

بررسی اثر تخلخل جاذب مشبک بر کارایی هواگرم‌کن خورشیدی با پوشش پله‌ای از شیشه

مریم زمانیان^۱، علی زمردیان^{۲*}

۱، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲، استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۷/۱۶)

چکیده

یکی از روش‌های استفاده از انرژی خورشیدی استفاده از جمع‌کننده‌های خورشیدی است. در این پژوهش جمع‌کننده مشخص شده از نوع تخت بود و با پوشش شیشه‌ای پله‌ای و صفحات جاذب آلومینیومی متخلخل (با ضریب تخلخل ثابت 0.177 و 0.314 و ضخامت $2/5$ mm) در معرض مستقیم تابش خورشید بررسی شد. اثر تخلخل صفحه جاذب جمع‌کننده بر کارایی حرارتی آن در محدوده دبی جرمی هوا (0.0056 تا 0.385 $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$) در شش دبی هوای ورودی، آزمایش و بررسی شد. آزمایش‌ها در سه تکرار، در فواصل زمانی ۱۱ تا ۱۳ بعدازظهر، با متوسط شید خورشید در این فاصله زمانی برابر با 1040 Wm^{-2} انجام گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها صحت نظریه بررسی شده در این تحقیق را نشان می‌دهد که با افزایش تخلخل صفحه جاذب، بازده گرمایی جمع‌کننده افزایش می‌یابد. اما در دبی کمینه مشاهده شد که بازده صفحه جاذب با تخلخل کمتر، بیشتر است. در دبی کمینه، بازده صفحات جاذب با تخلخل 0.177 و 0.314 به ترتیب 0.31 و 0.29 و در دبی بیشینه به ترتیب 0.83 و 0.88 به‌دست آمد. این هواگرم‌کن می‌تواند در پروژه‌های خشک‌کردن محصولات کشاورزی، گرم‌کردن خانه‌های روستایی و شهری، فضای گلخانه‌ها، و دامداری‌ها استفاده شود.

کلیدواژگان: پوشش پله‌ای، جاذب فلزی متخلخل، جمع‌کننده خورشیدی هوایی تخت، خشک‌کردن.

مقدمه

در چندین دهه اخیر سوخت‌های فسیلی مهم‌ترین منبع انرژی بوده‌اند و به‌دلیل ارزانی و سهولت در کاربرد، به‌طور وسیع استفاده شده‌اند. در سال‌های گذشته، آلودگی‌های زیست‌محیطی و روبه اتمام‌بودن سوخت‌های فسیلی، اندیشه استفاده از انرژی‌های جایگزین را قوت بخشیده است. استفاده از انرژی حاصل از سوخت‌های هسته‌ای در نیم قرن اخیر بسیار امیدوارکننده بود، اما به‌دلیل ایمنی نامطمئن، مسائل سیاسی، و همچنین مشکل دفع پسماندهای هسته‌ای بحث‌برانگیز شده است (Bahadorinejad, 1974). انرژی خورشید از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر روی زمین است که علاوه بر سازگاری با محیط زیست همیشه در قسمت بزرگی از سطح کره زمین یافت می‌شود و انسان همواره برای مهار این انرژی و استفاده بهینه از آن تلاش کرده است. امروزه انرژی خورشید طیف وسیعی از کاربردها را مانند تهیه آب‌گرم برای مصارف شهری و روستایی، تهیه مطبوع ساختمان‌ها، به ویژه خشک‌کردن محصولات کشاورزی، تولید برق نیروگاه‌ها با جمع‌کننده خورشیدی، و مانند

