



بررسی اثر تخلخل صفحه جاذب مشبک بر کارایی کلکتور خورشیدی هوایی با پوشش شیشه‌ای پله‌ای

فاطمه قنبری<sup>۱</sup>، ماندانا محفلی<sup>۲</sup>، علی زمردیان<sup>۳</sup>

۱- دانشجویان کارشناسی ارشد بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی

۲- استاد بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی

## چکیده

یکی از روش‌های استفاده از انرژی خورشیدی بکارگیری کلکتورهای خورشیدی است که می‌توان آن‌ها را به عنوان یک نمونه ویژه از میدل گرما برای تبدیل انرژی تابشی خورشید به گرما در نظر گرفت. در این پژوهش کلکتور مورد نظر از نوع تخت بوده و با صفحات جاذب آلومینیومی متخلخل (با ضریب تخلخل ثابت ۰/۰۱۷۷، ۰/۰۳۱۴ و ۰/۱۲۵۶ و ضخامت ۲/۵ mm) و پوشش شیشه‌ای پله‌ای با همپوشانی صد در صد، در معرض مستقیم تابش خورشید مورد بررسی قرار گرفت. اثر تخلخل صفحه جاذب کلکتور بر کارایی حرارتی آن در محدوده دبی جرمی هوا (۰/۰۰۵۶ تا ۰/۰۳۸۵  $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) در شش سطح دبی هوای ورودی مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. آزمایشات در سه تکرار در فواصل زمانی ۱۱ تا ۱۴، با متوسط شید خورشید  $1155 \text{ W/m}^2$  انجام گرفت. نتایج حاصله از آزمایشات حاکی از صحت نظریه مورد بررسی است که با افزایش تخلخل صفحه جاذب، راندمان حرارتی کلکتور افزایش می‌یابد. اما در دبی کمینه مشاهده شده که صفحه جاذب با تخلخل کمتر دارای راندمان بیشتر است. در این تحقیق در دبی کمینه راندمان صفحات جاذب با تخلخل ۰/۰۱۷۷، ۰/۰۳۱۴ و ۰/۱۲۵۶ به ترتیب ۰/۳۲، ۰/۳۰ و ۰/۲۸ و در دبی بیشینه به ترتیب ۰/۸۳، ۰/۸۷ و ۰/۸۹ بدست آمد. از این گرم کننده هوا می‌توان در پروژه‌های خشک کردن محصولات کشاورزی، گرم کردن خانه‌های روستایی و شهری، فضای گلخانه‌ها و دامداری‌ها استفاده کرد.

**واژه‌های کلیدی:** پوشش پله‌ای، جاذب فلزی متخلخل، کلکتور خورشیدی هوایی تخت

## مقدمه

در چندین دهه اخیر سوخت‌های فسیلی مهمترین منبع انرژی بوده است و بدلیل ارزانی و سهولت در کاربرد، به طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ولی متأسفانه به دلیل مصرف بی‌رویه آن، ضایعات جبران ناپذیری از قبیل آلودگی هوا، دگرگونی شرایط جوی کره زمین و گرم شدن تدریجی آن، ذوب شدن یخ‌های قطبی و تخریب محیط زیست گریبان‌گیر بشر شده‌است. استفاده از انرژی حاصل از سوخت‌های هسته‌ای در نیم قرن اخیر مایه بس امیدواری بود، اما به دلیل عدم قطعیت در مورد ایمنی، مسائل سیاسی و همچنین مشکل دفع پسماندهای هسته‌ای بحث برانگیز شده است (بهادری نژاد، ۱۳۵۳). چنانچه پیداست بشر باید از طرق دیگر



برای بدست آوردن انرژی اقدام نماید(صدر نژاد، ۱۳۸۰). با توجه به این که انرژی خورشیدی در همه جای دنیا گسترش دارد و استفاده از این منبع انرژی هیچ گونه آلودگی شیمیایی را به دنبال نخواهد داشت(زیرا هنگام استفاده از انرژی خورشیدی گرما یا انرژی اضافه‌ای به محیط اعمال نمی‌شود و فقط انرژی تابشی خورشید به مکان مورد نظر انتقال می‌یابد) می‌توان گفت مناسب ترین جانشین برای سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای به شمار می‌آید.

امروزه انرژی خورشید طیف وسیعی از کاربردها را مانند تهیه آبگرم برای مصارف شهری و روستایی، تهیه مطبوع ساختمان‌ها، و مخصوصاً خشک کردن محصولات کشاورزی، تولید برق نیروگاه‌ها با جمع‌کننده خورشیدی و... دارا می‌باشد. یکی از روش‌ها برای استفاده از انرژی خورشیدی، کاربرد انواع جمع‌کننده‌های خورشیدی می‌باشد. جمع‌کننده‌های تخت بر اساس نوع سیال انتقال دهنده گرما به دو زیر گروه، جمع‌کننده‌های هوایی و جمع‌کننده‌های آبی تقسیم‌بندی می‌شوند(DeWinter, 1990).

