

# بررسی آزمایشگاهی تأثیر ارتفاع آب شور بر عملکرد دستگاه آب شیرین کن خورشیدی با جریان اجباری و بدون جریان اجباری

محمدامین کیمیایی<sup>۱</sup>، علی ارشادی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

دریافت: تابستان ۹۶ پذیرش: زمستان ۹۶

## چکیده

هدف اصلی در این پژوهش بررسی آزمایشگاهی تأثیر ارتفاع آب شور بر عملکرد دستگاه آب شیرین کن خورشیدی هرمی می باشد. در این راستا یک دستگاه آب شیرین کن خورشیدی هرمی طراحی و ساخته شده است. آزمایش در شهر اهواز با موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی که در بخش جلگه‌ای خوزستان و با ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا واقع شده است و در فصل پاییز با میانگین دمای هوای ۲۶ درجه سانتی گراد و در دو حالت با جریان اجباری آب شور و بدون آن، برای سه مقدار متفاوت ارتفاع آب شور، صورت گرفته است. جهت اجباری کردن جریان آب شور درون مخزن از یک پمپ آب با توان ۲۸.۸ وات استفاده شده است. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که دمای آب شور درون مخزن و پیرو آن نرخ تبخیر و راندمان گرمایی دستگاه با ارتفاع آب شور درون مخزن رابطه معکوس دارد. میانگین راندمان گرمایی دستگاه در حالت عدم وجود جریان اجباری برای ارتفاع ۵، ۱۵ و ۲۰ سانتی متری به ترتیب ۱۶٪، ۱۱٪ و ۱۴٪ محاسبه گردید. مقادیر مذکور برای حالت وجود جریان اجباری به ترتیب ۲۰٪، ۱۷٪ و ۱۴٪ محاسبه شده است.

<sup>\*</sup> عهدهدار مکاتبات: a.ershadi@yahoo.com

**کلمات کلیدی:** آب شیرین کن خورشیدی، ساخت دستگاه، ارتفاع آب شور، جریان اجباری، تحلیل انرژی

دیگر وجود دارند. با این حال، این روش‌ها با توجه به هزینه نگهداری و مصرف انرژی زیاد کارآمد نیستند. در میان این روش‌ها، آب شیرین کن خورشیدی به عنوان یک گزینه اجتناب ناپذیر شناخته شده است که با توجه به هزینه نگهداری کمتر و ساز و کار ساده‌ای که دارد عمده‌ای در مناطق خشک نظیر خاورمیانه و آفریقای شمالی که از تابش خورشیدی فراوانی برخوردارند مورد توجه قرار گرفته است. همچنین اساس کار سیستم‌های آب شیرین کن خورشیدی بر مبنای سیکلی است که در طبیعت طی می‌گردد. آب شور به واسطه انرژی حرارتی خورشید تبخیر و روی سطح شیشه‌ای آب شیرین کن، سرد و تقطیل می‌گردد. قطرات حاصله عاری از هرگونه نمک یا مواد معدنی و میکرو ارگانیزم می‌باشند [۱].

اگرچه تاریخچه ساخت و استفاده از دستگاه‌های آب شیرین کن خورشیدی به سده چهارم پیش از میلاد بر می‌گردد، ولیکن امروزه تحقیقات وسیعی در این زمینه انجام شده است. در سال ۲۰۱۸ کاپیل و عبدالقادر در شهر تانتا مصر، خشک کن خورشیدی غیر مستقیم دو مرحله‌ای با گرم شدن مجدد با سیستم آب شیرین کن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده از خشک کن دو مرحله‌ای، رطوبت دفع شده از محصولات را به میزان ۷۱.۷٪ افزایش

## ۱- مقدمه

آب مهم ترین ماده حیاتی است که به همراه اکسیژن برای زیست بشر بر پهنه زمین الزاماً است و تصور زندگی بدون آب شیرین و قابل شرب و هوای پاک اساساً ممکن نیست [۱].