این‌ها را دربر دارد. یکی از روش‌ها برای استفاده از انرژی خورشیدی، کاربرد انواع جمع‌کننده‌های خورشیدی است. جمع‌کننده‌های خورشیدی با سیال کاری هوا، از نظر ساخت و نگهداری ساده هستند. از جمله مزایای این نوع جمع‌کننده‌ها در مقایسه با جمع‌کننده‌های خورشیدی که از آب به‌عنوان سیال خنک‌کننده در آن‌ها استفاده می‌شود، می‌توان گفت که خوردگی مسیر عبور هوا، نشت هوا، رسانایی صفحه جاذب، و یخ‌زدگی سیال در جمع‌کننده‌های هوایی مشکل‌آفرین نیست. مهم‌ترین مشکل این جمع‌کننده‌ها پایین‌بودن ضریب انتقال گرما بین صفحه جاذب و هواست که باعث کاهش بازده گرمایی آن می‌شود (Mohamad, 1997). تاکنون در جمع‌کننده‌های هوایی خورشیدی جاذب‌های متفاوتی به‌کار گرفته شده است مانند: جاذب تخت، جاذب متخلخل. از معایب اصلی جاذب‌های غیرمتخلخل تخت نقصان انتقال گرمای کامل بین جاذب و سیال است که به پایین‌آمدن بازده گرمایی جمع‌کننده می‌انجامد. درحقیقت، در این جمع‌کننده‌ها لایه‌های زیرین هوا که از روی صفحه جاذب عبور می‌کند در طول مسیر با هوا در تماس است و با بالا رفتن دمای آن در مسیر، انتقال گرما از صفحه جاذب به سیال کاهش می‌یابد. در نتیجه دمای صفحه

پرداخت. در این تحقیق مشخص شد که بیشترین کارایی گرمایی جمع‌کننده هنگامی است که جهت وزش باد عمود بر راستای شیارها باشد و کمترین مقدار آن با وزیدن باد در امتداد شیارها رخ می‌دهد. این تفاوت تأثیری در حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد در بازده جمع‌کننده دارد.

Razavikhosroshahi (2003) با استفاده از نرم‌افزار FLUENT به بررسی عددی انتقال گرما در صفحات مشبک همراه با مکش در جریان موازی پرداخت. وی بیان کرد که عملکرد گرمایی این صفحات وابسته به شش پارامتر بدون بعد است که یکی از آن‌ها $\chi = \frac{L}{D}$ است که نشان‌دهنده نسبت ضخامت صفحه به قطر سوراخ‌هاست. افزایش این پارامتر نشان‌دهنده افزایش سطح انتقال گرما درون سوراخ است و باعث انتقال گرمای بیشتر درون صفحه می‌شود و کارایی گرمایی صفحه را افزایش می‌دهد.

Zomorodian & Barati (2010) برای بالا بردن ضریب انتقال گرما بین صفحه جاذب و هوا، از صفحه جاذب متخلخل با سه تخلخل متفاوت با ضخامت ۱/۲۵ mm از نوع صفحه سوراخدار آلومینیومی استفاده کردند و برای کاهش تلفات گرمایی از قسمت فوقانی یک لایه پوشش استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها دو تخلخل بهتر ۰/۱۷۷ و ۰/۳۱۴ برای صفحات جاذب را مشخص کرده است. با توجه به این نتایج، در تحقیق حاضر این دو تخلخل برای صفحات جاذب استفاده شد.

در این تحقیق برای بالا بردن ضریب انتقال گرما بین جاذب و هوا از صفحات جاذب آلومینیومی متخلخل (با تخلخل‌های ثابت ۰/۱۷۷ و ۰/۳۱۴) از نوع صفحه سوراخدار با ضخامت ۲/۵ mm استفاده گردید. همچنین در این جمع‌کننده، برای کاهش تلفات گرمایی از قسمت فوقانی، پوشش شیشه‌ای از نوع پله‌ای^۱ استفاده شد. از اهداف مهم این پژوهش بررسی دبی هوای خنک‌کننده بر بازده گرمایی جمع‌کننده‌ها و تأثیر تخلخل صفحه جاذب بر بازده گرمایی است.

مواد و روش‌ها

اهداف تعریف‌شده در این پژوهش طراحی، ساخت، و ارزیابی جمع‌کننده خورشیدی با جاذب متخلخل و پوشش شیشه‌ای پله‌ای بود که جریان هوا در آن به صورت اجباری و به وسیله مکنده برقرار می‌گردد. این جمع‌کننده در بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز ساخته شد و در

جاذب بالا می‌رفت و انتقال گرما به پوشش شیشه‌ای از طریق همرفت و تابش افزایش می‌یابد که این مقوله موجب افت گرمایی بیشتر می‌گردد. این نوع صفحات جاذب برای استفاده در جمع‌کننده‌هایی با جریان طبیعی یا آزاد مناسب است، زیرا افت فشار کمی ایجاد می‌کند و مانع حرکت سیال نمی‌گردد (Duffie & Beckman, 1991).