مزایای کاربرد هوا به عنوان سیال انتقال دهنده گرما عبارت است از: نشت جریان هوا در این جمع‌کننده‌ها در حد قابل قبول و کم است و تغییر فاز هوا در درجه‌حرارت‌های معمول اتفاق نمی‌افتد، همچنین خوردگی<sup>۱</sup> مسیرهای انتقال سیال در این نوع جمع‌کننده‌ها مشکل آفرین نیست، در حالی که 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<sup>۲</sup> هوا و کم بودن ضریب انتقال حرارت بین جاذب و هوا، از جمله محدودیت‌های کاربرد هوا بعنوان سیال انتقال دهنده گرما در جمع‌کننده‌های هوایی می‌باشد. (Mohamad, 1997). دو نوع عمده جاذب‌های بکار رفته در جمع‌کننده‌های هوایی خورشیدی، جاذب‌های تخت و متخلخل می‌باشد. از معایب اصلی جاذب‌های غیر متخلخل می‌توان به عدم انتقال حرارت کامل بین جاذب و سیال که منجر به پایین آمدن راندمان حرارتی کلکتور می‌گردد، اشاره کرد. در حقیقت در این جمع‌کننده‌ها لایه‌های زیرین هوا که از روی صفحه جاذب عبور می‌کنند در طول مسیر با هوا در تماس بوده و با بالا رفتن دمای آن در مسیر، انتقال گرما از صفحه جاذب به سیال کاهش می‌یابد. در نتیجه دمای صفحه جاذب بالا رفته و انتقال حرارت به پوشش شیشه‌ای از طریق همرفت و تابش افزایش می‌یابد که این امر موجب تلفات حرارتی بیشتر و در نتیجه کاهش راندمان حرارتی می‌گردد. این نوع صفحات جاذب برای استفاده در جمع‌کننده‌های با جریان طبیعی مناسب است، زیرا افت فشار کمی ایجاد می‌کند و مانع حرکت سیال نمی‌گردد.

در انواع متخلخل هوای عبوری از جمع‌کننده از میان خلل و فرج صفحه جاذب عبور کرده و همین امر باعث افزایش انتقال حرارت بین جاذب و سیال می‌گردد. همچنین به خاطر تماس هوای خنک بر روی صفحه جاذب و عبور هوا تحت عامل مکش از خلل و فرج جاذب، سطح جاذب عموماً خنک بوده که این مهم باعث کاهش ضایعات حرارتی به طریقه جابجایی و تابشی می‌گردد (Fechner & Bucek, 1998). مزیت دیگر 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(Duffie and Beckman, 1991).

<sup>۱</sup> Corrosion

<sup>۲</sup> Low volumetric heat capacity



صفحات جاذب متخلخلی که تاکنون در تحقیقات متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است عبارتند از: جاذب‌های ساخته شده از ورقه‌های آلومینیومی بریده شده (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)، و پارچه ضخیم کتانی سیاه (Zomorodian *et al.*, 2001). همچنین ورقه‌های فلزی سوراخدار و شیاردار می‌باشد (Bansal *et al.*, 1983).

در مطالعاتی که توسط ویلیبر بر روی جمع‌کننده‌های هوایی از نوع معمولی انجام گرفت مشخص شد که استفاده از یک لایه پوشش شفاف برای افزایش راندمان جمع‌کننده از لحاظ اقتصادی ضروری است، مگر اینکه ضریب انتقال حرارت بین صفحه جاذب و هوای عبوری از  $\frac{87u}{h_r \cdot f \cdot t^2 \cdot \sigma}$  تجاوز کند. (Whillier, 1964).

زمردیان و همکاران در پژوهشی یک کلکتور با جاذب متخلخل از جنس پارچه ضخیم کتانی سیاه را مورد استفاده قرار دادند. پوشش شیشه‌ای این کلکتور بصورت 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 کلکتور داشت که علت آن بالا بودن انتقال حرارت از جاذب متخلخل به هوا و کاهش تلفات حرارتی از قسمت فوقانی با بکار بردن پوشش شکافدار ذکر گردید (Zomorodian *et al.*, 2001).

ستوده در تحقیقی به بررسی جهت وزش باد بر عملکرد یک کلکتور بدون پوشش با منافذ شکاف مانند پرداخت. در این تحقیق مشخص شد که بیشترین کارایی حرارتی کلکتور 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 راندمان کلکتور را شامل می‌شود (ستوده، ۱۳۸۱).

رضوی خسروشاهی به بررسی عددی انتقال حرارت در صفحات مشبک همراه با مکش در جریان موازی پرداخت. وی بیان کرد که عملکرد حرارتی این صفحات وابسته به شش پارامتر بدون بعد است که یکی از آنها  $x = \frac{E}{D}$  می‌باشد که نشان دهنده نسبت ضخامت صفحه به قطر سوراخ‌ها است. افزایش این پارامتر نشان دهنده افزایش سطح انتقال حرارت درون سوراخ می‌باشد و باعث انتقال حرارت بیشتر درون صفحه شده و کارایی حرارتی صفحه را افزایش می‌دهد (رضوی خسروشاهی، ۱۳۸۲).

