



تأثیر لایه متخلخل بر راندمان آب شیرین کن خورشیدی شیب دار یک طرفه - بررسی تجربی

علی خوش‌آهنگ^۱، نادر رهبر^{۲*}

۱- کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

* سمنان، ۳۵۱۹۶-۹۷۹۵۱، nrahbar@gmail.com

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>در این پژوهش، اثر استفاده از لایه متخلخل روی راندمان آب شیرین کن خورشیدی شیب دار یک طرفه به صورت تجربی مطالعه می شود. بدین منظور، دو آب شیرین کن با ابعاد مشابه که یکی به صورت ساده و دیگری به صورت اصلاح شده با ماده متخلخل ساخته شده و به طور هم زمان مورد آزمایش قرار می گیرند. اسفنج سیاه که دارای ظرفیت حرارتی پایین و خاصیت فیتیله ای می باشد به عنوان ماده متخلخل انتخاب می شود. همه آزمایش ها تحت شرایط آب و هوایی شهر سمنان (در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه) انجام می شوند. نتایج نشان داد که میزان تولید روزانه آب مقطر با قرار دادن اسفنج درون آب شیرین کن افزایش می یابد. آب شیرین کن های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل به ترتیب به میزان ۳۲۶۳ و ۳۸۲۹ سی سی بر متر مربع از مساحت مخزن آب شور، آب مقطر تولید می کنند. بر این اساس، آب شیرین کن اصلاح شده حدود ۱۷/۳۵٪ آب مقطر بیشتری نسبت به آب شیرین کن ساده در طول یک روز و در شرایطی مشابه تولید می کند. روند تغییرات مشابهی بین راندمان روزانه برای آب شیرین کن از یک سو و میزان تابش خورشید یا دمای محیط از سوی دیگر در طول آزمایش وجود دارد.</p>	<p>مقاله پژوهشی کامل دریافت: ۱۲ دی ۱۳۹۶ پذیرش: ۲۹ بهمن ۱۳۹۶ ارائه در سایت: ۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۷</p>
	<p>کلیدواژگان آب شیرین کن خورشیدی اسفنج راندمان شیب دار یک طرفه</p>

Effect of porous layer on the efficiency of a single slope solar still- Experimental investigation

Ali Khosh-Ahang¹, Nader Rahbar^{2*}

1- Master of science, Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran.

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

* P.O.B. 35196-97951, Semnan, Iran, nrahbar@gmail.com

Article Information

Original Research Paper

Received 2 January 2018

Accepted 18 February 2018

Available Online 5 May 2018

Keywords

Solar still

Sponge

Efficiency

Single slope

ABSTRACT

In this research, the effect of porous layer on the efficiency of a single slope solar still is studied, experimentally. Accordingly, two single slope solar stills with same sizes containing conventional and modified by using porous layer are fabricated and tested, simultaneously. Black sponge rubber with low heat capacity and wick characteristic is selected as porous material. All experiments were performed in Semnan with geographical coordinates of 35° 33' N, 53° 23' E, Iran. Results showed that daily total water productions enhance by using sponge in solar still. Daily total water productions are 3263 and 3829 cc/m² for conventional and modified stills, respectively. Accordingly, modified still produces 17.35% more distilled water in comparison with conventional one during one day. There is a direct relationship between trends of daily efficiencies of stills and trends of surrounding temperature or solar radiation intensity.

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Ali Khosh-Ahang, Nader Rahbar, Effect of porous layer on the efficiency of a single slope solar still-Experimental investigation, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 9, No. 1, pp. 36-44, 2018 (In Persian)

۱- مقدمه

حجم آب‌های موجود در کره زمین در حدود ۱/۴ میلیارد کیلومتر مکعب است که ۷۵٪ از سطح زمین را در بر گرفته‌اند، اما بیشتر آب موجود در زمین آب شور است. دریاها ۹۷٪ از آب قابل دسترس در زمین هستند. ۰/۵٪ از آب‌ها در لایه بالای یا اتمسفر (ابرها) وجود دارند. منابع آب شیرین در زمین تنها ۳۵ میلیون کیلومتر مکعب است [۱] (تقریباً ۲/۵٪ کل حجم آب‌های زمین)، که از این مقدار ۶۸/۹٪ آب‌های شیرین (در حدود ۲۴ میلیون کیلومتر مکعب) به صورت برف و یخ در کوهستان‌ها و دو قطب شمالی و جنوبی زمین ذخیره شده‌اند که به‌سختی برای مصرف بشر قابل دسترسی‌اند. همچنین قسمت عمده منابع باقیمانده آب شیرین، ۱۰/۸ میلیون کیلومتر مکعب (۳۰/۸٪ منابع آب شیرین) جزء منابع آب زیرزمینی به‌شمار می‌روند. در نتیجه کل ذخیره آب قابل دسترسی برای بشر چیزی بیشتر از ۲۰۰ هزار کیلومتر مکعب نیست، که مصرف بیش‌از حد همین میزان آب نیز باعث برهم خوردن بوم‌سازگان عمومی زمین می‌شود. پس تنها حدود ۰/۱۴٪ از منابع آب کره زمین برای مصرف قابل دسترس است. اگر نخواهیم منابع تجدید نشدنی را به خطر بیندازیم در واقع مقدار آب قابل استفاده چیزی بین ۱۲/۵ هزار تا ۱۴ هزار کیلومتر مکعب است. جهان عرب، شمال آفریقا و منطقه خاورمیانه تنها به ۰/۶۷٪ منابع آب شیرین تجدید شدنی کره زمین دسترسی دارند که به‌زحمت نزدیک به هزار متر مکعب برای هر نفر می‌رسد [۲].