تهییه آب شیرین قابل شرب همواره یکی از مهم ترین موضوعات در بسیاری از مناطق جهان بوده است، زیرا انسان علاوه بر آشامیدن، برای کلیه فعالیت‌های صنعتی و خانگی به آب نیاز دارد. افزایش جمعیت، توسعه شهرنشینی و پیشرفت صنعت نیز موجب استفاده بی رویه از منابع آب و سرازیر شدن مواد میکروبی، شیمیایی به آن شده است. توزیع آب شیرین در تمام نقاط جهان یکسان نیست. در بعضی مناطق مثل اروپا، به علت بارندگی زیاد، آب فراوان است و بر عکس بعضی نقاط، مثل بیشتر کشورهای آسیایی و آفریقایی، در گیر مشکل کمبود آب شیرین هستند که جمعیت و اقلیم ضعیف تر را زین می‌برد. از این رو امروزه ابداع و به کار گیری روش‌های جدید در تولید آب شیرین بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۲].

روش‌های به دست آوردن آب شیرین مانند: اسمز معکوس، دستگاه های آب شیرین کن چند مرحله‌ای، الکترودیالیز و بسیاری روش‌های

ضخامت عایق حرارتی مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که اثر تغییرات ارتفاع آب شور بر آب شیرین تولیدی نسبت به دیگر پارامترها بیشتر است، به گونه ای که با افزایش ۱۰ میلی متری ارتفاع آب شور داخل تشک، تولید آن حدود ۲۰ درصد کاهش پیدا می کند [۸]. در سال ۲۰۱۷ شبکه های و همکاران اثر نصب کنداسور بر میزان تولید و راندمان آب شیرین کن خورشیدی را مورد مطالعه قرار دادند. با بررسی نتایج حاصل، مشاهده شد کنداسور خنک شونده با هوا ۷۶ درصد، و کنداسور خنک شونده با آب دردامای محیط در ساعت ۷ صبح، ۱۰٪ درصد تولید را افزایش می دهد. درصورتی که آب مورد نیاز جهت خنک کاری، در طول شب خنک شده باشد و دمای آن ۱۰ درجه کمتر از دمای محیط در ساعت ۷ صبح باشد، تولید ۱۱۸ درصد افزایش می یابد. با مقایسه میزان تولید مشخص است که نصب کنداسور خنک شونده با هوا و یا آب سیار مفید است اما خنک شده باشد و دمای آن به صرفه ۱۰ درصد راندمان را افزایش میدهد با توجه به هزینه اضافی آن به صرفه نیست [۹]. در سال ۲۰۱۷، شادرام و همکاران تغییرات پارامتر دبی آب شور ورودی به یک دستگاه آب شیرین کن تقطیری خورشیدی همراه با بستر شبیب دار را از دیدگاه تئوری و تجربی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد با افزایش دبی آب شور ورودی به سیستم، میزان تولید آب شیرین کاهش می یابد. به نحوی که میزان آب شیرین تولیدی در کمترین دبی ورودی نسبت به بیشترین دبی ورودی، ۶۸٪ بیشتر است [۱۰]. در سال ۲۰۱۶، بنناکار و همکاران سامانه آب شیرین کن خورشیدی با جمع کننده لنز فرستن خطی را مورد مطالعه قرار دادند. از این جمع کننده برای پیش گرمایش آب مورد نیاز آب شیرین کن استفاده شد. این جمع کننده یک مترمربعی با یک کانون حرفره ای و چند لوله جاذب رفت و برگشتی مجهز گردید. بازده حرارتی آن در سه دبی ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی لیتر مورد ارزیابی قرار گرفت و به ترتیب بازده ۶۵/۶، ۶۷/۵ و ۷۶/۶ بدست آمد [۱۱]. در سال ۲۰۱۶، علی پناه و همکاران بررسی عددی تأثیر ابعاد پله بر عملکرد یک آب شیرین کن خورشیدی پلکانی مورد مطالعه قرار دادند. پارامترهای موثر بر عملکرد و بهره وری در دستگاه، عبارت از فاصله بهینه بین سطح شبکه و آب، ارتفاع پله ها، تعداد گردابه ها و ضریب انتقال حرارت جابجایی می باشند. مهمترین نتیجه بدست آمده در این پژوهش و بررسی های انجام گرفته بر روی تعداد و ارتفاع پله ها در یک آب شیرین کن با ابعاد مشخص، بیانگر آن است که در هر تعداد پله مشخص یک سیر صعودی و نزولی در تولید آب مشاهده شده و به عبارت دیگر در هر تعداد پله مشخص یک نقطه بهینه وجود دارد. همچنین آب شیرین کن در حالت خاص شش پله ای با ارتفاع سه و نیم سانتی متری بیشترین میزان تولید آب شیرین را داشته است [۱۲].