در نوع دوم، هوای عبوری از جمع‌کننده از میان خلل‌و فرج صفحه جاذب عبور می‌کند و باعث ارتقای کیفیت انتقال گرما بین جاذب و سیال می‌گردد. همچنین به دلیل تماس هوای خنک روی صفحه جاذب و عبور هوا تحت عامل مکش از خلل‌و فرج جذب‌کننده، سطح جاذب خنک است که این مهم باعث کاهش ضایعات گرمایی به روش همرفتی و تابشی می‌گردد (Fechner & Bucek, 1998).

صفحات جاذب متخلخلی که تاکنون در تحقیقات متفاوتی بررسی شده‌اند، عبارتند از: جاذب‌های ساخته‌شده از ورقه‌های آلومینیومی بریده‌شده (Chiou *et al.*, 1965)، تورهای سیمی (Beckman, 1968; Hamid & Beckman, 1971)، خرده‌های شیشه (Collier, 1979)، صفحاتی از جنس الیاف مصنوعی سیاه (Bansal *et al.*, 1983)، پارچه ضخیم کتانی سیاه (Zomorodian *et al.*, 2001)، همچنین ورقه‌های فلزی سوراخدار و شیاردار است (Bansal *et al.*, 1983). مزیت صفحه جاذب متخلخل در مقایسه با غیرمتخلخل این است که اتلاف انرژی گرمایی به محیط به دلیل نفوذ و جذب تابش خورشیدی در عمق صفحه جاذب کمتر است (Duffie & Beckman, 1991).

در مطالعاتی که Whillier (1964) بر جمع‌کننده‌های با سیال کاری هوا از نوع معمولی انجام داد، مشخص شد که استفاده از یک لایه پوشش شفاف برای افزایش بازده جمع‌کننده، از نظر اقتصادی ضروری است، مگر اینکه ضریب انتقال گرما بین صفحه جاذب و هوای عبوری از $8 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$ تجاوز کند.

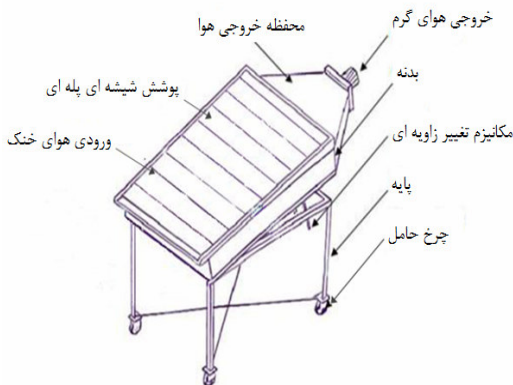
Zomorodian *et al.* (2001) در پژوهشی، از جمع‌کننده‌ای با جاذب متخلخل از جنس پارچه ضخیم کتانی سیاه را استفاده کردند. پوشش شیشه‌ای این جمع‌کننده به صورت شکافدار با آرایش پله‌ای بود که فواصل عمودی بین شیشه‌ها ۳، ۵، ۷، و ۹ میلی‌متر در نظر گرفته شد. این تحقیق نشان از عملکرد بالای این جمع‌کننده داشت که علت آن بالا بودن انتقال گرما از جاذب متخلخل به هوا و کاهش تلفات گرمایی از قسمت فوقانی به دلیل به کار بردن پوشش شکافدار بیان شد.

Sotudeh (2002) در تحقیقی به بررسی جهت وزش باد بر عملکرد جمع‌کننده‌ای بدون پوشش با منافذ شکاف‌مانند

1. Slatted Glass Cover (Double Glazing)

باتوجه به نتایج آزمایش‌های گذشته در این تحقیق از پوشش شیشه‌ای پله‌ای استفاده شده است که به‌نظر می‌رسد بازده گرمایی بیشتری در مقایسه با پوشش شیشه‌ای تخت به‌دست می‌آید. می‌توان گفت بر اثر عبور هوا از فاصله کوچک بین شیشه‌ها، سرعت هوای عبوری بیشتر شده است و ضریب انتقال گرمای همرفتی افزایش می‌یابد. در نتیجه، انتقال گرما از شیشه‌ها و هوای محبوس در فاصله بین پوشش و جاذب بیشتر می‌گردد، اتلاف گرمایی کمتر می‌شود. و چون در طول جاذب هوایی با دمای یکنواخت‌تر با جاذب برخورد می‌کند بهتر می‌تواند جاذب را خنک کند (Zomorodian et al., 2001).

