

هوا گرم کن تک پوشش خورشیدی با جاذب فلزی سوراخ دار برای خشک کن های

خورشیدی

دکتر علی زمردیان^۱، مهندس محمود براتی^۲

چکیده

عموما انواع مختلف ضایعات حرارتی در جمع کننده های خورشیدی به محیط اطراف از طریق قسمتهای فوقانی کالکتور ها و بصورت اتلاف تشعشعی و همرفتی صورت میگیرد. جهت به حد اقل رساندن ضایعات یاد شده یک جمع کننده هوایی خورشیدی تک پوشش با صفحه جاذب فلزی سوراخ دار طراحی ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. با عبور هوای تازه از قسمت فوقانی صفحه جاذب متخلخل که در اثر تابش انرژی خورشید داغ شده است و گذر هوا از درون سوراخهای این صفحه دمای هوا افزایش می یابد. بخاطر عبور هوا از درون سوراخهای صفحه جاذب ضمن کاهش درجه حرارت سطح صفحه جاذب که سبب کم شدن تلفات تشعشعی و همرفتی بین صفحه و پوشش می گردد باعث افزایش ضریب انتقال حرارت بطریقه همرفتی بین هوا و جاذب نیز می گردد. از طرفی حرکت تقریبا عمودی هوا از درون سوراخهای صفحه جاذب کم شدن تلفات همرفتی بین صفحه و پوشش را به دنبال دارد.

از سه صفحه آلومینیومی سوراخ دار با تخلخل های متفاوت و به ضخامت ۱/۲۵ میلیمتر (۷۰در ۱۰۶ سانتیمتر) که با رنگ سیاه مات رنگ خورده بعنوان صفحه جاذب استفاده گردید. هوا گرم کن را در محیط طبیعی با و بی پوشش شیشه ای مورد ارزیابی قرار دادیم. برای تغییر در میزان تخلخل صفحه جاذب بدو صورت عمل گردید: با تغییر قطر سوراخهای ایجاد شده و دیگری با تغییر دادن فاصله سوراخهای روی صفحه جاذب. محدوده وسیعی از دبی جرمی هوا انتخاب گردید و کالکتور در ۵ دبی هوای متفاوت از: ۰/۰۰۵۶ تا ۰/۰۳۲۱ کیلو گرم بر متر مربع - تانیه در دو حالت و هر کدام در ۳ تکرار تحت آزمایش قرار گرفت. فاکتورهای اندازه گیری شده در طی تمام آزمایشات عبارت بودند از: درجه حرارت هوا در چندین نقطه از کالکتور و در مسیر عبور هوای خنک کننده - درجه حرارت صفحه جاذب در چندین نقطه متقارن - دبی جرمی هوا - شدت تابش انرژی خورشیدی و افت فشار استاتیکی در گذر هوا از صفحه جاذب متخلخل. نتایج حاصله حاکی از این مسئله است که تغییر در دبی جرمی هوا - میزان تخلخل صفحات جاذب و بکار گیری یا عدم بکار گیری پوشش شیشه ای باعث تغییر در راندمان حرارتی گرم کن خورشیدی می گردد. افزایش دبی جرمی هوای خنک کننده سبب افزایش راندمان گشته ولی در دبی های بالا این نرخ افزایش با رکود توام خواهد بود. کالکتور حاوی صفحه جاذب با بیشترین میزان تخاقل و در دبی هوای بالا (۰/۰۳۲۱ کیلو گرم بر متر مربع - تانیه) دارای راندمان حرارتی مطلوب ۰/۸۴۱ می باشد. همچنین نتایج نشان داد که گرم

۱- استاد یار بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه شیراز

۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز

کن مجهز به صفحه جاذب با کمترین تخلخل در دبی جرمی هوای پایین دارای راندمان حرارتی خوبی در مقایسه با سایر شرائط می باشد. نتایج بر گرفته شده از آزمایشات مختلف این مسئله را قویاً تایید میکند که برای افزایش میزان تخلخل بهتر است فواصل سوراخهای تولید شده روی صفحه جاذب کاهش یابد تا افزایش سطح هر سوراخ ایجاد شده.

با مقایسه کار آبی کالکتور پوشش دار و بدون پوشش در شرائط کاری یکسان این نتیجه حاصل گردید که گرم کن خورشیدی بدون پوشش از راندمانی حدود ۲۷٪ کمتر از گرم کن پوشش دار بر خوردار بود. این کاهش راندمان را می توان بحساب تلفات حرارتی (تشنشی و همرفتی) بیشتر برای کالکتور بدون پوشش گذاشت

واژه های کلیدی: جاذب متخلخل خشک کردن هوا گرم کن خورشیدی .

مقدمه

یک جمع کننده خورشیدی را می توان به عنوان یک نمونه ویژه از مبدل گرما در نظر گرفت که انرژی تابشی خورشید را به گرما تبدیل می کند. جمع کننده های خورشیدی به دو نوع کلی جمع کننده های متمرکز کننده و جمع کننده های صفحه ای تخت تقسیم می شوند (Goswami et al., 2000). در یک جمع کننده متمرکز کننده انرژی تابشی خورشید قبل از اینکه به گرما تبدیل شود به طریق نوری متمرکز می گردد، یعنی نوری که از سطح یک دهانه نسبتاً بزرگ وارد می شود به سمت یک گیرنده با سطح نسبتاً کوچک بازتابیده و در آنجا به انرژی گرمایی تبدیل و سپس با استفاده از یک سیال که عمدتاً مایع می باشد، جمع آوری می گردد (پناهنده، ۱۳۶۴).

جمع کننده های صفحه ای تخت خورشیدی ساده ترین و متداولترین وسیله برای تبدیل انرژی تابشی خورشید به گرمای مفید می باشند. این نوع جمع کننده ها برای تولید درجه حرارت های کم تا متوسط، حداکثر ۱۰۰ درجه سانتیگراد بالاتر از

دمای محیط بکار می روند. جمع کننده های تخت خورشیدی، از نظر ساختمانی نسبت به جمع کننده های متمرکز کننده، ساده تر و هزینه تعمیر و نگهداری کمتری دارند و می توانند از هردو جزء تابش مستقیم و پخش خورشید استفاده کنند و بنابراین احتیاجی به ردیابی خورشید ندارند. متداولترین کاربرد گردآوندهای تخت عبارت از گرم کردن آب مصرفی و فضای منازل، استفاده از آنها در تهویه مطبوع و همچنین تهیه آب گرم یا هوای مورد نیاز در فرآیندهای صنعتی و بالاخره برای خشک کردن محصولات کشاورزی و گرمایش گلخانه ها، می باشد .

