



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

سال چهل و پنجم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۲، صفحه ۷۵ تا ۸۲  
Vol. 45, No.1, Summer 2013, pp. 75-82



نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر (مهندسی مکانیک)  
Amirkabir Journal of Science & Research (Mechanical Engineering)  
(AJSR - ME)

## بررسی عملکرد تجربی آبگرمکن خورشیدی جمع کننده - منبع ذخیره یکپارچه با استفاده از منعکس کننده های مختلف

محمد رهنما<sup>۱\*</sup>، مهراں عامری<sup>۲</sup>، رشید پناهی<sup>۳</sup>، محمدحسین خزاعی<sup>۴</sup>، محمدحسین صفاری پور<sup>۵</sup>

۱ استاد بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲ دانشیار بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳ دانشجوی کارشناسی ارشد بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴ دانشجوی کارشناسی بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شهید باهنر کرمان

۵ استادیار بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شهید باهنر کرمان

(دریافت ۱۳۹۱/۳/۸، پذیرش ۹۲/۲/۹)

### چکیده

آبگرمکن جمع کننده-منبع ذخیره یکپارچه، یک نوع آبگرمکن خورشیدی است که دارای ساختمان بسیار ساده ای است. در این سامانه مخزن ذخیره و جمع کننده دو قسمت جدا از هم نیستند و بصورت یک مجموعه هستند. آب سرد به طور مستقیم به جمع کننده متصل است و توسط خورشید گرم می شود. برخلاف سامانه های دیگر، تا زمانی که مصرفی وجود نداشته باشد آب گرم داخل جمع کننده باقی می ماند سپس به طور مستقیم از جمع کننده مورد مصرف قرار می گیرد. این سامانه به منبع ذخیره بزرگ تری (برای بالا بردن قابلیت جذب) نسبت به سامانه های معمولی نیاز دارد، همین امر از یخ زدگی سامانه نیز محافظت می نماید. در این پژوهش یک دستگاه آبگرمکن خورشیدی طراحی و ساخته شد و با نصب وسائل اندازه گیری عملکرد آن در کرمان بررسی شد. هدف اصلی، بررسی اثر منعکس کننده های مختلف شامل ورق استیل، ورق آلومینیوم و آینه در میزان انرژی جذب شده توسط آبگرمکن بود. آزمایش ها نشان داد که ورق آلومینیوم کمترین بازده حرارتی در طی روز را دارد و نیز کمترین اتلاف حرارتی را در شب دارد در حالی که با استفاده از منعکس کننده آینه می توان بازده حرارتی سامانه را به طور چشمگیری افزایش داد، اما از طرفی نسبت به سایر منعکس کننده ها اتلاف حرارتی بیش تری دارد. هم چنین در قسمتی دیگر از پژوهش، عملکرد حرارتی آبگرمکن خورشیدی ساخته شده، در ماه های مختلف ارزیابی شد و راندمان و اتلاف حرارتی آن در ماه های مختلف مقایسه شد. نتایج بدست آمده نشان گر آن هستند که با افزایش شدت تشعشع ورودی به آبگرمکن، بازده آن کاهش می یابد به طوری که برای شهر کرمان کمترین بازده در ماه تیر است.

### کلمات کلیدی

آبگرمکن خورشیدی، آبگرمکن جمع کننده - منبع ذخیره یکپارچه، متمرکز کننده سهموی، بازده حرارتی

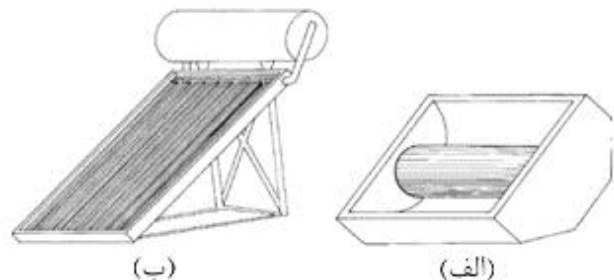
\* نویسنده مسئول وعهده دار مکاتبات Email: rahnama@uk.ac.ir

## ۱- مقدمه

محققان زیادی سامانه‌های آبگرمکن خورشیدی از نوع جمع‌کننده-منبع یکپارچه را مورد بررسی قرار داده‌اند. در یکی از اولین تحقیقات انجام شده در این زمینه، تیلرو و چاتر [۱] اثر نسبت حجم مخزن به سطح ورودی تشعشع، در مناطق با آب و هوای گرم را مورد بررسی قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که آبگرمکن‌های جمع‌کننده-منبع یکپارچه، در مناطق با آب و هوای گرم، با نسبت حجم مخزن به سطح ورودی تشعشع  $1.02 \text{ L/m}^2$ ، نسبت به سایر سامانه‌ها عملکرد بهتری دارند. اثر عواملی هم‌چون جنس منبع، نوع عایق و شیشه شفاف، هندسه منبع و شرایط آب و هوایی سرد نیز توسط تعدادی از محققین بررسی شده است [۲ - ۸].