زمردیان و براتی برای بالا بردن ضریب انتقال حرارت 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 حرارتی از قسمت فوقانی یک لایه پوشش مورد استفاده قرار دادند نتایج حاصله از این تحقیق دو تخلخل بهتر برای صفحات جاذب را مشخص کرده است. (Zomorodian & Barati, 2010)



در تحقیق حاضر برای بالا بردن ضریب انتقال حرارت بین جاذب و هوا از صفحات جاذب آلومینیومی متخلخل (با تخلخل‌های ثابت ۰/۰۱۷۷، ۰/۰۳۱۴ و ۰/۱۲۵۶) از نوع صفحه سوراخدار با ضخامت ۲/۵ mm استفاده گردید. همچنین در این جمع‌کننده، پوشش شیشه‌ای از نوع پله‌ای<sup>۱</sup> برای کاهش تلفات حرارتی از قسمت فوقانی استفاده شد. از جمله اهداف مهم در این تحقیق علاوه بر تاثیر تخلخل صفحه جاذب بر بازده حرارتی جمع‌کننده خورشیدی، بررسی دبی هوای خنک‌کننده بر بازده حرارتی جمع‌کننده می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

اهداف تعریف شده در این پژوهش طراحی، ساخت و ارزیابی یک کلکتور خورشیدی با جاذب متخلخل و پوشش شیشه‌ای پله‌ای بود که جریان هوا در آن به صورت اجباری و توسط یک مکنده برقرار می‌گردد. این کلکتور در بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز ساخته شد و در خرداد تاسفیر ۱۳۹۱ مورد ارزیابی قرار گرفت. قسمت‌های اصلی جمع‌کننده خورشیدی شامل کانال‌های رابط ورودی و خروجی، صفحه جاذب متخلخل، سیستم تامین هوا، بدنه جمع‌کننده و همچنین تجهیزات اندازه‌گیری دما و دبی هوا می‌باشد.

جهت ساخت دستگاه ابتدا چارچوب نگهدارنده صفحه جاذب به عنوان بدنه اصلی جمع‌کننده و کانال‌های ورود و خروج هوا، از جنس الوار چوبی با ضخامت یک سانتیمتر، ساخته شدند و سپس صفحه جاذب نصب گردید. پوشش شیشه‌ای درون چارچوب ساخته شده قرار گرفت و قسمت‌های مختلف دستگاه درزبندی شد و سطوح تحتانی و جانبی آن کاملاً عایق‌بندی گردید.

کانال خروجی: کانال خروجی دستگاه برای توزیع یکنواخت هوا به شکل مخروط ناقص با مقطع مستطیلی از جنس تخته سه لایی ساخته شد. مقطع کوچک کانال مستطیلی به عرض ۱۲ و ارتفاع ۸ سانتیمتر و مقطع بزرگ آن‌ها مستطیلی به عرض ۷۰ cm و ارتفاع ۱۵ cm و طول کانال ۳۸/۵ cm بود و برای به حداقل رساندن تلفات حرارتی سطح آن به طور مؤثر بوسیله پشم شیشه پوشانده شد.

صفحه جاذب: در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر تخلخل صفحه جاذب بر راندمان حرارتی از سه صفحه جاذب متخلخل آلومینیومی به ابعاد ۷۵ cm × ۱۱۰ با تخلخل  $P_1 = 0/0177$ ،  $P_2 = 0/0314$  و  $P_3 = 0/1256$  با ضخامت ۲/۵ mm استفاده گردید. الگوی سوراخکاری آن‌ها بدین شکل است که در جاذب اول قطر سوراخ‌ها ۲ mm و به فاصله  $(P_1 = 0/0177)$  cm، در جاذب دوم سوراخ‌ها به قطر ۳ mm و به فاصله  $(P_2 = 0/0314)$  cm و در جاذب آخر سوراخ‌ها به قطر ۲ mm و به فاصله  $(P_3 = 0/1256)$  cm از یکدیگر قرار گرفته‌اند. آرایش سوراخ‌ها در هر دو جاذب از نوع مربعی بود. میزان تخلخل صفحات از رابطه (۱) بدست می‌آید (Arulandam 1995).

