نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۸، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص: ۶۹-۸۲

J. Energy Conversion
Volume: 8, Issue: 4, 2021: 69-82

DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5

بررسی تجربی و تحلیل انرژی و اگزرژی اثر استفاده از متمرکزکننده خورشیدی بر عملکرد یک دستگاه آب شیرینکن خورشیدی قابلمه‌ای

علی ارشادی[۱و*] و ایمان جعفری[۲]

*۱- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران. a.ershadi@iaud.ac.ir
۲- رئیس دفتر فنی ناحیه دز، شرکت نصب، تعمیر و نگهداری نیروگاه‌های برق آبی خوزستان، اندیمشک، ایران. iman_jafari@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۶ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲

چکیده

در این مقاله تحلیل تجربی راندمان‌های انرژی و اگزرژی یک آب شیرین‌کن خورشیدی در دو حالت بکارگیری متمرکز کننده و بدون متمرکزکننده ارائه شده است. متمرکزکننده با هدف افزایش تولید آب شیرین در تجهیز آب شیرین‌کن بکارگرفته شده است. چراکه تولید آب شیرین در این تجهیزات با توجه به کند بودن فرآیند تقطیر به آرامی صورت می‌گیرد. بنابراین به منظور ارزیابی تاثیر متمرکزکننده بر تولید آب‌شیرین، تجهیزی با قابلیت جداسازی متمرکزکننده طراحی و ساخته شده‌است. در بررسی تجربی جرم آب شیرین تولیدی به صورت ساعتی اندازه‌گیری شده است و با در اختیار داشتن پارامترهای محیطی، دو حالت فوق‌الذکر از منظر راندمان‌های انرژی و اگزرژی مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که میزان آب شیرین تولیدی در حالت استفاده از متمرکزکننده حدود ۴۰ درصد نسبت به حالت بدون متمرکزکننده، افزایش می‌یابد. همچنین تحلیل انرژی و اگزرژی آب شیرین‌کن در هر دو حالت حاکی از افزایش راندمان تجهیز خورشیدی همراه با متمرکزکننده است به گونه‌ایکه نتایج تحلیل راندمان انرژی، ۳۰ درصد و تحلیل راندمان اگزرژی نیز ۱۵/۱۹ درصد افزایش را در حالت استفاده از متمرکزکننده نسبت به حالت بدون متمرکزکننده نشان می‌دهند.

* **عهده‌دار مکاتبات:** a.ershadi@iaud.ac.ir

کلمات کلیدی: انرژی خورشیدی، آب شیرین‌کن خورشیدی، اگزرژی، متمرکزکننده.

۱- مقدمه

آب شیرین کن خورشیدی تجهیزی جهت نمک زدایی و شیرین کردن آب با استفاده از منبع حرارتی خورشید است و در کاربردهایی نظیر صنعت کشاورزی و تامین آب شرب مصرفی استفاده می شود. این روند مشابه تبخیر آبهای سطحی است. به گونه ایکه در اثر حرارت تابشی خورشید، آب های سطحی تبخیر شده و املاح آن بر جای می ماند. پس از آن آب شیرین تبخیر شده تحت شرایط خاص تقطیر شده و به صورت بارش باران یا برف به سطح زمین باز می‌گردد.

در دهه های اخیر تلاش محققان بر افزایش کارآیی تجهیزات حرارتی خورشیدی نظیر آب شیرین کن خورشیدی متمرکز شده است. این تجهیزات دارای ساختار و عملکرد ساده ای هستند اما کارآیی هر چه بهتر و کاهش هزینه های این تجهیزات منوط به استفاده از طرح های نوآورانه جدید همراه با بکارگیری تجهیزات جانبی با هدف افزایش کارآیی این تجهیزات حرارتی خورشیدی است.

نحوه استناد به این مقاله: علی ارشادی، ایمان جعفری. بررسی تجربی و تحلیل انرژی و اگزرژی اثر استفاده از متمرکزکننده خورشیدی بر عملکرد یک دستگاه آب شیرینکن خورشیدی قابلمه‌ای. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۰; ۸ (۴) : ۶۹-۸۲.
DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5]

سلیمان و همکارانش تحقیقاتی در مورد عملکرد صفحه جاذب دستگاه خورشیدی متصل به یک کلکتور صفحه تخت انجام دادند. آنها در نتایج خود گزارش کردند که استفاده از کلکتور می تواند باعث افزایش تولید آبشیرین و درنتیجه افزایش راندمان سیستم گردد [۱]. زاکی و همکاران تاثیر پیش گرم کردن آب شور در کارایی آب شیرین‌کن خورشیدی که تحت یک سیستم فعال باز عمل می کند را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از افزایش ۳۳ درصدی تولید آب شیرین خروجی از تجهیز است [۲]. تیواری و همکاران در تحقیق تجربی خود تاثیر جریان آب شور بر تولید آبشیرین را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها در تحقیق خود دو نوع سیستم فعال و غیرفعال را با هم مقایسه کردند. در نتایج تحقیق خود نشان دادند که جریان آب شور در مخزن دستگاه تاثیر بسزایی بر راندمان سیستم دارد و تولید آب شیرین را افزایش می دهد[۳].

تریپاتی و همکاران تحقیق آزمایشگاهی بر روی عمق آب شور و تأثیر آن بر انتقال حرارت و جرم در دستگاه انجام داده و دریافتند که سیستم آب شیرین‌کن بسته یک روند کند برای این منظور است [۴]. در حوزه آب شیرین‌کن خورشیدی بسیاری از محققین نشان دادند که سیستمهای غیرجریانی (آب شور در دستگاه ساکن باشد) یک فرایند کند در تولید آب شیرین است. میناسیان و همکاران سه نوع دستگاه آبشیرینکن خورشیدی تک شیبه را بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. آنها در تحقیق خود تاثیر شیب دستگاه و تغییرات هندسی را بر میزان تولید آب شیرین و راندمان سیستم مورد مقایسه و ارزیابی قرار داده و نشان دادند میزان شیب بستر دستگاه تاثیر بسزایی بر راندمان دستگاه آبشیرینکن خورشیدی تک شیبه دارد [۵]. موراسِ و همکاران یک دستگاه آبشیرین کن خورشیدی لوله ای را بصورت تجربی و عددی مورد بررسی قرار دادند. آنها دو نوع سیستم (سنتی و با استفاده از شبکه جریانی) را مورد ارزیابی و مقایسه قرار داده و نشان دادند که استفاده از هندسه طرح لوله ای نیاز چندانی به استفاده از عایق کاری نداشته که باعث کاهش هزینه های ساخت و افزایش راندمان سیستم می شود[۶]. تأثیر شکل و اندازه آبشیرینکن های خورشیدی با استفاده از پوشش متراکم پلاستیکی برای دستگاه غیرفعال خورشیدی توسط دانشمندان مختلف پیشنهاد و استفاده شده است [۷-۱۳].