با توجه به حجم بالای آب‌های شور، باید به دنبال روش‌های مناسب جهت شیرین نمودن آب‌های شور بود. روش متداولی که برای تأمین آب شرب بکار گرفته می‌شود استفاده از دستگاه‌های معمول آب شیرین کن، از جمله اسمز معکوس، تقطیر، الکترودیالیز و غیره است. در این گونه سازوکارها هزینه بالای ساخت، تعمیر و نگهداری و از همه مهم‌تر نیاز به مصرف برق از جمله معایب به‌شمار می‌روند. همچنین ظرفیت بالا و عدم کاربری آن برای مناطق با جمعیت محدود باعث می‌شود که استفاده از این گونه سازوکارها در روستاها امری غیرممکن باشد [۳]. با توجه به این موارد، آب شیرین کن‌های خورشیدی به‌عنوان راه‌حلی برای غلبه بر بحران آب و همه‌گیر نمودن استفاده از وسایل تصفیه آب مطرح شد. تحقیقات انجام‌شده بر روی آب شیرین کن‌های خورشیدی نشان داده‌است که این دستگاه‌ها می‌توانند جایگزینی برای آب شیرین کن‌های متداول باشند. از مهم‌ترین مزایای

آب شیرین کن‌های خورشیدی می‌توان به استفاده از انرژی پاک خورشید، نداشتن هیچ‌گونه آلودگی صوتی و محیط زیستی اشاره نمود [۴].

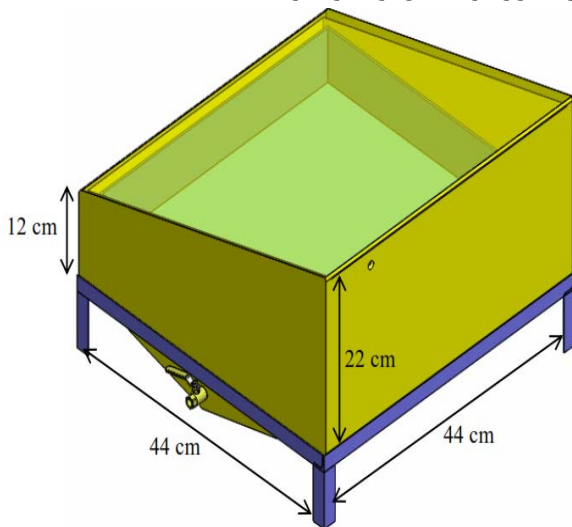
مشکل اساسی آب شیرین کن‌های خورشیدی، پایین بودن راندمان آن‌ها می‌باشد. روش‌های فعال و غیر فعال زیادی به منظور افزایش راندمان و تولید آب مقطر این وسایل به کار رفته‌اند.

برخی از محققین از روش‌های فعال به‌منظور افزایش راندمان آب شیرین کن‌های خورشیدی استفاده نمودند. در پژوهشی نصار و همکاران [۵] با استفاده از یک کمپرسور یخچال به‌منظور متراکم کردن بخار آب برای چگالش بهتر و همچنین با استفاده از کلکتورهای بیضوی برای گرم کردن آب، میزان ۲۰ لیتر بر متر مربع در روز را برای دستگاه خود گزارش نمودند. ابوعلری و همکاران [۶] با استفاده از شیشه دوجداره و عبور آب از بین دوجداره شیشه به بررسی تأثیر خنک کاری شیشه در بهبود کارایی دستگاه پرداختند. آن‌ها با مدل کردن ریاضی روابط حاکم بر فرایندهای تبخیر و تقطیر در آب شیرین کن خورشیدی، همچنین استفاده از نتایج عملی حاصل از آزمایش خود، بهبود در عملکرد را برای این دستگاه گزارش نمودند. در تحقیقی رحیم [۷] روش‌های گوناگونی را برای افزایش بهره‌وری دستگاه تقطیر خورشیدی استفاده کرد. او ناحیه‌های تبخیر و چگالش را جدا نموده و از لوله مسی در واحد چگالش استفاده کرد، صفحه آلومینیومی سیاه در حوضچه به‌کار گرفت و از پمپاژ آب روی دیواره‌های سیاه نیز استفاده کرد. در همه موارد بهره‌وری دستگاه تقطیر افزایش یافت. کارایی دستگاه تقطیر ۳۱/۱٪ بود. کومار و کاستوری بای [۸] با استفاده از روش لوله‌کشی جداره‌ها و خنک کردن آن‌ها به بررسی تأثیر این روش در افزایش کارایی آب شیرین کن خورشیدی پرداختند. در آب شیرین کن آن‌ها، چگالش علاوه بر روی پوشش شیشه‌ای در دیواره‌های جانبی نیز رخ می‌داد که توسط سامانه لوله‌کشی و گردش آب سرد می‌شدند. آن‌ها افزایش راندمان به میزان ۱۰۰٪ را نسبت به حالت بدون گردش آب گزارش نمودند.

برخی از محققین از روش‌های غیر فعال برای افزایش راندمان آب شیرین کن‌های خورشیدی استفاده نمودند. ولمورگان و همکاران [۹] با قرار دادن صفحات مواج (قرار دادن پره در کف) در کف آب شیرین کن، به بررسی تأثیر این روش در افزایش راندمان دستگاه پرداختند. آنان افزایش ۵۳٪ را با

آزمایش می‌شوند. آب شیرین کن‌های ساخته شده دارای دو مخزن، یکی برای آب ورودی (آب شور و غیر شرب) و دیگری برای آب خروجی (آب شیرین و شرب) می‌باشند. شکل ۱ نمای کلی دستگاه را نشان می‌دهد.