(Duffie and Beckman, 1991) جمع کننده های تخت بر اساس نوع سیال انتقال دهنده گرما به دو زیر گروه، جمع کننده های هوایی و جمع کننده های آبی تقسیم بندی می شوند (Dewinter, 1990). مزایای کاربرد هوا به عنوان سیال انتقال دهنده گرما عبارت است از: نشت جریان هوا در این جمع کننده ها در حد قابل قبول و کم است و تغییر فاز هوا در درجه حرارت های معمول اتفاق نمی افتد و همچنین

خوردگی مسیرهای انتقال سیال در این نوع جمع‌کننده‌ها مشکل‌آفرین نیست، در حالیکه در جمع‌کننده‌های آبی خوردگی مسیر انتقال سیال و تغییر فاز آب (بخ زدن یا بخار شدن) یکی از مشکلات اساسی است. از طرف دیگر معایبی چون پایین بودن ظرفیت حرارتی حجمی هوا و کم بودن ضریب انتقال حرارت بین جاذب و هوا از جمله محدودیت‌های کاربرد هو بعنوان سیال انتقال‌دهنده گرما در جمع‌کننده‌های هوایی می‌باشد (Grupp et al., 1995). اجزاء تشکیل دهنده یک جمع‌کننده صفحه‌ای تخت عبارتند از الف- صفحه جاذب ب- صفحه پوششی ج- سیستم عایق د- سیستم سیال انتقال‌دهنده گرما ه- بدنه جمع‌کننده (Anderson, 1983).

صفحه جاذب در جمع‌کننده‌های صفحه‌ای تخت خورشیدی، محل جذب و تبدیل انرژی تابشی خورشید به گرما می‌باشد. صفحه جاذب در جمع‌کننده‌های خورشیدی باید دارای قابلیت جذب زیاد در بیناب تابش خورشیدی باشد. ساده‌ترین نوع صفحه جاذب صفحه‌ای است فلزی که سطح آن با رنگ سیاه مات پوشانده می‌شود. (Ishibashi and Horibe, 1986). دو نوع کلی جاذب تاکنون در جمع‌کننده‌های هوایی خورشیدی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نوع اول، صفحه جاذب غیرمتخلخل می‌باشد که هوای عبوری از جمع‌کننده نمی‌تواند از میان صفحه جاذب عبور کند. در این نوع هوا از بالا، پایین و یا طرفین صفحه جاذب عبور می‌کند. از معایب اصلی جمع‌کننده‌های هوایی خورشیدی با جاذب مسطح این است که میزان انتقال حرارت بین صفحه جاذب و هوای عبوری کم است. در این جمع‌کننده‌ها لایه‌های زیرین هوا که از روی

صفحه جاذب عبور می‌کند در طول مسیر با هوا در تماس بوده و با بالا رفتن دمای آن در مسیر، جذب گرما از صفحه جاذب کاهش می‌یابد. در نتیجه دمای صفحه جاذب بالا رفته و انتقال حرارت به پوشش شیشه‌ای از طریق همرفت و تابش افزایش می‌یابد. نوع دوم، صفحه جاذب متخلخل می‌باشد که در این نوع صفحه جاذب، هوای عبوری از جمع‌کننده از میان صفحه جاذب می‌گذرد. انواع جاذب‌های ساخته شده از ورقه‌های آلومینیومی بریده شده (Chiou, 1965)، تورهای سیمی (Beckman, 1968; Hamid and Beckman, 1971)، خرده‌های شیشه، تکه‌های ذغال‌سنگ، صفحاتی از جنس لیاف مصنوعی سیاه، کره‌های توخالی (Bansal et al. 1983) و پارچه ضخیم کتان سیاه (Zomorodian and Woods, 2001 and Zomorodian, et al 2003) در تحقیقات قبلی گزارش شده است.

صفحات فلزی سوراخدار از جمله جاذب‌های متخلخلی هستند که در این تحقیق به بررسی آن پرداخته خواهد شد. مزیت کلی صفحه جاذب متخلخل نسبت به غیر متخلخل این است که اتلاف انرژی حرارتی به محیط به دلیل نفوذ و جذب تابش خورشیدی در عمق صفحه جاذب کمتر است (Bansal et al., 1983). از دلایل مهم دیگر استفاده از جاذب متخلخل وجود سطح زیاد انتقال حرارت بین صفحه جاذب و هوا و ایجاد جریان تقریباً متلاطم در مسیر عبور سیال در درون صفحه جاذب می‌باشد که باعث افزایش انتقال حرارت به سیال می‌گردد. از طرف دیگر کسب ضریب انتقال حرارت بالاتر در جمع‌کننده‌های هوایی با افت فشار استاتیکی بیشتر همراه است، بنابراین بین افزایش ضریب

انتقال حرارت و افزایش افت فشار باید یک حالت بهینه را انتخاب کرد (Choudhury and Garg, 1993).

اگر گرمای جذب شده توسط صفحه جاذب به وسیله سیال خنک کننده جذب نشود، گرمای صفحه جاذب به تدریج افزایش یافته و تا حدی خواهد رسید که اتلاف گرما از آن به محیط اطراف، برابر با گرمای جذب شده میشود. بنابراین مؤثرترین و مطلوبترین حالت برداشت گرمای جذب شده در جمع‌کننده‌ها هنگامی میسر می‌گردد که دمای صفحه جاذب همواره در پایین‌ترین مقدار عملی ممکن حفظ شود. برای نیل به این هدف برقراری یک آهنگ جریان کافی تنها عامل مهم در انتقال گرما نمی‌باشد بلکه گرما می‌بایست به طور کامل به سیال انتقال یابد که این موضوع در مواقعی که سرعت حرکت سیال زیاد است می‌تواند تحقق یابد (آزاد و همکاران، ۱۳۶۸).

در کلکتورهای با جاذب سوراخدار، سیال (که در اکثر موارد هواست) توسط مکشی که در پشت صفحه اعمال می‌گردد، به داخل منافذ مکیده می‌شود. این مکش موجب می‌شود تا ضخامت لایه مرزی تشکیل شده بر اثر جریان باد بر روی صفحه با سرعت کم شده و از بوجود آمدن جریان متلاطم جلوگیری به عمل آید. از طرف دیگر لایه‌های زیرین سیال که به علت تماس با صفحه گرم شده‌اند، از طریق منافذ مکیده شده و لایه‌های بالائی سیال فوراً جای آنها را می‌گیرند. بدین ترتیب صفحه دائماً در تماس با سیال سرد محیط قرار داشته و انرژی حرارتی خود را به خوبی منتقل می‌کند. در داخل منافذ هم انتقال حرارت جابجائی بین سیال و جداره منفذ مشاهده

می‌شود. در این ناحیه به علت کوچک بودن قطر منافذ و سرعت نسبتاً زیاد سیال، ضریب انتقال حرارت جابجائی بالا بوده و انتقال حرارت قابل توجهی صورت می‌گیرد. انتقال حرارت از جداره منفذ باعث خواهد شد که دمای جداره با دمای نقاط دیگر صفحه اختلاف پیدا کند. این امر سبب انتقال حرارت از نقاط دیگر صفحه به طرف جداره منفذ می‌گردد. عملکرد حرارتی این صفحات به پارامترهای متعددی بستگی دارد. جنس صفحه مشبک و ضخامت آن، شکل هندسی منافذ و اندازه آنها فاصله منافذ از هم و نحوه آرایش آنها (درجه تخلخل)، ضریب جذب تشعشع صفحه و ضریب صدور تابشی آن، سرعت سیال موازی با صفحه و جهت وزش آن نسبت به آرایش منافذ، سرعت مکش و یکنواختی آن بر روی صفحه و ... می‌تواند در بازده گرمائی صفحات مشبک تأثیر داشته باشد (رضوی خسروشاهی ۱۳۸۲).