شکل ۲ نمای کلی جمع‌کننده را نشان می‌دهد. برای اندازه‌گیری دمای قسمت‌های صفحه جاذب، هوای ورودی، هوای گذشته از صفحه جاذب، و هوای خروجی کلکتور از ۱۱ عدد حسگر (سنسور) حرارتی هوشمند از نوع SMT-160 با دقت ± 0.5 درجه سلسیوس استفاده گردید.



شکل ۲. نمای کلی جمع‌کننده خورشیدی جدید

اولین حسگر در مرکز کانال ورودی هوا برای ثبت دمای هوای ورودی به جمع‌کننده نصب گردید. سه عدد حسگر برای ثبت دمای قسمت‌های گوناگون صفحه جاذب روی آن قرار گرفت. بدین ترتیب که سه حسگر روی یک خط در راستای جریان هوا (باتوجه به اهمیت تغییرات دما در راستای جریان هوا) و در وسط صفحه جاذب قرار گرفتند تا تغییرات دمای صفحه، در راستای جریان هوا بررسی شود. سه عدد حسگر در زیر صفحه جاذب و درست در زیر نقاط نصب حسگر روی جاذب قرار می‌گیرند تا دمای هوای خروجی از جاذب بررسی شود، سه عدد حسگر هم در فضای بین جاذب و پوشش شیشه‌ای نصب می‌شود تا دمای هوای روی جاذب برای بررسی اثر گلخانه‌ای به‌دست آید. آخرین حسگر هم در خروجی جمع‌کننده برای به‌دست آوردن دمای هوای خروجی نصب شد.

مرداد تا مهرماه ۱۳۸۹ ارزیابی گردید. قسمت‌های اصلی جمع‌کننده خورشیدی شامل کانال خروجی، صفحه جاذب متخلخل، سامانه تأمین هوا، بدنه جمع‌کننده، و همچنین تجهیزات اندازه‌گیری دما، شید خورشید، و دبی هواست.

به منظور ساخت دستگاه، ابتدا چارچوب نگهدارنده صفحه جاذب به‌عنوان بدنه اصلی جمع‌کننده و کانال خروج هوا، ساخته شدند و سپس صفحه جاذب نصب گردید. پوشش شیشه‌ای درون چارچوب ساخته‌شده قرار گرفت و قسمت‌های گوناگون دستگاه درزبندی شد و سطوح تحتانی و جانبی آن کاملاً عایق‌بندی گردید.

کانال خروجی دستگاه برای توزیع یکنواخت هوا به‌شکل مخروط ناقص با مقطع مستطیلی ساخته شده است.

در این تحقیق از دو صفحه جاذب متخلخل آلومینیومی به ابعاد $110 \times 75 \text{ cm}$ با تخلخل $P_1=0.177$ و $P_2=0.314$ و ضخامت $2/5 \text{ mm}$ استفاده گردید تا تأثیر تخلخل بر بازده بررسی شود. الگوی سوراخ‌کاری آن‌ها بدین شکل است که قطر سوراخ‌ها 2 mm و به فاصله 1 cm ($P_1=0.177$)، و در نوع دیگر سوراخ‌ها به قطر 3 mm و به فاصله 2 cm ($P_2=0.314$) از یکدیگر قرار گرفته‌اند و آرایش سوراخ‌ها نیز در هر دو جاذب از نوع مربعی بود (شکل ۱). در این صفحات تخلخل هر صفحه از رابطه زیر به‌دست می‌آید (Arulandam, 1995).

$$\sigma = \frac{A_{\text{hole}}}{A_{\text{plate}}} = \frac{\pi D^2}{4P^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

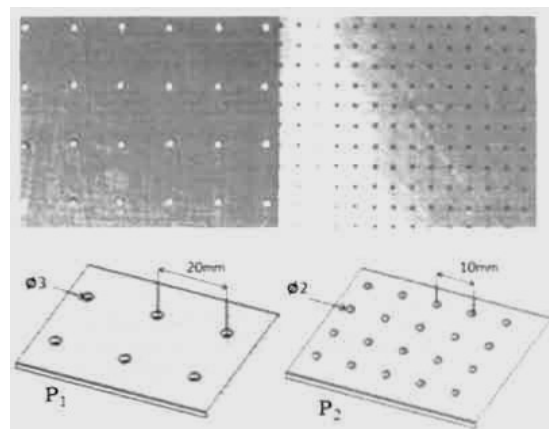
σ : تخلخل صفحه جاذب

A_{hole} : سطح احاطه‌شده هر سوراخ (cm^2)

A_{plate} : سطح کل صفحه جاذب (cm^2)

D : قطر سوراخ (cm)

P : گام تکرار سوراخ‌ها (cm)



شکل ۱. صفحات جاذب با دو تخلخل متفاوت

مبدل دور موتور تغییر داده شد، در نتیجه دور فن تغییر کرد و دبی‌های گوناگون فراهم شد.

