیکی ۱۵×۲۰ سانتی متر تأمین می گردد. انرژی ارسالی از پنل خورشیدی توسط کنترل شارژ ۱ آمپری به باتری سیلد اسید^۱ با مشخصات ۱۲ ولت DC جهت ذخیره فرستاده می شود و به این ترتیب، باتصال به پمپ مورد نظر، آن را به حرکت درمی آورد. توان مورد نیاز برای پمپ خنک کننده 0.26 آمپر و توان مصرفی فن رادیاتور نیز 0.38 آمپر با ولتاژ مصرفی ۱۲ ولت می باشند که توسط پنل خورشیدی و باتری سیلد اسید تأمین می گردد.

با نصب هواکش طبیعی در قسمت بالایی و پشت مخزن و در جریان هوای آزاد و با نصب واترکولر در داخل مسیر آن، بخار مکیده شده از مخزن، در این قسمت کندانس شده و از زیر آن جمع آوری می گردد نمونه ساخته شده در شکل ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۳ مدل آزمایشگاهی آب شیرین کن

۴- آزمایش و داده برداری

کلیه دیتا برداری ها در شرایط آب و هوایی سمنان و در طول و عرض جغرافیایی ($35^{\circ} 33' N, 53^{\circ} 23'$) انجام خواهد شد. نتایج برای هر مرحله ثبت شد و در نهایت روزهایی از هر مرحله که از لحاظ شرایط آب و هوایی در شرایط یکسانی با سایر مراحل قرار داشت مورد مقایسه قرار گرفت. کلیه دیتاهای هرروز از ساعت ۸ صبح تا ساعت ۵ بعد از ظهر ثبت گردید. ارتفاع آب درون حوضچه در آغاز هر آزمایش در ارتفاع ۲ سانتیمتری نگه داشته شد همچنین کف مخزن قبل از انجام هر آزمایش تمیز ناخالصی ها با شستشو خارج گردید. در طول این آزمایش شرایط آب و هوایی مؤثر مانند درجه حرارت محیط،

¹ Sealed Lead-acid Battery

مقدار PH و tds آب ورودی و آب تقطیر شده در پایان هر مرحله اندازه گیری شده و میانگین آن در جدول ۱ بیان شده است که نشان می دهد کیفیت آب خروجی در حد مطلوب و برای استفاده شرب مناسب است.

جدول ۱ میانگین PH و TDS آب در سه حالت مختلف

STATUS	passive		active		combined	
	PH	TDS	PH	TDS	PH	TDS
WATER QUALITY inlet water	8.05	640	8	570	8.1	598
outlet water	7.4	115	7.3	130	7.35	129

۵- نتایج آزمایش

این پژوهش در سمنان و در طول و عرض جغرافیایی برابر (35° 33' N, 53° 23' E)، تیر و مردادماه ۱۳۹۵ و به جهت جذب حداکثر میزان تابش، مابین ساعات ۸ الی ۱۷ انجام می گیرد. آب شیرین کن از همه طرف عایق و آب بند و تا عمق ۲ سانتی متر دارای آب هست. هر آزمایش (حالت)، حداقل ۳ روز تکرار شده و روزهای مشابه در حالت های مختلف از نظر شدت تابش و دما، ملاک عمل قرار می گیرد.

۱- بیشترین میزان تولید در حالت غیرفعال حدود یک ساعت بعد یعنی بین ساعت ۱۳ تا ۱۴ رخ می دهد اما در حالت فعال در ساعت ۱۳.

۲- در مجموع با تلفیق لوله حرارتی، لوله خلأ، منیفلد و اجکتور، در مقایسه با حالت غیرفعال، بازده و میزان تولید افزایش می یابد.

۳- افزایش تولید به طور مستقیم وابسته است به شدت تشعشع خورشید.

۴- همان طور که اشاره شد، در آزمایش مربوط به هواکش طبیعی، بازده و میزان تولید در زمان ماکزیمم تشعشع افزایش چشمگیری داشت به طوری که بالاترین راندمان را به ثبت رساندیم و این ناشی از عملکرد صحیح اجکتور در آن مقطع است اما سیر نزولی در ساعات قبل و بعد از آن باعث کاهش راندمان کلی دستگاه گردید.

۵- در آزمایش های صورت گرفته، مشاهده شد که بیشترین شدت تابش متعلق به حدود ساعات ۱۲ تا ۱۳ هست.