## ۲- مراحل و روش ساخت دستگاه آب شیرین کن خورشیدی با جریان اجباری

دستگاه طراحی شده در این پژوهش شامل یک حوضچه با ابعاد  $1 \times 1 \times 0.3$  متر و از جنس ورق گالوانیزه با ضخامت ۱ میلی متر میباشد که به منظور جذب بیشتر تابش خورشیدی و بالا بردن راندمان با رنگ سیاه کوره ای پوشیده شده است. این حوضچه محل قرارگیری آب

داد و همچنین وجود خشک کن موجب افزایش ۲۹ درصدی بهره وری آب شیرین کن گردید [۳]. در سال ۲۰۱۷ ، التراونه و همکاران عملکرد سالانه دستگاه های تقطیر شبیب دار یک طرفه، شبیب دار دو طرفه و هرمی را به صورت تجربی و نظری مورد بررسی قرار دادند که نتایج این پژوهش نمایان کرد که عملکرد هر سه دستگاه در فصل تابستان بهتر از زمستان است و همچنین بالا رفتن حجم آب شور موجب کاهش بهره وری دستگاه میگردد. همچنین دستگاه شبیب دار یک طرفه با زاویه شبیب ۳۰ درجه، بهره وری دستگاه را به میزان ۲۸٪ بهبود می بخشد [۴]. در سال ۲۰۱۶، عزوو و یونیس در شهر موصل عراق، تأثیر زاویه شبیش بر عملکرد دستگاه خورشیدی را مورد بررسی قرار دادند. به گونه ای که ده دستگاه آب شیرین کن با شبیب زاویه های مختلف از ۱۰ تا ۵۵ درجه با گام ۵ درجه طراحی و ساخته شد. که بررسی نتایج پژوهش نشان داد، زاویه مطلوب شبکه برای دستگاه آب شیرین کن خورشیدی حدود ۲۵ درجه است. همچنین محاسبات مدل بینگر این بود دستگاه با زاویه ۲۵ درجه، به میزان کمتری تحت تأثیر دما و سرعت باد قرار دارند و عملکرد دستگاه آب شیرین کن خورشیدی عمدتاً توسط مقدار تابش خورشیدی کنترل می شود [۵]. در سال ۲۰۱۶ شفیعی و همکاران در دانشگاه صنعتی شریف دستگاه آب شیرین کن خورشیدی ساختند که از مزایای کلکتورهای لوله خلا شیشه ای بهره میبرد. برای اولین بار، کلکتور لوله ای خلاء نه تنها به عنوان کلکتور حرارتی خورشیدی استفاده شده است، بلکه به عنوان یک حوضه برای گرم کردن آب بکار رفته است. از این رو، مقاومت حرارتی بین کلکتور و حوضه عملاً حذف شده است. نتایج نشان می دهد که افزایش قابل توجهی در میزان تولید آب شیرین حاصل شده و حداکثر تولید تا  $0.83 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h})$  است. مشاهده شده است که حداکثر نرخ تولید زمانی رخ می دهد که لوله در زاویه شبیب ۳۵ درجه قرار دارد، و  $80\%$  با آب پر شده است. علاوه بر این، یک مدل تئوری به منظور ارزیابی کارایی سیستم در شرایط حالت شبے پایدار ارائه شده است [۶]. در سال ۲۰۱۶ بهنما و همکاران یک سیستم آب شیرین کن خورشیدی مجهز به ستون مرطوب کننده حباب هوا، کلکتورهای لوله خلاء و لوله های حرارت ترموسیفون طراحی و ساختند. این دستگاه از مزایای یک ستون مرطوب کننده حباب هوا بهره میبرد. در این مقاله اثرات پارامترهای مختلف شامل سرعت جریان هوای ورودی به دستگاه مرطوب کننده، عمق اولیه آب در دستگاه مرطوب کننده بررسی شده است. طبق نتایج بهره وری آب شیرین کن و مقدار تولید روزانه به ترتیب  $6.275 \text{ kg/day.m}^2$  بوده است. طبق نتایج حاصله افزایش شدت تابش خورشید منجر به افزایش دمای آب داخل مرطوب کننده می شود، که منجر به افزایش انتقال حرارت و میزان تبخیر آب به حباب های هوا می شود. در مورد عمق آب ۷.۵ سانتی متر، با توجه به نرخ انتقال حرارت بالاتر لوله های حرارتی به آب، دمای آب داخل دستگاه مرطوب کننده در مقایسه با عمق آب دیگر بالاترین مقدار را داشته است. در نتیجه، دمای هوا در خروجی دستگاه مرطوب کننده نیز بالاترین مقدار می باشد [۷]. در سال ۲۰۱۷ مکی آبادی و همکاران تأثیر ارتفاع آب شور بر آب شیرین تولیدی یک سامانه ای آب شیرین کن خورشیدی تشتکی را در شهر تهران مورد مطالعه قرار دادند. تغییرات انواع پارامترهای فیزیکی سامانه مانند ارتفاع آب شور، زاویه پوشش شبکه ای، ضخامت بوش تشک و