آزمایش هر روز با دبی مشخصی در سه تکرار از ساعت ۱۱ تا ۱۳ بعدازظهر صورت می‌گرفت (بافرض بر اینکه تابش خورشید و شرایط دمایی محیط آزمایش یک ساعت قبل و بعد ازظهر شرعی تغییرات محسوس نداشته باشد). فن دستگاه از ساعت ۱۰:۳۰ برای رسیدن به حالت پایدار روشن شد و هر آزمایش باتوجه به ثابت زمانی جمع‌کننده به مدت ۳۰ دقیقه انجام می‌شد.

نتایج و بحث

پس از انجام آزمایش‌ها، داده‌ها تجزیه و تحلیل شدند. بازده جمع‌کننده از رابطه ۴، با تقسیم انرژی جذب‌شده به وسیله هوای عبوری از جمع‌کننده بر انرژی تابش خورشیدی رسیده به سطح جمع‌کننده که با شیدسنج اندازه‌گیری شد، به دست می‌آید و در هر دبی آزمایشی از میانگین داده‌های سه تکرار آن دبی استفاده گردید (Biondi et al., 1988) میانگین دمای هوای ورودی، دمای صفحه جذب، و هوای گرم خروجی از آن با استفاده از ترمیستورها (حسگرها) به دست آمد.

$$\eta = \dot{m} c_p \frac{(T_0 - T_i)}{G_T} \quad (\text{رابطه ۴})$$

η : بازده جمع‌کننده

\dot{m} : دبی جرمی در واحد سطح جمع‌کننده ($\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$)

C_p : ظرفیت گرمایی ویژه هوا ($\text{J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

G_T : میزان شار تابشی روی صفحه جمع‌کننده (W m^{-2})

T_0 : دمای هوای خروجی از جمع‌کننده ($^\circ\text{C}$)

T_i : دمای هوای ورودی به جمع‌کننده ($^\circ\text{C}$)

در آزمایش‌های بازده، اثر شش سطح دبی هوای ورودی و دو سطح تخلخل اندازه‌گیری شد. برای بررسی معنی‌دار بودن هریک از فاکتورهای بالا، داده‌های به دست آمده در طرح فاکتوریل در قالب طرح‌های کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار، SPSS تحلیل شد. جدول ۱ نتایج حاصل را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که فاکتورهای دبی هوای ورودی و تخلخل، اثر بسیار معنی‌داری بر بازده دارند.

جدول ۱. جدول تجزیه واریانس فاکتورهای آزمایش بر بازده گرمایی جمع‌کننده

متغیرها	درجه آزادی	جمع مربعات	مقدار F
دبی هوای ورودی (f)	۵	۱/۲	۱۷۶۳**
تخلخل (P)	۱	۰/۰۰۷	۵۷/۰۲۰**
خطا	۲۴	۰/۰۰۳	

** سطح معنی‌داری ۱ درصد

از کمیت‌های مهم که برای محاسبه بازده گرمایی جمع‌کننده‌های خورشیدی لازم است، دبی جرمی هوا است. برای اندازه‌گیری این کمیت از دبی‌سنج توربینی Lutron مدل YK-2001AL ساخت کشور تایوان با دقت ۰/۱ متربرثانیه استفاده شد. باید توجه داشت که با استفاده از دبی‌سنج، سرعت هوای ورودی بر حسب متربرثانیه به دست می‌آید که برای تبدیل آن به دبی جرمی، از رابطه ۲ استفاده می‌شود:

$$\dot{m} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right) = V \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) * A_1 (\text{m}^2) * \rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) / A_2 (\text{m}^2)$$

که در این رابطه:

\dot{m} : دبی جرمی هوای ورودی برحسب ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

V : سرعت هوای ورودی برحسب (ms^{-1})

A_1 : سطح محفظه عبوری هوا در محل نصب دبی‌سنج (m^2)

A_2 : سطحی از جاذب که ارزیابی می‌شود (m^2)

ρ : دانسیته هوای ورودی (kg m^{-3})

برای مکش هوای ورودی در این جمع‌کننده، مکنده گریزمرکز Parma با دور ۱۴۰۰ rpm و ساخت ایتالیا با سرعت ثابت استفاده شد.