<sup>1</sup> Slatted glass cover (Double glazing)



$$\sigma = \frac{A_{hole}}{A_{plate}} = \frac{\pi D^2}{4P^2}$$

رابطه (۱)

$\sigma$  : تخلخل صفحه جاذب

$A_{hole}$  : سطح احاطه شده هر سوراخ ( $cm^2$ )

$A_{plate}$  : سطح کل صفحه جاذب ( $cm^2$ )

D : قطر سوراخ (cm)

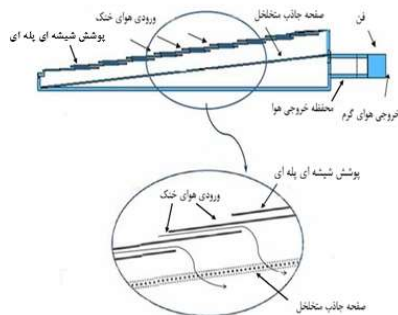
P : گام تکرار سوراخ‌ها است (cm)

صفحات با رنگ سیاه مات رنگ زده شدند (شکل ۱).



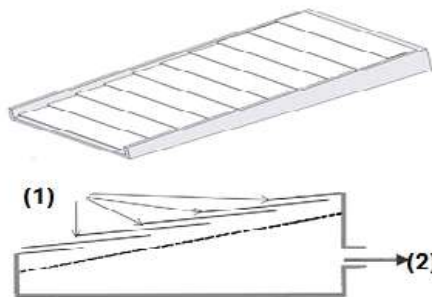
شکل ۱. صفحات جاذب قبل و بعد از رنگ کردن

نصب صفحه جاذب: برای نصب صفحه جاذب برای تأمین سرعت یکنواخت هوا در طول صفحه جاذب متخلخل که هوا از سطح فوقانی وارد آن می‌شود، مساحت مقطع جریان بین صفحه جاذب و پوشش شیشه‌ای در جهت جریان هوای ورودی ثابت می‌باشد (شکل ۲). صفحه جاذب بصورت مایل با چند پیچ به بدنه متصل شد. برای درزبندی لبه های صفحه جاذب با بدنه دستگاه از چسب نوار مخصوص استفاده شد. (شکل ۲).



شکل ۲. نمایی جانبی از بدنه جمع کننده خورشیدی هوایی

پوشش شیشه‌ای: در این تحقیق از پوشش شیشه‌ای پله‌ای استفاده شده است. می‌توان گفت چون هوا از فواصل بین شیشه‌ها وارد جمع کننده می‌گردد، می‌تواند تکه‌های شیشه را بهتر خنک کند و همچنین چون در طول جاذب هوایی با دمای یکنواخت تر با جاذب برخورد می‌کند بهتر می‌تواند جاذب را خنک کند و راندمان حرارتی بیشتری حاصل می‌شود. . برای نصب پوشش شیشه‌ای یک قاب چوبی به شکل مستطیل به ابعاد داخلی  $۷۰ \times ۱۰۵$  cm، ارتفاع دیواره جلو  $۲$  cm و ارتفاع دیواره عقب  $۹$  cm ساخته شد. الوار مصرفی به ضخامت  $۲$  cm مورد استفاده قرار گرفت. شیشه مصرفی، شیشه معمولی به ضخامت  $۴$  mm و به اندازه‌هایی برابر  $۲۰ \times ۷۰$  cm در نظر گرفته شد، شیشه‌ها روی نوارهای کوچک حاشیه قاب چوبی با استفاده از چسب مخصوص نصب گردیدند و همچنین اطراف آن‌ها برای جلوگیری از نشت هوا توسط چسب درزبندی شد. فاصله عمودی تکه‌های شیشه (شکاف‌های عبور هوا)<sup>۱</sup>  $۴$  میلیمتر در نظر گرفته شد (Zomorodian et al., 2001) (شکل ۳).

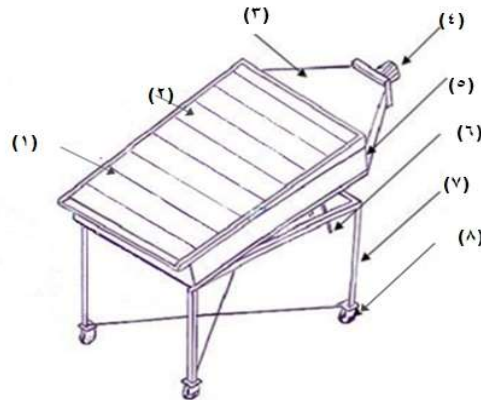


شکل ۳. پوشش شیشه‌ای پله‌ای با همپوشانی صد درصد (دولایه) در حالت نصب. (۱) هوای ورودی (۲) خروج هوای گرم

<sup>1</sup>Slot



شاسی جمع‌کننده: شاسی دستگاه وظیفه نگهداری و تحمل وزن دستگاه و ایجاد امکاناتی جهت تغییر زاویه دستگاه نسبت به افق دارد. شاسی شامل قاب بدنه کلکتور برای نگهداری بدنه و کانال خروجی و یک چهارپایه با طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۱۰۵، ۷۰، ۶۵ سانتیمتر می‌باشد که از نبشی فلزی ساخته شد. شکل ۴ نمای کلی جمع‌کننده را نشان می‌دهد.