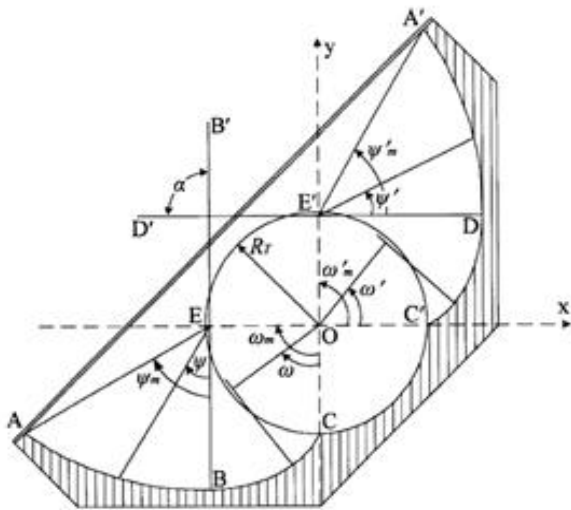
در سال ۲۰۰۴ تریپانانگستپولوس و سالتوس چهار مدل مختلف با هندسه‌های نامتقارن، طراحی و اتلاف حرارتی در طی شب و عملکرد حرارتی آنها را بررسی نمودند. در این پژوهش نتایج نمونه‌های ساخته‌شده با منعکس‌کننده‌های پارابولیک ترکیبی مقایسه شد. نتایج بدست آمده نشان داد که در شب، آبگرمکن خورشیدی با هندسه نامتقارن اتلاف حرارتی کمتری نسبت به هندسه متقارن دارد و سامانه با هندسه متقارن راندمان بالاتری نسبت به هندسه نامتقارن دارد [۹]. در سال ۲۰۰۶ مدهلوپا و همکارانش مطالعه آزمایشگاهی بر روی طبقه‌بندی دمایی آبگرمکن‌های جمع‌کننده-منبع یکپارچه با دو مخزن ذخیره افقی انجام دادند. در این آزمایش، مخزن پایین‌تر به‌صورت مستقیم زیر یک پوشش شیشه‌ای قرار گرفت در حالی که نیمی از مخزن بالاتر عایق بود. هم‌چنین یک جذب‌کننده سهموی شکل در زیر مخزن‌ها قرار گرفت. این آزمایش با سه نوع چیدمان مخازن انجام شد. در طی فرایند گرم‌شدن، فقط مخزن پایین‌تر در دو نوع اول و دوم، توزیع دمایی لایه‌ای داشت در حالی که در نوع سوم هر دو مخزن توزیع دمایی لایه‌ای داشتند. در طی فرایند مصرف آب گرم، هر دو مخزن در نوع اول نمونه‌هایی از توزیع دمایی لایه‌ای از خود نشان دادند، این درحالیست که در مخزن پایین‌تر نوع دوم، توزیع لایه‌ای دما، کم‌تر دیده شد. هم‌چنین در این حالت نیز هر دو مخزن نوع سوم توزیع دمایی لایه‌ای داشتند. آنها نتیجه گرفتند که آب منبعی که سطح بیشتری از آن در مقابل منعکس‌کننده‌ها قرار دارد، افزایش دمایی بیشتری دارد [۱۰]. در سال ۲۰۱۰ مجدی هازمی و همکارانش یک آبگرمکن خورشیدی جمع‌کننده-منبع یکپارچه را ارزیابی اگزرتیک و اقتصادی نمودند. مشخصه اصلی این آبگرمکن، یک جذب‌کننده سیمانی بود که در داخل آن شبکه‌ای از لوله‌های مسی جاسازی شده بود. آزمایش آنها که شامل اندازه‌گیری متغیرهای آب و

سامانه‌های آبگرمکن خورشیدی خانگی که به‌طور معمول نیاز روزانه ۱۵۰ تا ۳۰۰ لیتر را در محدوده دمایی ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد تامین می‌نمایند به‌طور معمول از نوع سامانه ترموسیفون با جمع‌کننده‌های تخت هستند. سامانه‌های جمع‌کننده-منبع یکپارچه نیز نوع دیگری از آبگرمکن‌های خانگی هستند که در آنها منبع ذخیره به‌طور مستقیم داخل محفظه‌ای با درپوش شیشه‌ای قرار دارد. سطح این نوع جمع‌کننده، جاذب تشعشع خورشیدی بوده و دیواره‌های محفظه دارای منحنی خاصی است که نور خورشید را روی منبع ذخیره، منعکس می‌نماید (شکل ۱). مخزن ذخیره سامانه‌های جمع‌کننده-منبع یکپارچه در طول شب یا زمان‌هایی که بار حرارتی خورشید کافی نیست، حرارت زیادی را از دست می‌دهد. پس اگرچه سامانه‌های جمع‌کننده-منبع یکپارچه نسبت به سامانه ترموسیفون دارای ساختمان، نحوه نصب و روش استفاده ساده‌تری هستند اما از آنها کم‌تر استفاده می‌شود. از آنجا که بخش وسیعی از منبع ذخیره این نوع سامانه‌ها برای جذب انرژی خورشید بکار رفته است، اتلاف حرارتی زیادی دارند درحالی‌که سامانه‌های ترموسیفون دارای مخازنی به‌طور کامل عایق هستند. برای کاهش این اتلاف انرژی، از جذب‌کننده‌های یک یا دو لایه خلا و عایق‌های حرارتی شفاف برای حفاظت حرارتی سطوح باز و بی‌پناه این نوع سامانه‌ها استفاده می‌شود. هم‌چنین روش‌های دیگری مانند استفاده از جاذب‌های لوله‌ای شکل برای افزایش راندمان سامانه‌های جمع‌کننده-منبع یکپارچه بکار می‌رود. از نگاهی دیگر، در مقایسه با سامانه‌های ترموسیفون، سامانه‌های جمع‌کننده-منبع یکپارچه به دلیل داشتن ارتفاع کم و هماهنگی بین اجزای سازنده ساختار ساده‌تر و شکل ظاهری زیباتری دارند. هم‌چنین حمل و نقل و نصب این نوع جمع‌کننده‌ها به دلیل داشتن اجزا و قطعه‌های کمتر نسبت به انواع ترموسیفونی بسیار آسان‌تر است.