بازده جمع‌کننده عبارت از نسبت آهنگ گرمای جمع‌آوری شده به گرمای رسیده به سطح جمع‌کننده می‌باشد. در اکثر جمع‌کننده‌های هوایی مخصوصاً آنهاییکه برای مقصد خشک کردن مورد استفاده قرار می‌گیرند، هوای ورودی به جمع‌کننده همان هوای محیط می‌باشد. در این حالت برای محاسبه بازده جمع‌کننده‌های هوایی فرمول زیر پیشنهاد شده است (Reddy and Gupta, 1980):

$$\eta = F_0 \left[(\tau\alpha)_e - U_L \left(\frac{T_0 - T_a}{G_T} \right) \right] \quad (1)$$

که در آن داریم: F_0 : ضریب برداشت گرمای جمع‌کننده بر اساس درجه حرارت خروجی سیال T_0 : درجه حرارت هوای خروجی از جمع‌کننده

($^{\circ}\text{C}$) G_T : میزان شار تابشی بر روی صفحه جمع‌کننده ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$) $(\tau\alpha)_e$: حاصلضرب عبور-جذب مؤثر U_L : ضریب اتلاف حرارتی کلی جمع‌کننده ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$) T_a : درجه حرارت هوای محیط ($^{\circ}\text{C}$).

از آنجائیکه اندازه گیری ضریب F_0 با دشواری صورت میگیرد برای محاسبه بازده جمع‌کننده‌های هوایی از معادله ساده زیر نیز می‌توان استفاده کرد (Biondi, 1988):

$$\eta = \dot{m} c_p \left(\frac{T_0 - T_a}{G_T} \right) \quad (2)$$

که در آن داریم: \dot{m} : دبی جرمی در واحد سطح جمع‌کننده ($\frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$) c_p : ظرفیت گرمایی ویژه هوا ($\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$)

مواد و روشها

جهت ساخت قسمتهای مختلف دستگاه جمع‌کننده ابتدا چهارچوب نگهدارنده صفحه جذب و کانالهای ورود و خروج هوا ساخته شدند و سپس صفحه جذب نصب گردید و بعد چهارچوب نگهدارنده پوشش شیشه‌ای ساخته شد و در آن پوشش شیشه‌ای نصب گردید. سپس قسمتهای مختلف دستگاه کاملاً درزبندی شد و سطوح جانبی و تحتانی دستگاه عایق‌بندی و دستگاه جهت انجام آزمایشات آماده گردید.

صفحه جذب: در این تحقیق از سه صفحه جذب متخلخل مختلف (با درجه تخلخل‌های متفاوت) استفاده شد که الگوی سوراخکاری آنها با هم متفاوت بود (شکل ۱). در صفحه جذب اول قطر سوراخها ۲ میلی‌متر و فاصله سوراخها ۲

سانتیمتر بود. در دو صفحه جذب دیگر میزان تخلخل جذب به دو روش زیاد شده بود. یکی با ازدیاد قطر سوراخ و دیگری با کاهش فاصله سوراخها، تا تأثیر این فاکتور در راندمان حرارتی بررسی شود. بدین ترتیب در صفحه جذب دوم قطر سوراخها ۳ میلی‌متر و فاصله آنها ۲ سانتیمتر بود و در صفحه جذب سوم قطر سوراخها ۲ میلی‌متر و فاصله آنها ۱ سانتیمتر بود. آرایش سوراخها در تمام جذبها از نوع مربعی بود. برای ساخت صفحات جذب از ورقهای آلومینیمی به ضخامت ۱/۲۵ میلی‌متر استفاده شد. سه ورق آلومینیمی به ابعاد ۱۱۰×۷۵ سانتیمتر بریده شدند و طرح سوراخکاری هر کدام روی آن کشیده شد. برای سوراخکاری ورقها از روش پانچ استفاده شد تا تمام سوراخها با قطر یکسان و دیواره‌ای صاف و بدون پلیسه ایجاد گردند.

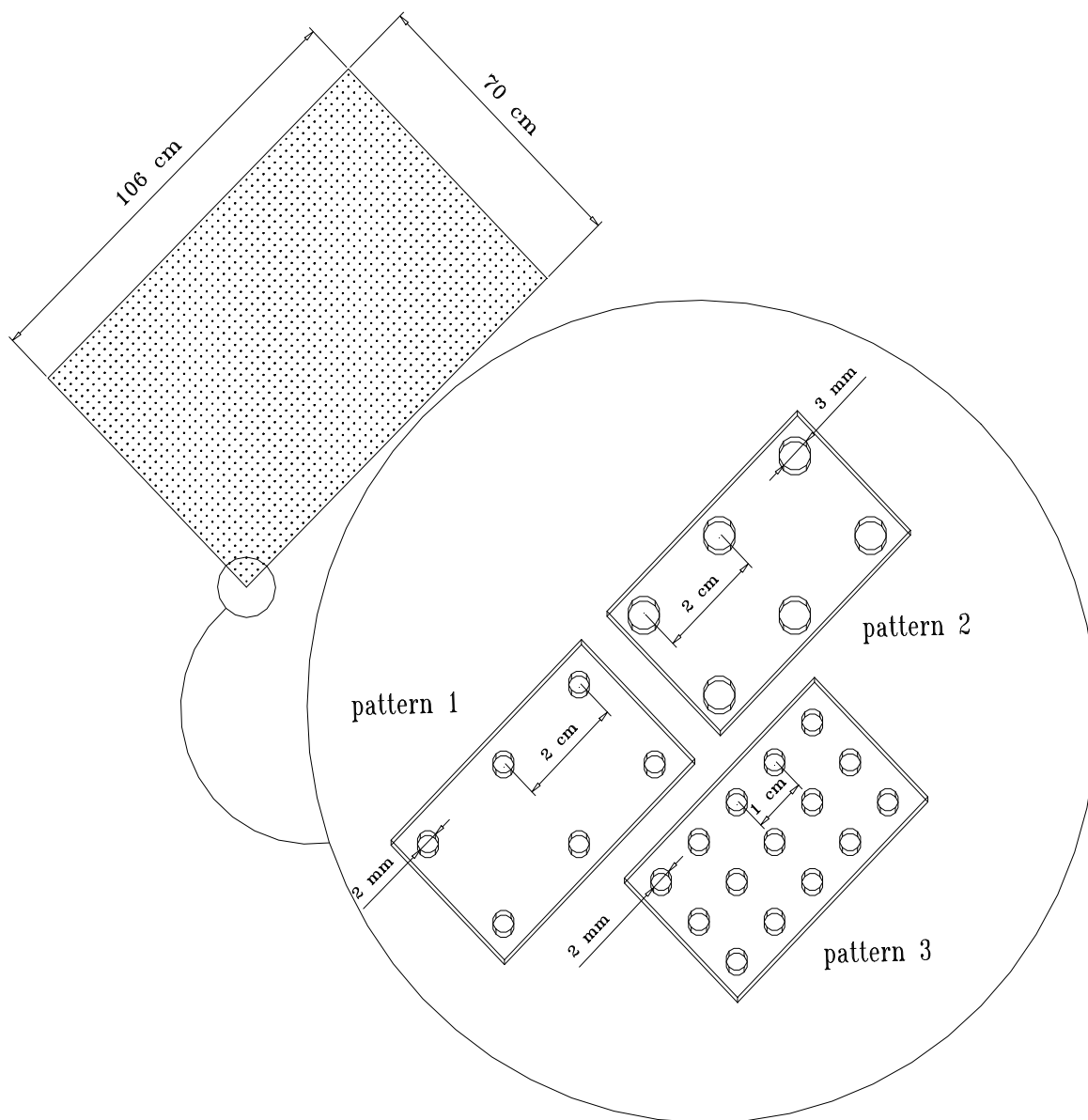
برای تأمین سرعت یکنواخت هوا در طول صفحه جذب متخلخل که هوا از سطح فوقانی وارد آن می‌شود، مساحت مقطع جریان بین صفحه جذب و پوشش شیشه‌ای در جهت جریان هوای ورودی باید کاهش یابد (Chiou et al, 1965). اگر فاصله بین پوشش شیشه‌ای و صفحه جذب در طول جمع‌کننده یکسان باشد، دمای پوشش شیشه‌ای در قسمت فوقانی بیشتر و صفحه جذب در قسمت فوقانی به طور صحیح در معرض هوای ورودی قرار نگرفته، خوب خنک نمی‌شود (جوکار ۱۳۸۰)، در نتیجه برای نصب صفحه جذب لازم بود که فاصله آن از پوشش شیشه‌ای در قسمت جلو بیشتر از عقب باشد. بنابراین قسمت جلوی صفحه جذب در کف بدنه و قسمت عقب آن، مماس با لبه فوقانی کانال خروجی قرار می‌گرفت. شکل (۲) صفحه