شکل ۴. نمای کلی جمع‌کننده خورشیدی. (۱) ورودی هوای خنک (۲) پوشش شیشه‌ای (۳) محفظه خروجی هوا (۴)

خروجی هوای گرم (۵) بدنه (۶) مکانیزم تغییر زاویه (۷) پایه (۸) چرخ حامل

برای اندازه‌گیری دمای قسمت‌های مختلف صفحه جاذب، هوای ورودی، هوای گذشته از صفحه جاذب و هوای خروجی کلکتور از ۵ عدد سنسور حرارتی هوشمند از نوع PT100 استفاده گردید. دو سنسور برای ثبت دمای هوای بالای صفحه جاذب، در فاصله عمودی بین صفحه جاذب و پوشش شیشه‌ای، به فاصله طولی ۲۵ و ۸۵ سانتیمتری از ابتدای جاذب در طول آن قرار داده شد. برای معلق داشتن این سنسورها، سوراخی در بدنه کلکتور ایجاد و توسط مفتول سنسورها در ارتفاع موردنظر تنظیم گردید. برای اندازه‌گیری دمای هوای عبور کرده از صفحه جاذب دو سنسور در زیر صفحه جاذب، در حد فاصل بین کف بدنه کلکتور و صفحه جاذب به فاصله ۲ سانتی متر پایین تر از صفحه جاذب و در همان فاصله طولی دو سنسور قبل نصب شد. برای ثابت نگه داشتن این سنسورها در فضای زیر جاذب، برای هر سنسور با توجه به موقعیت آن یک پایه در کف بدنه نصب و سنسور مربوطه با دقت زیاد در ارتفاع مورد نظر روی پایه ثابت گردید. آخرین سنسور نیز برای اندازه‌گیری دمای صفحه جاذب توسط خمیر سیلیکون روی بدنه و در مرکز صفحه جاذب قرار گرفت.

دمای هوای ورودی به کلکتور که در واقع همان دمای هوای محیط بود، توسط دماسنج جیوه‌ای، در مرکز کانال ورودی هوا اندازه‌گیری شد. در مرکز کانال خروجی هوا نیز، دماسنجی از این نوع، جهت اندازه‌گیری دمای هوای خروجی از کلکتور، تعبیه



گردید. برای جلوگیری از تابش مستقیم انرژی خورشید و انعکاس حرارت به سنسورها، بر روی هر سنسور در روی جاذب یک کلاهک قیفی از ورق آلومینیومی به عنوان پوشش قرار گرفت تا از تأثیر تابش نور محافظت شوند. از آنجا که احتمال لایه‌ای بودن جریان هوای خروجی از جمع‌کننده با دماهای متفاوت وجود داشت، برای متلاطم کردن و مخلوط کردن لایه‌های هوا از یک صفحه مشبک فلزی قبل از دماسنج در مقطع خروجی جریان هوا استفاده گردید.

اندازه‌گیری دبی جرمی جریان هوا: یکی از کمیت‌های مهم که اندازه‌گیری آن جهت محاسبه بازده حرارتی جمع‌کننده‌های خورشیدی لازم است، دبی جرمی هوا می‌باشد. برای اندازه‌گیری این کمیت از دبی سنج testo مدل 625 با دقت ۰/۰۱ متر بر ثانیه استفاده شد. پروب این دبی سنج در محل خروجی کلکتور قرار گرفته و سرعت هوای خروجی را اندازه‌گیری می‌کند.



شکل (۳-۱۴). دبی سنج مدل testo625

برای تنظیم هر دبی، ابتدا، با استفاده از ترانس مبدل<sup>۱</sup> دور موتور را تغییر داده، بدین طریق که با تغییر فرکانس ترانس مبدل از طریق پیچ تغییر فرکانس بر روی دستگاه ( ترانس مبدل از طریق کابل به موتور فن متصل شده است ) دور موتور، مکش فن و سرعت هوای مکیده شده توسط فن تغییر کرده و در نتیجه سرعت‌های مختلف یا به عبارت دیگر محدوده دبی هوا (۰/۰۱۱۸، ۰/۰۱۸، ۰/۰۲۳۵، ۰/۰۲۹، ۰/۰۳۸۵ و  $0.438 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) فراهم شد.

برای مکش هوای ورودی در این جمع‌کننده، مکنده گریز از مرکز Parma با دور ۱۴۰۰، ساخت ایتالیا با سرعت ثابت مورد استفاده قرار گرفت.

اندازه‌گیری تابش خورشید: جهت محاسبه بازده حرارتی جمع‌کننده‌های تخت خورشیدی، یکی دیگر از کمیت‌های مهم، میزان تابش خورشید در واحد سطح جمع‌کننده می‌باشد. شیدسنج متداول‌ترین وسیله جهت اندازه‌گیری انرژی تابشی خورشیدی در سطح

<sup>۱</sup> Invertor





زمین می‌باشد. به این منظور داده‌هایی که توسط شیدسنج ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی، جمع‌آوری شد، مورد استفاده قرار گرفت.