برای تغییر دور موتور و ایجاد دبی‌های گوناگون ترانس مبدل^۱ مدل N50-015SF، ساخت کشور کره و با توان 1.5kW به کار برده شد.

برای اندازه‌گیری تابش خورشیدی در زمان آزمایش از دستگاه شیدسنج Cassela ساخت کشور انگلستان استفاده شد. قسمت اصلی شیدسنج استفاده‌شده در این طرح حسگر است. اساس کار این حسگر نورسنجی سیلیکونی^۲ است که در بدنه‌ای ضد باران و باد قرار گرفته است. دامنه این شیدسنج ۰ تا ۲۰۰۰ وات بر مترمربع است. همچنین حساسیت آن یک میلی‌ولت بر وات بر مترمربع است.

بعد از آماده‌سازی جمع‌کننده آزمایش‌ها انجام شد.

مناسب‌ترین زاویه قرارگیری جمع‌کننده و شیدسنج طبق رابطه ۱ و باتوجه به اینکه شیراز روی عرض جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی قرار دارد، ۴۵ درجه تعیین و تنظیم شد (Duffie & Beckman, 1991)

(رابطه ۳) $\alpha = 15 + \text{عرض جغرافیایی محل}$

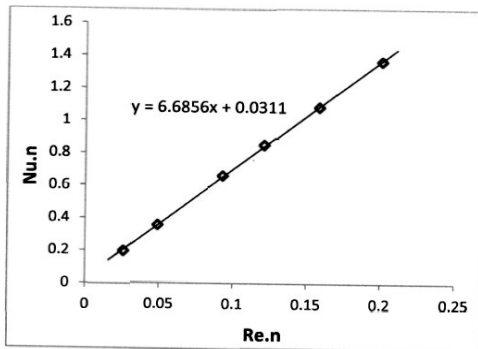
α : زاویه قرارگیری جمع‌کننده و شیدسنج

آزمایش‌ها در شش دبی متفاوت (۰/۰۵۶، ۰/۰۱۱۸، ۰/۰۲۳۵، ۰/۰۲۹، ۰/۰۳۸۵، ۰/۰۳۸۵) با هرکدام از جاذب‌ها انجام گرفت. برای تنظیم هر دبی با استفاده از ترانس

1. Inverter

2. Silicon photo Detector

افزایش عدد رینولدز عدد ناسلت سیال انتقال دهنده گرما زیاد می‌شود که حاکی از افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی h با افزایش دبی جرمی هواست که مطابق با نتایج قبلی است.



شکل ۴. تغییرات عدد ناسلت به‌ازای تغییرات عدد رینولدز

جالب توجه است که تغییرات عدد ناسلت با رینولدز به‌صورت خطی است (Incropera and Dewitt, 1996).

$$Re = \frac{VL}{\theta} \quad (\text{رابطه ۵})$$

V : سرعت جریان هوا بر کلکتور (ms^{-1})

L : طول مشخصه سطح مشخص شده (m)

θ : لزجت سینماتیکی سیال (m^2s^{-1})

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (\text{رابطه ۶})$$

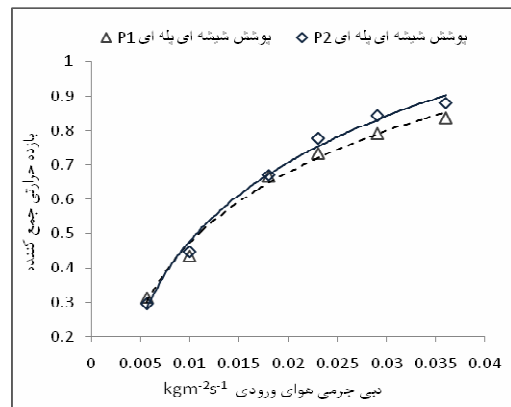
h : ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)

L : طول مشخصه سطح مشخص شده (m)

k : ضریب رسانایی گرما ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)

