

# تحلیل نظری و تجربی اثر زائده‌ها بر دما و فشار خروجی هوا در یک جمع‌کننده تخت هوای خورشیدی

یاسمن زمانیان<sup>۱</sup> و یحیی عجب شیرچی<sup>\*۱</sup>

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۳۰

۱- گروه آموزشی مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

\*مسئول مکاتبه yajabshir@tabrizu.ac.ir

## چکیده

به علت مصرف زیاد سوخت‌های فسیلی، در نتیجه تغییر الگوی زندگی جوامع بشری و ازدیاد جمعیت کره زمین، روبه اتمام بودن آن‌ها حتمی است. لذا به منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی، مصرف بهینه سوخت‌های فسیلی، صرفه‌جویی و جایگزینی منبع جدید انرژی، امری اجتناب‌ناپذیر است. انرژی خورشیدی یکی از منابع تجدیدپذیر است که در تمامی کشورها به شکل‌های مختلف از آن استفاده می‌شود. ایران یکی از کشورهای آفتاب‌خیز جهان است و در اکثر استان‌های آن می‌توان سالانه حدود 2000-2500 kWh<sup>-2</sup> انرژی خورشیدی به دست آورد. یکی از تکنولوژی‌های مناسب به منظور بهره‌برداری از این انرژی، استفاده از جمع‌کننده‌های تخت هوایی می‌باشد. متأسفانه به دلیل کم بودن گرمای ویژه هوا، بازدهی این نوع جمع‌کننده‌ها پایین است. در این پژوهش به منظور اصلاح عملکرد جمع‌کننده تخت هوایی، از زائده‌های دوزنقه‌ای شکل استفاده شد. بدین منظور از دو عدد جمع‌کننده دارای زائده‌های دوزنقه‌ای شکل ولی با چیدمان‌های مختلف (SAH112، دارای زائده‌های کم‌تر و SAH113، دارای ۱۳۸ عدد زائده) استفاده شد. جمع‌کننده سوم (SAH111) بدون زائده بوده و به عنوان شاهد از آن استفاده شد. از فن‌های (دمنده‌های) مشابه در هر کدام از جمع‌کننده‌ها به منظور تامین هوا استفاده گردید. آزمایش‌ها به مدت هفت روز در تیرماه ۱۳۹۳ از ساعت ۸ صبح تا ۱۹ عصر در یک محوطه باز (با عرض جغرافیایی ۳۸/۴ درجه) انجام گرفت. نتایج نشان دادند که دمای خروجی در ظهر خورشیدی در جمع‌کننده نوع سوم (SAH113) ۸/۳ درصد بیش‌تر از جمع‌کننده دوم (SAH112) و ۱۶٪ بیش‌تر از جمع‌کننده نوع اول (SAH111) حاصل شد. افت فشار استاتیکی در جمع‌کننده SAH113 بیش‌تر از دو جمع‌کننده دیگر و حدود ۱۳/۹۶ پاسگال در طول یک متر به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: افت فشار، دمای خروجی، صفحه زائده‌دار، جمع‌کننده هوای خورشیدی

## ۱- مقدمه

خورشید که سرچشمه سایر منابع انرژی محسوب می‌شود یک منبع تجدیدپذیر است و میزان تابش انرژی خورشیدی که به زمین می‌رسد بیش‌تر از کل انرژی مورد نیاز بشر روی کره زمین است. لذا در صورت طراحی و توسعه فناوری‌های مناسب، می‌توان درصد زیادی از انرژی مورد نیاز انسان را تامین نمود. یکی از فناوری‌های مناسب به منظور تبدیل انرژی تابشی خورشید به انرژی حرارتی، استفاده از جمع‌کننده‌های هوایی خورشید است که سالیان زیادی است از آن برای گرمایش خانه، گلخانه و هم‌چنین خشک‌کردن میوه‌جات و سبزیجات استفاده می‌شود. یکی از روش‌های افزایش بازدهی این جمع‌کننده‌ها ایجاد جریان متلاطم (توربولانت) توسط نصب زائده‌هایی در مسیر جریان هوا می‌باشد. زائده‌ها ضمن اصلاح بازدهی جمع‌کننده، باعث افت فشار نیز می‌شوند که این خود عاملی در افزایش مصرف انرژی می‌باشد. هدف از این پژوهش یافتن زائده‌هایی است که بتوانند با تغییر الگوی جریان، بیش‌ترین دمای خروجی از جمع‌کننده را فراهم کنند. این کار باعث افزایش بازده جمع‌کننده

انرژی عاملی حیاتی است که به شکل‌های متفاوت در تولید، پیشرفت و توسعه اقتصادی، اجتماعی و ارتقاء کیفیت زندگی انسان و صنعتی شدن نقش ایفا می‌کند. منابع انرژی نقش موتور محرک اقتصادی و تولید ملی را دارند و تعیین کننده جایگاه کشورها در نظام اقتصادی هستند. سوخت‌های فسیلی بیش از ۸۰ درصد انرژی مورد نیاز کشورها را تأمین می‌کنند (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۱). این در حالی است که تولید دوباره آن‌ها میلیون‌ها سال به طول می‌انجامد و سرانجام، با الگوی مصرف کنونی، روزی فرا می‌رسد که ذخایر این انرژی در سطح زمین به پایان می‌رسد.

مصرف انرژی در ایران نیز در سال‌های گذشته، به دلیل افزایش جمعیت و تغییر الگوی زندگی روند افزایشی داشته است. مصرف بهینه سوخت‌های فسیلی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند بهترین راه‌حل برای پایداری انرژی در طول سالیان دراز باشد. نور

تر گزارش شد. زیرا افزایش سرعت در نرخ‌های بیش‌تر، افت فشار را افزایش می‌دهد.