مخزن آب شور به ابعاد 0.4×0.4 متر و ارتفاع 0.1 متر از شیشه پلکسی سیاه با ضخامت 5 میلی‌متر جهت جذب بهتر تابش خورشید ساخته شده است. ابعاد مخزن آب شور 0.4×0.4 متر مربع) کمتر از ابعاد خود آب شیرین کن 0.44×0.44 متر مربع) لحاظ شده که امکان هدایت آب مقطر به مخزن آب شیرین را فراهم می‌کند. مخزن جمع‌آوری آب شیرین، به صورت شیب‌دار از دو طرف ساخته شده که امکان هدایت و جمع‌آوری آب مقطر در این قسمت را فراهم می‌کند. همچنین یک شیر برای هر آب شیرین کن جهت خارج کردن آب مقطر تعبیه شده - است. درب دستگاه از شیشه معمولی شفاف ساخته شده است که با زاویه‌ای نزدیک به 13 درجه نسبت به افق روی آب شیرین - کن قرار می‌گیرد. کم بودن این زاویه باعث سقوط قطرات آب شیرین از روی شیشه به داخل حوضچه آب شور می‌شود. درب دستگاه وظیفه‌ی عبور مناسب نور خورشید و ایجاد عایق رطوبتی مناسب میان دستگاه و هوای آزاد بیرون را بر عهده دارد. برای هر آب شیرین کن دو پایه چوبی به منظور قرارگیری آب شیرین کن روی آن ساخته شده است. شکل ۲ دستگاه آب شیرین کن ساخته شده را نشان می‌دهد. در بدنه کناری دستگاه یک سوراخ برای قرارگیری حس گر اندازه‌گیری دما تعبیه شده است.



شکل ۱ طرح‌واره کلی دستگاه

استفاده از این روش در تولید آب خروجی گزارش نمودند. کابیل و ابدالجاید [۱۰] از مواد تغییر فاز دهنده به‌عنوان یک ذخیره ساز حرارتی درون آب شیرین کن خورشیدی استفاده نمودند. آن‌ها دریافتند که میزان تولید آب مقطر خروجی به میزان $67/18\%$ نسبت به آب شیرین کن معمولی افزایش می‌یابد. ساهوتا و تیواری [۱۱] از نانوذرات اکسید آلومینیوم درون آب شیرین کن خورشیدی شیب‌دار دوطرفه به‌منظور افزایش راندمان آن استفاده کردند. آن‌ها $12/2\%$ و $8/4\%$ افزایش در راندمان نسبت به آب شیرین کن معمولی برای حالتی که به ترتیب از 35 و 80 کیلوگرم آب ورودی و 0.12% کسر حجمی نانو ذرات استفاده گردد، مشاهده کردند. راجاسینیواسان و سریدار [۱۲] پرهایی با مقاطع دایره‌ای و مربعی درون تشتک یک آب شیرین کن خورشیدی قرار دادند. آن‌ها مشاهده کردند که تولید آب مقطر روزانه توسط آب شیرین کن به میزان $26/3\%$ و $36/7\%$ به ترتیب با قرار دادن پرهایی با مقاطع دایره‌ای و مربعی درون تشتک آب شیرین کن افزایش می‌یابد. الانگو [۱۳] و همکاران از نانو ذرات مختلف شامل اکسید آلومینیوم، اکسید قلع و اکسید روی درون یک آب شیرین کن خورشیدی برای افزایش میزان آب مقطر خروجی استفاده کردند. آن‌ها به میزان $29/95\%$ ، $18/63\%$ و $12/67\%$ افزایش در میزان آب مقطر خروجی به ترتیب با استفاده از نانوذرات اکسید آلومینیوم، اکسید قلع و اکسید روی دست یافتند. السبایی و همکاران [۱۴] تاثیر آرایش پره بر میزان تولید آب مقطر خروجی یک آب شیرین کن خورشیدی شیب‌دار یک طرفه را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که تولید آب مقطر خروجی آب شیرین کن با افزایش ارتفاع پره‌ها و کاهش تعداد آن‌ها افزایش می‌یابد.

در این مقاله از ماده متخلخل اسفنج که ارزان و در دسترس است به‌منظور افزایش راندمان یک آب شیرین کن خورشیدی شیب‌دار یک طرفه استفاده می‌شود.

۲- مدل‌سازی تجربی

در این بخش به شیوه ساخت دستگاه و نحوه انجام آزمایش اشاره می‌شود.

۲-۱- شرح دستگاه

دو آب شیرین کن خورشیدی شیب‌دار یک طرفه با ابعاد یکسان از شیشه پلکسی با ضخامت 5 میلی‌متر برای آزمایش به‌طور هم‌زمان ساخته شده‌اند. یکی از دستگاه‌ها به صورت ساده و دیگری با قرار دادن یک اسفنج مشبک در تشتک به‌طور هم‌زمان

دستگاه‌ها جهت بررسی عملکرد در شرایط آب و هوایی شهر سمنان آزمایش شدند. ساعات نمونه‌گیری از ساعت ۹ الی ۱۶ بوده است. لازم به توضیح است که آب شیرین کن از ساعت ۶ صبح راه اندازی می‌شدند ولی به دلیل تغییرات کم شرایط محیطی، نمونه‌گیری از ساعت ۹ صبح انجام می‌شد. متغیرهای محیطی نظیر دمای هوا و دمای آب شور به صورت ساعتی اندازه‌گیری و ثبت گردید. میزان تابش خورشید نیز به صورت لحظه‌ای و روزانه از دستگاه تابش سنخ دریافت و ثبت گردید. در ابتدای آزمایش، عمق آب شور نیز ۳ لیتر در نظر گرفته شد. از خمیر بازی برای آب‌بندی بین پوشش شیشه‌ای و بدنه آب-شیرین کن استفاده شد.