به‌دلیل اینکه آزمایش‌ها در شرایط طبیعی صورت گرفته است و کنترل میزان تابش خورشید امکان‌پذیر نیست و مقدار آن در روزهای گوناگون متفاوت بوده است، یکی از نمودارهای مفید برای مقایسه جمع‌کننده‌ها با جاذب‌های متفاوت نمودار تأثیر افزایش درجه حرارت هوای خروجی از صفحه جاذب در مقایسه با دمای هوای محیط به‌ازای واحد تابش خورشیدی^۱ بر بازده جمع‌کننده‌هاست که در نمودار شکل ۵ نشان داده شده است. مطابق با نمودار، با افزایش اختلاف دمای هوای خروجی از صفحه جاذب و محیط به‌ازای واحد تابش خورشیدی، مقدار بازده گرمایی در همه جمع‌کننده‌ها کاهش یافته‌است. با افزایش دبی جرمی هوا، اختلاف دمای هوای خارج‌شده از صفحه جاذب در مقایسه با دمای هوای محیط در همه جمع‌کننده‌ها کاهش یافته است که به کاهش اختلاف دمای هوای خروجی از صفحه

باتوجه به جدول تجزیه واریانس و نمودارهای مشخص‌شده، بازده جمع‌کننده با صفحه جاذب دوم که تخلخل بیشتری دارد (P_2) از جمع‌کننده با جاذب اول و تخلخل کمتر (P_1)، بیشتر است، علت این امر تخلخل بیشتر و در نتیجه تماس بیشتر هوا با جاذب، به ویژه از ناحیه دیواره‌های سوراخ‌ها است. این اختلاف بازده در دبی‌های بالا بیشتر از دبی‌های پایین است.



شکل ۳. تأثیر دبی جرمی هوای خنک‌کننده بر بازده حرارتی جمع‌کننده‌ها با دو جاذب متخلخل

نمودار شکل ۳ بیانگر این است که با افزایش دبی، بازده جمع‌کننده برای هر دو جاذب افزایش یافته است. از شیب نمودارها پیداست که افزایش بازده در دبی‌های پایین میزان بیشتری دارد و با افزایش دبی به تدریج شیب منحنی‌ها کاهش می‌یابد.

علت افزایش بازده در دبی‌های بالاتر انتقال گرمای بهتر از جاذب به سیال به‌علت تماس حجم بیشتری از هوا با جاذب و بالا رفتن ضریب انتقال گرمای همرفتی h که باعث کاهش دمای جاذب و اختلاف آن با دمای هوای محیط می‌گردد، است. کاهش دمای جاذب باعث تلفات گرمایی از طریق تابش و همرفت می‌گردد و همین امر عامل افزایش بازده است. باتوجه به محدود بودن ظرفیت گرمایی هوا و این موضوع که در دماهای پایین جاذب، انتقال گرما از جاذب به هوای خنک‌کننده کمتر می‌گردد، شیب منحنی‌ها در دبی‌های بالا کاهش می‌یابد به طوری که ممکن است توان لازم برای به‌دست آوردن دبی‌های بالا بیشتر از میزان گرمای اضافی به‌دست‌آمده باشد که باید در انتخاب دبی بیشینه به هر دو فاکتور بازده بالا و توان مصرفی توجه داشت.

نمودار تغییرات عدد ناسلت^۱ در مقایسه با رینولدز در شکل ۴ مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنیم با

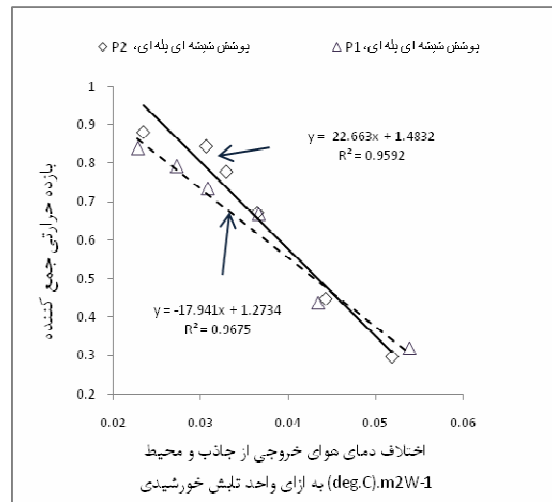
که می‌توان گفت این افزایش به دلیل ضخامت بیشتر و جذب گرمای بیشتر در جاذب است.