شکل (۱): نمای روبرو از سامانه‌های الف. جمع‌کننده-منبع یکپارچه و ب. ترموسیفون

هم‌چنین با توجه به مطالعه‌های انجام‌شده، منحنی سهموی پارابولیک ترکیبی<sup>۱</sup> برای منعکس‌کننده‌ها انتخاب شد تا بیش‌ترین بیش‌ترین راندمان حاصل شود. شکل (۲) مقطع آبگرمکن جمع‌کننده - منبع یکپارچه موردنظر که نمونه ساخته شده براساس آن طراحی شده را نشان می‌دهد. معادلات این منحنی عبارتند از:



شکل (۲): مقطع آبگرمکن جمع‌کننده-منبع یکپارچه

قسمت سهموی (AB):

$$X = -R_T [1 + \pi \sin \psi / (1 + \cos \psi)] \quad (۱)$$

$$Y = -R_T \pi \cos \psi / (1 + \cos \psi) \quad (۲)$$

قسمت پیچدار (BC):

$$X = -R_T (\sin \omega - \omega \cos \omega) \quad (۳)$$

$$Y = -R_T (\cos \omega + \omega \sin \omega) \quad (۴)$$

قسمت پیچدار (C'D):

$$X = R_T (\cos \omega' + \omega' \sin \omega') \quad (۵)$$

$$Y = R_T (\sin \omega' - \omega' \cos \omega') \quad (۶)$$

قسمت سهموی (DA'):

$$X = R_T \pi \cos \psi' / (1 + \cos \psi') \quad (۷)$$

$$Y = R_T [1 + \pi \sin \psi' / (1 + \cos \psi')] \quad (۸)$$

که در آن  $\omega' = \omega = 90^\circ$  و  $\psi' = \psi = 58^\circ$  است.

منعکس‌کننده متشابه از دو منحنی  $(DC')$  و  $(BC)$  و دو قسمت به‌طور تقریب تخت  $(DA')$  و  $(AB)$  تشکیل شده است. عرض منعکس‌کننده،  $W_\alpha$  برابر با  $AA' = 2\pi R_T$  است. از آنجا که شعاع مخزن ۱۵ سانتی‌متر است بنابراین عرض

هوایی، توزیع دمای مخزن و دبی آب خروجی بود، در طی سه ماه متوالی انجام شد. نتایج نشان دادند که این آبگرمکن به‌ترتیب بازده حرارتی و قانون دومی ۳۲٪ و ۲۳/۵٪ داشت و می‌تواند ۸۰٪ آب گرم مورد نیاز یک خانواده ۶ نفری را در طول شبانه‌روز تامین نماید. آنها نشان دادند که چنین آبگرمکنی برای کاربردهایی که به آب گرم مصرفی در طول شب نیاز دارند، مناسب است [۱۱]. در سال ۲۰۰۸ سالیوتیس و همکارش بر روی توزیع تشعشع در دیواره مخزن ذخیره آبگرمکن پژوهش‌هایی انجام دادند. تحقیق‌های آنها نشان داد که قسمت بالایی منبع ذخیره، بخش بیش‌تری از پرتوهای با زاویه تابشی مختلف را جذب می‌نماید که این مشخصه نقش مهمی در طراحی این نوع آبگرمکن‌ها دارد [۱۲]. در سال ۲۰۰۹ سالیوتیس و تریپانانگستپولوس یک آبگرمکن با استفاده از شبکه‌های عصبی شبیه‌سازی نمودند. آنها با استفاده از این روش عملکرد آبگرمکن را پیش‌بینی کردند [۱۳]. در سال ۲۰۱۰ راکش کومار و مارک روزنیک نوع آبگرمکن خورشیدی جمع‌کننده-منبع یکپارچه که سطح جذب‌کننده آن موج‌دار بود را بررسی کردند. از آنجا که راندمان حرارتی این نوع سامانه‌ها به‌طور قابل‌توجهی به نرخ انتقال حرارت بین جذب‌کننده و آب، هم‌چنین به مقدار پرتوهای انرژی واردشده به سامانه بستگی دارد، آنها سطح جذب‌کننده را بصورت موج‌دار در نظر گرفتند و طول مشخصه آن را، که نقش به‌سزایی در نرخ انتقال حرارت جابجایی دارد افزایش دادند. آنها با این روش سطح جذب آبگرمکن را افزایش دادند و به دمای آب بالاتری نسبت به نمونه‌های قبلی رسیدند [۱۴].

در این پژوهش، یک نمونه آبگرمکن جمع‌کننده-مخزن یکپارچه، طراحی، ساخته و آزمایش شد. آزمایش‌ها بر روی این دستگاه، برای بررسی اثر منعکس‌کننده‌های مختلف بر عملکرد این دستگاه و هم‌چنین عملکرد آن در فصل‌های مختلف انجام شد.

## ۲- طراحی و ساخت

مصرف آب گرم یک خانواده ۴-۵ نفره در حدود ۱۴۰-۲۰۰ لیتر در روز برآورد می‌شود. طبق مطالعه‌های انجام شده و با توجه به کارهای انجام شده قبلی، در بررسی حاضر قطر مخزن ۳۰ سانتی‌متر انتخاب شد و برای اینکه مصرف روزانه آب گرم یک خانوار تامین شود طول مخزن ۲ متر انتخاب شد که منجر به مخزن با حجم ۱۴۰ لیتر شد [۱۵].