شکل ۲ دستگاه آب شیرین کن ساخته شده

۲-۳- کارایی دستگاه آب شیرین کن خورشیدی

کارایی لحظه‌ای آب شیرین کن خورشیدی، به‌عنوان نسبت انرژی استفاده شده برای تولید آب به کل نرخ انرژی ورودی به دستگاه تعریف می‌شود. در یک دستگاه تقطیر خورشیدی غیرفعال این مقدار به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\eta_i = \frac{m \times h_{fg}}{(A_b \times I)} \quad (1)$$

که در آن h_{fg} آنتالپی تبخیر آب در درجه حرارت متوسط محیط بوده و واحد آن کیلوژول بر کیلوگرم است. در این تحقیق مقدار h_{fg} برابر ۲۲۶۰ کیلوژول بر کیلوگرم در نظر گرفته شده است. m نرخ تولید آب تقطیر شده بر حسب کیلوگرم بر ثانیه می‌باشد. A_b مساحت کف مخزن آب شور دستگاه تقطیر بر حسب متر مربع است. I ، میزان تابش خورشید روی دستگاه تقطیر بوده و به صورت وات بر متر مربع بیان می‌شود.

کارایی روزانه دستگاه آب شیرین کن خورشیدی η_d با جمع کردن تولید ساعتی آب تقطیر شده ضرب در گرمای نهفته تبخیر و تقسیم بر متوسط روزانه تابش خورشید بر دستگاه تقطیر خورشیدی به دست می‌آید که از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\eta_d = \frac{\sum(m \times h_{fg})}{[\sum(I \times A)]} \quad (2)$$

۲-۴- بررسی عدم قطعیت و خطا در آزمایش‌ها

در این مقاله، از عدم قطعیت نوع B استفاده می‌شود. عدم قطعیت استاندارد به شکل زیر بیان می‌شود:

$$U = a/\sqrt{3} \quad (3)$$

که a دقت دستگاه و U عدم قطعیت یا خطای استاندارد می‌باشد. عدم قطعیت لوازم اندازه‌گیری مورد استفاده در این آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

همان طوری که قبلاً هم اشاره شد، یکی از آب شیرین کن‌ها به صورت ساده و دیگری به صورت اصلاح شده با قرارگیری یک لایه متخلخل آزمایش می‌شوند. اسفنج به‌عنوان ماده متخلخل استفاده می‌شود. از جمله دلایل انتخاب این ماده می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف- این ماده به دلیل داشتن نسبت سطح مؤثر به حجم بزرگ، نرخ تبخیر را درون آب شیرین کن افزایش می‌دهد.
ب- به دلیل ظرفیت حرارتی پایین این ماده، بیشتر گرمای ورودی صرف افزایش دمای آب و تبخیر آن می‌گردد.
ج- این ماده دارای خاصیت فتیله‌ای بوده و آب را به سطح خود جهت تبخیر منتقل می‌کند.

رنگ اسفنج برای آزمایش مشکی انتخاب شده تا حداکثر تابش خورشید را جذب کند. همچنین اسفنج به صورت مشبک انتخاب شده تا امکان قرار دادن سنسور برای اندازه‌گیری دمای سطح آب فراهم شود. شکل ۳ اسفنج استفاده شده و نحوه قرارگیری آن را درون مخزن آب شور نمایش می‌دهد.



شکل ۳ نحوه قرارگیری اسفنج درون مخزن آب شور

۲-۲- شرح روش انجام آزمایش بر روی دستگاه

جدول ۳ نتایج بررسی هزینه برای آزمایش

نوع دستگاه	CPL (\$/L/m ²)
اصلاح شده	۰/۰۱۱۱
معمولی	۰/۰۱۲۴۷

دقت شود GPL یا هزینه به ازای هر لیتر^۱ به میزان هزینه مورد نیاز جهت تولید هر لیتر آب از دستگاه مورد نظر اطلاق می شود. همچنین M یا بهره‌وری سالانه میانگین^۲ به مفهوم بهره‌وری سالانه به میزان تولید در یک سال اطلاق می شود [۱۶]. لازم به توضیح است که قیمت دلار در محاسبات ۳۷۰۰ تومان لحاظ شده است. همان طوری که از این جدول مشاهده می گردد، هزینه به ازای هر لیتر آب شیرین کن اصلاح شده با ماده متخلخل در مقایسه با آب شیرین کن معمولی پایین تر می باشد که این بیان گر این است که آب شیرین کن اصلاح شده با ماده متخلخل هزینه ساخت بیشتر خود را با تولید آب مقطر بیشتر به خوبی جبران می کند.

۳- بحث و نتیجه گیری

در این فصل بعد از ساخت دستگاهها و آزمایش آن در طول ۳ روز در شهر سمنان، پارامترهای موثر بر مقدار خروجی، راندمان دستگاهها و راندمان اکسرژی دستگاه اصلاح شده با لایه متخلخل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و در نمودارها به ارتباط آنها با هم پرداخته شده است.

نمودار ۴ تغییرات ساعتی تشعشع خورشید را در روز ۱۳۹۵/۰۶/۰۹ به تصویر می کشد. شدت تابش اثر اصلی بر عملکرد آب شیرین کن خورشیدی دارد. نمودار فوق نشان می دهد که تا ساعت ۱۳ شدت تابش خورشید روند افزایش دارد و در این ساعت به مقدار ماکزیمم خود می رسد. بعد از این ساعت شاهد کاهش شدت تشعشع خورشید هستیم به طوری که در ساعت پایانی آزمایش یعنی ساعت ۱۶، کمترین مقدار تشعشع خورشید ثبت شده است.

جدول ۱ عدم قطعیت لوازم اندازه گیری

وسيله اندازه گیری	دقت	محدوده	عدم قطعیت استاندارد
تابش سنج مدل Kipp.Zonen	۱w/m ²	۰-۵۰۰۰w/m ²	۰/۰۶ w/m ²
سنسور دما (TypePT100)	۰/۱°C	۰-۴۰۰°C	۰/۰۰۶°C
سنجش حجم	۰/۲ml	۰-۵ml	۰/۱۱۵ ml
خط کش	۰/۰۰۱ m	۰-۰/۵ m	۰/۰۰۰۶ m

هنگامی که متغیر y تابعی از تعدادی مقادیر ورودی x_i باشد، مقدار عدم قطعیت u از رابطه زیر قابل محاسبه است [۱۵]:

$$u(y) = \left[\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right)^2 u^2(x_1) + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right)^2 u^2(x_2) + \dots \right]^{1/2} \quad (4)$$

در رابطه بالا u(x_i) عدم قطعیت اندازه گیری مربوط به متغیر ورودی x_i است.