برخی از پژوهش‌گران با مطالعه روش‌های افزایش عملکرد و بازدهی و با استفاده از آنالیز انرژی و انرژی بیان کردند که در انواع مختلف جمع‌کننده، استفاده از زائده، بازدهی را در مقایسه با انواع ساده افزایش می‌دهد (از توپ و همکاران ۲۰۱۳).

اثر زائده‌های V شکل روی بازدهی جمع‌کننده که به صورت ۴۵ درجه در مسیر جریان هوا در زیر صفحه جاذب جمع‌کننده نصب شده بودند توسط (جاهد، عجب‌شیرچی ۲۰۱۴). مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که بازدهی جمع‌کننده زائده‌دار بیش‌تر از جمع‌کننده بدون زائده بود و دمای صفحه جاذب جمع‌کننده بدون زائده بیش‌تر از جمع‌کننده زائده‌دار گزارش شد.

### تحلیل جمع‌کننده

وظیفه یک جمع‌کننده خورشیدی جذب تابش خورشیدی و تبدیل آن به گرما و انتقال آن به سیال حامل<sup>۱</sup> که گرما را از جمع‌کننده برداشت می‌کند، می‌باشد. بازده جمع‌کننده در انجام این وظیفه بستگی به شرایط محیطی، دمای کاری،<sup>۲</sup> دبی جرمی سیال و طراحی شکل و پیکربندی<sup>۳</sup> جمع‌کننده دارد (استوت ۱۹۹۱). بدین منظور شکل و پیکربندی جمع‌کننده به‌گونه‌ای باید باشد که بازدهی را بهبود بخشد، قیمت تمام شده و هزینه‌های کاری را کاهش داده و عملکرد قابل اطمینان<sup>۴</sup> را تضمین نماید.

در اکثر موارد معادله هاتل و ویلیبر برای بیان بازده جمع‌کننده در حالت پایا<sup>۵</sup> به کار برده می‌شود (آیوس و همکاران، ۲۰۰۹).

$$\eta = F_R \left[ \tau\alpha - u_l \left( \frac{T_i - T_a}{I} \right) \right] \quad (1)$$

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p}{S_{abs} \cdot u_l} \left[ 1 - \exp \left( \frac{\dot{F} u_l S_{abs}}{\dot{m}C_p} \right) \right] \quad (2)$$

در رابطه (۱) حاصل ضرب  $\tau\alpha$  برای تابش فرودی عمودی یا برای هر نوع زاویه خاص فرودی<sup>۶</sup> مقدار ثابتی است. بنابراین  $F_R$  برای یک طرح خاص جمع‌کننده که با سیال حامل خاص کار می‌کند و یک دبی جرمی ثابت دارد، اساساً مقدار ثابتی است. بنابراین برای نوشتن معادله عملکرد جمع‌کننده برای یک جمع‌کننده خاص، لازم است سه مقدار حاصل ضرب عبوری و جذبی ( $\tau\alpha$ )، فاکتور برداشت گرما ( $F_R$ ) و ضریب افت جمع‌کننده ( $u_l$ ) تعیین شوند. مقدار ضریب افت جمع‌کننده و فاکتور بازده جمع‌کننده<sup>۷</sup> باید توسط معادلات بیلان انرژیایی صفحه جاذب و سیال حامل که مخصوص هر نوع جمع‌کننده است، حساب شوند.

شده و می‌توان از این ابزار با کارایی بیش‌تری در انواع خشک‌کن‌ها و یا حتی گلخانه‌ها استفاده کرد.

در جمع‌کننده‌ها به‌منظور افزایش انتقال حرارت بین صفحه جاذب و هوای در حال جریان، از یک سری زائده (منحرف‌کننده) که به‌صورت متناوب و تکرار شونده قرار گرفته‌اند به‌منظور تخریب لایه مرزی آرام زیر صفحه جاذب و تولید جریان متلاطم در نزدیکی سطح گرم استفاده می‌شود.

در تحقیقی سه نوع جمع‌کننده خورشیدی هوا که دوتای آن‌ها زائده‌دار، یکی دارای پوشش شیشه‌ای تک‌جداره و دیگری دارای پوشش شیشه‌ای دوجداره بودند براساس تفاوت دمای ورودی و خروجی در نرخ‌های مختلف جریان با یکدیگر مقایسه شدند (آلتا و همکاران). نتایج این تحقیق نشان دادند که بهترین عملکرد به‌ترتیب به جمع‌کننده زائده‌دار با پوشش دوجداره، جمع‌کننده زائده‌دار با پوشش تک‌جداره و جمع‌کننده بدون زائده با پوشش دوجداره مربوط می‌شود.

در تحقیقی دیگر عملکرد یک جمع‌کننده جدید با انواع متفاوت زائده و زوایای مختلف آن با انواع بدون منحرف‌کننده مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان دادند که بازدهی جمع‌کننده خورشیدی به‌طور چشم‌گیری به مقدار تابش خورشید، هندسه جمع‌کننده و نرخ جریان هوا بستگی دارد (آکپینار و کسی ایجیت ۲۰۱۰). پژوهشگرانی با تغییر گام زائده‌های عرضی در محدوده ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر و تحت زاویه ۹۰ درجه که به‌صورت منفصل روی سطح جاذب قرار داشتند در اعداد رینولدز ۳۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰، به بررسی عملکرد حرارتی جمع‌کننده‌های خورشیدی پرداختند. آزمایش‌ها نشان دادند که در مقادیر کم عدد رینولدز، مقدار عدد ناسلت به‌شدت افزایش می‌یابد. بر مبنای مطالعه انجام شده، بیشینه بازدهی در جمع‌کننده‌های خورشیدی هوا که دارای منحرف‌کننده هستند بسته به شرایط جریان هوا بین ۵۱ تا ۸۳/۵ درصد قرار دارد (ساهو و بجاگوریا ۲۰۰۵).