در مرکزیت کف حوضچه و باکس چوبی یک سوراخ که محل تعییه شیر تخلیه می باشد ایجاد شده است تا از طریق آن آب شور را جهت ایجاد جریان اجباری به پمپ هدایت شود و همچنین روزانه برای تمیز کردن حوضچه و زدودن نمک و رسوبات ته نشین شده از آن استفاده گردد. همچنین به منظور بالا تر قرار گرفتن حوضچه از سطح زمین، سهولت در نصب شیلنگ و لوله های مورد نیاز در کف آن و همچنین در صورت لزوم جایجا کردن دستگاه و قرار دادن آن در معرض تالیش نور خورشید بک چهارپایه متحرک برای زیر حوضچه در نظر گرفته شده است که حوضچه را پس از قرار گرفتن در باکس ام دی اف و انجام عایق کاری روی آن قرار گرفته است(شکل ۳).



شکل ۳: حفره مرکزی حوضچه و باکس ام دی اف و چهارپایه متحرک

آب شور از طریق شیر ورودی که در دیواره ظرف تعییه شده وارد حوضچه میشود. سپس به منظور ایجاد جریان اجباری توسط یک خروجی که در مرکز کف حوضچه تعییه شده است به پمپ آب هدایت میشود و پمپ مجدد آن را از طریق دو ورودی دیگر که به صورت قطری روپوشی هم هستند و در پایین ترین قسمت دیواره ها قرار دارند، به حوضچه وارد میکند. رو به روی هم بودن ورودی های آب شور که از پمپ آب به حوضچه وارد میشوند موجب میشود جریانی که بوجود می آید آید حالت گردابی داشته باشد و مولکول های لایه سطحی آب را شکسته و از هم جدا کند که خود عاملی برای تسريع تبخیر آب به شمار می رود. (شکل ۴) سه دماسنجه ای در سه ارتفاع مختلف برای اندازه گیری دمای آب شور درون حوضچه قرار داده شده است تا دمای آن در زمان های مختلف و تحت شرایط مختلف قابل اندازه گیری باشد. هر سه دماسنجه امکان وارد شدن و خارج شدن به سیستم را دارند (شکل ۵).

شور است بنابراین میبایست تا حد امکان کمترین تبادل حرارتی را با محیط بیرون داشته باشد تا گرمای جذب شده از تابش خورشیدی تماماً صرف گرم شدن و تبخیر آب شور شود. از این رو برای جلوگیری از اتلاف انرژی، حوضچه با فوم پلاستیکی به ضخامت  $1/6$  میلی متر عایق شده و در یک باکس مربعی از جنس چوب ام دی اف به ابعاد  $107 \times 107 \times 107$  میلی متر ضخامت  $1/6$  میلی متر قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱: حوضچه آب شور پس از رنگ آمیزی، عایق کاری و قرار گرفتن در باکس ام دی اف

به منظور قرار گرفتن هرم شیشه ای روی حوضچه و همچنین سهولت در باز و بسته کردن آن از بالا یک قاب متحرک و جدا شونده از جنس حوضچه روی آن متصل شده است(شکل ۲).