جاذب را در محل نصب خود نشان می‌دهد. در شکل ۳ کلکتور خورشیدی همراه با متعلقات آن و پایه قابل تنظیم نشان داده شده است.

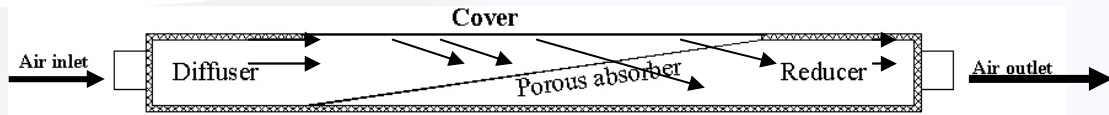
برای اندازه‌گیری دمای قسمت‌های صفحه جاذب، هوای ورودی، هوای گذشته از صفحه جاذب و هوای خروجی کلکتور از ۱۰ عدد سنسور حرارتی (PT100 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ Termistor) از نوع PT100 استفاده گردید. این سنسورها بصورت مقاومت هستند که با تغییرات حرارت مقاومت آنها تغییر می‌کند. با عبور جریان (در حدود ۱۰ میلی آمپر) از این سنسورها، ولتاژ دو سر سنسور تغییر کرده که این ولتاژ توسط سیستم داده‌برداری (Datalogger) دریافت و پس از تبدیل به داده‌های دیجیتال، اطلاعات برای کامپیوتر متصل به سیستم ارسال می‌گشت. اولین سنسور در مرکز کانال ورودی هوا برای ثبت دمای هوای ورودی به کلکتور نصب گردید. چهار عدد سنسور برای ثبت دمای قسمت‌های مختلف صفحه جاذب، روی آن نصب گردیدند. بدین ترتیب که سه سنسور در روی یک خط در راستای جریان هوا (با توجه به اهمیت تغییرات دما در راستای جریان هوا) و در وسط صفحه جاذب قرار گرفتند تا از داده‌های آن تغییرات دمای صفحه در راستای جریان هوا بررسی شود. سنسور چهارم با فاصله ۲۰ سانتیمتر از خط وسط صفحه و در راستای سنسور وسط قرار گرفت تا تغییرات دما در عرض هم بررسی گردد. با توجه به اینکه تغییرات دما در عرض نسبت به خط تقارن، از دو طرف مشابه هم می‌باشد، و با توجه به محدود بودن سنسورها، اندازه‌گیری دمای یک سمت کافی بود. چهار سنسور دیگر برای

اندازه‌گیری دمای هوای عبور کرده از صفحه جاذب و مقایسه آن با دمای صفحه جاذب، با همان الگوی سنسورهایی که روی جاذب نصب شدند در زیر صفحه جاذب قرار گرفتند. با توجه به جهت جریان هوا که به سمت پائین و رو به جلو بود و برای اینکه دمای هوایی که از قسمتی از صفحه جاذب عبور کرده اندازه‌گیری شود، این سنسورها ۲ سانتیمتر پائین‌تر و ۵ سانتیمتر جلوتر از سنسورهایی که روی جاذب بودند، نصب شدند.

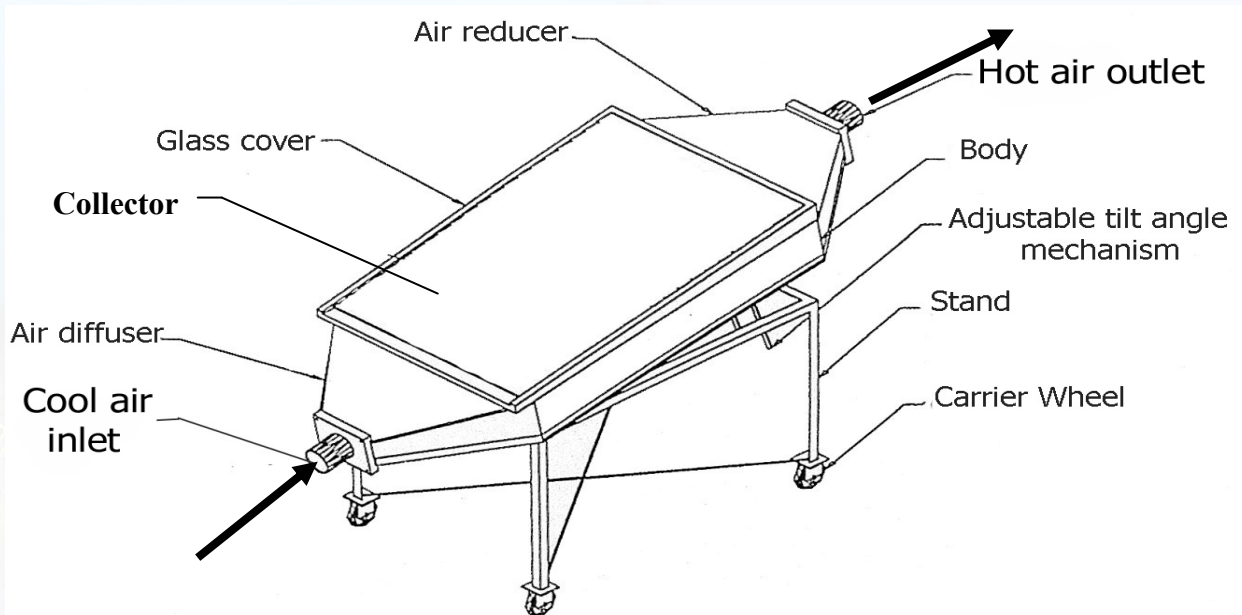
یکی از کمیتهای مهم که اندازه‌گیری آن جهت محاسبه بازده حرارتی جمع‌کننده‌های خورشیدی لازم است، دبی جرمی هوا می‌باشد. برای اندازه‌گیری این کمیت در آزمایشات از صفحه روزنه (Orifice plate) استفاده گردید. صفحات روزنه استفاده شده در این تحقیق از نوع D&D/2 بودند. با افزایش دبی جریان، افت فشار طرفین روزنه و توان مورد نیاز برای غلبه بر این افت فشار افزایش می‌یافت. با توجه به محدود بودن توان مکنده‌ها که طبق کاتالوگ قادر بودند بر افت فشار حداکثر ۲۱۰ میلیمتر آب در طرفین روزنه غلبه کنند، استفاده از یک روزنه برای تمام دبی‌ها امکان‌پذیر نبود. بنابراین برای تأمین جریان‌های جرمی مختلف که توسط توان مکنده‌ها قابل تأمین باشند، سه عدد صفحه روزنه به قطرهای ۱۴، ۲۴ و ۳۰ میلیمتر که مطابق استاندارد ISO 5167 طراحی و ساخته شده بودند مورد استفاده قرار گرفت (جوکار ۱۳۸۰). فرمول محاسبه دبی جریان بر اساس اختلاف فشار طرفین روزنه و خصوصیات هوا و روزنه به صورت زیر بیان می‌شود: (ISO 5167)