افزایش بازدهی جمع‌کننده مجهز به زائده‌های میله‌ای شکل روی صفحه جاذب توسط برخی از پژوهشگران مورد مطالعه قرار گرفت. بازدهی حاصل از ۲۵ نوع چیدمان و ابعاد متفاوت این پین‌ها بین ۵۰ تا ۷۴ درصد متغیر بود. نتایج نشان دادند هرچه ارتفاع زائده‌ها بیش‌تر باشد به‌علت افزایش جریان متلاطم، انتقال حرارت نیز افزایش می‌یابد (دانگن و همکاران ۲۰۱۰). با بررسی پژوهش‌های پیشین توسط (شاکیا و همکاران ۲۰۱۳) مشخص شد که افزایش ضریب انتقال حرارت به نرخ جریان و ابعاد زائده‌ها بستگی دارد. هم‌چنین گزارش شده که با تغییر مقطع از مستطیل به دوزنقه فاکتور اصطکاک کاهش می‌یابد.

در مصر تحقیقات تئوری و تجربی روی جمع‌کننده‌هایی با صفحه جاذب زائده‌دار و V شکل که جریان هوا دوبار در تماس با آن‌ها قرار می‌گیرد توسط (ال سبایی و همکاران ۲۰۱۱) انجام گرفت. نتایج نشان دادند که روند افزایش بازدهی هر دو جمع‌کننده در ابتدا با افزایش نرخ جرمی جریان تا ۰/۰۴ kg/s افزایشی و سپس کاهش می‌شود و هم‌چنین بازدهی نوع V شکل ۱۱/۳ تا ۱۹/۳ درصد بیش-

<sup>1</sup>-Transport fluid

<sup>2</sup>-Operating temperature

<sup>3</sup>-Feature

<sup>4</sup>-Reliable

<sup>5</sup>-Steady-state

<sup>6</sup>-Incidence

<sup>7</sup>-Collector efficiency factor

$$N_u = 168 \times 10^{-9} Re^{2/25} \quad 2850 < Re < 2100 \quad (۳)$$

$$N_u = 2/55 \times 10^{-3} Re^{1/04} \quad 5650 < Re < 2850 \quad (۴)$$

$$N_u = 19/8 \times 10^{-3} Re^{0/8} \quad 100000 < Re < 5650 \quad (۵)$$

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu} \quad (۶)$$

$$N_u = \frac{h D_h}{K} \quad (۷)$$

$$D_h = \frac{4 A_c}{P} \quad (۸)$$

میلی‌متر، ساخته شدند. صفحه زائده‌دار با ابعاد  $81 \times 125/5$  سانتی‌متر و از جنس MDF به ضخامت ۸ میلی‌متر روی عایق پشم‌سنگ قرار داده شد. فاصله صفحه زائده‌دار از صفحه جاذب ۴ سانتی‌متر بود. شکل ۱ نمای کلی جمع‌کننده مورد استفاده را نشان می‌دهد.

یکی از جمع‌کننده‌ها بدون زائده و به‌عنوان شاهد و دو جمع‌کننده دیگر با زائده‌هایی که در شکل ۲ نشان داده شده، مورد بررسی قرار گرفتند. زائده‌ها که به‌صورت دوزنقه‌ای شکل بودند به‌وسیله چسب قطره‌ای و با زاویه ۴۵ درجه نسبت به سطح صفحه زائده‌دار، روی صفحه زائده‌دار چسبانده شدند. قاعده بزرگ دوزنقه‌ها ۸، قاعده کوچک و ارتفاع‌شان به ترتیب ۶ و ۵ سانتی‌متر بودند.

برای راحتی نمایش، جمع‌کننده نوع یک که بدون زائده بود با علامت SAH111<sup>۱</sup>، جمع‌کننده نوع دو با علامت SAH112 و نوع سوم با علامت SAH113 نشان داده می‌شوند. چون چسب‌مان زائده‌ها روی صفحه زائده‌دار جمع‌کننده نوع دو و سه متفاوت بود، در نتیجه تعداد زائده‌های جمع‌کننده SAH112، ۷۵ عدد و جمع‌کننده SAH113، ۱۳۸ عدد در نظر گرفته شد.

هوا ضمن حرکت در این مجرا، به‌علت برخورد با زائده‌ها و انعکاس‌ها و برخوردهای متوالی، تبدیل به حرکت متلاطم می‌گردد. این حرکت متلاطم، به‌نوبه خود می‌تواند لایه مرزی آرام هوا در مجاورت رویه پائینی صفحه جاذب را تخریب کرده و باعث افزایش ضریب انتقال حرارت همرفت شود، که نتیجه این فرآیند منجر به افزایش دمای خروجی از جمع‌کننده می‌شود. برای اندازه‌گیری دما از ۱۶ عدد حسگر دمای LM35 استفاده گردید. این حسگر دارای خروجی خطی و بازدهی بالاست و برای ثبت دما از ۵۵- تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد استفاده می‌شود. به ازای هر درجه افزایش دما، ۱۰ میلی‌ولت افزایش ولتاژ در خروجی این حسگر دیده خواهد شد. از این تعداد حسگر، ۶ عدد روی صفحه زائده‌دار و ۱۰ عدد باقی‌مانده روی صفحه جاذب نصب شدند تا بتوانند دمای قسمت‌های مختلف صفحه زائده‌دار و صفحه جاذب را نشان دهند. حسگرهای B و A به‌عنوان حسگرهای دمای ورودی و حسگرهای D و C به‌عنوان حسگرهای دمای سیال در وسط صفحه جاذب و حسگرهای F و E به‌عنوان حسگرهای دمای خروجی سیال روی صفحه زائده‌دار در نظر گرفته شدند.