انجام آزمایش: بعد از آماده‌سازی کلکتور و نصب تجهیزات مورد نیاز جهت داده‌برداری، از جمله سیستم اندازه‌گیری دبی جریان، فن مورد نظر برای مکش هوا و سیستم جمع‌آوری دما، آزمایشات شروع شد. محل آزمایش محوطه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در ۱۵ کیلومتری شیراز بود.

زاویه قرارگیری کلکتور و شیدسنج طبق فرمول زیر 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).

$$\alpha = 15 + \text{عرض جغرافیایی محل} = \alpha$$

$\alpha$ : زاویه قرارگیری کلکتور و شیدسنج

آزمایشات در شش دبی مختلف (۰/۰۰۵۶، ۰/۰۱۱۸، ۰/۰۱۸، ۰/۰۲۳۵، ۰/۰۲۹، ۰/۰۳۸۵، ۰/۰۳۸۵) با هر کدام از جاذب‌ها انجام گرفت. برای تنظیم هر دبی با استفاده از ترانس مبدل دور موتور را تغییر داده، در نتیجه دور فن تغییر کرده و دبی‌های مختلف فراهم شد.

آزمایش هر روز با یک دبی مشخص در سه تکرار از ساعت ۱۱ تا ۱۴ صورت می‌گرفت (با فرض بر اینکه تابش خورشید و شرایط حرارتی محیط آزمایش یک ساعت قبل و بعد از ظهر شرعی دستخوش تغییرات محسوسی نمی‌گردد). فن دستگاه از ساعت ۱۰:۳۰ برای رسیدن به حالت پایدار روشن شده و هر آزمایش با توجه به ثابت زمانی کلکتور به مدت ۳۰ دقیقه انجام می‌شد.

### نتایج و بحث:

پس از انجام آزمایشات، داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای بدست آوردن راندمان کلکتور رابطه ۲ بکار گرفته شد. در هر دبی آزمایشی از میانگین داده‌های سه تکرار مربوط به آن دبی استفاده شد (Biondi et al., 1988).

$$\eta = \dot{m} c_p \frac{(T_0 - T_f)}{G_T} \quad \text{رابطه (۲)}$$

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

$c_p$ : ظرفیت گرمایی ویژه هوا ( $\text{J}/\text{kg.}^\circ\text{C}$ )

$G_T$ : میزان شار تابشی بر روی صفحه جمع‌کننده ( $\text{W}/\text{m}^2$ )



$T_0$ : درجه حرارت هوای خروجی از جمع کننده ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_1$ : درجه حرارت هوای ورودی به جمع کننده ( $^{\circ}\text{C}$ )

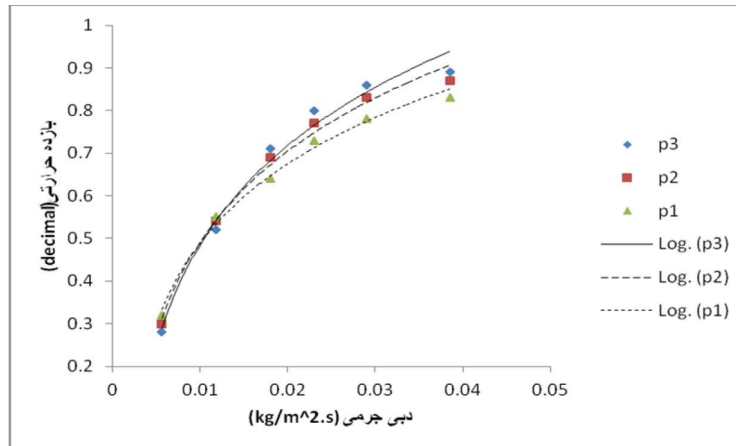
در آزمایش‌های مربوط به راندمان، اثر شش سطح دبی هوای ورودی و سه سطح تخلخل اندازه‌گیری شد. برای بررسی معنی‌دار بودن هر یک از فاکتورهای بالا داده‌های بدست آمده در طرح فاکتوریل در قالب طرح‌های کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار SPSS (version 16) تحلیل شد. جدول (۱) نتایج حاصل را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که فاکتورهای دبی هوای ورودی و تخلخل اثر بسیار معنی‌داری بر راندمان دارند. نیز اثر متقابل دبی هوای ورودی و تخلخل معنی دار شد

#### جدول ۱. تجزیه واریانس فاکتورهای آزمایش بر راندمان حرارتی کلکتور

متغیرها	درجه آزادی	جمع مربعات	F مقدار
دبی هوای ورودی (F)	۵	۴/۲۷۴	۱۱/۰۶۱**
تخلخل (P)	۲	۰/۰۲۵	۷۶۱/۶۲**
F × P	۱۰	۰/۰۴۵	۴/۰۰۶**
خطا	۹۸	۰/۰۰۱	

\*\* سطح معنی‌داری ۱٪

آنچه از نمودار شکل ۵ بدست آمده بیانگر این است که با افزایش دبی راندمان جمع کننده برای هر دو جاذب افزایش یافته است. از شیب نمودارها پیداست که افزایش راندمان در دبی‌های پایین از میزان بیشتری برخوردار بوده و با افزایش دبی به تدریج شیب منحنی‌ها کاهش می‌یابد.