شکل (۱). صفحه جاذب و الگوهای مختلف سوراخکاری آن (درجه های مختلف تخلخل)



شکل (۲). کلکتور بعد از نصب جاذب و پوشش شیشه‌ای و نمای برش خورده از بدنه بصورت خوابیده



شکل (۳). نمای کلی جمع کننده

استفاده شد. این صفحه کشویی قادر بود سطح مقطع عبور هوا را تغییر داده و باعث تغییر در اختلاف فشار طرفین روزنه و به تبع آن تغییر دبی جرمی جریان شود.

برای اندازه‌گیری تابش خورشیدی در زمان آزمایش از یک دستگاه شیدسنج دیجیتال بسیار دقیق استفاده گردید. سنسور شیدسنج دیجیتالی، یک نورسنج سیلیکونی بود که شدت نور تابیده شده به آن را بر حسب توان اندازه‌گیری می‌کند. این سنسور که دارای دقتی در حد یک میلی ولت بود، انرژی دریافتی از نور خورشید را به صورت یک ولتاژ ضعیف دریافت و به سیستم انتقال می‌داد و سپس از طریق یک مبدل آنالوگ به

$$\dot{m} = CE\varepsilon \pi/4 d^2 \sqrt{2\Delta P \times \rho} \quad (3)$$

که در آن داریم:

\dot{m} : دبی جرمی جریان هوا ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{sec}$)
 C : ضریب تخلیه روزنه E : ضریب سرعت محاسبه شده از فرمول $E = (1 - \beta^4)^{-0.5}$
 ε : ضریب انبساط هوا β : نسبت قطر (d/D)
 D : قطر لوله حامل روزنه (m)
 ΔP (m): اختلاف فشار طرفین روزنه (Pa)
 ρ : جرم حجمی هوا (kg/m^3).

برای تنظیم دقیق دبی جریان هوا از یک عدد صفحه کشویی متغیر که در انتهای مسیر هوا و در مقطع خروجی جریان هوا به محیط قرار داشت،

دیجیتال، داده‌ها به کامپیوتر متصل به شیدسنج انتقال می‌یافت.

بعد از آماده‌سازی کلکتور و نصب تجهیزات مورد نیاز جهت داده‌برداری، از جمله سیستم اندازه‌گیری دبی جریان، دو عدد مکند، مانومترها، شیدسنج و سیستم اندازه‌گیری و جمع‌آوری دما آزمایشات آغاز گردید. محل آزمایش محوطه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در ۱۵ کیلومتری شیراز بود. زاویه قرارگیری کلکتور و شیدسنج ۱۵ درجه بیشتر از عرض جغرافیایی محل و با توجه به اینکه شیراز بر روی عرض جغرافیایی ۳۰ درجه نیمکره شمالی قرار دارد، ۴۵ درجه تعیین و تنظیم شد (Duffie and Beckman 1991). آزمایشات در پنج دبی مختلف (۰/۰۰۶۵، ۰/۰۱۴، ۰/۰۲۲، ۰/۰۲۶ و ۰/۰۳۲۱ کیلوگرم بر مترمربع-ثانیه) با هر کدام از جاذبه‌ها انجام گرفت. علاوه بر آزمایشات با کلکتورهای پوشش‌دار برای مشخص شدن تأثیر پوشش در کاهش اتلاف حرارتی، چند آزمایش با کلکتور بدون پوشش، برای صفحه جاذب دوم و سوم، در پنج دبی صورت گرفت.

بحث و نتیجه‌گیری

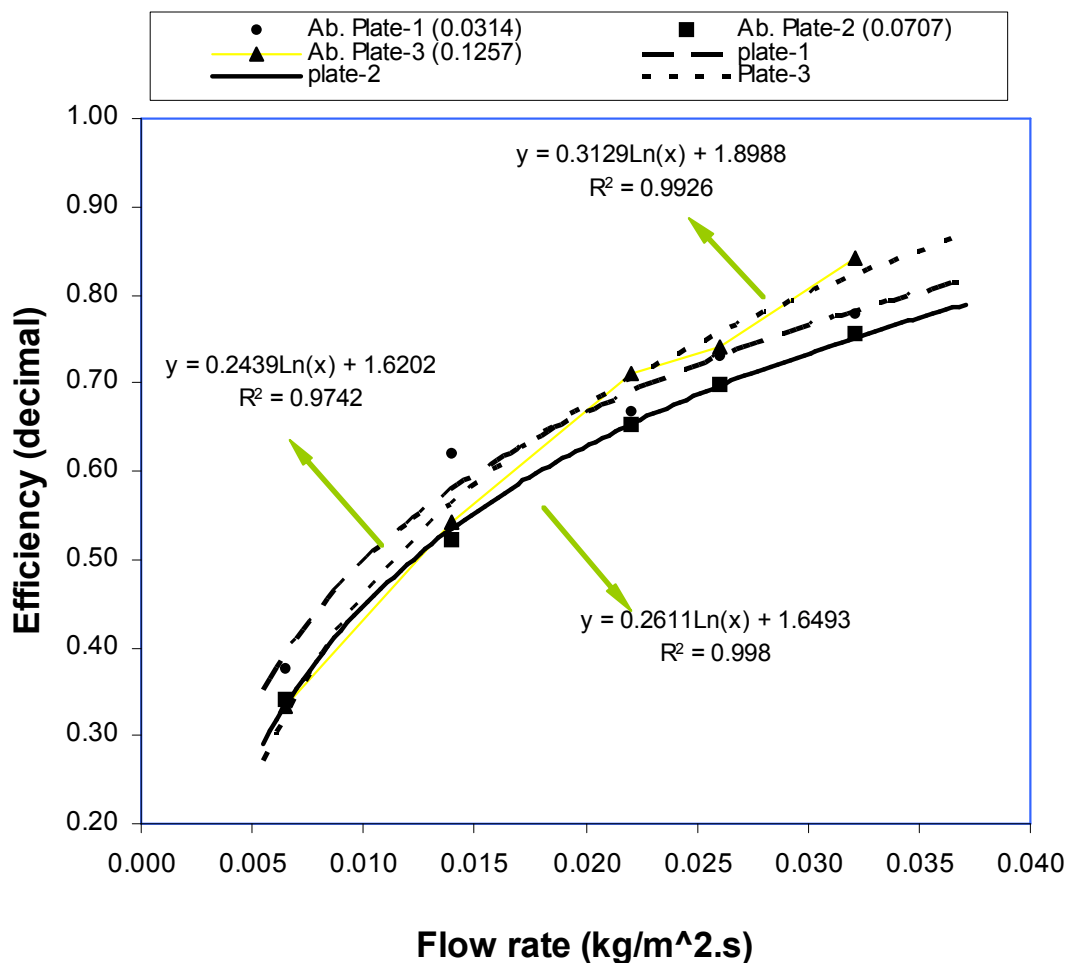
برای بدست آوردن بازده هر کلکتور در هر دبی آزمایشی از میانگین داده‌های سه تکرار مربوط به آن دبی استفاده شد. نمودار (۱) بازده کلکتورها با سه صفحه جاذب مختلف را در پنج دبی آزمایشی نشان می‌دهد. در این تحقیق صفحه جاذب اول با تخلخل ۰/۰۳۱۴ کمترین تخلخل، صفحه جاذب دوم با تخلخل ۰/۰۷۰۷ و صفحه جاذب سوم با تخلخل ۰/۱۲۵۷ بیشترین تخلخل را داشت. آنچه که از نمودار برای هر سه جاذب