طراحی جمع‌کننده هوایی برای انتقال سیال نیاز به در نظر گرفتن قیمت پمپاژ سیال دارد. چون انرژی مورد نیاز به‌منظور انتقال گرما توسط هوا بیش‌تر از مایع (مثل آب) است (استوت ۱۹۹۱)، بنابراین، ضریب پائین انتقال حرارت بین هوا و صفحه جاذب با افزایش سرعت هوا در کانال، نصب زائده و یا افزایش سطح صفحه جاذب زیاد می‌گردد. با وجود این، افزایش سرعت و نصب زائده‌ها موجب افزایش توان مورد نیاز و قیمت پمپاژ می‌شود. ضریب انتقال گرما و افت فشار در داخل کانال جریان<sup>۱</sup> نیازمند تعیین هستند. برای تحلیل جمع‌کننده، ضریب انتقال گرما با به‌کار بردن همبستگی بین عدد ناسلت و عدد رینولدز محاسبه می‌شود یکی از این همبستگی‌ها که توسط کریت پیشنهاد شده به قرار زیر است (استوت ۱۹۹۱):

$$\Delta P = f \rho L V^2 / 2 D_h \quad (۹)$$

جریان هوا در داخل مجرا هم به‌علت اصطکاک با جداره‌ها و هم به‌علت نصب زائده‌ها با افت فشار روبرو می‌شود. برای محاسبه افت فشار می‌توان از رابطه زیر (ASHRAE, 1985) استفاده نمود:

که در آن  $f$  ضریب اصطکاک بوده و می‌تواند توسط روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه گردد:

$$f = 64 / Re \quad Re < 2000 \quad (۱۰)$$

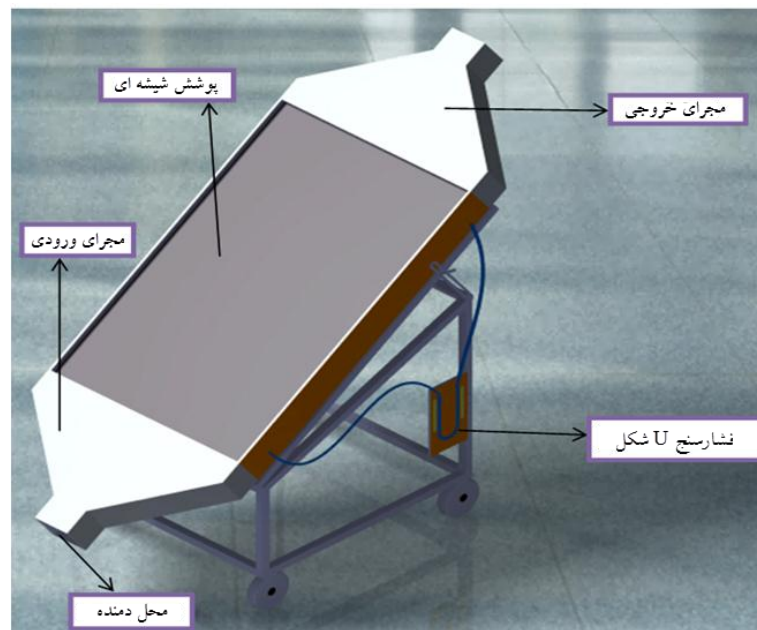
$$f = 0.316 / Re^{0.25} \quad 2000 < Re < 10^5 \quad (۱۱)$$

## ۲- مواد و روش‌ها

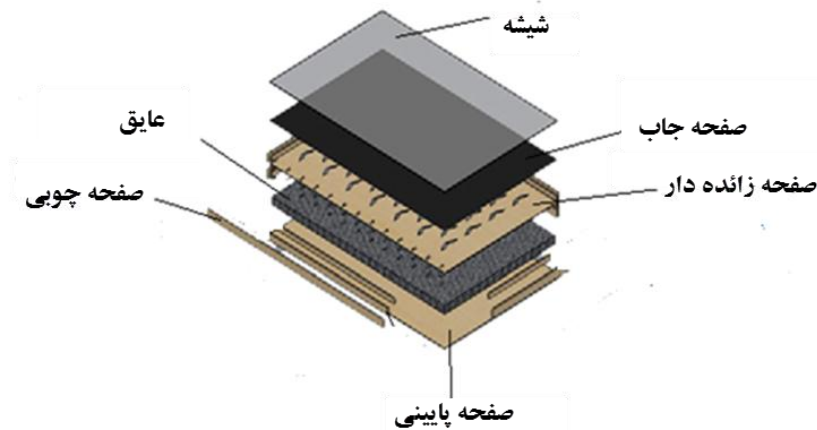
به‌منظور بررسی اثر زائده‌ها روی فشار و دمای خروجی، سه عدد جمع‌کننده با مشخصات عرض و طول جمع‌کننده به ترتیب ۸۲ و  $126/5$  سانتی‌متر، صفحه جاذب از جنس فولاد و به ضخامت  $1/15$  میلی‌متر که با رنگ سیاه رنگ‌آمیزی شده، پوشش شیشه‌ای تک‌جداره به ضخامت ۴ میلی‌متر، فاصله صفحه جاذب از پوشش شیشه‌ای ۳ سانتی‌متر، عایق پستی از جنس پشم‌سنگ به ضخامت ۵ سانتی‌متر، جعبه جمع‌کننده از چوب MDF دوجداره به ضخامت ۸

<sup>۱</sup>Solar air heater

<sup>۱</sup>-Channel flow



(الف)



(ب)

شکل ۱- (الف) تصویر جمع کننده مورد استفاده، (ب) جزئیات صفحه جاذب و زائده دار

ساق مانومتر می باشد. برای اندازه گیری شدت تابش روزانه خورشید از دستگاه 1333TES (محدوده اندازه گیری تا ۲۰۰۰ وات بر مترمربع، رزولیشن ۰/۱ وات بر مترمربع، دقت  $10^{\pm 1}$  وات بر مترمربع، طیف اندازه گیری ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر) و به منظور اندازه گیری سرعت باد و دمای محیط از دستگاه سرعت سنج از نوع سیم داغ<sup>۱</sup> مدل YK-2004 AH (رزولیشن سرعت ۰/۱ متر بر ثانیه با دقت  $\pm 5$  درصد، دمای کاری از صفر تا ۵۰ درجه سانتی گراد، بازه سرعت اندازه گیری از ۰/۲ تا ۲۰ متر بر ثانیه، رزولیشن اندازه گیری دما ۰/۱ درجه سانتی گراد) استفاده گردید.