شکل ۲: قاب متحرک نصب شده روی حوضچه جهت قرار گیری پوشش شیشه ای



شکل ۶: قرار دادن پوشش شیشه‌ای روی حوضچه



شکل ۴: سوراخ‌های ورودی و خروجی آب و پمپ آب



شکل ۷: مخزن جمع آوری آب شیرین و اتصالات لازم

### ۳- مدل سازی حرارتی و ثبت داده ها

این پژوهش در شهر اهواز با موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی، در بخش جلگه‌ای خوزستان و با ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا و در فصل پاییز با میانگین دمای هوای --- درجه انجم گرفته است. اطلاعات جوی از وب سایت اینترنتی آب هوایی [www.accuweather.com](http://www.accuweather.com) [۱۲]

در روزهای آزمایش از ساعت ۹ صبح تا ۱۸ بعد از ظهر به صورت ساعت به ساعت داده های مورد نظر که عبارتند از:

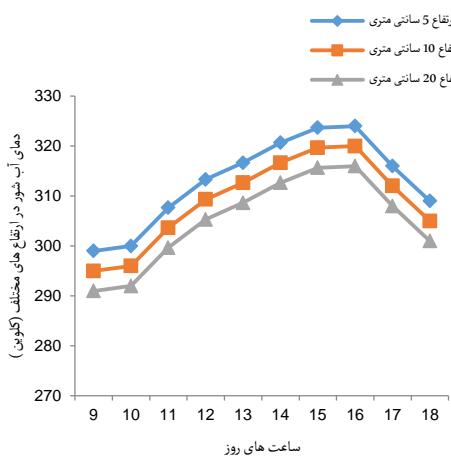
- دمای هوای
- شدت تابش خورشید
- دمای شیشه
- دمای آب شور درون مخزن
- میزان آب تولید شده در هر ساعت بر حسب لیتر بر متر مربع در ساعت
- اندازه گیری شده اند.

شکل ۸ نمای شماتیک دستگاه آب شیرین کن خورشیدی ساخته شده مخزن آب شور، پوشش شیشه‌ای و مجرای جمع آوری آب شیرین را نشان می‌دهد. سیستم کاملاً عایق و آب بندی شده و تا حد امکان از ورود و خروج هوا جلوگیری شده است. کانال‌هایی جهت جمع آوری و

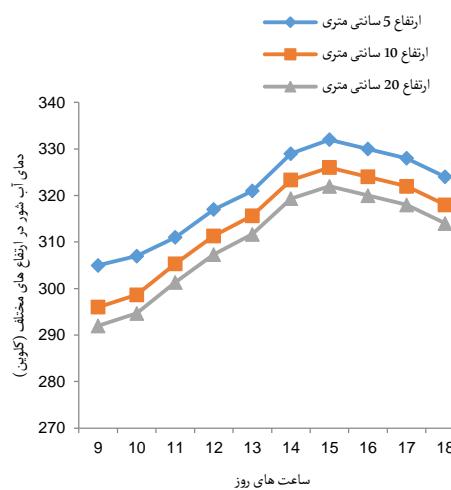


شکل ۵: دماستج‌های میله‌ای جهت اندازه‌گیری دمای آب شور در ارتفاعات مختلف

پوشش بالایی حوضچه مت Shank از چهار قطعه شیشه معمولی مثلث شکل به ضخامت ۶ میلی متر است که به شکل هرم در بالای حوضچه نصب شده اند می‌باشد. اندازه قاعده و ارتفاع هر کدام از مثلث‌های شیشه‌ای به ترتیب ۱۰۰ و ۵۱ سانتی متر است و فاصله رأس هرم تا قاعده آن ۱۰ سانتی متر می‌باشد. زاویه شیشه‌ها با افق ۱۲ درجه می‌باشد. دلیل انتخاب این زاویه توجه به نکته برقرار بودن نسبت ۱ به ۱۰ میان ارتفاع رأس هرم به قاعده آن می‌باشد [۶]. به منظور قرار دادن هرم شیشه‌ای ابتدا شیشه‌های برش داده شده به صورتی که کاملاً ثابت باشند کنار هم قرار گرفته و با چسب یک به یک به هم متصل شده اند و ۴۸ ساعت بدون حرکت و در هوای آزاد قرار گرفته تا چسب کاملاً خشک و محکم شود (شکل ۶). برای جلوگیری از اتلاف گرمایی و همچنین نشت نکردن بخار آب به بیرون، دور تا دور هرم شیشه‌ای با چسب آکواریوم پوشانده و پر شده است. همچنین به منظور محاسبه بهره وری و راندمان دستگاه می‌باشد آب شیرین تولید شده در یک مخزن مدرج جمع آوری شود. به همین منظور یک مخزن پلاستیکی که دارای درب محکمی باشد انتخاب شده است (شکل ۷).



