



مطالعه تجربی اثر استفاده از ماسه بر عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی

محمد رضا عساری^{۱*}، احسان اسفنده^۲، رضا بهاروند^۲

۱- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران
 ۲- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران
 * دزفول، ۳۳۴-۶۴۶۱۵، assari@jsu.ac.ir

چکیده

امروزه افزایش جمعیت، آلودگی، تغییر شرایط آب و هوایی، کاهش منابع زیر زمینی و مصرف بی رویه آب از دلایل عمده در کمبود آب شیرین است. یکی از روش‌های تولید آب شیرین استفاده از انرژی خورشیدی بوده که در دستگاه‌هایی به نام آب‌شیرین‌کن خورشیدی صورت می‌گیرد. در این پژوهش به بررسی اثر استفاده از جرم‌های مختلف از ماسه بر میزان تولید آب‌شیرین‌کن خورشیدی حوضچه‌ای دو شیب با سطح حوضچه ۰/۲۷ متر مربع در عمق آب ثابت ۱/۵ سانتی‌متر در روزهای آفتابی فصل زمستان پرداخته شده است. ماسه به عنوان ذخیره کننده گرما عمل کرده و در زمانی که تابش خورشیدی کم است، گرمای ذخیره شده در خود را به آب‌شیرین‌کن پس می‌دهد. یافته‌های حاصل از تحقیق نشان می‌دهند که میزان تولید روزانه در آب‌شیرین‌کن بدون ماسه و آب‌شیرین‌کن با جرم ۱ کیلوگرم ماسه یکسان است، همچنین با افزایش جرم ماسه از ۱ به ۲ کیلوگرم میزان تولید آب‌شیرین‌کن کاهش می‌یابد. از طرفی بازده انرژی و انرژی سیستم نیز با افزایش جرم ماسه کاهش یافته است. در نتیجه قرار دادن ۱ کیلوگرم ماسه در این آب‌شیرین‌کن به عنوان مقدار بهینه بوده و افزایش آن تأثیر منفی بر عملکرد سیستم در روزهای آفتابی دارد.

کلیدواژه‌ها: آب‌شیرین‌کن خورشیدی، ماسه، انرژی، انرژی

Experimental Investigation of the Effect of Using Sand on the Performance of Solar Still

Mohammad Reza Assari^{1*}, Ehsan Esfandeh², Reza Baharvand²

1- Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran
 2- Msc, Department of Mechanical Engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran * P.O.B. 64615-334 Dezful, Iran, assari@jsu.ac.ir

Received: 24 May 2021 Accepted: 12 July 2021

Abstract

Nowadays, population growth, pollution, climate change, depletion of groundwater resources, and excessive water consumption are the main reasons for the freshwater shortage. One of the methods for producing water is solar energy, which is performed on devices called solar still. This study examines the effect of using different masses of sand on the production of double slope single basin solar still with a basin surface of 0.27 m^2 at a constant water depth of 1.5 cm on sunny winter days was investigated. The sand acts as heat storage, and when the solar radiation is low, the heat stored in it returns to the still. The findings show that production in solar still without sand and solar still with a mass of 1 kg of sand is identical, also. Increasing sand mass from 1 to 2 kilograms decreases the amount of still production also. On the other hand, the energy and exergy efficiency system has also lessened with increasing sand mass. As a result, putting 1 kilogram of sand in this solar still is optimal, and growing it negatively affects the system performance on sunny days.

Keywords: Solar still, Sand, Energy, Exergy



۱- مقدمه

روش‌های متعددی برای افزایش کارایی و بهره‌وری آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی انجام شده است که یکی از این روش‌ها استفاده از ذخیره‌کننده-های انرژی مانند مواد تغییر فاز دهنده (PCM)، ماسه، اسفنج و... می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط سوناوین [۵] انجام گرفت از PCM در آب‌شیرین‌کن خورشیدی حوضچه‌ای تک شیب با سطح ۱ متر مربع استفاده شد. نتایج نشان داد زمانی که در آب‌شیرین‌کن از PCM استفاده شود، میزان تولید آب شیرین نسبت به آب‌شیرین‌کن بدون PCM تا ۶۵٪ افزایش یافته است.

ساتیامورتیا [۶] در کشور هند به صورت تجربی به بررسی اثر جرم آب بر عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی هرمی سه گوش با استفاده از PCM را مورد آزمایش قرار داد. در حالت اول آب‌شیرین‌کن را بدون PCM و در حالت دوم با PCM بررسی کرد و نتیجه گرفت وقتی که از PCM در آب‌شیرین‌کن هرمی استفاده شود، تولید آب شیرین در مقایسه با آب‌شیرین‌کن بدون PCM تا ۳۵٪ افزایش یافته است. همچنین زمانی که جرم آب در حوضچه بیشتر باشد، دمای PCM سریع‌تر کاهش می‌یابد.

کابل و همکاران [۷] مطالعه‌ای بر روی انواع PCM در آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی نوع حوضچه‌ای انجام دادند. کاربرد انواع PCM آلی و غیر آلی با استفاده از پارامترهای مختلف خواص ترمو فیزیکی آن‌ها مانند دمای ذوب شناسایی می‌شوند. نتایج تحقیق‌های آن‌ها نشان داد که PCM نوع A48 مزایای بالاتر و اثر منفی کمتری دارد.