شکل ۳ طرز قرار گرفتن حسگرها روی صفحه زائده دار و شکل ۴ طرز قرار گرفتن حسگرها روی صفحه جاذب را نشان می دهند.

برای اندازه گیری تغییرات فشار هر کدام از جمع کننده ها، از فشارسنج آبی (شیشه لوله ای به قطر ۶ میلی متر که به شکل U درآمده بود و به منظور قرائت اختلاف ارتفاع آب در دو بازوی U به کار گرفته شد) دیفرانسیلی استفاده گردید که می تواند تغییرات فشار را بر اساس رابطه (۱۲) اندازه گیری کند:

$$\Delta P = \rho g \Delta h \quad (12)$$

که در آن  $\Delta P$  (pa) تغییرات فشار،  $\rho$  ( $\text{kgm}^{-3}$ ) چگالی آب،  $g$  ( $\text{ms}^{-2}$ ) شتاب ثقل زمین و  $\Delta h$  (m) اختلاف ارتفاع آب در دو

1-Accuracy

2-Hot wire

### ۳- نتایج و بحث

هر سه جمع‌کننده در فضای آزاد و با زاویه ۲۹ درجه و به سمت جنوب قرار گرفتند. داده‌برداری به مدت هفت روز از تاریخ ۹۳/۰۴/۹ لغایت ۹۳/۰۴/۱۱ و ۹۳/۰۴/۲۴ لغایت ۹۳/۰۴/۲۷ از ساعت ۸ صبح لغایت ساعت ۱۹ عصر انجام گرفت. میانگین تغییرات شدت تابش در مدت هفت روز به صورت تابعی از ساعات روز در شکل ۵ نشان داده شده است. به طوری که از شکل ملاحظه می‌گردد، حداکثر شدت تابش به میزان  $840 \text{ Wm}^{-2}$  در ساعت ۱۳ (ظهر خورشیدی) به دست می‌آید.

میانگین تغییرات دمای خروجی هر سه جمع‌کننده و هم‌چنین دمای محیط بر حسب ساعات روز در شکل ۶ نشان داده شده است. به طوری که این شکل نشان می‌دهد، دمای خروجی جمع‌کننده SAH113 تقریباً در تمام ساعات روز از دو جمع‌کننده SAH112 و SAH111 و دمای خروجی جمع‌کننده SAH112 بیش‌تر از جمع‌کننده SAH111 است. افزایش دمای SAH113 در ساعت ۱۳ نسبت به دو جمع‌کننده SAH111 و SAH112 به ترتیب برابر  $8/3$  و  $16$  درصد است و اضافه دمای حاصله از جمع‌کننده SAH112 نسبت به جمع‌کننده بدون زائده‌دار SAH111 حدود  $7/4$  درصد می‌باشد. علت تغییر در دماها این است که وجود زائده‌های بیش‌تر در جلو جریان هوا باعث افزایش سطح تلاطم و در نتیجه باعث تماس بیش‌تر هوا با رویه زیری صفحه جاذب می‌شود که می‌تواند گرمای بیش‌تری از آن اخذ کند و این نتایج با یافته‌های (جاهد و عجب‌شیرچی ۲۰۱۴، هانس و همکاران ۲۰۱۰، آلتا و همکاران ۲۰۱۰ و ال سبایی و همکاران ۲۰۱۰) کاملاً هم‌خوانی دارد. با در نظر گرفتن شکل ۷ که تغییرات دمای صفحه جاذب هر سه جمع‌کننده را تابعی از ساعات روز نشان می‌دهد، صحت مطالب فوق تایید می‌گردد. به طوری که این شکل نشان می‌دهد، دمای صفحه جاذب جمع‌کننده SAH113 کم‌تر از دمای صفحه جاذب دو جمع‌کننده دیگر است. به علاوه دمای صفحه جاذب جمع‌کننده SAH111 (جمع‌کننده بدون زائده) بیش‌تر از دو جمع‌کننده دیگر می‌باشد.