شکل ۹: نمودار مقایسه تغییرات دمای آب شور در سه ارتفاع ۵، ۱۰ و ۲۰ سانتی متری در ساعت های مختلف روز بدون جریان اجباری



شکل ۱۰: نمودار مقایسه تغییرات دمای آب شور در سه ارتفاع ۵، ۱۰ و ۲۰ سانتی متری در ساعت های مختلف روز با جریان اجباری

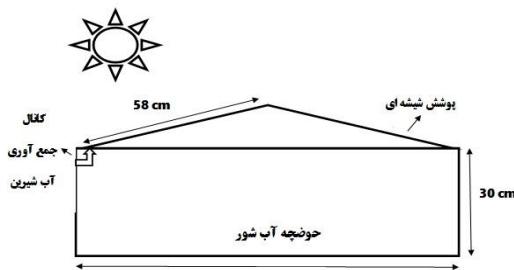
بررسی دو نمودار شکل ۹ و ۱۰ نشان میدهد که دمای آب شور درون مخزن در ارتفاعات کمتر مقدار بیشتری دارد به گونه ای که دمای آب در ارتفاع ۵ سانتی متری بیشتر از ارتفاع ۱۰ سانتی متری و در آن بیشتر از ارتفاع ۱۵ سانتی متری می باشد. این نتایج بیان گر نکته رابطه معکوس دمای آب شور با حجم آن می باشد.

جدول ۱: میانگین دمای آب شور در حالات و ارتفاعات مختلف

ارتفاع آب شور درون مخزن	میانگین دمای آب شور بدون جریان اجباری	میانگین دمای آب شور با جریان اجباری
۵ سانتی متر	۳۱۳	۳۲۰
۱۰ سانتی متر	۳۰۹	۳۱۴
۲۰ سانتی متر	۳۰۵	۳۱۰

پارامتر مهم دیگری که در تحلیل عملکرد دستگاه آب شیرین کن خورشیدی حائز اهمیت است راندمان گرمایی می باشد که با استفاده از رابطه (۱) بیان شده در بخش ۳-۱ محاسبه شده است و مقایسه نتایج به صورت نموداری در شکل ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.

ارسال آب شیرین تعییه شده است. دور تا دور مخزن از عایق های حرارتی جهت ناچیز نمودن افت حرارت استفاده شده است.



شکل ۸: نمای شماتیک دستگاه آب شیرین کن خورشیدی

### ۱-۳-۳- مدل سازی حرارتی

در این مدلسازی فرضهای زیر درنظر گرفته شده است:

۱. دمای شیشه در قسمت داخلی و بیرونی با هم برابر است و یک عدد مشخص می باشد. به این معنی که برای شیشه گرادیان دمایی در نظر گرفته نشده است.
۲. دمای آب شور به صورت تک دما در نظر گرفته میشود.
۳. خواص ثابت فرض میشوند. بعلت اینکه تغییرات دما در این سیستم بسیار ناچیز است و کلیه خواص تابع دما می باشند در نتیجه فرض ثابت بودن خواص فرض معقولی است. به منظور محاسبه راندمان گرمایی دستگاه آب شیرین کن خورشیدی ساخته شده، از رابطه (۱) استفاده شده است.

$$\eta_{th1} = \frac{\sum m_{ew} h_{fg1}}{\sum (IAs \times 3600)} \quad (1)$$

### ۲- اندازه گیری و تجزیه و تحلیل

به منظور مقایسه بهره وری دستگاه در حالت های وجود جریان اجباری و عدم وجود آن و همچنین تأثیر ارتفاع آب شور درون مخزن بر عملکرد دستگاه، دمای آب شور درون مخزن برای سه ارتفاع ۵، ۱۰ و ۲۰ سانتی متری اندازه گیری شده و در ادامه بصورت نموداری نشان داده شده است.(شکل ۹ و ۱۰)