دشموخ و تومبر [۸] در یک آب‌شیرین‌کن خورشیدی حوضچه‌ای تک شیب از ماسه و روغن انتقال حرارت به عنوان ذخیره‌کننده‌ی محسوس فعال استفاده کردند. نتایج تحقیق‌های آن‌ها نشان داد زمانی که از این ذخیره‌کننده‌ها در سیستم استفاده شود، بهبود بهره‌وری سیستم را به دنبال دارد و همچنین بازدهی سیستم با کاهش رطوبت نسبی هوای محیط افزایش می‌یابد.

دومکا و همکاران [۹] با قرار دادن ۱۰۰ کیسه‌ی پنبه‌ای پر شده از ماسه به ارزیابی عملکرد آب‌شیرین‌کن حوضچه‌ای تک شیب پرداختند. در این تحقیق آزمایش‌ها در جرم آب حوضچه ۳۰ و ۴۰ کیلوگرم بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که استفاده از ماسه در آب‌شیرین‌کن برای جرم آب حوضچه ۳۰ و ۴۰ کیلوگرم به ترتیب میزان تولید را ۲۸/۵۶٪ و ۳۰/۹۹٪ بهبود می‌دهد.

خچخوچه و همکاران [۱۰] به بررسی تأثیر ماسه بر عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی حوضچه‌ای تک شیب پرداختند. آن‌ها دو آب‌شیرین‌کن را در شرایط محلی و آب و هوایی یکسان قرار داده و آزمایش‌ها را انجام دادند. با انجام آزمایش نتیجه گرفتند که آب‌شیرین‌کن بدون ماسه بهره‌وری و تولید بیشتری نسبت به آب‌شیرین‌کن با ماسه دارد به گونه‌ای که میزان تولید برای آب‌شیرین‌کن با و بدون ماسه به ترتیب ۲/۷۳۵۲ و ۳/۸۷۰۸ لیتر بر متر مربع در روز می‌باشد.

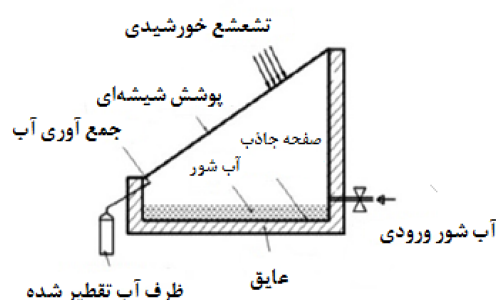
کالیداسا مورگاول و همکاران [۱۱] به بررسی آب‌شیرین‌کن خورشیدی تک حوضچه‌ای دو شیب در حداقل عمق حوضچه با مواد ذخیره ساز انرژی پرداختند. آزمایش‌ها در آب‌شیرین‌کن با مواد نگهدارنده گرمای محسوس مانند سنگ شنی، قطعات آجری قرمز، قطعات بتونی سیمانی، سنگ شسته شده و ضایعات آهن در سطح مقطع ۱/۷۴ متر مربع انجام شد. عملکرد آب‌شیرین‌کن به صورت تئوری مدل شده و با نتایج تجربی مقایسه شد و دریافتند که سنگ شنی مؤثر تر بوده و باعث افزایش تولید روزانه می‌شود.

کابیل و همکاران [۱۲] در آب‌شیرین‌کن خورشیدی حوضچه‌ای تک شیب به بررسی تأثیر استفاده از پارچه کُف با استفاده از ماسه پرداختند.

آب شرب مانند هوای پاک از ملزومات حیاتی انسان است و در تمام فرآیند-های بیولوژیک مورد نیاز است. امروزه تهیه‌ی آب با کیفیت و خوب برای زندگی سالم دشوار تر شده است. حدود ۷۰٪ از سطح کره زمین را آب پوشانده است، که ۹۷٪ از این آب‌ها شور و غیر قابل شرب هستند و ۲٪ نیز در قطب‌ها و یخچال‌های طبیعی به صورت یخ و دور از دسترس قرار گرفته‌اند. بنابراین تنها ۱٪ از این منابع در دسترس، مناسب شرب و استفاده‌های خانگی و کشاورزی هستند [۱].

مشکل کمبود آب در مناطق دور افتاده یا جزایری که امکان دسترسی به آب‌شیرین را ندارند یا تأمین آب آشامیدنی از طریق حمل و نقل گران بوده، معمولاً وجود دارد. آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی به دلیل ساخت آسان‌تر، حداقل مهارت‌های بهره‌بردار، نگهداری و همچنین سازگاری بهتر با محیط زیست مزایای خاصی را برای استفاده در این مناطق ارائه می‌دهد. انرژی پاک خورشیدی و سازگار با محیط زیست دو مزیت عمده است که استفاده از آب-شیرین‌کن‌های خورشیدی را تقویت می‌کند [۲].