در دهه های اخیر، پژوهش‌های زیادی برای بهبود عملکرد نمک زدایی خورشیدی انجام شده است. برخی از این مطالعات دمای آب شور را بهبود بخشیدند، در حالی که برخی دیگر دمای پوشش شیشه ای را کاهش دادند. در تحقیقی که توسط شعیبی و همکاران انجام شد آبشیرینکن خورشیدی تک شیب را با استفاده از کلکتور خورشیدی لوله حرارتی لوله تخلیه (ETHP-SC) و طراحی جدید کندانسور خارجی مورد بررسی قرار داده است. نتایج این تحقیق نشان داد که تولید آب شیرین نمک‌زدایی خورشیدی با استفاده از کندانسور خارجی و ETHP حدود ۲,۱ برابر نمونه‌های معمولی است. کسر عملکرد کندانسور خارجی حدود ۱۸,۶۲ درصد از کل بهره وری آب بود. علاوه بر این، کاهش دی اکسید کربن بر اساس آنالیزهای محیطی و برون‌محیطی در نمک‌زدایی اصلاح‌شده خورشیدی به ترتیب تقریباً ۲۹,۱۹ تن و ۰,۵۱ تن بود [۱۴].

سلیم‌فندیگیل و همکاران تأثیر استفاده ترکیبی از نانوذرات اکسید مس (CuO) هم در واحد ذخیره انرژی حرارتی و هم در پوشش جاذب (رنگ سیاه مات) بر عملکرد یک دستگاه خورشیدی تک شیب به صورت تجربی بررسی کردند. نتایج تجربی نشان داد که استفاده ترکیبی از نانوذرات، بهره‌وری انباشته را به میزان ۲۶/۷۷ درصد در مقایسه با دستگاه خورشیدی معمولی ارتقا داد. همچنین، با استفاده از اصلاح ترکیبی، مقادیر بازده انرژی و اکسرژی به ترتیب از ۱۵/۹۶ درصد به ۱۹/۹۰ درصد و از ۱/۲۵ درصد و ۲/۰۱ درصد افزایش یافت [۱۵].

تیواری و دیمری در سال ۲۰۰۷ یک آب شیرین‌کن خورشیدی تک شیبه و متصل به کلکتور خورشیدی را مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق ضرائب انتقال حرارت، راندمان حرارتی و میزان تولید آب شیرین در چهار نمونه کلکتور خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بیشترین میزان تولید آب شیرین مربوط به سیستم جریان آبشور فعال و به میزان ۴ کیلوگرم در روز آب شیرین بود [۱۶].

تیواری و دیمری در سال ۲۰۰۹ یک آب شیرین‌کن خورشیدی را در دو حالت متصل و جدا از کلکتور خورشیدی با فرض ثابت بودن دمای پوشش شفاف بررسی کردند و بر این اساس عمق بهینه آب شور در محفظه آب شیرین کن را ارزیابی کردند. آنها در تحقیق خود مقدار بهینه عمق آب شور حوضچه را در شرایط مختلف محاسبه و گزارش کردند [۱۷].

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5]

در تحقیق تجربی که توسط یونگ‌هو و همکاران [۱۸] انجام شد برای بهبود عملکرد دستگاه‌های آب شیرین‌کن خورشیدی غیرفعال معمولی که برای نمک‌زدایی در آب و هوای گرمسیری استفاده می‌شوند از یک سیستم تمرکز کننده جهت تابش خورشیدی استفاده شد. ارزیابی عملکرد از نظر کارایی و بهره‌وری بر روی دو دستگاه ثابت خورشیدی تک حوضه‌ای دو شیب غیرفعال همراه با لنز فرنل (FRL) و ماده تغییر فاز (PCM) انجام شد. آنها در نتایج تحقیق خود نشان دادند که راندمان سیستم از ۲۸ به ۳۷ درصد افزایش داشت. همچنین تولید آب شیرین نیز حدودا ۶۰ درصد افزایش داشت. آنها نشان دادند که استفاده از مواد تغییرفازدهنده باعث افزایش چشمگیری در راندمان سیستم شد.

همت اسفه و همکاران [۱۹] تاثیر شدت تابش خورشیدی بر عملکرد دستگاه ثابت خورشیدی تک شیب را مورد بررسی قرار دادند. آنها در تحقیق خود ابعاد و دمای حوضچه را ثابت فرض کرده و تأثیر شدت تابش بر تولید آبشیرین به صورت تابعی از زمان، ماه (فروردین) و مکان (استان سمنان) را مورد بررسی قرار دادند. دقت روش عددی با استفاده از مدل‌های مختلف و داده‌های تجربی برای میانگین عدد ناسلت روی سطح آب و میزان تولید آب مورد ارزیابی قرار گرفته است. آنها در نتایج خود نشان دادند که روند تغییرات شدت تابش مشابه نرخ تولید است. حداکثر میزان تولید آب مربوط به ساعت ۱۲ با ۵,۶ درصد افزایش نسبت به ساعت ۷ صبح است که کمترین میزان تبخیر را در منحنی زنگوله‌ای دارد.

کیمیایی و همکاران تاثیر بکارگیری گردش فعال جریان آب شور بر راندمان انرژی و اگزرژی تجهیزی مشابه سیستم مورد مطالعه در این تحقیق را بررسی کردند. نتایج حاکی از آن است که بکاگیری سیستم فعال گردش سیال باعث کاهش راندمان اگزرژی می‌گردد [۲۰].

ارشادی و همکاران تحلیل تجربی بر اساس تغییرات ارتفاع آب شور در مخزن آب شیرین کن و تاثیر آن بر کارآیی را در تجهیزی مشابه آب شیرین کن مورد استفاده در این تحقیق انجام دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که وجود جریان آب شور از یک سو باعث افزایش راندمان انرژی و از سوی دیگر (بعلت هزینه مصرف برق پمپ مورد نیاز) باعث کاهش راندمان اگزرژی می‌شود [۲۱].