برسد.

## ۲-۱- منعکس کننده‌ها

یکی از اجزای اصلی آبگرمکن‌های جمع‌کننده-مبند یکپارچه، سطح منعکس کننده است و نوع این سطح اثر مهمی در عملکرد حرارتی آن دارد. از مشخصه‌های مهم یک منعکس کننده، خاصیت انعکاسی آن است. با توجه به منعکس کننده‌های موجود در بازار، آینه، ورق استیل و ورق آلومینیومی به‌عنوان سه منعکس کننده مختلف انتخاب شدند. با توجه به اینکه شکل دادن ورق استیل و ورق آلومینیوم به راحتی امکان پذیر است، بنابراین با قراردادن این منعکس کننده‌ها روی منحنی‌های ساخته شده از چوب، منعکس کننده، ساخته شده و آزمایش‌ها انجام شد. با توجه به اینکه امکان ساخت آینه منحنی وجود نداشت برای اینکه منعکس کننده آینه به‌طور دقیق بر روی هندسه سامانه منطبق شود نوارهایی از آینه به عرض ۲ سانتی‌متر برش داده و با استفاده از چسب مخصوص روی ورق‌های چوبی قرار داده شد.

## ۳- معادلات حاکم

هدف اصلی در آبگرمکن‌های خورشیدی، جذب هر چه بیشتر تشعشع خورشید و تبدیل آن به حرارت و افزایش دمای آب است. اگر مقدار حرارت جذب شده توسط آب در یک بازه زمانی معین با  $Q_w$  و میزان تشعشع خورشیدی را در همین مدت با  $Q_s$  نشان دهیم، بازده آبگرمکن،  $\eta_d$  را می‌توان از نسبت این دو بدست آورد:

$$\eta_d = \frac{Q_w}{Q_R} \quad (9)$$

برای محاسبه  $Q_w$  می‌توان از رابطه (۱۰) استفاده نمود:

$$Q_w = M_w C_{p,w} (T_{f,m} - T_{i,m}) \quad (10)$$

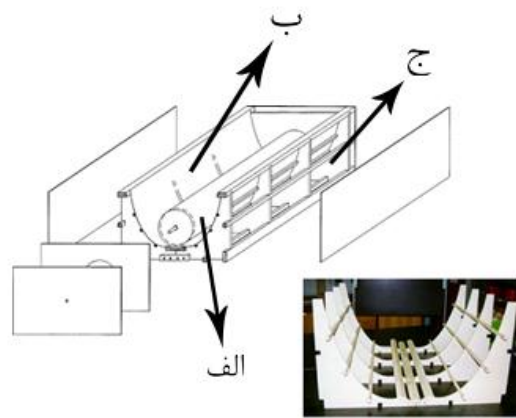
در این رابطه  $M_w$  (kg)، جرم آب و  $C_{p,w}$  (kJ/kg.K)، گرمای حرارتی ویژه آب و  $T_{i,m}$  (°C)، دمای اولیه و  $T_{f,m}$  (°C)، دمای ثانویه هستند. از آنجا که آب مخزن استفاده نشد، جرم آب مقدار ثابتی است.

مجموع تشعشع خورشیدی وارد به دریچه،  $A_\alpha$  (m<sup>2</sup>) مربوط به سامانه، در طی بازه زمانی  $\Delta t$  (s)، از لحظه شروع  $t_i$  تا  $t_f$  (۱۹:۰۰) تا لحظه پایان آزمایش  $t_f$  (۱۹:۰۰) است و با حرف  $Q_R$ ، نشان داده می‌شود که با انتگرال‌گیری از میدان شدت، تشعشع  $G(t)$  بدست می‌آید:

$$Q_R = A_\alpha \int_{t_i}^{t_f} G(t) dt \quad (11)$$

بازده میانگین روزانه،  $\eta_d$  به  $G_m$  (kW<sup>-1</sup>m<sup>2</sup>)  $\Delta t_{m,D}$  وابسته

منعکس کننده برابر ۰/۸۲ متر است و طول دریچه آبگرمکن، ۲ متر است که برابر با طول مخزن است. بنابراین مساحت دریچه آبگرمکن،  $A_\alpha$  برابر ۱/۶۵ مترمربع است. مساحت سطح مخزن (بدون در نظر گرفتن قاعده) ۱/۸۸۴ مترمربع است. چون طبق شکل، یک‌چهارم از سطح مخزن عایق‌بندی می‌شود و سه‌چهارم از سطح مخزن در مقابل دید منعکس کننده‌ها قرار می‌گیرد، بنابراین مساحت سطح جاذب،  $A_p$  (۱/۴۱۳ مترمربع است). بنابراین ضریب تمرکز سیستم، (CR) برابر ۱/۱۷ است و به‌طور کلی نسبت حجم مخزن به سطح جاذب،  $V_T/A_\alpha$  برابر با ۸۴/۶۴ لیتر بر مترمربع است. شکل (۳) قسمت‌های مختلف یک نمونه و شکل (۴) نمونه ساخته شده را نشان می‌دهد:



شکل (۳): قسمت‌های مختلف یک نمونه الف. مخزن ب. منعکس کننده‌ها ج. ساختمان و بدنه آبگرمکن