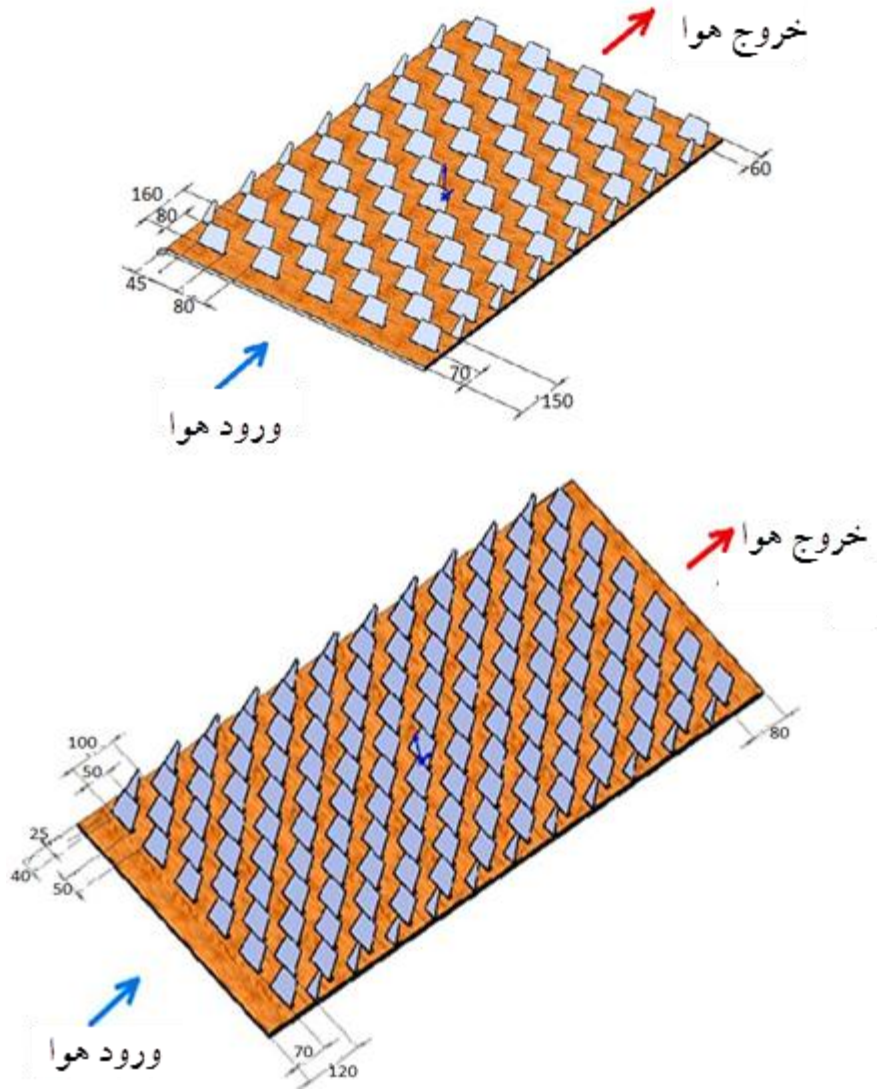
جدول ۱، تغییرات فشار در کانال هوا را نشان می‌دهد. نتایج این جدول نشان می‌دهد که در جمع‌کننده بدون زائده SAH111، به-علت نبود مانع بر سر راه جریان هوا، تغییرات فشار قابل اغماض است، ولی در جمع‌کننده زائده‌دار SAH113 موانع موجود، باعث ایجاد اختلاف فشار شده و این اختلاف فشار حدود  $11/6 \text{ Pa m}^{-1}$  می‌باشد. افزایش مقاومت فشاری منجر به انتخاب دمنده (فن) قوی‌تر می‌شود

که خود باعث افزایش مصرف انرژی می‌گردد. بدین جهت در طراحی جمع‌کننده‌های بزرگ‌تر زائده‌دار که به منظور خشک کردن دانه یا علوفه در انبار به کار برده می‌شود، باید بین انرژی مصرفی دمنده هوا و افزایش دمای خروجی جمع‌کننده که به علت شکل و تعداد زائده‌ها حاصل می‌شود، مصالحه‌ای انجام گیرد.

### ۴- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

به منظور بررسی اثر زائده‌ها روی دمای هوای خروجی جمع‌کننده و افت فشار، آزمایش‌های تجربی زیادی به مدت هفت روز از ساعت ۸ صبح لغایت ۱۹ عصر، در محوطه باز دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام گرفت و نتایج زیر حاصل شد.

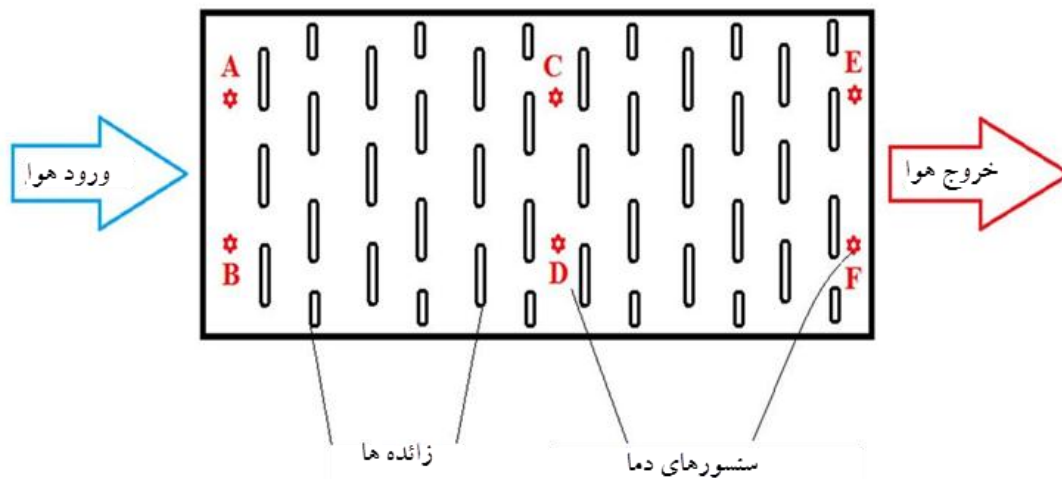
- ۱- به منظور افزایش دمای هوای خروجی جمع‌کننده تخت، می‌توان از زائده‌هایی که در مسیر جریان هوا قرار گرفته‌اند استفاده نمود.
- ۲- شکل و چیدمان زائده‌ها تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش دما و افت فشار هوای خروجی دارد.
- ۳- دمای خروجی و افت فشار جمع‌کننده SAH113 که دارای ۱۳۸ عدد زائده دوزنقه‌ای شکل بود بیش‌تر از دو جمع‌کننده دیگر گزارش شد.
- ۴- با توجه به نتیجه حاصله، برای مقاصد عملی و جمع‌کننده تخت هوایی متوسط، چیدمان زائده‌های SAH113 پیشنهاد می‌گردد.