مشخص است اینست که با افزایش دبی راندمان جمع‌کننده برای هر سه جاذب افزایش یافته است. از شیب نمودارها پیداست که افزایش راندمان در دبی‌های پائین از میزان بیشتری برخوردار بوده و با افزایش دبی به تدریج شیب منحنی کاهش می‌یابد. علت افزایش راندمان در دبی‌های بالا متأثر از انتقال گرمای بهتر از جاذب به سیال به علت تماس حجم بیشتری از هوا با جاذب و بالا رفتن ضریب انتقال حرارت جابجایی (h) که باعث کاهش دمای جاذب و اختلاف آن با دمای هوای محیط می‌گردد. کاهش دمای جاذب باعث کاهش تلفات حرارتی از طریق تابش و همرفت می‌گردد و همین امر عامل افزایش راندمان می‌باشد. با توجه به محدود بودن ظرفیت گرمایی هوا و اینکه در دماهای پائین، انتقال حرارت از جاذب به هوای خنک‌کننده کمتر می‌گردد، شیب منحنی‌ها در دبی‌های بالا کاهش یافته به طوریکه ممکن است توان لازم برای ایجاد دبی بالاتر، بیشتر از میزان گرمای اضافی بدست آمده گردد. در نتیجه برای تعیین بهترین دبی می‌بایست به راندمان بالا و توان مصرفی فن توجه داشت. از سویی با بالا رفتن راندمان در دبی‌های بالا، دمای هوای خروجی از جمع‌کننده نیز کاهش نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به نوع مصرف از هوای خروجی، در صورتیکه نیاز به دماهای بالا باشد (تامین هوای گرم برای خشک کن‌ها) می‌بایست از دبی‌های کمتر استفاده نمود.

محدوده راندمان کالکتورهای مجهز به جاذبه‌های متخلخل نسبت به جاذب‌های تخت (صاف) در تحقیقات متعددی گزارش شده است. آزمایشات انجام شده بر روی کالکتور حاضر حاکی از قابل توجه بودن بازده آنست. حداکثر

راندمان برای صفحه جاذب اول، دوم و سوم که در دبی حداکثر (۰/۰۳۲۱) بدست آمد، به ترتیب ۰/۷۷۸، ۰/۷۵۷ و ۰/۸۴۱ بود، نمودار ۱. حداکثر راندمان جاذب پارچه‌ای با پوشش شیشه‌ای شکاف‌دار که توسط جوکار (۱۳۸۰) با همین کلکتور و در دبی ماکزیمم آزمایش شد، برابر ۰/۶۲ تعیین گردید. در تحقیقات گذشته هم به ندرت راندمان بالای ۰/۸۰ گزارش شده است آنچه با مراجعه به نمودار مشخص می‌شود اینست که راندمان جاذب اول در همه دبی‌ها بالاتر از جاذب دوم که از تخلخل بیشتری برخوردار است می‌باشد. با دقت در نمودار (۲) که تغییرات دما برای سه سنسور نصب شده در خط طولی صفحات جاذب در دبی حداقل را نشان می‌دهد، در می‌یابیم که شیب خط برازش رسم شده برای جاذب اول کمتر از جاذب دوم است. همین امر در دبی‌های بالاتر نیز صادق است و این نشان از اختلاف دمای بالاتر در قسمتهای مختلف و ضعف انتقال حرارت جاذب دوم نسبت به جاذب اول دارد. این مطلب می‌تواند به اینصورت توجیه شود که در جاذب دوم با افزایش قطر سوراخها و ثابت ماندن گام آنها نسبت به صفحه جاذب اول، بیشتر جریان از قسمت پائین جاذب عبور کرده که این امر و نیز عبور هوا از سوراخهای بزرگتر که تماس سیال با دیواره سوراخ را کم می‌کند، موجب تماس کمتر هوا با جاذب و پائین بودن انتقال گرما می‌گردد. افزایش دمای قسمتهای بالایی صفحه جاذب موجب بالا رفتن تلفات گرمایی و در نتیجه کاهش راندمان می‌گردد.

نکته دیگر در نمودار (۱) بالاتر بودن راندمان جاذب اول در دبی‌های پائین و کمتر بودن آن در دبی‌های بالا نسبت به جاذب سوم است. بالاتر بودن راندمان در دبی‌های کم را می‌توان با نگاه مجدد به نمودار (۲) توضیح داد. شیب خط برازش مربوط به دماهای سنسورهای (حسگرهای) نصب شده روی جاذب سوم از هر دو جاذب دیگر بیشتر است و مطابق با آنچه توضیح داده شد، نشان از اختلاف دمای بالاتر و افت حرارتی بیشتر این صفحه دارد که موجب کاهش راندمان آن گردیده است. در واقع درجه تخلخل بالا (حدود چهار برابر تخلخل جاذب اول) و دبی کم باعث می‌شود تا بیشتر هوا از قسمتهای پائین جاذب عبور کند و دمای قسمتهای نزدیک به خروجی هوای گرم بالا رود. به عبارتی دیگر جاذب اول که کمترین تخلخل را داراست در دبی‌های کم بهترین انتقال گرما و کمترین تلفات حرارتی را داشته است و این در اثر عبور یکنواخت تر هوا از جاذب می‌باشد. اما با افزایش دبی، عبور هوا از جاذب یکنواخت تر گشته و عامل تخلخل تأثیرگذارتر بوده است. به عبارت دیگر بالا بودن راندمان صفحه جاذب سوم در دبی‌های بالا می‌تواند ناشی از تخلخل بالای این صفحه باشد. با توجه به اینکه انتقال گرمای قابل توجهی در دیواره سوراخها از جاذب به هوا صورت می‌گیرد، افزایش تعداد سوراخها (میزان تخلخل) در انتقال گرما به سیال کمک خواهد کرد.