شکل ۵. تاثیر دبی جرمی هوای خنک کننده بر بازده حرارتی جمع کننده‌ها با سه جاذب متخلخل

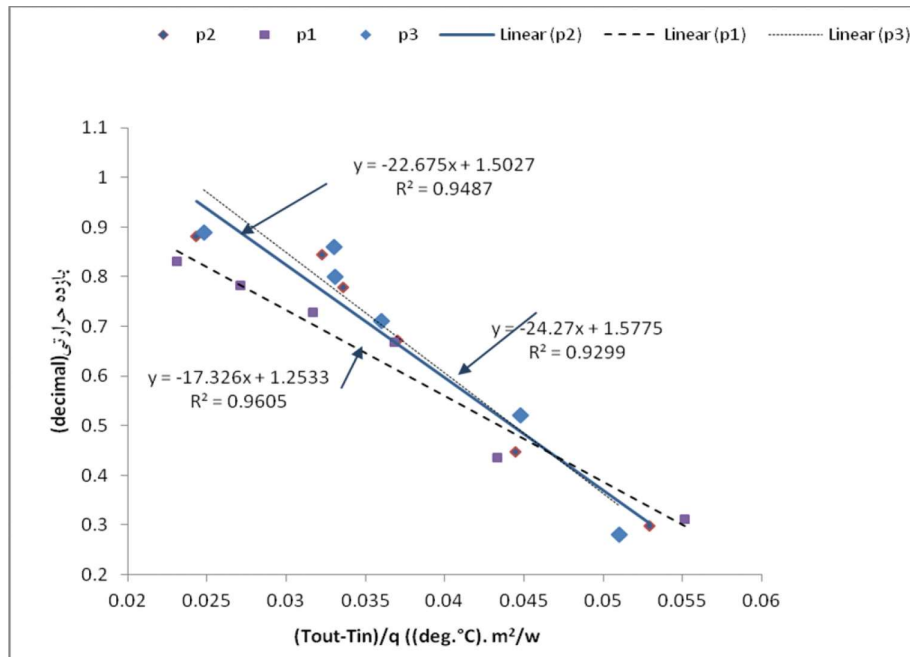
علت افزایش راندمان در دبی‌های بالا متأثر از انتقال گرمای بهتر از جاذب به سیال به علت تماس حجم بیشتری از هوا با جاذب و بالا رفتن ضریب انتقال حرارت جابجایی  $h$  که باعث کاهش دمای جاذب و اختلاف آن با دمای هوای محیط می‌گردد، می‌باشد. کاهش دمای جاذب باعث کاهش تلفات حرارتی از طریق تابش و همرفت شده و همین امر عامل افزایش راندمان می‌باشد. از طرفی ممکن است توان لازم برای بدست آوردن دبی‌های بالا، بیشتر از میزان گرمای اضافی بدست آمده باشد بنابراین باید در انتخاب دبی بیشینه به هر دو فاکتور راندمان بالا و توان مصرفی توجه داشت. به دلیل اینکه آزمایشات در شرایط کاملاً طبیعی صورت گرفته و کنترل میزان تابش خورشید امکان‌پذیر نبوده و مقدار آن در روزهای مختلف متفاوت بوده است، یکی از نمودارهای مفید برای مقایسه جمع کننده‌ها با جاذب‌های مختلف نمودار تاثیر افزایش درجه حرارت هوای خروجی از صفحه جاذب نسبت به دمای هوای محیط به ازای واحد تابش خورشیدی<sup>۱</sup> بر راندمان جمع کننده‌ها می‌باشد که در نمودار شکل ۶ نشان داده شده است. مطابق با نمودار با افزایش اختلاف دمای هوای خروجی از صفحه جاذب و محیط به ازای واحد تابش خورشیدی، مقدار راندمان حرارتی در همه جمع کننده‌ها کاهش یافته است. با افزایش دبی جرمی هوا، اختلاف درجه حرارت هوای خارج شده از صفحه جاذب نسبت به دمای هوای محیط در همه جمع کننده‌ها کاهش یافته که منجر به کاهش اختلاف دمای هوای خروجی از صفحه جاذب و محیط به ازای واحد تابش خورشیدی و افزایش راندمان حرارتی کلکتور می‌گردد.