جدول ۲: میانگین راندمان گرمایی دستگاه، در حالات و ارتفاعات مختلف

میانگین راندمان گرمایی با جریان اجباری	میانگین راندمان گرمایی بدون جریان اجباری	ارتفاع آب شور درون مخزن
%۲۰	%۱۶	۵ سانتی متر
%۱۷	%۱۴	۱۰ سانتی متر
%۱۴	%۱۱	۲۰ سانتی متر

#### ۴- نتایج

با توجه به داده های ثبت شده و محاسبه راندمان گرمایی دستگاه آب شیرین کن خورشیدی نتایج زیر حاصل گردید:

- دمای آب شور در حالت وجود جریان اجباری بیشتر از حالتی است که جریان اجباری وجود ندارد. این موضوع سبب میشود که در حالت وجود جریان اجباری، نرخ تبخیر آب شور بالا رفته و در نتیجه میزان تولید آب شیرین افزایش یابد.
  - دمای آب شور در ارتفاع های آب شور در عمق ۵ سانتی متری گونه ای که میانگین دمای آب شور در عمق ۱۰ سانتی متری بیشتر از عمق ۱۰ سانتی متری، و در عمق ۱۰ سانتی متری بیشتر از ۲۰ سانتی متری است.
- جدول ۱ میانگین دمای آب شور را در حالات و ارتفاعات مشخص نشان میدهد.

- راندمان گرمایی دستگاه در حالت وجود جریان اجباری آب شور به علت بالا رفتن دمای آب بیشتر از حالتی است که جریان اجباری وجود ندارد. همچنین رابطه معکوس میان دمای آب شور و راندمان گرمایی وجود دارد. به نحوی که هرچه ارتفاع(حجم) آب درون مخزن کمتر باشد، راندمان گرمایی بیشتر خواهد بود.
- جدول ۲ میانگین راندمان گرمایی را در حالات و ارتفاعات مشخص نشان میدهد.

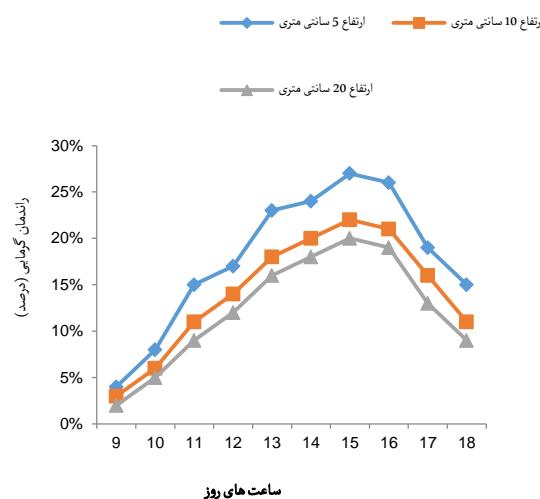
#### علام اختصاری و نماد ها

راندمان گرمایی	$\eta_{th}$
میزان تولید	$m_{ew}$
آنالپی تبخیر	$h_{fg}$

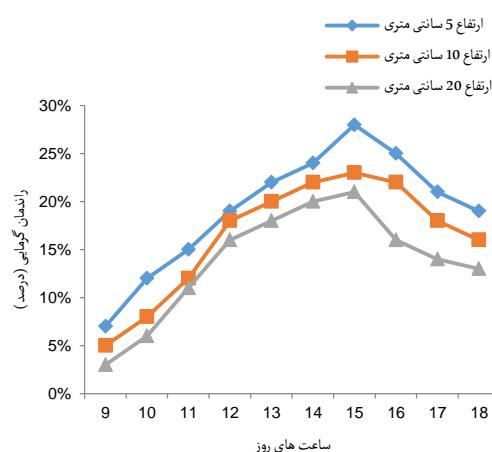
شدت تابش در مساحت سطح  $IA_s$

#### مراجع

- [۱] سایت تحلیلی خبری عصر ایران (۱۳۹۳). "نگاهی به احتمال جنگ های آینده بر سر کمبود منابع آب". بازیابی شده از آدرس: [www.asriran.com](http://www.asriran.com) در ۲۰ دی ماه ۱۳۹۶ ساعت ۱۰.