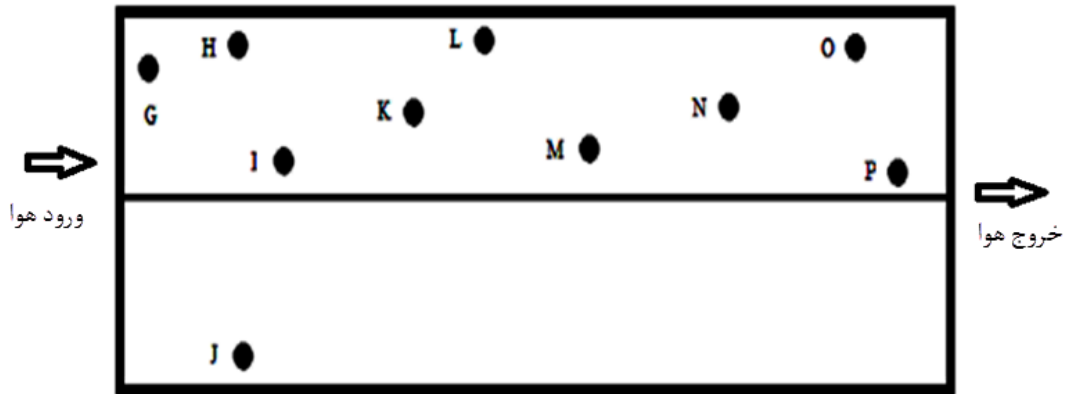
الف

(ب)

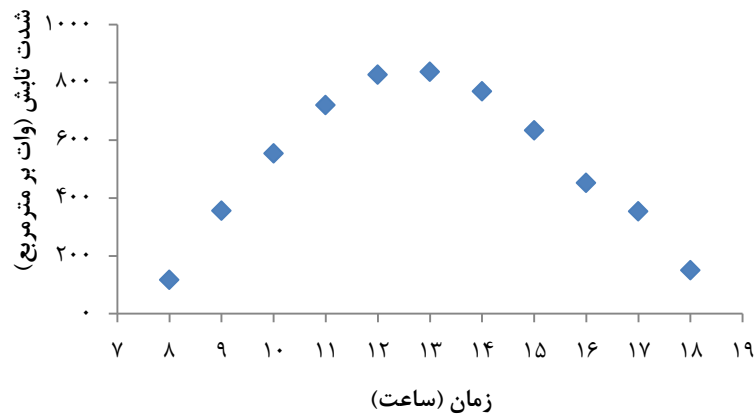
شکل ۲- نحوه قرارگیری زائده‌ها روی صفحه (الف) SAH112، (ب) SAH113



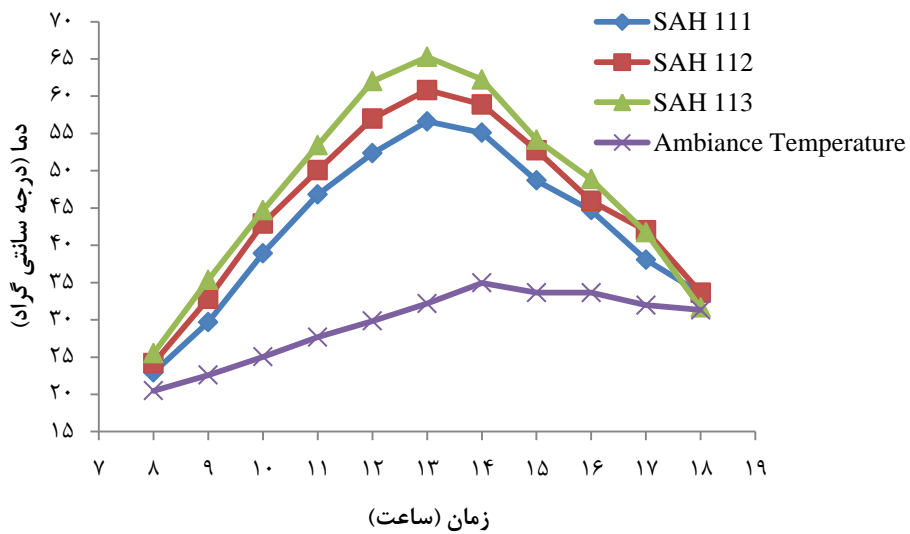
شکل ۳- نحوه قرارگیری حسگرها روی صفحه چوبی زائده‌دار



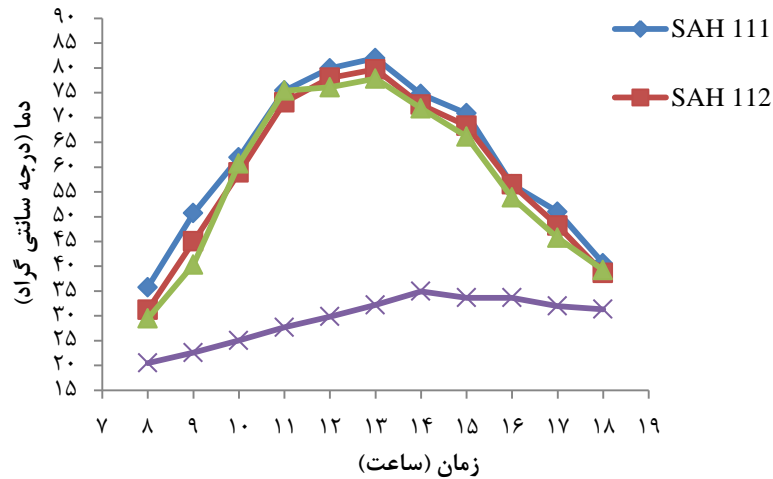
شکل ۴- موقعیت حسگرها روی صفحه جاذب



شکل ۵- میانگین شدت تابش خورشیدی در مدت هفت روز



شکل ۶- میانگین تغییرات دمای محیط و دمای خروجی جمع‌کننده‌ها به صورت تابعی از ساعات روز



شکل ۷- میانگین تغییرات دمای محیط و دمای صفحه جاذب جمع کننده‌ها به صورت تابعی از ساعات روز

جدول ۱- افت فشار هوا در خروجی جمع کننده‌ها

افت فشار (متر / پاسکال)	نوع جمع کننده
قابل اغماض	جمع کننده شاهد SAH 111
۶/۱۵	جمع کننده زائده دار SAH 112
۱۳/۹۶	جمع کننده زائده دار SAH 113