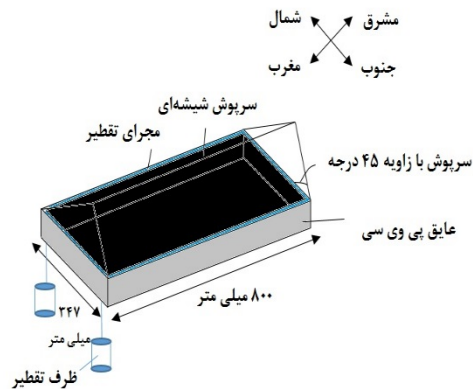
اصول و عملکرد تمام آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی مشابه هم بوده و از قواعد اصلی تبخیر و تقطیر تبعیت می‌کند. مطابق شکل ۱ آب شور وارد دستگاه شده و تحت تأثیر تابش خورشیدی عبوری از سطح سرپوش شیشه‌ای گرم می‌گردد، سپس آب داخل آب‌شیرین‌کن تبخیر شده و نمک، میکروب و سایر ذرات محلول در آب در حوضچه باقی مانده و بخار آب عاری از این مواد به سمت بالا حرکت کرده و در سطح زیرین سرپوش شیشه‌ای تقطیر می‌شود و به دلیل شیب سرپوش شیشه‌ای، قطره‌های تشکیل شده بر روی آن از آنجا به سمت مجرای جمع‌کننده آب تصفیه شده هدایت می‌شوند. آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی به دو دسته فعال و غیر فعال تقسیم بندی می‌شوند. در آب-شیرین‌کن‌های خورشیدی غیر فعال، آب شور ورودی به آب‌شیرین‌کن هیچگونه حرارتی از منبع حرارتی دریافت نکرده و مستقیماً وارد سیستم می‌شود مانند آب‌شیرین‌کن‌های حوضچه‌ای، پله‌ای، کروی، لوله‌ای، هرمی و مربعی ولی در آب‌شیرین‌کن‌های فعال ابتدا آب شور ورودی به آب‌شیرین‌کن توسط یک منبع حرارتی مانند کلکتور خورشیدی، استخر خورشیدی و گرم‌کن و... حرارت دریافت کرده و سپس وارد سیستم می‌شود [۳].



شکل ۱ نمای کلی از آب‌شیرین‌کن خورشیدی [۴]



فصلنامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو - سال نهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۱



شکل ۲ طرح‌واره آب شیرین کن خورشیدی دو شیب پژوهش حاضر

۳- روش انجام آزمایش

آزمایش‌ها در دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول واقع در جنوب غربی ایران با طول جغرافیایی ۴۸/۳۶ درجه و عرض جغرافیایی ۳۲/۴۲ درجه برای سه روز متوالی از تاریخ ۹۸/۱۲/۱۳ تا ۹۸/۱۲/۱۵ در فصل زمستان صورت گرفت. آزمایش‌ها در عمق آب ثابت ۱/۵ سانتی‌متر انجام شده و در روز اول، دوم و سوم آزمایش به ترتیب حالت آب شیرین کن بدون ماسه (ساده)، آب شیرین کن با جرم ۱ کیلوگرم از ماسه و آب شیرین کن با جرم ۲ کیلوگرم از ماسه انجام شد و تأثیر جرم‌های مختلف از ماسه بر میزان تولید آب شیرین کن مورد بررسی قرار گرفت. در تمام مدت آزمایش آب شیرین کن رو به جنوب بوده و آزمایش‌ها از ساعت ۹ صبح شروع و در ساعت ۱۷ عصر به پایان می‌رسید. ثبت اطلاعات هر یک ساعت یکبار صورت گرفته است. در شکل ۳ تصویری از آب شیرین کن با ماسه نشان داده شده است.



شکل ۳ حوضچه آب شیرین کن با ماسه

۳-۱- تحلیل انرژی و اگزرژی آب شیرین کن خورشیدی

۳-۱-۱- انرژی

انرژی را می‌توان توانایی انجام کار تعریف کرد. بازده انرژی آب شیرین کن خورشیدی به تولید روزانه m_{ew} ، گرمای نهان تبخیر L ، تشعشع خورشیدی روزانه $I(t)$ و به سطح جاذب یا سطح چگالش A بستگی دارد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۵]:

$$\eta_{th} = \frac{\sum m_{ew} \times L}{\sum I(t) \times A \times 3600} \quad (1)$$

نتایج نشان داد که در عمق ۰/۰۲ متر عملکرد آب شیرین کن با و بدون پارچه کف یکپارچه با ماده ذخیره‌ساز انرژی به ترتیب ۵/۹ و ۵/۵ کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد.

ابوهیجله و ربیا [۱۳] به تأثیر مکعب اسفنجی بر عملکرد آب شیرین کن خورشیدی حوضچه‌ای تک شیب پرداختند. مکعب‌های اسفنجی با ابعاد ۶ سانتی‌متر می‌باشند. آن‌ها دریافتند که استفاده از اسفنج منجر به بهبود تولید آب شیرین کن تا ۲۷۳٪ می‌شود.

سلامی و همکاران [۱۴] به منظور افزایش عملکرد آب شیرین کن خورشیدی تک شیب، سطح جاذب را با لایه‌های اسفنج سیاه شده برای ذخیره سازی انرژی گرمایی پوشاندند و اثر ضخامت اسفنج بر عملکرد آب-شیرین کن را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها چهار آب شیرین کن در مقیاس کوچک ساختند و نتیجه گرفتند که عملکرد آب شیرین کن با ضخامت ۰/۵ و ۱ سانتی‌متر از اسفنج نسبت به حالت بدون اسفنج به ترتیب ۵۸٪ و ۳۳/۰۳٪ افزایش می‌یابد، در حالی که ضخامت اسفنج ۱/۵ سانتی‌متر منجر به کاهش ۳۰٪ عملکرد سیستم می‌شود.