با توجه به شکل ۵ می‌توان گفت جاذب با تخلخل بیشتر راندمان بیشتری نسبت به جاذب با تخلخل کمتر دارد که همین امر در نمودار شکل (۶) نیز مشاهده می‌شود در واقع این دو نمودار کاملاً همدیگر را تایید می‌کنند. همچنین پس از بررسی نتایج سه

<sup>1</sup> Normalized Temperature



جاذب می‌توان گفت که با افزایش تخلخل راندمان صفحات جاذب با تخلخل ۰/۱۷۷، ۰/۳۱۴ و ۰۰/۱۲۵۶ در دبی بیشینه به ترتیب ۰/۸۳، ۰/۸۷ و ۰/۸۹ بدست آمد.



شکل ۶. تاثیر اختلاف دمای هوای خروجی از جاذب و محیط به ازای واحد تابش خورشیدی بر بازده حرارتی جمع‌کننده‌ها

### نتیجه گیری کلی:

با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت با افزایش دبی جرمی هوای ورودی راندمان جمع‌کننده برای هر سه جاذب افزایش یافت. همچنین با افزایش تخلخل صفحه جاذب با ضخامت ۲/۵ میلی‌متر در دبی‌های بالا راندمان افزایش پیدا کرد. اما همانطور که از نمودارها مشخص می‌شود در دبی‌های پایین می‌توان گفت راندمان جاذب با تخلخل کمتر بیشتر است. همچنین با بررسی اثر پوشش شیشه‌ای پله‌ای و مقایسه با آزمایشات گذشته مشاهده می‌شود که در پوشش پله‌ای شیشه‌ای به دلیل عبور هوا از فواصل بین شیشه‌ها تلفات حرارتی جاذب و شیشه‌ها کمتر شده و راندمان افزایش پیدا می‌کند.

## منابع

- ۱- بهادری نژاد، م. ۱۳۵۳. استفاده از انرژی خورشیدی. کانون فارغ التحصیلان دانشگاه شیراز
- ۲- 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
- ۳- ستوده، ع. ۱۳۸۱. آنالیز عددی سه بعدی جریان هوا همراه با انتقال حرارت از صفحات مشبک شیاردار تحت مکش با زوایای مختلف وزش باد. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک دانشگاه شیراز
- ۴- صدر نژاد، خ. و ا. کرمانپور. ۱۳۸۰. سوخت و انرژی. مؤسسه انتشارات علمی شریف، دانشگاه شریف
- ۵- Arulanandam, S. J. 1995. A numerical investigation of unglazed transpired plate solar collectors under zero wind conditions. M.Sc. Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada
- 6- Bansal, 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. (1968). Radiation and convection heat transfer in a porous bed. ASME J. Eng. For Power., 90:51-54
- 8- Biondi, 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 aluminium foil matrix solar collector. Solar Energy 9:73-90.
- 10- 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.
- 11- DeWinter, 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- Fechner, H. and O. Bucek. 1998. Investigations on several series produced collectors. Renewable Energy 28:293-302.
- 14- Hamid, Y.H. and W.A. Beckman. 1971. Performance of air-cooled radatively heated
- 15- Mohamad, A. A. 1997. High efficiency solar air heater. Solar Energy, 60(2):71-76.



- 16- Whillier, A. 1964. Performance of black-painted solar air heaters of conventional design. Solar Energy, 8(1):31-37.
- 17- Zomorodian A. and M. Barati. 2010. Efficient Solar Air Heater with Perforated Absorber for Crop Drying. J. Agr. Sci. Tech, 12:569-577.
- 18- 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.





## Investigating The Effect of Absorber Plate Porosity on an Air Solar Heater Performance With Slatted Glass

### ABSTRACT

solar collectors is one of the most popular methods for harnessing energy. That can be a particular example of a heat exchanger to convert solar radiation into heat energy. In this work a flat plate air solar collector was investigated under direct solar radiation consisted of a double glazing cover, perforated absorber aluminum sheet (porosity 0.0177, 0.0314, 0.1256 and absorber thickness of 2.5 mm). The effect of porosity on absorber efficiency of collector was evaluated. Six levels of air mass flow rates (0.0056 to 0.0385 kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) were adopted. The tests were conducted in three replications on very clear sky days during 11 to 14 O'clock (average solar energy was reported to be 1155 Wm<sup>-2</sup> during this interval). The experimental results show that thermal efficiency of collector increases by an increase in the porosity of the absorber. This improvement may be due to an increase in heat transfer surface area within the porous medium at higher air mass flux which yields a higher heat transfer coefficient. An absorber with lower porosity shows a better thermal efficiency at lower air mass flux because the air flows in the shortest path through the outlet air channel and may not cover all the holes of the absorber and not able to cool the absorber effectively. In the minimum air flow rate, absorber efficiency with porosity 0.0177, 0.0314 & 0.01256 are 0.32, 0.30 & 0.28 respectively whereas, at the maximum flow, efficiency shows an enormous change of 0.83, 0.87 & 0.89 respectively. This air solar heater can be used for drying agricultural products, heating the space of greenhouse, and etc.

**Keywords:** slatted cover, porous metal absorber, Thermal efficiency of air solar collector,