در آب شیرین کن های خورشیدی جهت بررسی عملکرد، از متغیر کارایی لحظه ای استفاده می شود؛ بنابراین با توجه به تعریف راندمان برای آب شیرین کن خورشیدی، می توان نوشت:

$$u(\eta) = \eta \left[\frac{u^2(m)}{m^2} + \frac{u^2(I_s)}{(I_s)^2} \right]^{1/2} \quad (5)$$

بالترین مقدار عدم قطعیت برای راندمان ثبت شده در آزمایش های این پروژه برابر ۰/۰۷۱۹ می باشد.

۲-۵- بررسی هزینه

معمولاً در طراحی یک دستگاه هدف اصلی نگاه داشتن هزینه در کمترین حد ممکن است. برآورد هزینه برای مؤلفه های مختلف استفاده شده در کار حاضر در جدول ۲ ارائه شده است. هزینه های ساخت برای آزمایش ۲۱۵۰۰۰۰ ریال بوده که بخش اصلی هزینه ها مربوط به شیشه پلکسی گلاس می باشد. اگرچه از این هزینه به دلیل قابلیت حمل دستگاه های تقطیر خورشیدی نمی توان اجتناب کرد.

جدول ۲ بررسی هزینه قطعات

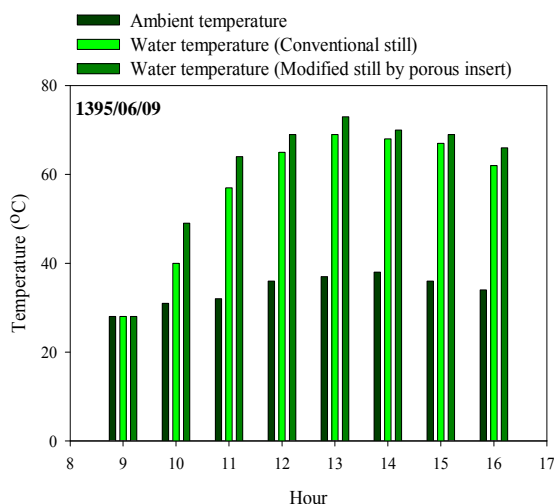
شرح	قیمت (ریال)
محفظه شیشه ای از جنس پلکسی	۱۵۰۰۰۰
هزینه ساخت پایه چوبی	۴۵۰۰۰
هزینه آب بندی (خمیر)	۱۰۰۰۰
هزینه لایه متخلخل	۱۰۰۰۰
جمع کل (ریال)	۲۱۵۰۰۰

نتایج مربوط به بررسی هزینه آزمایش در جدول ۳ ارائه

شده اند.

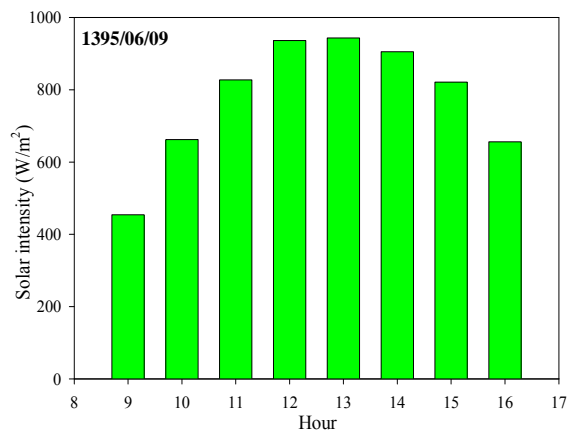
1. Cost per litter
2. Average Annual Productivity

صرف بالا بردن دمای ماده متخلخل گردد، صرف افزایش دمای آب می شود.



شکل ۵ تغییرات ساعتی دمای محیط و دماهای سطح آب برای آب- شیرین کن های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل

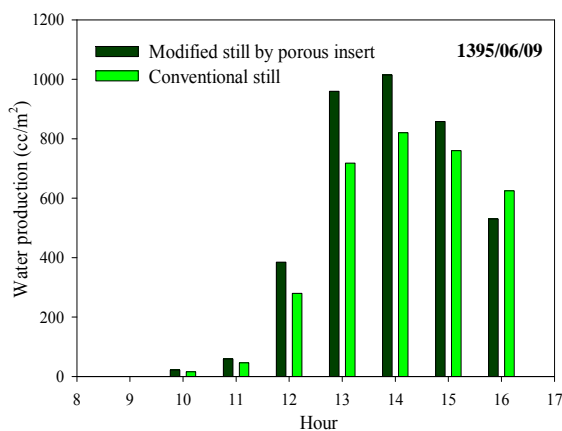
نمودار ۶ تغییرات ساعتی اختلاف دمای سطوح آب و شیشه برای آب شیرین کن های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل را در روز ۱۳۹۵/۰۶/۰۹ نشان می دهد. از این شکل مشاهده می شود که اختلاف دمای سطوح آب و شیشه دارای روندی مشابه با روند تشعشع خورشید دارد و در ساعت ۱۳ به ماکزیمم مقدار خود می رسد. در ساعت ابتدایی آزمایش (ساعت ۹ صبح) به دلیل این که آب شیرین کن هنوز شروع به کار نکرده، اختلاف دمایی بین سطوح آب و شیشه آن مشاهده نمی شود. نکته دیگری که از این شکل مشاهده می شود این است که اضافه کردن ماده متخلخل درون آب شیرین کن باعث شده است که اختلاف دمای بین سطوح آب و شیشه نسبت به حالت آب شیرین کن ساده افزایش یابد. به عنوان مثال ۶۰ درصد افزایش در این اختلاف دما برای حالت آب شیرین کن با لایه متخلخل نسبت به حالت ساده آن در ساعت ۱۲ مشاهده می کنیم. لازم به توضیح می باشد که قرار دادن لایه متخلخل درون آب شیرین کن سبب افزایش جذب حرارت ورودی از خورشید و طبیعتاً افزایش نرخ انتقال حرارت جابجایی آزاد بین شیشه و سطح آب می گردد که این به نوبه خود منجر به افزایش اختلاف دمای آب و شیشه می گردد.