با بررسی پژوهش‌های گذشته مشاهده شد که مطالعه‌های زیادی در زمینه‌ی آب شیرین کن خورشیدی انجام شده است. پژوهش حاضر با اهداف زیر انجام شده است:

- بررسی تأثیر جرم‌های مختلف ماسه به عنوان ماده ذخیره ساز انرژی بر عملکرد آب شیرین کن حوضچه‌ای دو شیب، که نوع آب شیرین کن و همچنین مقدار ماسه با پژوهش‌های قبلی متفاوت است.
- بررسی عملکرد آب شیرین کن با و بدون ماسه برای روزهای آفتابی فصل زمستان، که در پژوهش‌های گذشته در فصل زمستان مطالعه‌ای انجام نشده است.
- تحلیل بازده انرژی و اگزرژی آب شیرین کن حوضچه‌ای دو شیب در حالت با و بدون ماسه.

۲- دستگاه آزمایش

شکل ۲ طرح‌واره از آب شیرین کن مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. نوع آب شیرین کن دو شیب حوضچه‌ای بوده که شامل حوضچه، مجرای تقطیر، سربوش‌های شیشه‌ای و پوشش پی وی سی عایق است. طول، عرض و ارتفاع حوضچه به ترتیب ۸۰۰، ۳۴۷ و ۳۵ میلی‌متر است. ورق مورد استفاده برای ساخت دستگاه از جنس آهن گالوانیزه با ضخامت ۰/۶ میلی‌متر با رنگ سیاه است. مجرای تقطیر آب از جنس فولاد ضد زنگ و سربوش‌های شیشه‌ای با ضخامت ۴ میلی‌متر و با زاویه ۴۵ درجه نصب شده‌اند. همچنین برای آنکه تلفات حرارتی از آب شیرین کن به حداقل مقدار ممکن برسد، ورقه‌های فلزی از بیرون بر روی ساختار پی وی سی قرار گرفته و به کمک پیچ محکم شدند.

۳-۱-۲- آگرزری

مقدار کار قابل استخراج از سیستمی که طی یک روند برگشت پذیر به تعادل ترمودینامیکی خود رسیده است، آگرزری نامیده می‌شود. بازده آگرزری در آب‌شیرین‌کن خورشیدی به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۶]:

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}_{x, evap}}{\dot{E}_{x, sun}} \quad (2)$$

که $\dot{E}_{x, evap}$ آگرزری خروجی از آب‌شیرین‌کن خورشیدی و $\dot{E}_{x, sun}$ آگرزری ورودی به آب‌شیرین‌کن خورشیدی می‌باشد. بنابراین آگرزری خروجی از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۶]:

$$\dot{E}_{x, evap} = \frac{\dot{m}_{ew} L}{3600} \left[1 - \left(\frac{T_a + 273}{T_w + 273} \right) \right] \quad (3)$$

که T_a دمای محیط و T_w دمای آب است و همچنین آگرزری ورودی نیز به صورت زیر بدست می‌آید [۱۶]:

$$\dot{E}_{x, sun} = A_b I_t \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_a + 273}{T_s} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a + 273}{T_s} \right)^4 \right] \quad (4)$$

که T_s دمای خورشید و برابر ۶۰۰۰ کلوین است.

۴- دقت اندازه‌گیری وسایل مورد استفاده در آزمایش

برای اندازه‌گیری دما از حسگرهای نوع K استفاده شده و این حسگرها به یک ثبت کننده دما متصل شده‌اند که دارای دقت اندازه‌گیری $\pm 0.1\% / 0.15^\circ C$ است. عدم قطعیت کل در هر بار اندازه‌گیری دما با ترکیب دقت حسگر و ابزار اندازه‌گیری با استفاده از روش مجموع مربعات $0.66^\circ C$ بدست آمد. همچنین برای اندازه‌گیری تشعشع بر روی سطوح شیشه‌ای آب‌شیرین‌کن و تشعشع افقی خورشیدی از دستگاه TES132 با دقت 0.1 W/m^2 برای مقادیر کمتر از 200 W/m^2 و دقت 1 W/m^2 برای مقادیر بیش از 200 W/m^2 سنجیده شده است. عدم قطعیت دستگاه تشعشع سنج $5/773 \text{ W/m}^2$ است. برای اندازه‌گیری مقدار آب تولید شده از ظرفی با دقت 1 mm با عدم قطعیت 0.577 mm استفاده شد. در جدول ۱ خطا و عدم قطعیت وسایل آزمایش و در جدول ۲ خواص آب شور ورودی و آب شیرین تولیدی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ دقت و عدم قطعیت وسایل

وسایل	دقت	عدم قطعیت
ثبت کننده دمایی	$\pm 0.1\% / 0.15^\circ C$	$0.66^\circ C$
دستگاه تشعشع سنج TES132	$1 \pm \text{W/m}^2$	$5/773 \text{ W/m}^2$
ظرف تقطیر	1 mL	0.577 mL