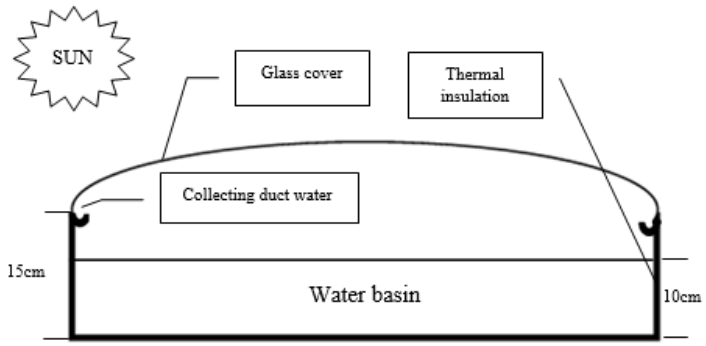
در پژوهشهای پیشین که تاکنون مورد بررسی قرار گرفته‌است دستگاه های آب شیرین‌کن خورشیدی از لحاظ هندسی عمدتا بصورت چهارگوش طراحی شده‌اند که در ساعات ابتدایی و پایانی روز باعث ایجاد مناطق سایه بیشتری درون دستگاه و درنتیجه آن کاهش راندمان سیستم می‌شود. در تحقیق پیش رو یک مدل دستگاه آب شیرین کن خورشیدی قابلمه‌ای با طرح هندسی جدید به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته‌است. این دستگاه دارای هندسه مدور بوده و درنتیجه آن کاهش مناطق سایه نتیجه می‌شود. این تجهیز قابلیت نصب متمرکز کننده خورشیدی را نیز دارا می‌باشد که نصب متمرکزکننده نیز به هدف تجمیع تشعشعات خورشیدی و تابش بیشتر به دستگاه طراحی شده‌است. در این پژوهش دستگاه آب شیرین‌کن خورشیدی در دو حالت همراه با متمرکزکننده و بدون متمرکزکننده مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحلیل میزان تولید آب شیرین، و راندمان های انرژی و اگزرژی در دو حالت مذکور با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۲- تشریح دستگاه آب شیرین کن قابلمه ای

نمای شماتیک دستگاه آب شیرین کن خورشیدی قابلمه ای در شکل-۱ ارائه شده است. یک مخزن آب شور و یک شیشه محدب به همراه مجرای جمع آوری آب در شکل دیده می‌شود. قطر دستگاه ۸۰ سانتیمتر است که سطح مقطعی معادل با یک مترمربع ایجاد می کند. شیب شیشه بالای دستگاه که کار میعان بخار آب را انجام می دهد ۱۰ درجه است. سیستم کاملا عایق و آب‌بندی شده و از ورود و خروج هوا جلوگیری شده است. بیشترین ارتفاع آب شور در مخزن ۱۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است [۱۷]. یک مجرای لوله ای جهت جمع آوری و ارسال آب شیرینِ بدست آمده دور دستگاه در نظر گرفته شده که شیبی معادل ۴ درجه برای آن منظور شده است. ارتفاع کلی مخزن استوانه ای ۱۵ سانتیمتر و قطر آن ۸۰ سانتیمتر می باشد. درب آن از شیشه به ضخامت ۶ میلیمتر ساخته شده است. دور تا دور مخزن از عایقهای حرارتی جهت ناچیز نمودن افت حرارت استفاده شده است. صفحه جاذب از جنس آلومینیم است و بصورت کوره ای با رنگ سیاه رنگ آمیزی گردیده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5]



شکل۱- طرح شماتیک تجهیز آب شیرین کن خورشیدی

شکل ۲ تصویر دستگاه ساخته شده همراه با متمرکز کننده خورشیدی را نمایش می‌دهد.



شکل۲- آب شیرین کن خورشیدی همراه با متمرکز کننده

۳- مدلسازی حرارتی

معادلات بقای انرژی در آب شیرین‌کن خورشیدی با استفاده از تحلیل معادلات انتقال حرارت و ضرایب انتقال حرارت بین لایه های مختلف آن نوشته می‌شود.

بقای انرژی باید مطابق شکل های (۳) الی (۵) برای لایه های زیر نوشته شود:

۱- شیشه فوقانی ۲- مخزن آب شور ۳- صفحه جاذب

در این مدلسازی فرضهای زیر درنظر گرفته شده است:

۱- دمای پوشش شفاف (شیشه) به صورت یکنواخت در نظر گرفته می‌شود.

۲- دمای حجم آب شور بصورت یکنواخت درنظر گرفته می‌شود.

۳- دمای صفحه جاذب به صورت یکنواخت در نظر گرفته می‌شود.

۴- به علت تغییرات نسبتا پایین دما، خواص سیال ثابت فرض می‌شوند.

۵- از انتقال حرارت تشعشع بین آب شور و پوشش شفاف صرفنظر می‌شود.

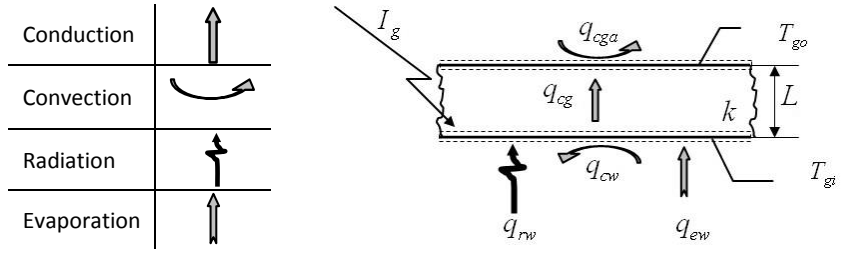
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5]

۱-۳- توازن انرژی در سطوح داخلی و خارجی پوشش شفاف

معادلات توازن انرژی بر اساس دماهای متفاوت سطوح داخلی و خارجی پوشش شفاف مطابق زیر است:

الف) توازن انرژی در سطح داخلی پوشش شفاف



شکل۳- توازن انرژی در پوشش شفاف

$$I_g + q_{tw} = q_{cg} \quad (۱)$$

جاییکه $q_{tw} = q_{cwg} + q_{rwg} + q_{ewg}$ است و بنابراین خواهیم داشت [۱۷].

$$\alpha_g I_{eff} + h_{tw}(T_w - T_{gi}) = \frac{K_g}{L_g}(T_{gi} - T_{go}) \quad (۲)$$

جائیکه $h_{tw} = h_{cw} + h_{rw} + h_{ew}$ است [۱۹]. روابط این ضرایب تبادل حرارت در مرجع [۱۶] ارائه شده‌اند.