شکل ۴ میزان تشعشع خورشید در ساعت های مختلف آزمایش

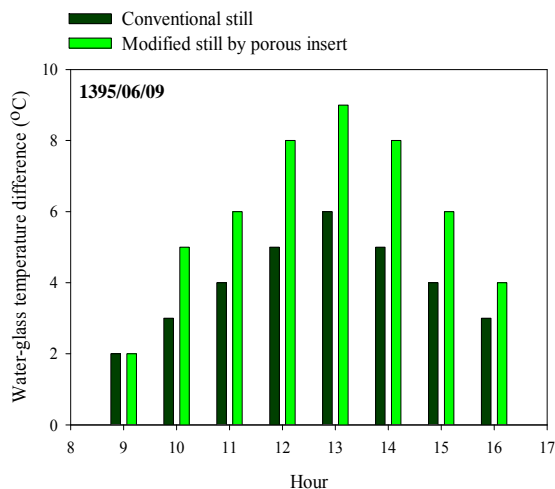
نمودار ۵ تغییرات ساعتی دمای محیط و دمای سطح آب برای آب شیرین کن های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل را در روز ۱۳۹۵/۰۶/۰۹ به تصویر می کشد. نمودار فوق نشان می دهد که دمای محیط و دماهای سطح آب برای آب شیرین کن های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل تقریباً روند یکسانی دارند. دماهای سطح آب برای هر دو آب شیرین کن های ساده و اصلاح شده از شروع آزمایش روند افزایشی دارند تا این که در ساعت ۱۳ ظهر به مقدار ماکزیمم خود می رسند و بعد از آن تا انتهای آزمایش کاهش می یابند که این روند تطابق مستقیمی با روند تغییرات ساعتی تشعشع خورشید دارد. روند تغییرات ساعتی دمای محیط هم همین روند را دنبال می کند ولی با این تفاوت که ماکزیمم دمای محیط با یک ساعت تاخیر نسبت به ماکزیمم تشعشع خورشید یعنی ساعت ۱۴ اتفاق می افتد. دلیل این تاخیر زمانی را می توان با ظرفیت حرارتی هوای محیط، چگالی هوا، کیفیت هوا و رطوبت موجود در آن توجیه نمود. نکته آخری که از این نمودار مشاهده می شود این است که دماهای روی سطح آب در طول ساعات آزمایش برای آب شیرین کن اصلاح شده با لایه متخلخل همیشه به جزء ساعت ابتدایی آزمایش (ساعت ۹ صبح) دارای مقادیر بالاتری نسبت به آب شیرین کن ساده می باشند. دلیل این امر این است که اولاً ماده متخلخل سطح جذب تشعشع خورشید را افزایش داده و حرارت بیشتری را در آب پخش می کند. همچنین ماده متخلخل (اسفنج) طوری انتخاب شده است که دارای جرم کم و در نتیجه ظرفیت حرارتی پایین می باشد. ظرفیت حرارتی پایین ماده متخلخل این مزیت را دارد که اکثر تابش ورودی به جای اینکه

در طول آزمایش با تبخیر شدن آب، عمق آب موجود در حوضچه آب شیرین کن کاهش می یابد که این خود موجب کاهش خاصیت موبینگی ماده متخلخل و کاهش راندمان دستگاه می شود. به طور کلی در طول یک روز آزمایش، آب شیرین کن های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل به ترتیب به میزان ۳۲۶۳ و ۳۸۲۹ سی سی بر متر مربع از مساحت حوضچه، آب مقطر تولید می کنند که این نشان می دهد که آب شیرین کن اصلاح شده با ماده متخلخل حدود ۱۷/۳۵ درصد آب مقطر بیشتری نسبت به آب شیرین کن ساده در طول یک روز و در شرایطی مشابه تولید می کند.



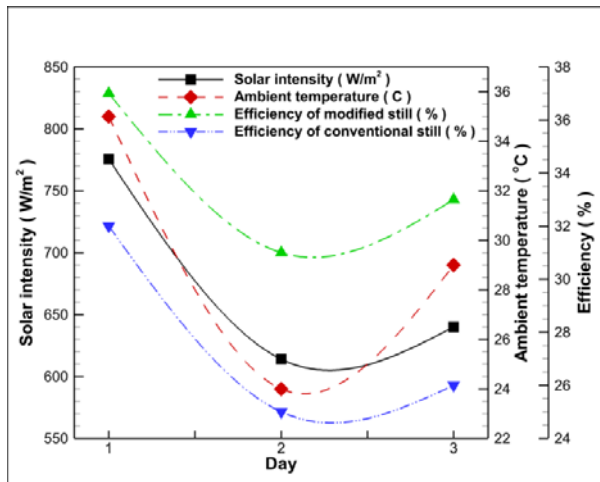
شکل ۷ میزان آب مقطر تولیدی برای هر دو آب شیرین کن های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل