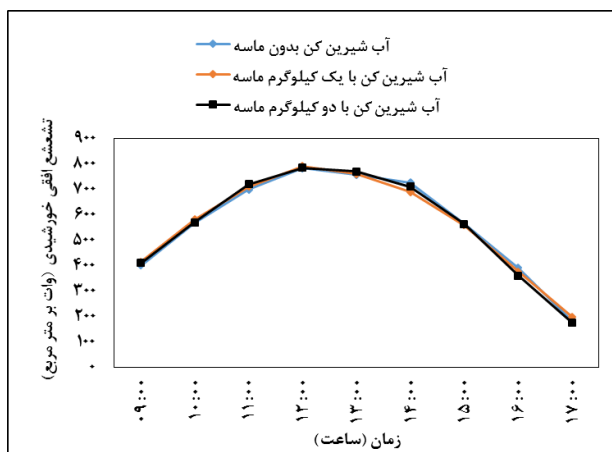
جدول ۲ خواص آب ورودی و آب شیرین تولیدی

هدایت الکتریکی ($\mu\text{s/cm}$)	PH	آب شور ورودی
۱۳۰۰۰	۷/۹	آب شور ورودی
۴۰	۶/۸	آب شیرین تولیدی

۵- بحث و نتایج

۵-۱- بررسی تشعشع افقی خورشیدی

پارامترهای محیطی مختلفی نظیر سرعت باد، ابر، رطوبت، گرد و خاک بر میزان تولید آب‌شیرین‌کن اثر دارد اما تأثیرگذارترین پارامتر تشعشع خورشیدی است. شکل ۴ تغییرات ساعتی تشعشع افقی خورشیدی را برای آزمایش در سه حالت آب‌شیرین‌کن بدون ماسه (ساده)، آب‌شیرین‌کن با جرم ۱ کیلوگرم ماسه و آب‌شیرین‌کن با جرم ۲ کیلوگرم ماسه را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود میزان تغییرات ساعتی تشعشع در هر سه حالت آزمایش تقریباً یکسان بوده و به عنوان یک پارامتر ثابت در آزمایش‌ها عمل می‌کند. میزان تغییرات تشعشع خورشیدی در طول روز برای فصل زمستان به گونه‌ای است که از ساعت ۸ صبح تا ۱۲ ظهر رو به افزایش و بعد از ساعت ۱۲ ظهر کاهش می‌یابد، از طرفی میزان تولید در طول روز نیز وابسته به میزان تشعشع خورشیدی ورودی به آب‌شیرین‌کن است. بیشترین میزان تشعشع برای حالت بدون ماسه، یک کیلوگرم ماسه و دو کیلوگرم ماسه به ترتیب ۷۸۲، ۷۹۰ و ۷۸۴ وات بر متر مربع و همچنین میانگین تغییرات ساعتی تشعشع خورشیدی به ترتیب $562/8$ ، $563/7$ و $562/2$ وات بر متر مربع است. در نتیجه تنها پارامتر موثر که باعث اثرگذاری بر میزان تولید آب‌شیرین‌کن می‌شود، مقدار جرم ماسه است.



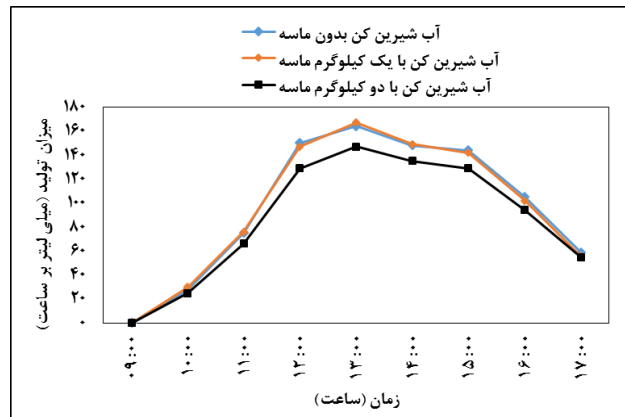
شکل ۴ تغییرات ساعتی تشعشع افقی خورشیدی

۵-۲- بررسی میزان تولید آب‌شیرین‌کن خورشیدی

در آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی محصول نهایی مقدار تولید آب‌شیرین‌کن است. شکل ۵ تغییرات ساعتی میزان تولید آب‌شیرین‌کن بدون ماسه، آب‌شیرین‌کن با یک کیلوگرم ماسه و آب‌شیرین‌کن با دو کیلوگرم ماسه را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود میزان تولید در حالت آب‌شیرین‌کن بدون ماسه و آب‌شیرین‌کن با یک کیلوگرم ماسه یکسان است و به این دلیل بوده که مقدار یک کیلوگرم ماسه توانایی زیاد ذخیره سازی گرما در ساعات آفتابی را نداشته و بر میزان تولید آب‌شیرین‌کن روزانه اثر نمی‌گذارد. با افزایش مقدار ماسه از یک به دو کیلوگرم مشاهده می‌شود که تولید آب‌شیرین‌کن کاهش یافته است، به گونه‌ای که میزان تولید روزانه برای آب‌شیرین‌کن بدون ماسه، آب‌شیرین‌کن با یک کیلوگرم ماسه و آب‌شیرین‌کن با دو کیلوگرم ماسه به ترتیب 868 میلی‌لیتر، 869 میلی‌لیتر و 780 میلی‌لیتر بدست آمد. به عبارت دیگر میزان کاهش بهره‌وری در آب‌شیرین‌کن با دو کیلوگرم ماسه نسبت به آب‌شیرین‌کن با یک کیلوگرم ماسه و آب‌شیرین‌کن بدون ماسه $10/1\%$ می‌باشد، همچنین خچخوچه و همکاران [۱۰] نیز با بررسی مقدار نیم کیلوگرم ماسه در آب‌شیرین‌کن خورشیدی حوضچه‌ای تک شیب با سطح مقطع