شکل (۴): آبگرمکن ساخته شده

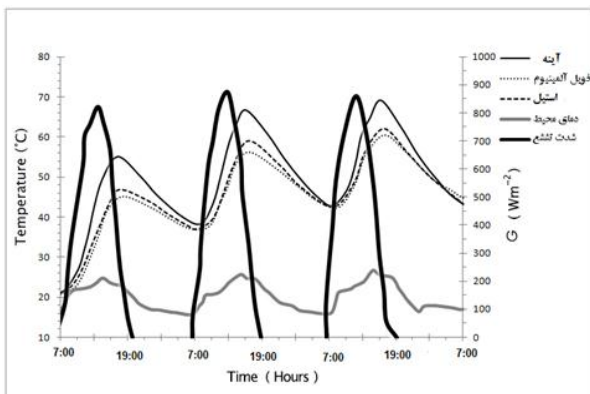
برای آنکه همواره صفحه آبگرمکن بر اشعه نور خورشید ورودی عمود باشد در قسمت پشت آبگرمکن سامانه‌ای طراحی و نصب شد که بتواند آبگرمکن را در زوایای مختلف نسبت به افق قرار دهد. با توجه به تغییر زاویه ارتفاع خورشید در روزهای مختلف سال می‌توان زاویه آبگرمکن را بطور روزانه، ماهیانه و یا فصلی تغییر داد و با این عمل سطح آبگرمکن را همواره بر اشعه خورشید عمود نگه داشت تا حداکثر تشعشع خورشیدی به سطح

پر و پس از آب‌گیری کامل مخزن، شیر ورودی به مخزن بسته شد تا در طی آزمایش‌ها هیچ‌گونه عمل آب‌گیری وجود نداشته باشد. از طرفی شیر خروجی مخزن تا پایان آزمایش بسته است، بدین ترتیب در طول مدت آزمایش‌ها، هیچ‌گونه تخلیه آب وجود ندارد.

در هر آزمایش، تغییرات دمای آب و محیط برای سه روز متوالی، با استفاده از دیتالاگرا<sup>۲</sup> ثبت شده و تغییرات تشعشع خورشید با استفاده از پیرانومتر<sup>۳</sup>، از ساعت ۷ صبح تا ۱۹ به مدت ۱۲ ساعت ثبت شده است. از آنجا که آب مخزن مصرف نمی‌شود، بصورت یکنواخت و هم‌دما فرض شده و دمای آن با نصب یک حس‌گر اندازه‌گیری شده است. این حس‌گر روی محور وسط استوانه (مخزن) و در فاصله‌ی ۳۰ سانتی‌متری از انتهای آن قرار دارد. نمودار تغییرات دمایی برای سه روز متوالی برای هر یک از آزمایش‌ها رسم شده و با توجه به رابطه‌های گفته شده، بازده میانگین آبگرمکن و ضریب اتلاف حرارتی بدست می‌آید و نمودار آن رسم می‌شود و همچنین از نقاط بدست‌آمده خط برازش منحنی عبور داده شده و معادله آن یافت شد.

اولین آزمایش با نصب ورق آلومینیومی بر روی سامانه انجام شد. همان‌طور که در شکل (۵) دیده می‌شود در روز اول آزمایش، دمای آب درون مخزن به ۴۳ درجه سانتی‌گراد، در روز دوم به ۵۳ درجه سانتی‌گراد و در روز سوم به ۶۱ درجه سانتی‌گراد رسیده است در حالی که دمای آب در شروع آزمایش ۲۱ درجه سانتی‌گراد بوده است.

با تعویض منعکس‌کننده و نصب ورق استیل و آینه، دمای آب درون مخزن، در طول روز افزایش چشمگیری داشت که نمودار تغییرات آن در شکل (۵) آورده شده است.



شکل (۵): نمودار تغییرات دمایی برای سه روز متوالی در آزمایش بررسی منعکس‌کننده

است که با تقریب چندجمله‌ای درجه دو عبارت است از:

$$\eta_d = A + B(\Delta t_{m,D} / G_m) + C(\Delta t_{m,D} / G_m)^2 \quad (12)$$

متغیر  $\Delta t_{m,D}$ ، به اختلاف دمای کارکرد روزانه مربوط است:

$$\Delta t_{m,D} = (T_{i,m} + T_{f,m}) / 2 - T_{a,m} \quad (13)$$

که در آن  $T_{a,m}$ ، میانگین دمای محیط در بازه زمانی  $\Delta t$  و  $G_m$ ، میانگین تشعشع خورشیدی بر روی دریاچه در همان بازه زمانی است که با رابطه (۱۴) بیان می‌شود:

$$G_m = \left( \int_{t_i}^t G(t) dt \right) / \Delta t \quad (14)$$

ضریب A در معادله به بازده نوری وابسته است و همواره با بیش‌ترین بازده میانگین روزانه بدون اتلاف حرارتی رابطه دارد. ضرایب B و C چندجمله‌ای درجه دو، اتلاف حرارتی سامانه در طی روز را بیان می‌نمایند.

تعیین آزمایشگاهی  $\eta_d$ ، که تابعی از نسبت  $\Delta t_{m,D} / G_m$  است، با آزمایش سامانه در دمای محیط و در آب و هوای مختلف مشخص خواهد شد.

برای کارکرد شبانه سامانه، اتلاف حرارتی در نظر گرفته می‌شود که با ضریب  $U_s$  معرفی می‌شود و عملکرد حرارتی سامانه از بعدازظهر تا صبح روز بعد را، که هیچ‌گونه تشعشع خورشیدی وجود ندارد، بیان می‌کند.