نمودار ۸ راندمان های ساعتی آب شیرین کن های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل را در روز ۱۳۹۵/۰۶/۰۹ نشان می دهد. از این نمودار واضح است که ماکزیم راندمان ساعتی برای هر دو آب شیرین کن در ساعت ۱۴ اتفاق می افتد. نکته دیگری که از این شکل مشاهده می شود این است که راندمان آب شیرین کن با قرار دادن لایه متخلخل درون آب شیرین کن افزایش می یابد. ماکزیم این افزایش در ساعت ۱۳ رخ داده و مقدار آن حدود ۳۵/۴ درصد نسبت به آب شیرین کن ساده می باشد. همان طوری که در نمودار ۶ هم مشاهده شد، اختلاف دماهای بسیار ناچیزی بین سطوح آب و شیشه در ساعات اولیه آزمایش وجود دارند که این اختلاف دماهای ناچیز موجب می شوند تا راندمان در این ساعات آزمایش مقدار ناچیز و نزدیک به صفر داشته باشد.

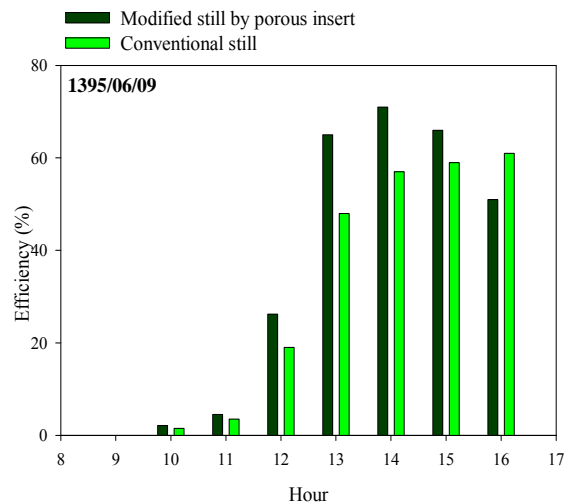


شکل ۶ تغییرات ساعتی اختلاف دماهای سطوح آب و شیشه برای هر دو آب شیرین کن های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل

نمودار ۷ میزان آب مقطر تولیدی برای آب شیرین کن های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل را در ساعات مختلف روز ۱۳۹۵/۰۶/۰۹ نشان می دهد. از شکل مشاهده می شود که میزان آب مقطر تولیدی برای هر دو آب شیرین کن های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل از شروع آزمایش روند افزایش داشته و در حدود ساعت ۱۴ به ماکزیم مقدار می رسد. بعد از این ساعت میزان آب مقطر تولیدی شروع به افت می کند. دلیل آن را هم می توان این گونه توضیح داد که با پایین آمدن میزان تشعشع برای ساعات پایانی آزمایش (نمودار ۴)، میزان خروجی دستگاه نیز کاهش می یابد. نکته دیگری که از این شکل مشاهده می شود این است که میزان آب مقطر تولیدی توسط آب شیرین کن با قرار دادن لایه متخلخل درون آن در همه ساعات آزمایش به جزء ساعت ۱۶ افزایش می یابد. ماکزیم افزایش در میزان آب مقطر تولیدی توسط آب شیرین کن با لایه متخلخل نسبت به آب شیرین کن ساده در ساعت ۱۳ اتفاق افتاده و مقدار آن برابر ۳۳،۷ درصد می باشد. اسفنج که در این آزمایش به عنوان ماده متخلخل استفاده شد یک ماده فتیله ای می باشد. این مواد سطح قرار گرفتن آب در معرض تابش خورشید را توسط عمل موبینگی افزایش داده و به طبع آن میزان تبخیر و تولید آب مقطر را افزایش می دهد. علاوه بر این، تبخیر سطحی با استفاده از یک لایه متخلخل در آب شیرین کن افزایش می یابد. همچنین از این شکل مشاهده می شود که در ساعت پایانی آزمایش، آب شیرین کن اصلاح شده با ماده متخلخل دارای تولید آب مقطر کمتری نسبت به آب شیرین کن ساده می باشد. دلیل این امر این است که



شکل ۹ راندمان‌های روزانه آب شیرین کن‌های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل و میانگین‌های روزانه دمای محیط و تشعشع خورشید در طول سه روز آزمایش



شکل ۸ راندمان‌های ساعتی آب شیرین کن‌های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل

۴- خلاصه نتایج

در این پژوهش، دو دستگاه آب شیرین کن خورشیدی قابل حمل طراحی و ساخته شدند و به صورت تجربی تحت شرایط آب و هوایی شهر سمنان در هوای آزاد آزمایش شدند. اثرات لایه متخلخل درون آب شیرین کن بر عملکرد این دستگاه با اصلاح یکی از آب شیرین کن‌ها و مقایسه آن با آب شیرین کن ساده تحت شرایط مشابه بررسی شدند. مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش و پیشنهادهایی جهت ادامه کار در این بخش ارائه شده‌اند. مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش عبارت است از:

- روند تغییرات مشابهی بین راندمان روزانه برای آب شیرین کن از یک سو و میزان تابش خورشید و دمای محیط از سوی دیگر در طول آزمایش وجود دارد.
- دمای سطح آب در طول ساعات آزمایش برای آب شیرین کن اصلاح شده با لایه متخلخل دارای مقادیر بالاتری نسبت به آب شیرین کن ساده می‌باشد.
- اضافه کردن ماده متخلخل درون آب شیرین کن باعث شده است که اختلاف دمای بین سطوح آب و شیشه نسبت به حالت آب شیرین کن ساده افزایش یابد. به عنوان مثال ۶۰٪ افزایش در این اختلاف دما برای حالت آب شیرین کن با لایه متخلخل نسبت به حالت ساده آن در ساعت ۱۲ ظهر مشاهده شد.
- که میزان آب مقطر تولیدی توسط آب شیرین کن با قرار دادن لایه متخلخل درون آن در همه ساعات آزمایش به