ب) توازن انرژی در سطح خارجی پوشش شفاف

$$q_{cg} = q_{cga} \quad (۳)$$

$$\frac{K_g}{L_g}(T_{gi} - T_{go}) = h_{cga}(T_{go} - T_a) \quad (۴)$$

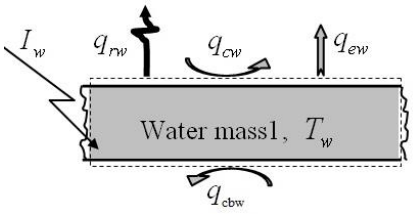
جاییکه h_a با استفاده از رابطه (۵) بدست می‌آید [۱۹].

$$h_a = 5.7 + 3.8V \quad (۵)$$

۲-۳- توازن انرژی در توده جرمی آب شور

انتقال حرارت خروجی از آب شور با سه جمله بیان میشود: تبخیر، تشعشع و جابجایی آزاد که به شیشه فوقانی وارد می-شود. همچنین انتقال حرارتی از سطح تحتانی که صفحه جاذب می باشد وارد آب شور می‌شود. [۱۷]

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5]



شکل۴- توازن انرژی در توده جرمی آب شور

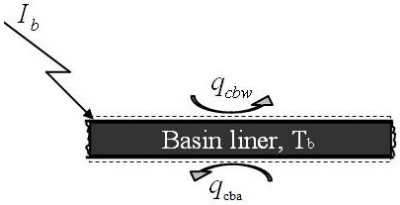
$$I_w + q_{cbw} = q_{tw} + m_w.C_w.\frac{dT_w}{dt} \quad (۶)$$

$$\alpha_w(1-\alpha_g)I + h_{cbw}(T_b - T_w) = h_{tw}(T_w - T_{gi}) + m_w.C_w.\frac{dT_w}{dt} \quad (۷)$$

ضرایب تبادل حرارت معرفی شده در رابطه (۷) در مرجع [۱۶] ارائه شده‌اند.

۳-۳- صفحه جاذب

توازن انرژی برای صفحه جاذب مطابق رابطه (۸) بدست می‌آید. [۱۷]



شکل۵- توازن انرژی در صفحه جاذب تابش خورشید

$$I_b = q_{cbw} + q_{loss} \quad (۸)$$

$$\alpha_b(1-\alpha_w)(1-\alpha_g)I = h_{cbw}(T_b - T_w) + h_{cba}(T_b - T_a) \quad (۹)$$

$$h_{cba} = \left[\frac{L_{ins}}{K_{ins}} + \frac{1}{h_a}\right]^{-1} \quad (۱۰)$$

جاییکه h_{cba}، ضریب تبادل حرارت مجموع تلفات از صفحه جاذب به صورت هدایت و جابجایی است.

۴-۳- تولید ساعتی و روزانه آب شیرین

تولید ساعتی آب شیرین از دستگاه آب شیرین کن خورشیدی توسط رابطه (۱۱) بدست می‌آید. [۲۰]

$$\dot{m}_{ewi} = \frac{A_s.h_{ew}(T_w - T_{gi}) \times 3600}{h_{fg}} \quad (۱۱)$$

بنابراین کل تولید روزانه به صورت مجموع تولید ساعتی و مطابق رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$M_{ew} = \sum_{i=1}^{24} \dot{m}_{ewi} \quad (۱۲)$$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5]

راندمان حرارتی در این سیستم خورشیدی به صورت نسبت انرژی دریافت شده برای تغییر فاز آب به کل انرژی خورشیدی ورودی به آب شیرین‌کن مطابق رابطه (۱۳) تعریف می‌شود.

$$\eta_{th} = \frac{\sum \dot{m}_{ewi} h_{fgi}}{\sum (IA_s \times 3600)} \quad (۱۳)$$

۵-۳- آنالیز اگزرژی

در این تحلیل، راندمان اگزرژی به صورت نسبت اگزرژی آب شیرین تولیدی به اگزرژی ورودی (اگزرژی تابش خورشید) به صورت رابطه (۱۴) تعریف می‌شود [۱۷].

$$\eta_{Ex} = \frac{\dot{E}x_{\text{Product}}}{\dot{E}x_{in}} = \frac{\dot{m}_{ew} \times Ex_{ew}}{\dot{E}x_{sun}} \quad (۱۴)$$

جاییکه اگزرژی آب شیرین تولیدی با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه می‌گردد [۱۷].

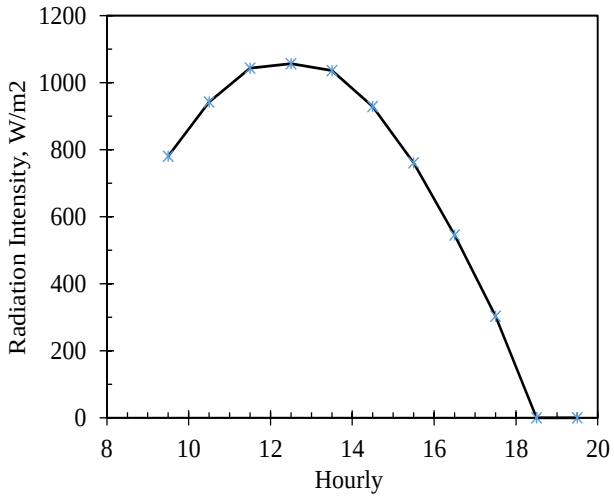
$$\dot{E}x_{\text{Product}} = \frac{\dot{m}_{ew}}{3600} \times \left[h_{fg} \times \left(1 - \frac{T_a}{T_w} \right) \right] \quad (۱۵)$$

همچنین اگزرژی ورودی از تشعشع خورشید با استفاده از رابطه (۱۶) محاسبه می‌گردد [۱۷].

$$\dot{E}x_{sun} = A_s I \left[1 - \frac{4}{3}\left(\frac{T_a}{T_s}\right) + \frac{1}{3}\left(\frac{T_a}{T_s}\right)^4 \right], \quad T_s = 6000K \quad (۱۶)$$

۴- آزمون تجربی

آزمون تجربی در شهر دزفول با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی انجام شده است. اطلاعات هواشناسی مربوط به تشعشع خورشید از مرکز هواشناسی صفی آباد دزفول با دقت W/m^2 ۰/۱ $\pm$ اخذ شده است. همچنین دمای هوا، پوشش شفاف (سطوح بیرونی و داخلی) و آب شور با دقت ℃ ۰/۱ $\pm$ با بکارگیری ترمومترهای سنجش دما و سرعت باد با دقت m/s ۰/۱ $\pm$ با بکارگیری تجهیز انیمومتر به صورت ساعتی در محل آزمایش سنجش شده‌اند.