ضریب اتلاف حرارتی  $U_s$  از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود:

$$U_s = (\rho C_{p,w} V_T / \Delta t) \ln \left[ \frac{(T_{i,m} - T_{a,m})}{(T_{f,m} - T_{a,m})} \right] \quad (15)$$

که در آن  $V_T$  حجم آب ذخیره‌شده در سامانه است و چگالی جرمی آب،  $\rho C_{p,w} = 4180 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$  است.  $T_{a,m}$ ، میانگین دمای محیط در بازه  $\Delta t$  شب و  $T_{i,m}$ ، دمای متوسط آب درون سامانه در لحظه شروع (۱۹:۰۰) و  $T_{f,m}$ ، دمای نهایی آب در ساعت (۷:۰۰) روز بعد است. ضریب  $U_s$  ( $\text{WK}^{-1}$ ) با دمای اولیه آب ذخیره‌شده مختلف و برحسب تابعی از اختلاف دمای متوسط محاسبه می‌شود.

#### ۴- مطالعات آزمایشگاهی سامانه

این آزمایش در شهر کرمان در طول و عرض جغرافیایی ۵۷/۱ و ۳۰/۳ درجه انجام شد. برای انجام آزمایش، این دستگاه به محیط بیرون، جایی که در طول روز هیچ سایه‌ای بر روی آن نباشد تا بتواند تابش مستقیم نور خورشید را دریافت نماید، منتقل شد.

مخزن آبگرمکن قبل از هر آزمایش (۷ صبح)، از آب شهری

خط درجه اولی از نقاط بدست آمده برای ضریب اتلاف حرارتی گذرانده می‌شود که رابطه آن برای هر منعکس‌کننده در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): ضریب اتلاف حرارتی شبانه برای منعکس‌کننده‌ها

سیستم	ضریب اتلاف حرارتی شبانه $U_s$
آینه	$U_s = 11.016 + 0.0132\left(\frac{\Delta t_{m,D}}{G_m}\right)$
استیل	$U_s = 8.0035 + 0.009\left(\frac{\Delta t_{m,D}}{G_m}\right)$
ورق آلومینیوم	$U_s = 6.9877 + 0.0153\left(\frac{\Delta t_{m,D}}{G_m}\right)$

با توجه به ضریب اتلاف حرارتی، می‌توان نتیجه گرفت که برای حفاظت حرارتی، ورق آلومینیوم به نسبت استیل و آینه عملکرد بهتری دارد. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده، از آنجا که منعکس‌کننده آینه، عملکرد بهتری دارد برای سایر آزمایش‌ها، از منعکس‌کننده آینه استفاده شد.

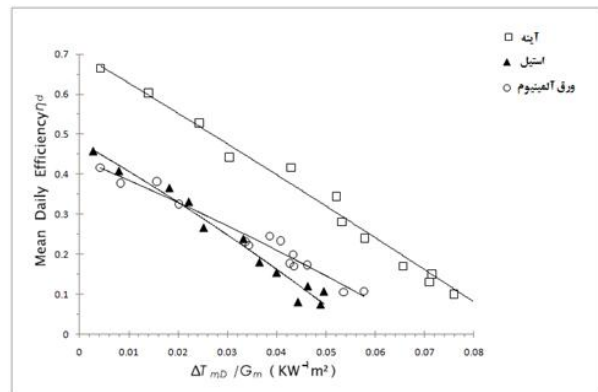
#### ۴-۱- عملکرد حرارتی سیستم در ماههای مختلف

عملکرد حرارتی آبگرمکن در ماه‌های نیمه اول سال نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. از آنجا که زاویه تابش خورشید نسبت به زمین در هر ماه تغییر می‌کند، برای دریافت بیشترین تابش خورشید باید زاویه آبگرمکن نیز بصورت ماهیانه تغییر نماید. از آنجا که تغییرات زاویه در طول یک ماه در حدود ۷ تا ۸ درجه است، بنابراین می‌توان بین این محدوده را برای زاویه آبگرمکن در نظر گرفت.

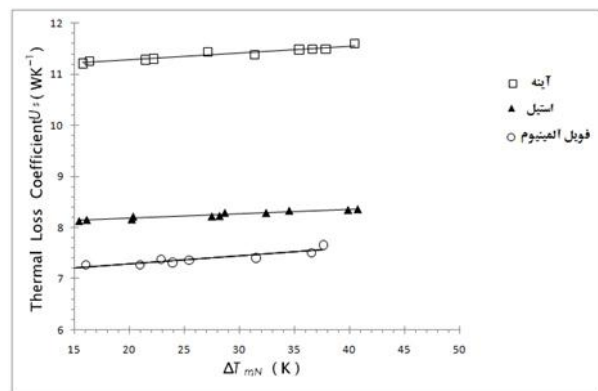
طبق روال آزمایش‌های گذشته، دوره هر آزمایش سه روز طول کشید. از آنجا که امکان تغییرات ناگهانی آب و هوا در طول آزمایش وجود دارد، در طی یک ماه، آزمایش‌ها چندین بار انجام شدند تا نتایج به شرایط پایدار برسد.

برای هر ماه، نمودار تغییرات دمای آب درون مخزن، دمای محیط و میزان تابش ورودی به صفحه سامانه برای سه روز متوالی، ارائه شد و سپس با استفاده از روابط، بازه میانگین روزانه و ضریب اتلاف حرارتی شبانه سامانه در بازه‌های مختلف زمانی بدست آمد تا نقاط نشان داده شده در منحنی‌های بازه میانگین روزانه و ضریب اتلاف حرارتی شبانه بدست آیند.