نمودار ۹ راندمان‌های روزانه آب شیرین کن‌های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل و میانگین‌های روزانه دمای محیط و تشعشع خورشید را در طول سه روز آزمایش شامل ۹۵/۰۶/۰۹، ۹۵/۰۷/۱۴ و ۹۵/۰۷/۱۲ نشان می‌دهد. از این شکل مشاهده می‌شود که راندمان‌های روزانه آب شیرین کن‌های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل و میانگین‌های روزانه دمای محیط و تشعشع خورشید همگی روندی مشابه دارند. به عبارتی دیگر، یک کاهش در تشعشع خورشید موجب کاهش در دمای محیط و همچنین کاهش در راندمان آب شیرین کن می‌گردد. همچنین این نمودار نشان می‌دهد که راندمان روزانه آب شیرین اصلاح شده با ماده متخلخل به علت سطح جذب تشعشع خورشید بیشتر و همچنین سطح تبخیر بالاتر نسبت به آب شیرین کن ساده افزایش می‌یابد.

- [5] Y.F. Nassar, S.A. Yousif and A.A. Salem, The second generation of the solar desalination systems, *Desalination*, Vol. 209, pp. 177-181, 2007.
- [6] M. Abu-Arabi, Y. Zurigat, H. Al-Hinai and S. Al-Hiddabi, Modeling and performance analysis of a solar desalination unit with double-glass cover cooling, *Desalination*, Vol. 143, pp. 173-182, 2002.
- [7] N.H.A. Rahim, Utilisation of new technique to improve the efficiency of horizontal solar desalination still, *Desalination*, Vol. 138, pp. 121-128, 2001.
- [8] K. Vinoth Kumar and R. Kasturi Bai, Performance study on solar still with enhanced condensation, *Desalination*, Vol. 230, pp. 51-61, 2008.
- [9] V. Velmurugan, C.K. Deenadayalan, H. Vinod and K. Srithar, Desalination of effluent using fin type solar still, *Energy*, Vol. 33, pp. 1719-1727, 2008.
- [10] A.E. Kabeel and M. Abdelgaied, Improving the performance of solar still by using PCM as a thermal storage medium under Egyptian conditions, *Desalination*, Vol. 383, pp. 22-28, 2016.
- [11] L. Sahota and G.N. Tiwari, Effect of Al_2O_3 nanoparticles on the performance of passive double slope solar still, *Solar Energy*, Vol. 130, pp. 260-272, 2016.
- [12] T. Rajaseenivasan and K. Srithar, Performance investigation on solar still with circular and square fins in basin with CO2 mitigation and economic analysis, *Desalination*, Vol. 380, pp. 66-74, 2016.
- [13] T. Elango, A. Kannan and K. Kalidasa Murugavel, Performance study on single basin single slope solar still with different water nanofluids, *Desalination*, Vol. 300, pp. 45-51, 2015.
- [14] A.A. El-Sebaii, M.R.I. Ramadan, S. Aboul-Enein and M. El-Naggar, Effect of fin configuration parameters on single basin solar still performance, *Desalination*, Vol. 365, pp. 15-24, 2015.
- [15] R. F. L. Kirkup, An introduction to uncertainty in measurement using the GUM (guide) to the expression of uncertainty in measurement: Cambridge University Press, 2006.
- [16] S. Kumar and G.N. Tiwari, Life cycle cost analysis of single slope hybrid (PV/T) active solar still, *Applied Energy*, Vol. 86, pp. 1995-2004, 2009.

جزء ساعت ۱۶ افزایش می‌یابد. ماکزیمم افزایش در میزان آب مقطر تولیدی توسط آب شیرین کن با لایه متخلخل نسبت به آب شیرین کن ساده در ساعت ۱۳ اتفاق افتاده و مقدار آن برابر ۳۳/۷ درصد می باشد.

- به‌طور کلی در طول یک روز آزمایش، آب شیرین کن‌های ساده و اصلاح شده با ماده متخلخل به ترتیب به میزان ۳۲۶۳ و ۳۸۲۹ سی سی بر متر مربع از مساحت حوضچه، آب مقطر تولید می‌کنند که این نشان می‌دهد که آب-شیرین کن اصلاح شده با ماده متخلخل حدود ۱۷/۳۵ درصد آب مقطر بیشتری نسبت به آب شیرین کن ساده در طول یک روز و در شرایطی مشابه تولید می‌کند.

۵- فهرست علائم

a	دقت
A	مساحت (m^2)
CPL	هزینه به ازای هر لیتر ($\$/L^{-1}$)
h_{fg}	آنتالپی تبخیر آب (J/kg^{-1})
I	شدت تابش خورشید (W/m^2)
\dot{m}	میزان تولید آب مقطر (kg/hr^{-1})
M	بهره‌وری سالانه میانگین ($Lm^{-2}year^{-1}$)
T	دما (K)

علائم یونانی

η	کارایی
a	دقت دستگاه
b	تشتک
d	روزانه
i	لحظه‌ای

۶- مراجع

- [1] S. Al-Kharabsheh and D.Y. Goswami, Analysis of an innovative water desalination system using low-grade solar heat, *Desalination*, Vol. 156, pp. 323-332, 2003.
- [2] A.E. Kabeel, Performance of solar still with a concave wick evaporation surface, *Energy*, Vol. 34, pp. 1504-1509, 2009.
- [3] V.K. Dwivedi and G.N. Tiwari, Experimental validation of thermal model of a double slope active solar still under natural circulation mode, *Desalination*, Vol. 250, pp. 49-55, 2010.

[۴] ع. قرائیان، مطالعه تجربی، تحلیل اکسرژی و مرور اقتصادی استفاده از تکنولوژی ترموالکتریک در طراحی و ساخت آب شیرین کن خورشیدی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، ۱۳۹۲.