شکل۶- نمودار تغییرات تشعشع خورشیدی در روز آزمایش

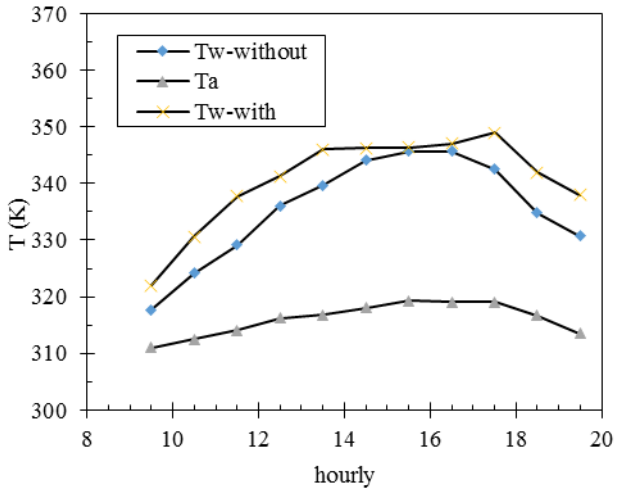
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5]

آزمون های تجربی در روزهای ۱۳ و ۱۴ مردادماه در حالت های به ترتیب بدون متمرکز کننده و همراه با متمرکز کننده مابین ساعت های ۹:۳۰ دقیقه صبح تا ۱۹:۳۰ عصر انجام شده اند. مطابق نتایج بدست آمده از سنجش میزان تشعشع خورشید، حداکثر تابش خورشید مطابق شکل (۶)، ۱۰۵۲/۲ W/m^2 در ساعت ۱۲:۳۰ دقیقه ظهر است.
مخزن ذخیره آب شور در هر دو حالت مورد بررسی تا ارتفاع ۱۰ سانتیمتر پر می شود و آب شیرین تولیدی از طریق یک لوله پلاستیکی متصل به کانال جمع آوری آب شیرین، درون ظرفی مجزا ذخیره می‌گردد. میزان تولید آب شیرین به صورت ساعتی با اندازه گیری حجم ذخیره شده، ثبت می‌گردد.

۵-نتایج آزمون

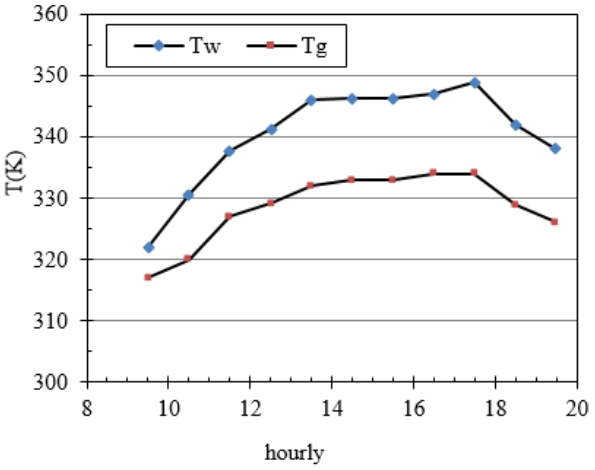
متمرکزکننده با هدف افزایش میزان آب شیرین تولیدی از طریق گرمایش بیشتر محفظه ذخیره آب شور بکار گرفته شده است. نتایج شکل (۷)، حاکی از آن است که استفاده از متمرکز کننده در ساعات ابتدایی و پایانی دوره آزمون، نقش بسزایی در جمع آوری پرتوهای پراکنده تشعشع خورشیدی دارد. چراکه بیشترین اختلاف دمای آب شور بین دو حالت مورد بررسی در این ساعات رخ می دهد و مابین ساعت های ۱۴:۳۰ تا ۱۶:۳۰ دقیقه به دلیل تابش عمودی خورشید اختلاف بین دو حالت مورد بررسی به حداقل مقدار خود می‌رسد.



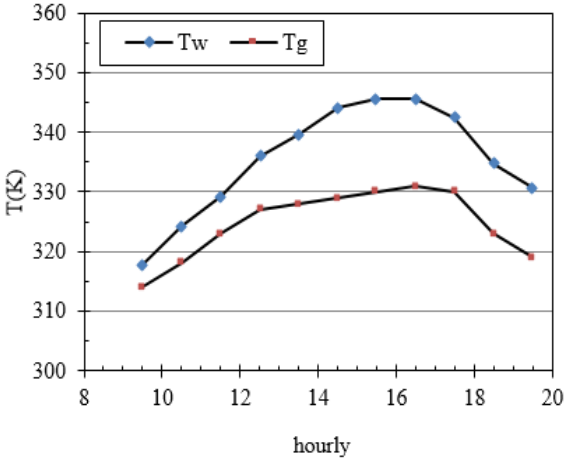
شکل۷- نمودار تغییرات دمای هوا و آب شور برای آب شیرین کن با و بدون متمرکز کننده

مطابق معادله (۱۱) اختلاف دمای مابین آب شور درون مخزن ذخیره و سطح داخلی پوشش شفاف، یکی از پارامترهای کلیدی در میزان آب شیرین تولیدی است. به گونه‌ایکه افزایش این اختلاف دما تاثیر مستقیم بر میزان آب شیرین تولیدی خواهد داشت. نمودارهای (۸) و (۹) دماهای ثبت شده آب شور مخزن و سطح داخلی پوشش شفاف را در دو حالت به ترتیب همراه با متمرکزکننده و بدون متمرکزکننده نمایش می دهند. آشکار است که از ابتدای شروع آزمون تا ساعت ۱۳:۳۰ دقیقه و از ساعت ۱۵:۳۰ دقیقه تا پایان آزمون، اختلاف دمای مابین آب شور و سطح داخلی پوشش شفاف در حالت استفاده از متمرکز کننده بیشتر از حالت بدون متمرکزکننده است. علاوه بر آن دمای آب شور در حالت با متمرکزکننده در تمامی ساعات آزمون بیشتر از حالت بدون متمرکز کننده است. این دما تاثیر مستقیمی بر میزان تبخیر آب درون مخزن دارد. در واقع تبخیر بیشتر آب، معادل افزایش ضرایب تبادل حرارت h_{cw} و h_{ew} است. بنابراین مطابق نمودار (۸)، بیشینه دمای آب شور در حالت با متمرکزکننده ۳۴۹ کلوین است و در ساعت ۱۷:۳۰ دقیقه رخ می دهد. همچنین مطابق نمودار (۹)، بیشینه دمای آب شور در حالت بدون متمرکزکننده ۳۴۵/۷ کلوین است و در ساعت ۱۶:۳۰ دقیقه رخ می‌دهد.