نمودار ۱: تأثیر دبی جرمی هوای خنک‌کننده بر بازده حرارتی جمع‌کننده‌ها با صفحات جاذب مختلف

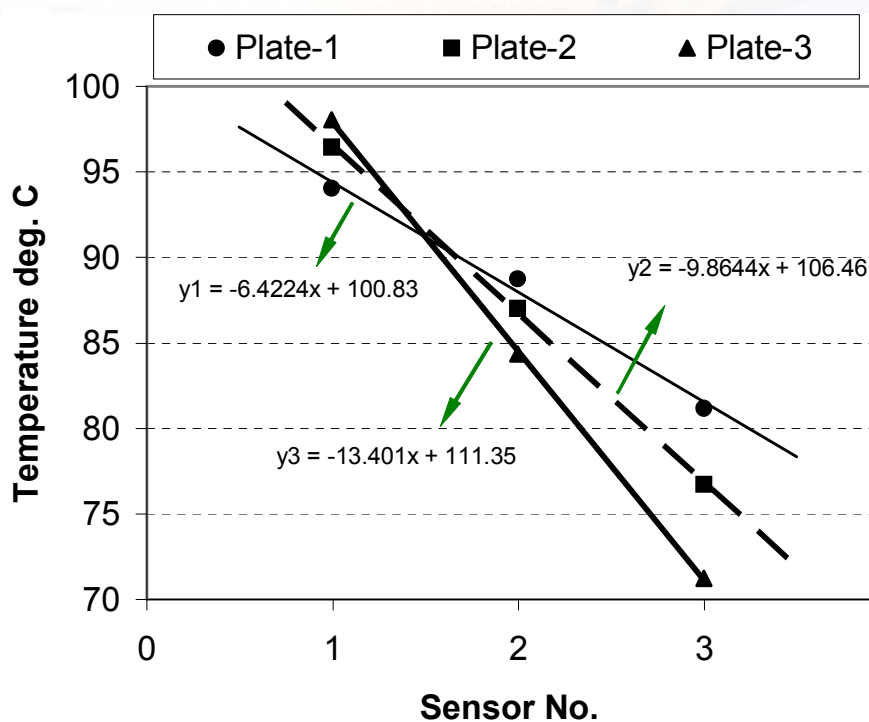
در حذف پوشش عنوان کرد. همانطور که قبلاً گفته شد تلفات حرارتی یکی از علل مؤثر در کم بودن راندمان کلکتورهای خورشیدی می‌باشد و عمده تلفات حرارتی کلکتورها از قسمت فوقانی می‌باشد و علت بکار بردن پوشش در کلکتورها، به حداقل رساندن تلفات حرارتی این ناحیه می‌باشد. بر همین اساس به نظر می‌رسد علت اصلی پائین بودن راندمان کلکتورهای بدون پوشش مربوط به بالا بودن تلفات حرارتی از قسمت فوقانی به علت نبودن پوشش می‌باشد. با بررسی داده‌های مربوط به دمای نقاط مختلف

در این تحقیق دو آزمایش با کلکتور بدون پوشش با جاذبهای دوم و سوم در دبی‌های مختلف انجام شد. نمودار ۳ راندمان این دو کلکتور را در مقایسه با راندمان کلکتورهای پوشش‌دار نشان می‌دهد. کاملاً واضح است که راندمان کلکتورهای بدون پوشش به طور قابل توجهی کمتر از راندمان کلکتورهای پوشش‌دار است. به طور متوسط در دبی‌های مختلف راندمان کلکتور بدون پوشش ۲۹ و ۲۶ درصد به ترتیب برای جاذب دوم و سوم نسبت به نوع پوشش‌دار کاهش داشته است. علت این کاهش را می‌توان

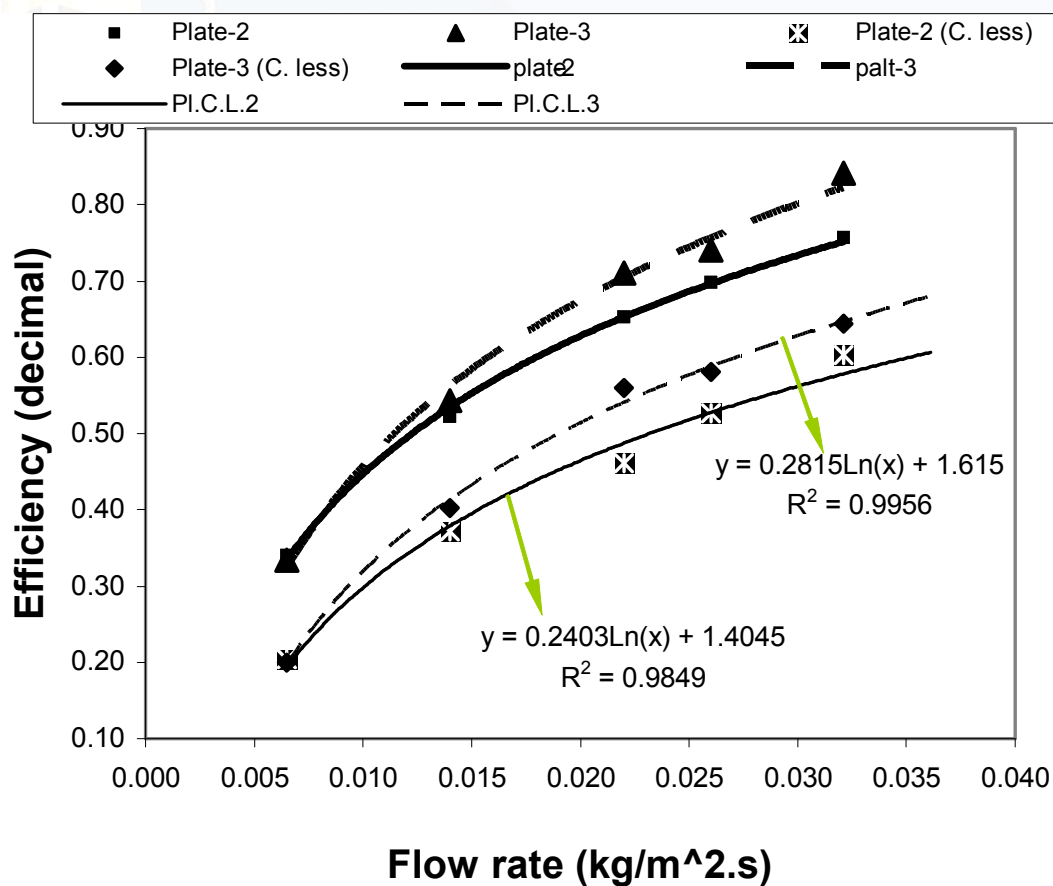
راندمان در دبی‌های بالا، بیشتر از دبی‌های پائین است و در بررسی خط برازش دماهای سه نقطه طولی صفحه جاذب مشخص شد که شیب این خط برای جاذب سوم دو برابر آن برای جاذب دوم است که این نشان‌دهنده اختلاف دمای بیشتر در قسمتهای مختلف جاذب سوم و در دبی حداقل و اتلاف حرارتی بیشتر آن می‌باشد. به عبارتی دیگر می‌توان گفت که در جاذبهای بادرجه تخلخل بالا و در دبی‌های کم جریان هوا بطور یکنواخت صورت نمی‌گیرد.