شکل ۱۱: نمودار مقایسه تغییرات راندمان گرمایی در سه ارتفاع ۵، ۱۰ و ۲۰ سانتی متری در ساعت های مختلف روز بدون جریان اجباری



شکل ۱۲: نمودار مقایسه تغییرات راندمان گرمایی در سه ارتفاع ۵، ۱۰ و ۲۰ سانتی متری در ساعت های مختلف روز با جریان اجباری

بررسی نمودار های شکل ۱۱ و ۱۲ نشان میدهد که راندمان گرمایی دستگاه در حالت وجود جریان اجباری آب شور بیشتر از حالت عدم وجود آن است و همچنین همانطور که قبل اشاره شد ارتفاع آب شور درون مخزن ارتباط معکوسی با دمای آب شور و به تبع آن تبخیر آب شور و در نهایت راندمان گرمایی دستگاه دارد. به گونه ای که در نمودار های شکل ۱۱ و ۱۲ مشاهده می کنیم میانگین راندمان گرمایی دستگاه در حالتی که ارتفاع آب شور کمتر است دارای درصد بالاتری است.

Solar Water Heater System” , Annual Mechanical Engineering Conference 25 (2017)

[9] Sha'bani A, Kalantar V, Dehghan AK, “Investigating the Effect of Installing the Condenser on the Production Rate and Efficiency of Solar Water Sweeteners”, Annual Mechanical Engineering Conference 25 (2017)

[10] Shadram Z, Ghoreishi M, Rahimzade H, Naderan TH “Investigation of Parameters of Solar Water Input into a Solar Distillery Water with a Inclined Bed in Experimental and Theoretical View”, Annual Mechanical Engineering Conference 25 (2017)

[11] Banakar A, Saghar S, Najafi GH, “Solar Sweetener System with Linear Fresnel Lens Collector”, Scientific Conference on Renewable Energy, Clean and Efficient 10 (2016)

[12] Alipanah F, Rahbar N, “Solar Numerical Investigation of the Effect of Stairs Dimensions on the Performance of a Stair Solar Water Sweetener”, Quarterly Journal of Mechanical Engineering and Vibration, Volume 6, Number 1 (2015)

[13] accuweather (2018). “Iran, Ahwaz” , Accsees link : [www.accuweather.com](http://www.accuweather.com) At 1/25/2018, 17:20 .

[14] Mohamed S. Yousef, Hamdy Hassan, Mahmoud Ahmed and S. Ookawara , Energy and exergy analysis of single slope passive solar still under Egyptian climate conditions, Energy Procedia 141 (2017) 18–23.

[۲] مجله آموزه های شهروندی مشکات (۱۳۹۶) . ”محیط زیست ” بازیابی شده از آدرس : <http://meshkat.mytehran.ir> در ۲۰ دی ماه ۱۳۹۶ ساعت .۱۰

[3] Altarawneh, I., Rawadieh, S., Batihab, M., Mkhadmeh, L., Alrowwadd, S., & Tarawneh , M. (2017). Experimental and numerical performance analysis and optimization of single slope, double slope and pyramidal shaped solar stills. Desalination, 423, 124–134.

[4] Kabeel, A.E., & Abdelgaiad, M. (2018). Experimental evaluation of a two-stage indirect solar dryer with reheating coupled with HDH desalination system for remote areas. Desalination, 425, 22–29.

[5] Azooz, A.A., & Younis, G.G. (2016). Effect of glass inclination angle on solar still performance. J. Renewable Sustainable Energy, 8.

[6] M.B. Shafii, S. Jahangiri Mamouri, M.M. Lotfi, H. Jafari Mosleh, “ A modified solar desalination system using evacuated tube collector”, Desalination 396 (2016) 30–38.

[7] Pooria Behnama, Mohammad Behshad Shafii, “ Examination of a solar desalination system equipped with an air bubble column humidifier, evacuated tube collectors and thermosiphon heat pipes”, Desalination 397 (2016) 30–37.

[8] Makki abadi M, saffaraval M, Adnani N, “Numerical and Experimental Study of the Effect of Solar Water Height on Freshwater Production of a