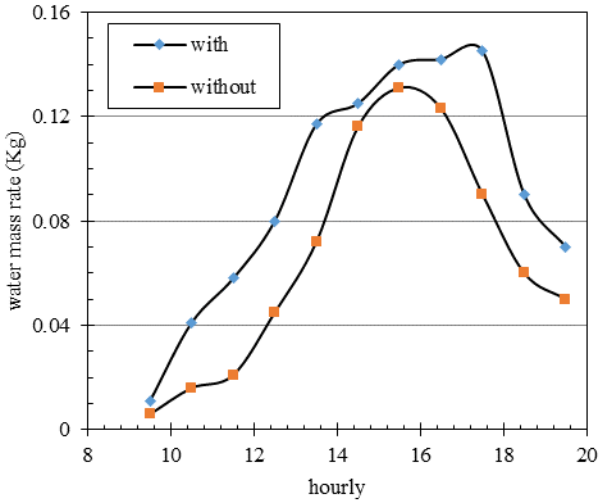
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5]



شکل۸- نمودار تغییرات دمای آب درون مخزن و شیشه با متمرکز کننده



شکل۹- نمودار تغییرات دمای آب درون مخزن و شیشه بدون متمرکز کننده



شکل ۱۰- نمودار تولید آب شیرین بدون متمرکز کننده و با متمرکز کننده

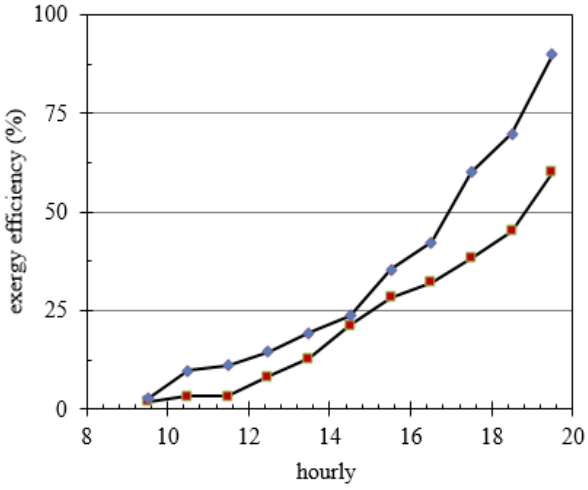
میزان تولید آب شیرین در دو حالت با متمرکزکننده و بدون متمرکزکننده در شکل (۱۰) نمایش داده شده است. نتایج حاکی از آن است که میزان آب شیرین تولیدی در حالت با متمرکزکننده در تمامی ساعات آزمون بیشتر از حالت بدون متمرکزکننده است. این نتیجه حتی در ساعاتی که اختلاف دمای بین آب شور و سطح داخلی مخزن کمتر از حالت بدون متمرکز کننده است، نیز رخ داده است. چراکه سطح بالاتر دمای آب شور درون مخزن در کنار این اختلاف دما، تاثیر مستقیم بر تولید آب شیرین دارد. بیشینه میزان تولید آب شیرین در حالت با متمرکز کننده در ساعت ۱۷:۳۰ دقیقه و معادل ۱۴۵ گرم است. همچنین بیشینه تولید آب شیرین در حالت بدون متمرکزکننده در ساعت ۱۵:۳۰ دقیقه و معادل ۱۳۱ گرم است. مقدار مجموع آب شیرین تولیدی در حالت با متمرکزکننده ۱/۰۱۹ کیلوگرم و در حالت بدون متمرکز کننده ۰/۷۳۰ کیلوگرم است. بنابراین میزان آب شیرین تولیدی در حالت بکارگیری متمرکزکننده ۳۹/۵ درصد افزایش یافته است.

بر مبنای روابط (۱۱) تا (۱۶)، راندمان های محاسبه شده انرژی و اگزرژی آب شیرین کن خورشیدی در دو حالت با و بدون متمرکز کننده به ترتیب در شکل های (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است. مطابق پیش بینی و بر مبنای میزان آب شیرین تولیدی، راندمان انرژی آب شیرین کن در حالت بکارگیری متمرکزکننده در تمامی ساعات آزمون بیش از حالت بدون متمرکز

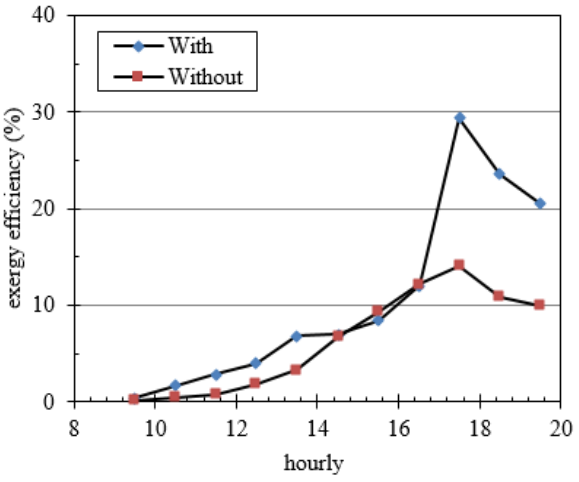
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5]

کننده است. مشابه نتایج پیش از این برای دمای آب شور، نقش متمرکزکننده از ساعت شروع آزمون تا ساعت ۱۳:۳۰ دقیقه و از ساعت ۱۷:۳۰ دقیقه تا پایان زمان آزمون در جمع آوری پرتوهای پراکنده در نمودار شکل (۱۱) مشهود است. به گونه‌ایکه بیشترین اختلاف در راندمان های بین دو حالت مورد بررسی در این ساعات رخ می دهد. بیشینه راندمان انرژی در دو حالت با و بدون متمرکزکننده به ترتیب ۹۰ و ۶۰ درصد و در ساعت ۱۹:۳۰ دقیقه است. بنابراین در ساعات پایانی دوره آزمون، همزمان با کاهش تشعشع خورشید و جذب پرتوهای پراکنده توسط متمرکزکننده و افزایش تقطیر بخار آب در ساعات پایانی به دلیل کاهش دمای پوشش شفاف، راندمان آب شیرین کن به شکل قابل توجهی افزایش می یابد.