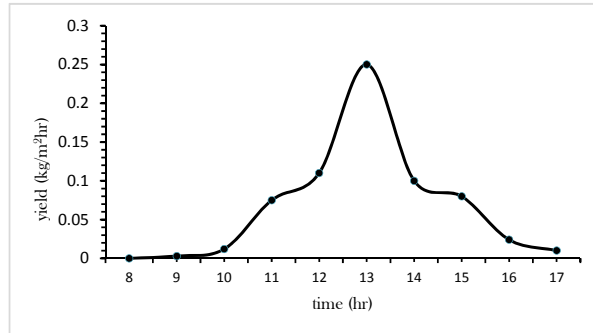
۶- فهرست علائم

T_{sky}	دمای بیرون
A_{still}	سطح مقطع آب شیرین کن
A_{coll}	مساحت کلکتور (جمع کن)
T_g	دمای شیشه
h_{fg}	گرمای نهان آب

۷- مراجع

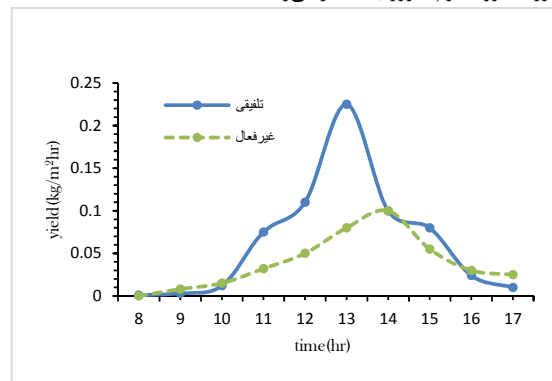
- [1] <http://www.civilica.com/Paper-NCAAD01-NCAAD01-040.html>
- [2] محدودی، مختار. 1392. شیرین سازی آب های شور و لبشور دست ساز با استفاده از تکنولوژی انجماد. محیط شناسی، سال بی و نهم، شماره 1، بهار 92، صفحه 1 الی 10
- [3] Spiegler, K.S. 1980. Principle of Desalination, 2nd ed. New York: Academic Press, 360-399.
- [4] 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.
- [5] Rai SN, Tiwari GN. Single basin solar still coupled with flat plate collector. Energy Conversion and Management 1983; 23(3):145-9
- [6] Tiwari GN, Dhiman NK. Performance study of a high temperature distillation system. Energy Conversion and Management 1991; 32(3):283-91.

توجه به استفاده از هواکش طبیعی جهت کاهش دمای تقطیر آب مشاهده شد که در ساعات اولیه راندمان کمتری حتی نسبت به حالت غیرفعال داریم که به علت کاهش دمای کلکتور بر اثر انتقال حرارت از طبیعی و همچنین افزایش سطح داخلی کلکتور هست؛ اما بعد از بالا رفتن نرخ تقطیر بر اثر افزایش میزان تشعشع عملکرد هواکش باعث کاهش فشار سطح سیال و افزایش نرخ تقطیر گردید.



شکل ۵ تغییرات نرخ تولید آب شیرین کن با هیت پایپ و اجکتور و واتر کولر در ساعات مختلف

از آنجایی که عملکرد هواکش تحت تأثیر سرعت باد قرار دارد به طوری که افزایش سرعت باد باعث کاهش بیشتر فشار روی سطح سیال خواهد شد لذا با توجه به اینکه شرایط آب و هوایی در طول این آزمایش ثابت در نظر گرفته شد و سرعت باد به طور میانگین 3m/s است. ما مشاهده کردیم نرخ تولید وابستگی شدیدی به تشعشع خورشید دارد و لذا با توجه به اینکه داده ها در شرایط مشابه از لحاظ آب و هوایی ثبت شده اند و دمای محیط تغییرات کمی دارد می توان نتیجه گرفت نرخ تولید بستگی کمی به دمای محیط داشته و این گفته صحیح است زیرا کلکتور به خوبی عایق شده است. در زمان ماکزیمم راندمان یعنی ساعت ۱۳ هم زمان با بیشترین تشعشع خورشید که بیشترین تبخیر اتفاق خواهد افتاد با توجه به عملکرد اجکتور در کاهش فشار روی سیال راندمان قابل توجه است؛ اما بعد از آن با کاهش شدت تشعشعات خورشید راندمان سیر نزولی بیشتری را حتی نسبت به حالت بدون اجکتور دارد. شکل ۶. همچنین هر چه ناخالصی بیشتر باشد مایع غلیظ تر شده نیروی ربایش بین مولکول ها زیادتر می شود، فاصله بین مولکول ها کمتر می شود و سرعت تبخیر کاهش می یابد لذا جهت افزایش راندمان دستگاه تخلیه ناخالصی های موجود در کف کلکتور به طور مداوم ضروری به نظر می رسد.



شکل ۶ مقایسه نرخ تولید آب شیرین کن در حالت های فعال و غیرفعال

- [7] kumar Sanjay, Tiwari GN. Optimization of collector and basin areas for a higher yield for active solar stills. *Desalination* 1998; 116:1-9.
- [8] ولی پور طیبی، علی. دشتبان، محمد. مقدم دیمه، حمید. 1390 آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی و بررسی پارامترهای مؤثر بر بازده ترمودینامیکی، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران. اردیبهشت ۹۰
- [9] Tiwari, G.N. Solar energy. Fundamentals, designs, modeling and application, CRC press pp. 2002
- [10] Soliman, S.H. Effect of wind on solar distillation, *Solar Energy*, Vol. 13, pp. 403-415, 1972.
- [11] Rai SN, Tiwari GN. Single basin solar still coupled with flat plate collector. *Energy Conversion and Management* 1983; 23(3):145-9
- [12] F Grover, G.M. 1963. "Evaporation-oondasation heat transfer device". U. S. Patent, Patent Number 3229759.