مشاهده می‌شود با توجه به اینکه آب شیرین کن در حین انجام آزمایش رو به جنوب و به سمت خورشید قرار داشت لذا شیشه‌ی جنوبی دارای دمای بیشتری نسبت به شیشه‌ی شمالی می‌باشد و به علت بالاتر بودن دمای شیشه جنوبی اختلاف دمای بین آب حوضچه و شیشه جنوبی کمتر بوده و تولید کمتری بر روی شیشه جنوبی صورت گرفت. از طرفی به علت پایین تر بودن دمای شیشه شمالی و اینکه تشعشع کمتری از سمت خورشید دریافت می‌کرد لذا اختلاف دمای بین آب حوضچه و شیشه شمالی بیشتر بوده و تولید بیشتری بر روی شیشه شمالی وجود داشت.

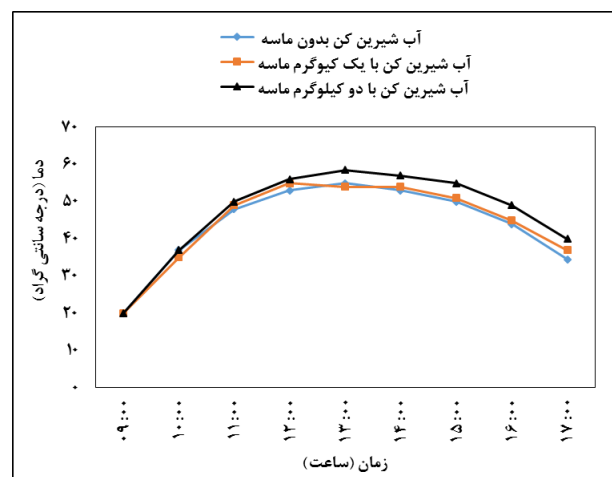
حوضچه نیم متر مربع دریافتند که اضافه کردن ماسه تأثیر منفی بر میزان تولید در تابستان دارد.



شکل ۵ تغییرات ساعتی میزان تولید آب شیرین کن خورشیدی

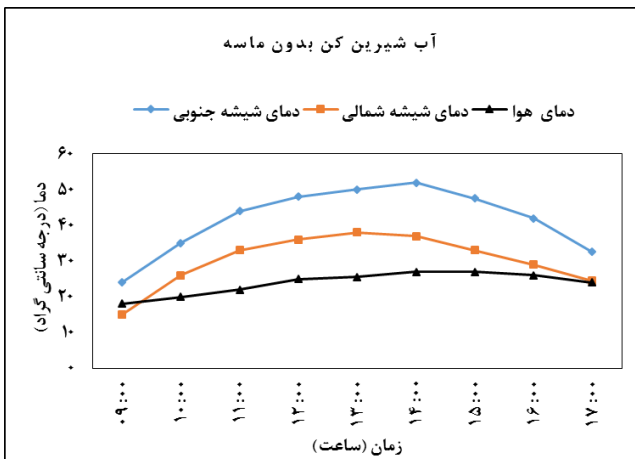
۳-۵- بررسی دمایی آب شیرین کن خورشیدی

شکل ۶ دمای آب حوضچه را برای سه حالت آزمایش آب شیرین کن بدون ماسه، آب شیرین کن با یک کیلوگرم ماسه و آب شیرین کن با دو کیلوگرم ماسه را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود دمای آب در طول ساعت-های آفتابی افزایش می‌یابد و بیشترین دمای آب حوضچه در ساعت ۱۳ بوده که برای آب شیرین کن بدون ماسه، آب شیرین کن با یک کیلوگرم ماسه و آب-شیرین کن با دو کیلوگرم ماسه به ترتیب ۵۴، ۵۵ و ۵۸/۵ درجه سانتی گراد بدست آمد. با افزایش مقدار ماسه بخشی از گرما و تشعشعی که آب شیرین کن در طول روز دریافت کرده بجای آنکه به آب حوضچه جهت تبخیر برسد، توسط ماسه ذخیره و باعث کاهش تبخیر شده و همین ذخیره گرمایی باعث افزایش دمای آب حوضچه می‌شود. پس از ساعت ۱۳ (در ساعت‌های غروب آفتاب) با کاهش تشعشع خورشیدی تأثیر لایه شنی به عنوان ذخیره سازی انرژی بر عملکرد آب شیرین کن مشخص شد. در نتیجه ذخیره گرمایی در طول روز بیشتر شده و باعث کاهش تقطیر روزانه در آب شیرین کن می‌شود.