نتایج محاسبات راندمان اگزرژی حاکی از آن است که از ابتدای شروع آزمون تا ساعت ۱۳:۳۰ دقیقه حالت با متمرکزکننده دارای سطح راندمان بالاتری نسبت به حالت بدون متمرکزکننده است. از ساعت ۱۴:۳۰ دقیقه تا ساعت ۱۶:۳۰ دقیقه تفاوت چندانی مابین راندمان های اگزرژی دو حالت وجود ندارد. اما به یکباره از ساعت ۱۷:۳۰ دقیقه اختلاف بین دو حالت، با شیب نزولی تا پایان ساعات آزمون مشاهده می‌شود. بطوریکه بیشینه راندمان اگزرژی در ساعت ۱۷:۳۰ دقیقه و معادل ۲۹/۳۵ درصد است و در مقابل بیشینه راندمان اگزرژی در حالت بدون متمرکزکننده در همین ساعت و معادل ۱۴/۱۱ درصد است. در هر صورت نقش متمرکز کننده در جذب پرتوهای پراکنده در ساعات پایانی آزمون کاملا آشکار است.



شکل۱۱- راندمان انرژی در حالت های با و بدون متمرکزکننده



شکل۱۲- راندمان اگزرژی در حالت های با و بدون متمرکزکننده

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق تجربی، تاثیر استفاده از متمرکزکننده در راندمان انرژی و اگزرژی یک آب شیرین‌کن قابلمه‌ای بررسی شده است. بنابراین با هدف افزایش تولید آب شیرین و به تبع آن افزایش کارآیی تجهیز آب شیرین‌کن خورشیدی از متمرکزکننده پرتو خورشید که قابلیت جداسازی از تجهیز را داشته باشد استفاده شد. نتایج نشان داد که، متمرکز کننده با جذب پرتوهای پراکنده تشعشع خورشید باعث افزایش دمای آب شور نسبت به حالت بدون متمرکزکننده می‌شود. افزایش دمای آب شور ذخیره شده در مخزن به صورت مستقیم باعث افزایش میزان بخار آب مابین سطح آب شور و پوشش شفاف می‌شود. درنتیجه نرخ تبخیر بخار آب روی پوشش شفاف نیز افزایش می‌یابد. در این حالت تولید آب شیرین در طی دوره آزمون با بکارگیری متمرکزکننده، حدود ۴۰ درصد افزایش یافت. افزایش میزان آب شیرین تولیدی به منزله افزایش راندمان انرژی است. مطابق نتایج تجربی در تمامی ساعات آزمون، راندمان انرژی حالت با متمرکزکننده بیش از حالت بدون متمرکز کننده است. بیشینه راندمان انرژی حالت های با متمرکزکننده و بدون متمرکزکننده به ترتیب ۹۰ و ۶۰ درصد است و در ساعت ۱۹:۳۰ دقیقه رخ

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5]

می دهد. سطح راندمان اگزرژی نیز به غیر از فاصله مابین ساعت های ۱۴:۳۰ تا ۱۶:۳۰ دقیقه که دمای آب شور در حالت با متمرکزکننده تقریبا ثابت است، بیش از حالت بدون متمرکز کننده است. اما بر خلاف منحنی راندمان انرژی از ساعت ۱۷:۳۰ دقیقه تا پایان دوره آزمون، منحنی راندمان اگزرژی هر دو حالت دارای شیب نزولی است و بیشینه راندمان اگزرژی در ساعت ۱۷:۳۰ دقیقه برای دو حالت با و بدون متمرکز کننده به ترتیب ۲۹/۳۵ و ۱۴/۱۱ درصد بدست می‌آید. بنابراین مطابق نتایج تجربی بدست آمده بکارگیری متمرکزکننده پرتو خورشیدی تاثیر مستقیم و قابل توجهی بر افزایش راندمان‌های انرژی و اگزرژی آب شیرین کن خورشیدی مورد نظر دارد.

فهرست علائم

A_S	مساحت سطح جاذب	(m^2)
C_w	ظرفیت حرارتی ویژه آب شور	$(J.Kg^{-1}{}^oC^{-1})$
$\dot{E}x_{Product}$	اگزرژی خروجی از آب شیرین کن	(W)
$\dot{E}x_{Sun}$	اگزرژی ورودی به آب شیرین کن	(W)
h_a	ضریب انتقال حرارت جابجایی با محیط	$(Wm^{-2}{}^oC^{-1})$
h_{cba}	ضریب انتقال حرارت کلی از سطح زیر آب شیرین کن به محیط پیرامون	$(Wm^{-2}{}^oC^{-1})$
h_{cw}	ضریب انتقال حرارت جابجایی از سطح سیال به سطح داخلی پوشش شفاف	$(Wm^{-2}{}^oC^{-1})$
h_{ew}	ضریب انتقال حرارت تبخیری از سطح سیال به سطح داخلی پوشش شفاف	$(Wm^{-2}{}^oC^{-1})$
h_{fg}	گرمای نهان تبخیر آب شور	(JKg^{-1})
h_{tw}	ضریب انتقال حرارت مجموع از سطح آب شور به سطح داخلی پوشش شفاف	$(Wm^{-2}{}^oC^{-1})$
h_{cbw}	ضریب انتقال حرارت جابجایی از صفحه جاذب به آب شور	$(Wm^{-2}{}^oC^{-1})$
I	شدت تابش خورشید	(Wm^{-2})
I_{eff}	شدت تابش موثر خورشید	(Wm^{-2})
K_{ins}	رسانایی حرارتی عایق	$(Wm^{-1}{}^oC^{-1})$
K_g	رسانایی حرارتی پوشش شفاف	$(Wm^{-1}{}^oC^{-1})$
L_{ins}	ضخامت عایق	(m)
L_g	ضخامت پوشش شفاف	(m)
$\dot{m}_{ew}$	آب شیرین تولیدی روزانه	(Kgd^{-1})
$\dot{m}_{ewi}$	آب شیرین تولیدی ساعتی	(Kgh^{-1})
q_{cba}	تبادل حرارت جابجایی بین سطح پشتی آب شیرین کن و محیط	(Wm^{-2})
q_{cbw}	تبادل حرارت جابجایی بین آب شور و سطح جاذب	(Wm^{-2})
q_{cga}	تبادل حرارت جابجایی بین سطح خارجی پوشش شفاف و محیط	(Wm^{-2})
q_{cg}	تبادل حرارت هدایت بین سطوح داخلی و خارجی پوشش شفاف	(Wm^{-2})
q_{cw}	تبادل حرارت جابجایی بین سطح داخلی پوشش شفاف و سطح آب شور	(Wm^{-2})
q_{ew}	تبادل حرارت تبخیری بین سطح داخلی پوشش شفاف و سطح آب شور	(Wm^{-2})
q_{rw}	تبادل حرارت تشعشع بین سطح داخلی پوشش شفاف و سطح آب شور	(Wm^{-2})
q_{tw}	تبادل حرارت مجموع بین سطح داخلی پوشش شفاف و سطح آب شور	(Wm^{-2})
t	زمان	(s)
T_a	دمای هوای محیط	(°C)
T_b	دمای صفحه جاذب	(°C)
T_{gi}	دمای سطح داخلی پوشش شفاف	(°C)