فهرست علائم

$C_p$ (j/kg K) گرمای مخصوص در فشار ثابت	$A_c$ (m <sup>2</sup> ) سطح مقطع جمع کننده
$F_R$ ضریب تصحیح یا ضریب برداشت گرما	$D_h$ (m) قطر هیدرولیکی
$f$ ضریب اصطکاک	$F'$ فاکتور بازده جمع کننده
$h$ (W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ) ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی	$g$ (m s <sup>-2</sup> ) شتاب ثقل زمین
$K$ (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ) ضریب انتقال حرارت هدایت	$I$ (W m <sup>-2</sup> ) شار فرودی خورشید
$\dot{m}$ (kg s <sup>-1</sup> ) دبی جرمی سیال حامل گرما	$L$ (m) طول
$S_{abs}$ (m <sup>2</sup> ) سطح صفحه جاذب	$P$ (m) محیط تر شده
$T_i$ (K) دمای ورودی سیال حامل گرما	$T_a$ (K) دمای محیط
$V$ (m s <sup>-1</sup> ) سرعت سیال	$u_l$ (W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ) ضریب کلی افت‌های حرارتی
$\Delta P$ (Pa) افت فشار	$\Delta h$ (m) اختلاف ارتفاع
	<b>اعداد بدون بعد</b>
$Re$ عدد رینولدز	$N_{II}$ عدد نوسلت
	<b>حروف یونانی</b>
$\alpha$ ضریب جذب	$\tau$ ضریب عبور
$\mu$ بازده جمع کننده	$\mu$ (kg m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ) ضریب لزجت دینامیکی سیال



## منابع مورد استفاده

ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱. وزارت نیرو، امور برق و انرژی. دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی.

- Akpinar, E. K. and F. Kocyigit. 2010. **Experimental investigation of thermal performance of solar air heater having different obstacles on absorber plates.** Int. Commun. Heat Mass Transfer 37:416-421
- Alta, D., E. Bilgili, C. Ertekin and O. Yaldiz. 2010. **Experimental investigation of three different solar air heater: energy and exergy analysis.** Applied Energy 87: 2953-2973
- Ashrae, **Standards and guidelines**, 1985. American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers.
- Aous, A., N. Moumimi, M. Zellouf, A. Moumimi, A. Labed, E. Achouri and A. Benchaban. 2009. **Amelioration des performance thermiques d'un capteur solaire plan a air: Etude experimental dans la region de Biskara.** Revue des energies Renouvelables. Vol 12 (2): 237-248
- Donggen, P., X. Zhang and H. Clong. 2010. **Performance study of a novel solar air collector.** Applied solar Engineering. 30:2594-2601
- Elsebaïi, A. A., S. Aboul-Enein, M. R. I. Ramadan, S. M. Shalahy and B. M. Oharram. 2011. **Thermal performance investigation of double pass-finned plate solar air heater.** Applied Energy 88:1727-1739.
- Hans, V. S., R. P. Saini and J. S. Saini. 2010. **Heat transfer and friction factor correlation for a solar air heater duct roughened artificially with multiple V-vibs.** Solar energy 84: 898-911.
- Oztop-Hakan F., F. Bayrak and A. Hepbasli. 2013. **Energetic and Exergetic aspects of solar air heating (Solar collector) systems.** Renewable and sustainable Energy Review 21: 59-83.
- Sahu, M.M. and J. L. Bhagoria. 2005. **Augmentation of heat transfer coefficient using 90 broken transverse ribs on absorber plate of solar air heater.** Renewable Energy 30: 2057-2063.
- Jahed, S. H. and Y. Ajabshirchi. 2014. **Experimental study of the effect of obstacles on efficiency of flat plate air solar collector.** ISESCO journal of science and Technology 10(18): 11-16.
- Shakya, U., R. P. Saini, and M. K. Signal. 2013. **A review of artificial roughness geometry for enhancement of heat transfer and friction characteristic on roughened duct solar air heater.** International Journal of Emerging Technology and Advance Engineering, Vol 3(6): 279-287.
- Stout, B. A. 1991. **Energy in World Agriculture: Solar Energy in Agriculture.** Vol.4, Elsevier.

# Experimental and Theoretical Investigation of Obstacles Effect on Outlet Air Temperature and Pressure Drop in an Air Type Flat Plate Solar Collector

Y. Zamanian<sup>1</sup> and Y. Ajabshirchi<sup>1\*</sup>

Received: 9 Dec 2015

Accepted: 20 Sep 2016

<sup>1</sup>Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

\*Corresponding author: yajabshir@tabrizu.ac.ir

## Abstract

Excessive consumption of fossil fuel, as a result of changes in lifestyles and ever increasing population, makes exhaustion of fossil fuels inevitable. In order to reduce the environmental impacts, promoting more efficient use of fossil fuels, deploying energy-saving methods and using alternative sources of energy are all unavoidable options. Solar energy is one of the renewable energy resources that all countries benefit from it in different ways. Iran is one of the sun-rich countries and in its most regions has a radiation rate of approximately 2000 to 2500 kWh/m<sup>2</sup>. One of the suitable technologies for exploitation of this energy is the use of flat plate solar air collectors. Unfortunately, because of the low specific heat of air, the efficiency of these collectors is not high. In this research, in order to improve the performance of this type of collectors, the trapezoid-shaped obstacles were used. Two collectors (SAH112 and SAH113) were used, each having the trapezoid-shaped obstacles with different arrangements. The third one (SAH111) without obstacles was used as a control collector. Air flow was supplied with three identical blowers to all three collectors. Tests were conducted for 7 days starting from July, 8 2016, 8 am to 7 pm in an open area (latitude 38/4°). The results showed that the solar collector outlet temperature in the collector with more obstacles (SAH113) at solar noon was 8.3% higher than that of SAH112, and 16% than SAH111. Static pressure drop in the SAH113 collector was higher than those of two other collectors (about 13/96 Pam<sup>-1</sup>).

**Keywords:** Pressure drop, Outlet temperature, Obstacle plate, Solar air collector