مانند آزمایش عملکرد منعکس‌کننده‌ها، بیش‌ترین بازه روزانه (ضریب A)، مورد بررسی قرار گرفت و مقایسه عملکرد سامانه، در ماه‌های مختلف، طبق این میزان (ضریب A) انجام شد. این آزمایش با منعکس‌کننده آینه برای ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور نیز انجام شد. بازه آبگرمکن و اتلاف



شکل (۶): بازه میانگین روزانه در آزمایش منعکس‌کننده‌ها



شکل (۷): ضریب اتلاف حرارتی شبانه در آزمایش منعکس‌کننده‌ها

از نمودار تغییرات دما و باتوجه به معادلات بازه روزانه و ضریب اتلاف حرارتی، نمودار بازه میانگین روزانه شکل (۶) و نمودار ضریب اتلاف حرارتی شبانه طبق شکل (۷) رسم شده‌اند. از شکل (۷) یافت می‌شود که کاهش دما در طول شب برای آینه، استیل و فویل به ترتیب کم‌تر می‌شود.

با عبور خط سهموی درجه دو از نقاط بدست‌آمده، معادله بازه میانگین روزانه بدست می‌آید که روابط آن برای هر منعکس‌کننده در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): بازه میانگین روزانه منعکس‌کننده‌ها

سیستم	بازه میانگین روزانه $\eta_d$
آینه	$\eta_d = 0.667 - 7.4215\left(\frac{\Delta t_{m,D}}{G_m}\right) - 4.418\left(\frac{\Delta t_{m,D}}{G_m}\right)^2$
استیل	$\eta_d = 0.5262 - 8.2903\left(\frac{\Delta t_{m,D}}{G_m}\right) - 11.561\left(\frac{\Delta t_{m,D}}{G_m}\right)^2$
ورق آلومینیوم	$\eta_d = 0.4872 - 5.128\left(\frac{\Delta t_{m,D}}{G_m}\right) - 14.072\left(\frac{\Delta t_{m,D}}{G_m}\right)^2$

طبق رابطه (۱۲) بیش‌ترین مقدار بازه روزانه در معادله، (ضریب A)، برای آینه ۰/۶۹۸، استیل ۰/۴۷۶۲ و آلومینیوم ۰/۴۳۷۲ است که نشان می‌دهد بازه آینه نسبت به استیل و فویل در طول روز بهتر بوده است.

لعاب سیاه رنگ است و برای افزایش میزان جذب تشعشع خورشیدی می‌توان از موادی که دارای ضریب جذب بالاتری هستند استفاده نمود.

نکته‌ای که از انجام آزمایش‌های ماهیانه می‌توان دریافت آن است که کاربرد آبگرمکن‌های جمع‌کننده- منبع ذخیره یکپارچه، بیش‌تر در مناطق سردسیر است چرا که نتایج نشان دادند در دمای محیط کم‌تر، سامانه عملکرد حرارتی بهتری نشان می‌دهد، بنابراین می‌توان در شرایط اقلیمی که امکان یخ‌زدگی وجود دارد، از آن بهره برد.

#### ۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اصول طراحی و جزئیات ساخت یک آبگرمکن خورشیدی جمع‌کننده-منبع یکپارچه، با یک مخزن که به طور دقیق در میان منعکس‌کننده متقارن پارابولیک ترکیبی قرار گرفته است، شرح داده شد. تامین آب گرم خانگی، زمینه مساعدی برای استفاده از انرژی خورشیدی است که امروزه بیش‌تر از سامانه‌های صفحه تخت ترموسیفونی استفاده می‌شود. از طرفی سامانه‌های جمع‌کننده-منبع یکپارچه، با توجه به ساختار فشرده و قیمت پایین‌شان، برای تامین آب گرم خانگی بسیار ساده‌تر از سامانه‌های ترموسیفونی صفحه تخت هستند. همچنین طراحی شکل آبگرمکن‌های جمع‌کننده-منبع یکپارچه، برگ برنده‌ای در زمینه ذخیره انرژی و محافظت از محیط زیست است. برای استفاده از منعکس‌کننده از سه منعکس‌کننده رایج استیل، آینه و آلومینیوم استفاده شده است که نشان داده شد با استفاده از منعکس‌کننده آینه می‌توان بازده حرارتی سامانه را به‌طور چشمگیری افزایش داد اما از طرف دیگر آینه نسبت به سایر منعکس‌کننده‌ها اتلاف حرارتی بیش‌تری دارد.

آزمایش‌ها نشان دادند که ورق آلومینیوم کم‌ترین بازده حرارتی را در طول روز و نیز کم‌ترین اتلاف حرارتی را در شب دارد. همچنین نشان داده شد که با افزایش میزان شدت تشعشع ورودی به آبگرمکن، بازده آن کاهش می‌یابد به طوری که برای شهر کرمان کم‌ترین بازده در ماه تیر بود.

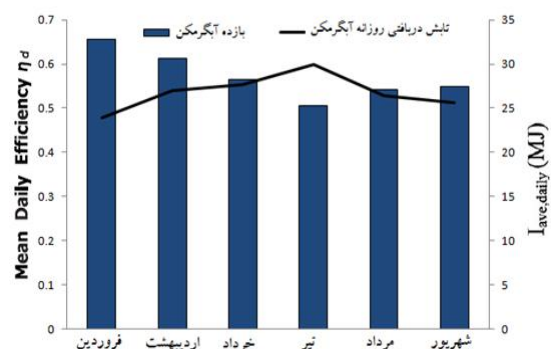
#### ۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان مایلند مراتب تشکر و قدردانی خود را از مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیوسته و علوم محیطی کرمان به دلیل تامین منابع مالی مورد نیاز برای انجام این پژوهش اعلام نمایند.