صفحه جاذب نیز مشاهده شد که پراکندگی داده‌ها نسبت به میانگین آن نقطه بیشتر از پراکندگی داده‌های مربوط به نوع پوشش دار بوده است. این امر می‌تواند ناشی از تأثیر سرعت و جهت وزش باد از روی جاذب باشد.

نکته دیگری که از این نمودار مشخص است اینست که راندمان کلکتور بدون پوشش با صفحه جاذب سوم که از درجه تخلخل بیشتری برخوردار است از کلکتور بدون پوشش با جاذب دوم بیشتر است که مطابق نتایج مربوط به کلکتورهای پوشش دار است. همانطور که گفته شد علت این امر تخلخل بیشتر و در نتیجه تماس بیشتر هوا با جاذب، بخصوص از ناحیه دیواره‌های سوراخها می‌باشد. این اختلاف



نمودار ۲: تغییرات دمای حسگرهای نصب شده روی خط طولی جاذب در دبی حداقل (۰.۰۶۵ کیلوگرم بر متر مربع ثانیه). ۱- حسگر نصب شده روی جاذب در نزدیکی خروجی هوا ۲- حسگر نصب شده در وسط جاذب ۳- حسگر نصب شده روی جاذب در نزدیکی ورودی هوا.



نمودار ۳: تأثیر دبی جرمی هوای خنک‌کننده روی بازده حرارتی جمع‌کننده‌های بدون پوشش (PI.C.L) در مقایسه با جمع‌کننده‌های پوشش‌دار.

منابع

۱. آزاد، ح.ج.، قائم مقامی، ح. پناهنده و ف. گنولا. ۱۳۶۶. انرژی خورشیدی (جلد اول-مبانی). مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران. ۳۹۲ صفحه
۲. پناهنده، ح. و ا. گویری. ۱۳۶۴. مهندسی گرما خورشیدی. مرکز نشر دانشگاهی. ۴۰۲ صفحه
۳. جوکار، ص. ۱۳۸۰. طراحی، ساخت و مقایسه دو جمع کننده خورشیدی هوایی با پوشش های پله ای و تخت و جاذب متخلخل. پایان نامه کارشناسی ارشد، بخش مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
۴. رضوی خسروشاهی، ع. ۱۳۸۲. بررسی عددی انتقال حرارت در صفحات سوراخدار همراه با مکش در جریان موازی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک دانشگاه شیراز
5. Anderson E. E. 1983. Fundamentals of Solar Energy Conversion. Addison-Wesley, New York. 650p.
6. Bansel, N. K., A. Bottcher and R. Uhleman 1983. Performance of plastic solar air heating collector with a porous absorber. Energy Research 7:375-384.
7. Beckman, W. A., S. A. Klein and J. A. Duffie. 1977. Solar Heating Design. John Wiley, New York. 200p.
8. Biomdi, P., L. Cicala and G. Farina. 1988. Performance analysis of solar air heater of conventional design. Solar Energy 3:55-64
9. Chiou, J. P., J. A. Duffie and M. M. El-Wakil. 1965. A slit and expanded aluminum foil matrix solar collector. Solar Energy 9:73-90
10. Choudhury, C. and H. P. Gary. 1993. Performance of air-heating collectors with packed airflow passage. Solar Energy 50(3):205-221
11. De Winter, J.E. 1990. Solar Collector, Energy storage and materials. MIT. Press.
12. Duffie, J.A. and W.A. Beckman. 1991 Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons, New York. 918p
13. Goswami, D. Y., F. Kreith and J.F. Kreider. 2000. Principle of Solar Engineering. George H. Buchanan Co., Philadelphia, P. A. 694p.
14. Grupp, M., H. Bergler, J. P. Bertrand, B. Kromer and J. Cieslok. 1995. Convective flat plate collectors and their applications. Solar Energy 55(3):195-207
15. Hamid, Y.H. and W.A. Beckman. 1971. Performance of air-cooled radiatively heated screen matrices, J. of Engineering for power 93: 221-224.
16. Ishibashi, T. and K. Horibe. 1986. Studies on the selective absorption surface on stainless steel. R&D Division of Yazaki Buhin Co., LTD. 390, Umeda Kosai city, Shizuoka Pref. Japan.
17. ISO 5167. 1980. Measurement of fluid flow by means of orifice plates, nozzles and venture tubes inserted in circular cross-section conduits running full. International Organization for Standardization, Switzerland.
18. Reddy, T.A. and C. L. Gupta. 1980. Generation application design data for solar air heating system. Solar Energy, 25:527-530.
19. Zomorodian, A. A., J. L. Woods and M. H. Raoufat. 2001. Performance characteristics of a transpired solar air heater. Iran Agricultural Research, 20:139-154.

20. Zomorodian, A. A. and J.L. Woods. 2003. Modeling and testing a new once-through air solar energy collector. J.Agric. Sci.Technol, 5:11-19.



A single glazed solar air heater with metallic transpired absorber for solar dryers

ABSTRACT

Heat losses of all kinds of flat-plate solar air heater occurs mostly through the top of the collector principally by radiation and convection to the exterior surroundings. In order to reduce these losses, an air solar collector with a single glass sheet cover and metallic circular hole (transpired) absorber was designed and tested experimentally. The fresh inlet air is introduced through the top of the transpired absorber that is heated up in depth by the solar radiation. This infiltrating process causes a relatively high convective heat transfer coefficient between air and absorber plate and reduces the absorber surface temperature which in turn results in declining convection and radiation heat losses between absorber and cover. The vertically downward flow of air through the absorber holes also reduces convective heat loss from absorber to cover.

Three aluminum porous absorber plates (70x106 cm.) were made and painted black matt with three different porosities. The outdoor experiments on the collector were conducted with a single glazed and unglazed conditions. The porosity of absorber plates were altered in two different ways; changing the hole diameter or changing the pitch of the holes. Each experiment was run in three replications. Five levels of air mass flow rates (0.0065 to 0.0321 kg/s.m²) were adapted. Collected data were: temperature of different parts of absorber plate as well as cooling air in different parts just leaving the absorber and at the exit of the collector. Air mass flow rate, solar irradiance and pressure drop across the collector were also measured.

Referring to the results, it can be shown that the rate of mass flow of cooling air, the amount of porosity and inserting glass sheet cover on the top of the absorber were effective on thermal efficiency of the collector. Increasing the air mass flow rate caused an increase in thermal efficiency but at higher air flow with a diminishing rate. The collector with maximum absorber porosity showed thermal efficiency as high as 0.841 at 0.0321 kg/s.m² mass flow rate, whereas the collector with minimum porosity revealed higher efficiency among the others at very low air mass flow rate. It can also be illustrated that increasing porosity with decreasing the pitch between the holes on the absorber plate is much more effective than increasing the hole area.

Comparing the performance of the collectors with and without the glasscover proved that the unglazed collector efficiency was about 27% less than the glazed one at the same overall conditions. This reduction can be attributed to higher top radiative and convective heat losses for the unglazed collector.

Key words: Solar air heater porous absorber drying