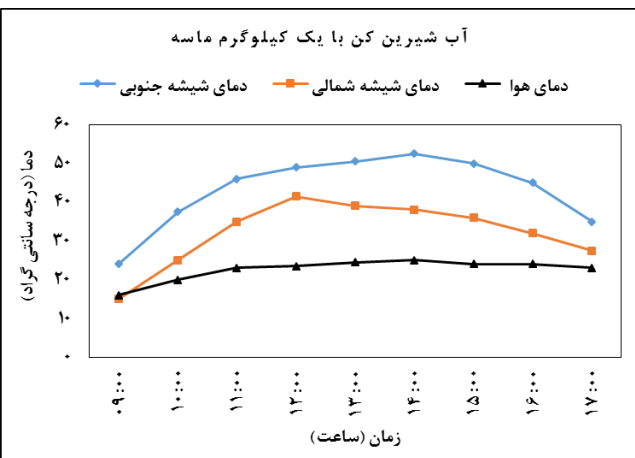


شکل ۶ تغییرات ساعتی دمای آب حوضچه آب شیرین کن خورشیدی

شکل ۷، ۸ و ۹ دمای شیشه شمالی، دمای شیشه جنوبی و دمای هوا را برای سه حالت آزمایش آب شیرین کن بدون ماسه، آب شیرین کن با یک کیلوگرم ماسه و آب شیرین کن با دو کیلوگرم ماسه را نشان می‌دهد، همان طور که



شکل ۷ تغییرات ساعتی دمای شیشه شمالی، دمای شیشه جنوبی و دمای هوا برای آب شیرین کن بدون ماسه



شکل ۸ تغییرات ساعتی دمای شیشه شمالی، دمای شیشه جنوبی و دمای هوا برای آب شیرین کن با یک کیلوگرم ماسه



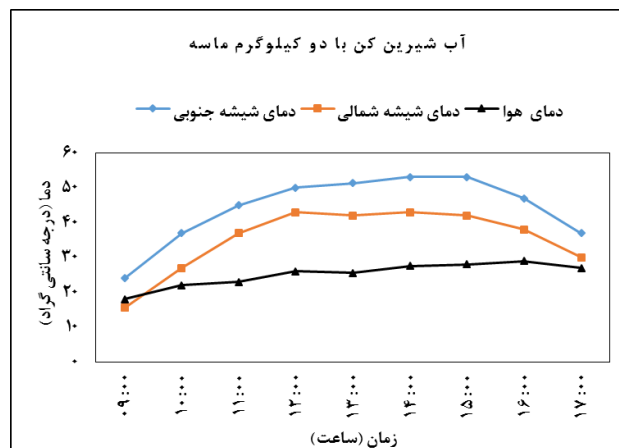
- در آب شیرین کن خورشیدی با اضافه کردن مقدار ماسه از یک به دو کیلوگرم، مقداری از میزان تشعشع دریافتی از خورشید به ماسه رسیده و ماسه باعث ایجاد ذخیره گرمایی در آب شیرین کن شده و سرعت میزان تبخیر آب را کاهش داده و به دنبال آن باعث افزایش دمای آب حوضچه می شود به گونه ای که بیشترین دما مربوط به آب شیرین کن با دو کیلوگرم ماسه است.
- بازده انرژی با میزان تولید آب رابطه مستقیمی دارد به گونه ای که میزان تولید برای آب شیرین کن بدون ماسه و آب شیرین کن با یک کیلوگرم ماسه ۴۲/۲٪ و برای آب شیرین کن با دو کیلوگرم ماسه ۳۸/۰٪ می باشد.
- بازده انرژی برای آب شیرین کن بدون ماسه و آب شیرین کن با یک کیلوگرم ماسه ۲/۷٪ و برای آب شیرین کن با دو کیلوگرم ماسه ۲/۴٪ می باشد.
- در نتیجه استفاده از ماسه در کف حوضچه برای بهبود عملکرد آب شیرین کن خورشیدی در روزهای آفتابی فصل زمستان مطلوب نبوده و تأثیر محسوسی ندارد لذا پیشنهاد می شود از مواد ذخیره ساز انرژی مانند ماسه در مناطق با آب و هوای عمدتاً آفتابی استفاده نشود.

۷- فهرست علائم

η_{th}	بازده انرژی
m_{ew}	تولید آب (kg/h)
L	گرمای نهان تبخیر (J/kg)
$I(t)$	تشعشع خورشیدی (W/m ²)
A	سطح مقطع حوضچه (m ²)
η_{ex}	بازده انرژی
$\dot{E}_{x, evap}$	انرژی خروجی از آب شیرین کن خورشیدی (W)
$\dot{E}_{x, sum}$	انرژی ورودی به آب شیرین کن خورشیدی (W)
T_a	دمای محیط (°C)
T_w	دمای آب (°C)
T_s	دمای خورشید (K)

۸- مراجع

- [1] S. Delfani, H. PasdarShahri, M. Karami, *Solar Stills*, first Edition, pp. 1-2, Tehran: Building and Housing Research Center, 2010. (in Persian).
- [2] Z. M. Omara, A. E. Kabeel, A. S. Abdullah, A review of solar still performance with reflectors, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 68, pp. 638-649, 2017.



شکل ۹ تغییرات ساعتی دمای شیشه شمالی، دمای شیشه جنوبی و دمای هوا برای آب شیرین کن با دو کیلوگرم ماسه

جدول ۳ و جدول ۴ بازده انرژی و انرژی را برای سه حالت آب شیرین کن بدون ماسه، آب شیرین کن با یک کیلوگرم ماسه و آب شیرین کن با دو کیلوگرم ماسه را نشان می دهد، همان طور که مشاهده می شود بازده انرژی از انرژی در تمام حالت های انجام آزمایش بیشتر است و از آنجایی که با افزایش مقدار ماسه از یک به دو کیلوگرم تولید آب شیرین کن کاهش می یابد در نتیجه بازده انرژی و انرژی نیز کاهش یافته است.