حرارتی شبانه در ماه‌های فصل بهار و تابستان بدست آمد، با توجه به ضرایب A در این روابط نشان داده می‌شود که مقدار این ضریب برای ماه‌های فصل بهار بیشتر از ماه‌های فصل تابستان است.

در شکل (۸) نمودار گرمای حاصل از تابش خورشید، (I) و بازده آبگرمکن، ( $\eta$ ) برای ماه‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به سیر تغییرات راندمان آبگرمکن و میزان تشعشع دریافتی که در شکل (۸) آمده است، این نکته مهم برداشت شده که با افزایش میزان تابش ورودی به سطح آبگرمکن، بازده سامانه کاهش یافته است، بطوری که بیش‌ترین بازده در فصل بهار، برای ماه فروردین و کم‌ترین آن در فصل تابستان برای ماه تیر بوده در حالی که در ماه تیر بیش‌ترین دریافت تابش خورشیدی وجود داشته است.

با کاهش مجدد شدت تابش در ماه مرداد و شهریور راندمان سامانه روند صعودی داشته است، در نتیجه بیش‌ترین بازده در فصل زمستان بدست خواهد آمد.



شکل (۸): بازده آبگرمکن در ماه‌های مختلف سال

علت اینکه با افزایش تشعشع، راندمان سامانه کاهش می‌یابد

را می‌توان در چندین مورد دانست:

(الف) با افزایش شدت تشعشع، توان جذب انرژی توسط سامانه کاهش می‌یابد و با افزایش دما تلفات حرارتی ناشی از انتقال حرارت جابجایی و انتقال حرارت تشعشع افزایش می‌یابد. از طرفی با افزایش دمای مخزن، تلفات انتقال حرارت تشعشعی افزایش می‌یابد.

(ب) یکی از عوامل تاثیرگذار بر عملکرد سامانه، دمای محیط و اختلاف دمای آب درون مخزن با دمای محیط است. با افزایش دمای محیط این پتانسیل در سامانه که بتواند تشعشع بیش‌تری را جذب کند و به مخزن هدایت نماید، کم‌تر می‌شود.

(ج) همان‌طور که گفته شد مواد پوشاننده مخزن (جاذب) از

## ۷- مراجع

- Y. Tripanagnostopoulos, M. Souliotis. Integrated collector storage solar systems with asymmetric CPC reflectors. *Renewable Energy* 29 223-248, 2004. [۹]
- A. Madhlopa a, R. Mgawi b, J. Taulo. Experimental study of temperature stratification in an integrated collector-storage solar water heater with two horizontal tanks. *Solar Energy* 80 989-1002, 2006. [۱۰]
- MajdiHazami, Sami Kooli, MeriemLazâar, AbdelhamidFarhat, Ali Belghith. Energetic and exergetic performances of an economical and available integrated solar storage collector based on concrete matrix. *Energy Conversion and Management* 51 1210-1218, 2010. [۱۱]
- M. Souliotis, Y. Tripanagnostopoulos. Study of the distribution of the absorbed solar radiation on the performance of a CPC-type ICS water heater. *Renewable Energy* 33 846-858, 2008. [۱۲]
- M. Souliotis, S. Kalogirou, Y. Tripanagnostopoulos. Modelling of an ICS solar water heater using artificial neural networks and TRNSYS. *Renewable Energy* 34 1333-1339, 2009. [۱۳]
- Rakesh Kumar, Marc A. Rosen. Thermal performance of integrated collector storage solar water heater with corrugated absorber surface. *Applied Thermal Engineering* 30 1764-1768, 2010. [۱۴]
- M. Souliotis, Y. Tripanagnostopoulos. Experimental study of CPC type ICS solar systems. *Solar Energy* 76 389-408, 2004. [۱۵]
- Tiller JS, Wochatz V. Performance of integrated passive solar water heaters (breadbox-type) under varying design conditions in the southeastern US. *Proceedings of the seventh national passive solar conference*, Knoxville, Tennessee, USA. 975-80, 1982. [۱]
- Garg HP, Datta G, Bhargava AK. Studies on an all-plastic solar hot water bag. *Int J Energy Res* 8(3): 291-6, 1984. [۲]
- Faiman D. Towards a standard method for determining the efficiency of ICSSWHs. *Solar Energy* 33(5):459-63, 1984. [۳]
- Weller P, Clark G, Collins W. Indoor testing of an integral passive solar water heater. *Proceedings of the 10th national passive solar conference* p. 225-30, 1985. [۴]
- Rommel M, Wagner A. Application of transparent insulation materials in improved flat-plate collectors and integrated collector storage. *Solar Energy*; 49(5):371-80, 1992. [۵]
- Mohamad AA. Integrated solar collector-storage tank system with thermal diode. *Solar Energy*; 61(3):211-8, 1997. [۶]
- Abdel-Rehim ZS. New design of solar water heater. *J Eng Appl Sci*; 44(3):583-97, 1997. [۷]
- M. Smyth, P.C. Eames, B. Norton. Evaluation of a freeze resistant integrated collector/storage solar water-heater for northern Europe. *Applied Energy* 68 265-274., 2001. [۸]

## ۸- نوشت ها

۱ CPC

۲ Standard ST-8891E مدل

۳ Kipp and Zonen مدل