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5]

T_{go}	دمای سطح خارجی پوشش شفاف	(℃)
T_S	دمای سطح خورشید	(K)
T_w	دمای آب شور	(℃)
V	سرعت باد	(ms^{-1})

حروف یونانی

α	قابلیت جذب تشعشع
η_{EX}	راندمان اگزرژی آب شیرین کن
η_{th}	راندمان انرژی آب شیرین کن

زیرنویس ها

a	محیط
b	صفحه جاذب
g	پوشش شفاف
w	آب شور

منابع

[1] HS. Soliman. *Solar Still Coupled with a Solar Water Heater*, Mosul University: Mosul, Iraq. 1976

[2] GM Zaki, A. Al-Turki, M. AI-Fatani. Experimental investigation on concentrator assisted solar stills. Solar Energy, 11, 193–199, 1992.

[3] GN Tiwari. *Recent Advances in Solar Distillation*, Chapter 2. Wiley Eastern Ltd: New Delhi, India, 1992.

[4] R Tripathi, GN Tiwari. Effect of water depth on internal heat and mass transfer for active solar distillation. Desalination, 173, 187–200, 2005.

[5] A.N. Minasian, A.A. Al-Karaghouli, M. Hasan and A. Shakir, Utilization of solar earth – water stills for desalination for ground water, Energy Convers. Mgmt., 49(2), 107–110, 1992.

[6] K. Murase, H. Tobata, M. Ishikawa and S. Toyama, Experimental and numerical analysis of a tube-type networked solar still for desert technology, Desalination, 190, 137–146, 2006.

[7] M. Kobayashi, A method of obtaining water in arid land, Solar Energy, 7(3), 93–99, 1963.

[8] A.A. Delyannis, Solar stills provide an island's inhabitants with water, Sun at Work, 10(1), 6–8, 1965.

[9] G.O.G. Lof, *Solar desalination*, Chapter 5 in *Principles of Desalination*, K.S. Spiegler, ed., Academic Press, New York, 1966.

[10] B.W. Tleimat and E.D. Howe, Comparison of plastic and glass condensing covers for solar distillers. Proc. Solar Energy Society, Annual Conference, Arizona, pp. 1–12, 1967.

[11] E.Zh. Norov, B.M. Achilov and T.D. Zhuraev, Results of tests on solar film-covered stills, Geliotekhnika, 11(3), 130–132, 1975.

[12] G.Y. Umarov, M.K. Asamov, B.M. Achilov, T.K. Sarros, E.Z. Norov and N.A. Tsagaraeva, Modified polyethylene films for solar stills, Geliotekhnika, 12(2), 29–33, 1976.

[13] J. Ahmadzadeh, Solar earth water stills, Solar Energy, 20(5), 387–391, 1978.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5]

[14] S. Shoeibi, H. Kargarsharifabad, N. Rahbar, Gh. Khosravi, M. Sharifpur, An integrated solar desalination with evacuated tube heat pipe solar collector and new wind ventilator external condenser, Sustainable Energy Technologies and Assessments, 50, 2022. https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101857

[15] F. Selimefendigil, C. Şirin, H. F. Öztop, Experimental analysis of combined utilization of CuO nanoparticles in latent heat storage unit and absorber coating in a single-slope solar desalination system, Solar Energy, 233, 278-286, 2022.

[16] G. N. Tiwari, V.Dimri, U. Singh, A. Chel and B. Sarkar, Comparative thermal performance evaluation of an active solar distillation system, Int. J. Energy Res., 31, 1465–1482, 2007.

[17] G.N. Tiwari, V.Dimri, A.Chel, Parametric study of an active and passive solar distillation system: Energy and exergy analysis, Int. J. Desalination, 242, 1–18, 2009.

[18] Zh. Yong Ho, R. Bahar, Ch. Hoon Koo, Passive solar stills coupled with Fresnel lens and phase change material for sustainable solar desalination in the tropics, Journal of Cleaner Production, 334, 2022, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130279.

[19] M. Hemmat Esfe, S. Esfandeh, M. H. Kamyab, D. Toghraie, Simulation of the impact of solar radiation intensity on the performance of economical solar water desalination still in Semnan province, Case Studies in Thermal Engineering, 28, 2021, https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101471.

[20] M. Kimiaei, A. Ershadi, An experimental study on the effect of saline water height on the performance of solar desalination with and without forced flow. Journal of Energy Conversion, 5(1), 21-27, 2018. URL: http://jeed.iaud.ac.ir/article-1-216-fa.html

[21] M. Kimiaei, A. Ershadi, Experimental analysis of energy and exergy of forced flow of saline water in a solar desalination plant, Journal of Energy Conversion, 5(1), 41-48, 2018. URL: http://jeed.iaud.ac.ir/article-1-223-fa.html

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5]

چکیده انگلیسی:

Experimental energy and exergy analysis of solar concentrator on a pot solar desalination efficiency

Ali Ershadi[1,*], Iman Jafari[2]

1- Department of Mechanical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran. a.ershadi@iaud.ac.ir

2- Head of technical office, Khuzestan hydropower plant install and maintenance company, Andimeshk, Iran, iman_jafari@yahoo.com

Received: November 2021 Accepted: January 2021

Abstract

In this study, experimental energy and exergy efficiency analysis of a solar desalination have been presented in two cases; with concentrator and without concentrator. Solar concentrator was used to increase production of clean water. Because production rate of clean water is slow in solar desalination devices. Hence, a solar device with ability of adding concentrator was designed and performed. In experimental investigations, amount of produced water has been measured in periods of one hour and by using ambient parameters, these two cases have been compared each other. Results show that the amount of produced water increases about 40% in case of with concentrator rather than without concentrator. Also, energy and exergy analysis of solar desalination display rising of efficiencies in case of with concentrator, as energy and exergy efficiencies grows up to 30% and 15.19%, respectively.

Key words: Solar energy, solar desalination, exergy, concentrator.

*corresponding author: **a.ershadi@iaud.ac.ir**

Cite this article as: Ali Ershadi, Iman Jafari, Experimental energy and exergy analysis of solar concentrator on a pot solar desalination efficiency. Journal of Energy Conversion, 2021, 8(4), 69-82.
DOR**:** **20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5**

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.5.5]