جدول ۳ بازده انرژی

شماره	حالت آزمایش	بازده انرژی (%)
۱	آب شیرین کن بدون ماسه	۴۲/۲
۲	آب شیرین کن با یک کیلوگرم ماسه	۴۲/۲
۳	آب شیرین کن با دو کیلوگرم ماسه	۳۸/۰

جدول ۴ بازده انرژی

شماره	حالت آزمایش	بازده انرژی (%)
۱	آب شیرین کن بدون ماسه	۲/۷
۲	آب شیرین کن با یک کیلوگرم ماسه	۲/۷
۳	آب شیرین کن با دو کیلوگرم ماسه	۲/۴

۶- بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه به عملکرد تجربی آب شیرین کن خورشیدی حوضچه ای دو شیب با مساحت ۰/۲۷ متر مربع در جرم های مختلف یک و دو کیلوگرم از ماسه نسبت به آب شیرین کن بدون ماسه در روزهای آفتابی فصل زمستان پرداخته شده است، که نتایج آزمایش به شرح زیر است:

مقدار تولید روزانه برای آب شیرین کن بدون ماسه، آب شیرین کن با یک کیلوگرم ماسه و آب شیرین کن با دو کیلوگرم ماسه به ترتیب ۸۶۸، ۸۶۹ و ۷۸۰ میلی لیتر در روز (به ازاء سطح حوضچه یک متر مربع به ترتیب ۳۱۲۴، ۳۱۲۸ و ۲۸۰۸ میلی لیتر بر متر مربع در روز می باشد)، از طرفی خچخوچه و همکاران [۱۰] در فصل بهار نیز با بررسی مقدار نیم کیلوگرم ماسه در آب شیرین کن خورشیدی حوضچه ای تک شیب برای حالت آب شیرین کن با و بدون ماسه میزان تولید را به ترتیب ۲/۷۳۵۲ و ۳/۸۷۰۸ لیتر بر متر مربع در روز بدست آوردند.



- [3] P. V. Kumar, A. Kumar, O. Parakash, A. K. Kaviti, Solar stills system design: A review, *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 51, pp. 153-181, 2015.
- [4] T. Arunkumar, K. Raj, D. D. W. Rufuss, D. Denkenberger, G. Tingting, L. Xuan, R. Velraj, A review of efficient high productivity solar stills, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 101, pp. 197-220, 2019.
- [5] D. Sonawane, Research paper on enhancing solar still productivity by optimizing angle of PCM embedded absorber surface, *International Journal of Science Technology & Engineering*, Vol. 2, pp. 192-196, 2015.
- [6] R. Sathyamurthy, P. K. Nagarajan, J. Subramani, D. Vijayakumar, K. Mohammed Ashraf Ali, Effect of water mass on triangular pyramid solar still using phase change material as storage medium, *Energy Procedia*, Vol. 61, pp. 2224 – 2228, 2014.
- [7] A. E. Kabeel, Y. A. F. El-Samadony, W. M. El-Maghlany, Comparative study on the solar still performance utilizing different PCM, *Desalination*, Vol. 432, pp. 89-96, 2018.
- [8] H. S. Deshmukh, S. B. Thombre, Solar distillation with single basin solar still using sensible heat storage materials, *Desalination*, Vol. 410, pp. 91-98, 2017.
- [9] P. Dumka, A. Sharma, Y. Kushwah, A. S. Raghav, D. R. Mishra, Performance evaluation of single slope solar still augmented with sand-filled cotton bags, *Journal of Energy Storage*, Vol. 25, pp. 100888, 2019.
- [10] A. Khechekhouche, B. Benhaoua, M. Manokar, R. Sathyamurthy, Z. Driss, Sand dunes effect on the productivity of a single slope solar still, *Heat and Mass Transfer*, Vol. 56, No. 4, pp. 1117-1126, 2020.
- [11] K. K. Murugavel, S. Sivakumar, J. R. Ahamed, K. K. Chockalingam, K. Srithar, Single basin double slope solar still with minimum basin depth and energy storing materials, *Applied energy*, Vol. 87, No. 2, pp. 514-523, 2010.
- [12] A. E. Kabeel, S. A. El-Agouz, R. Sathyamurthy, T. Arunkumar, Augmenting the productivity of solar still using jute cloth knitted with sand heat energy storage, *Desalination*, Vol. 443, pp. 122-129, 2018.
- [13] B. Abu-Hijleh, H. M. Rababa'h, Experimental study of a solar still with sponge cubes in basin, *Energy conversion and Management*, Vol. 44, No. 9, pp. 1411-1418, 2003.
- [14] M. H. Sellami, T. Belkis, M. L. Aliouar, S. D. Meddour, H. Bouguettaia, K. Loudiyi, Improvement of solar still performance by covering absorber with blackened layers of sponge, *Groundwater for Sustainable Development*, Vol. 5, pp. 111-117, 2017.
- [15] A. M. Manokar, Y. Taamneh, A. E. Kabeel, D. P. Winston, P. Vijayabalan, D. Balaji, R. Sathyamurthy, S. Padmanaba Sundar, D. Mageshbabu, Effect of water depth and insulation on the productivity of an acrylic pyramid solar still—An experimental study, *Groundwater for Sustainable Development*, Vol. 10, pp. 100319, 2020.
- [16] A. Kianifar, S. Z. Heris, O. Mahian, Exergy and economic analysis of a pyramid-shaped solar water purification system, active and passive cases, *Energy*, Vol. 38, No. 1, pp. 31-36, 2012.