باتوجه به شکل ۳ می‌توان گفت جاذب با تخلخل بیشتر بازده بیشتری در مقایسه با جاذب با تخلخل کمتر دارد که همین مقوله در نمودار شکل ۵ نیز مشاهده می‌شود. در واقع این دو نمودار کاملاً همدیگر را تأیید می‌کنند. همچنین پس از بررسی نتایج هر دو جاذب می‌توان گفت که با افزایش تخلخل بازده صفحات جاذب با تخلخل ۰/۰۱۷۷ و ۰/۰۳۱۴ در دبی بیشینه به ترتیب ۰/۸۳ به ۰/۸۸ به دست آمد که پس از بررسی نتایج به دست آمده با آزمون دانکن این اختلاف بازده در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود.

نتیجه‌گیری کلی

باتوجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌توان گفت با افزایش دبی جرمی هوای ورودی، بازده جمع‌کننده برای هر دو جاذب افزایش یافت. همچنین با افزایش تخلخل صفحه جاذب با ضخامت ۲/۵ میلی‌متر در دبی‌های بالا بازده افزایش پیدا کرد، اما همان‌طور که از نمودارها مشخص می‌شود در دبی‌های پایین میزان تخلخل تأثیر کمی بر بازده دارد و بازده جاذب با تخلخل کمتر بیشتر است.

جاذب و محیط به‌ازای واحد تابش خورشیدی و افزایش بازده گرمایی جمع‌کننده می‌انجامد.



شکل ۵. تأثیر افزایش دمای هوای خروجی از صفحه جاذب در مقایسه با دمای هوای محیط به‌ازای واحد تابش خورشیدی بر بازده جمع‌کننده در صفحات جاذب گوناگون

در مقایسه با صفحه جاذب به ضخامت ۱/۲۵ (Zomorodian et al., 2001)، بازده گرمایی بهبود یافته است

REFERENCES

- Arulanandam, S. J. (1995). A numerical investigation of unglazed transpired plate solar collectors under zero wind conditions. M. Sc. thesis, Waterloo University, Ontario, Canada.
- Bahadorinejad, M. (1974). *Solar Energy Usage*. Shiraz University Alumni Association, Shiraz, Iran. (In Farsi)
- Bansal, N. K., Bottcher, A. & Uhleman, R. (1983). Performance of plastic solar air heating collector with a porous absorber. *Energy Research*, 7, 375-384.
- Beckman, W. A. (1968). Radiation and convection heat transfer in a porous bed. *ASME J. Eng. For Power*, 90, 51-54.
- Biondi, P., Cicala, L. & Farina, G. (1988). Performance analysis of solar air heater of conventional design. *Solar Energy*, 3, 55-64.
- Chiou, J. P., Duffie, J. A. & El-Wakil, M. M. (1965). A slit and expanded aluminium foil matrix solar collector. *Solar Energy*, 9, 73-90.
- Collier, R. K. (1979). The characterization of crushed glass as a transpired air heating solar collector material. In: Proc. *I.S.E.S., Silver Jubilee Congress*, Atlanta, GA, 1, pp. 264-268.
- Duffie, J. A. & Beckman, W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes* (2nd ed.). John Wiley & Sons, New York. 918p.
- Fechner, H. & Bucek, O. (1998). Investigations on several series produced collectors. *Renewable Energy*, 28, 293-302.
- Hamid, Y. H. & Beckman, W. A. (1971). Performance of air-cooled radiatively heated screen matrices. *J. of Engineering for Power*, 93, 221-224.
- Incropera, F. P. & Dewitt, D. P. (1996). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Willey & Sons, New York. 920p.
- Mohamad, A. A. (1997). High efficiency solar air heater. *Solar Energy*, 60(2), 71-76.
- Razavikhosroshahi, A. (2003). *Numerical simulation study on heat transfer of porous absorber solar air collector with parallel airflow*. M. Sc. dissertation, Shiraz University, Department of Mechanical Engineering, Shiraz, Iran. (In Farsi)
- Sotudeh, A. (2002). *Numerical 3-D simulation of airflow along heat transfer from porous absorber under suction with different angle*. M. Sc. dissertation, Shiraz University, Department of Mechanical Engineering, Shiraz, Iran. (In Farsi)
- Whillier, A. (1964). Performance of black-painted solar air heaters of conventional design. *Solar Energy*, 8(1), 31-37.
- Zomorodian, A. & Barati, M. (2010). Efficient solar air heater with perforated absorber for crop drying. *J. Agr. Sci. Tech*, 12, 569-577.
- Zomorodian, A. A., Woods, J. L. & Raoufat, M. H. (2001). Performance characteristics of a transpired solar air heater. *Iranian Agricultural Research*, 20, 139-154. (In Farsi)