

تحلیل انرژی عملکرد گردآورد PV/T مجهز به صفحه پره‌دار

احمد مرادی^۱، یحیی عجب شیرچی^۱ و علی دلبران^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۴ تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۲۰

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

*مسئول مکاتبه daliran2@gmail.com

چکیده

در این پژوهش تجزیه و تحلیل انرژی روی عملکرد گردآورنده حرارتی-فتوولتائیک (PV/T) مجهز به صفحه پره‌دار با سیال خنک‌کننده هوا مورد بررسی قرار گرفت. از یک گردآورنده خورشیدی PV با همان مشخصات البته بدون سیال خنک‌کننده برای مقایسه نتایج به دست آمده بهره گرفته شد. همچنین از یک فن با دبی ۰/۳۳ کیلوگرم بر ثانیه برای ایجاد جریان همرفت اجباری استفاده گشت. در قسمت تحتانی مجرای هوا، یک صفحه با پره‌های ذوزنقه‌ای شکل به منظور ایجاد جریان آشفته در کانال هوا و افزایش ضریب انتقال حرارت بین صفحه جاذب و سیال هوا نصب شد. برای ثبت دما در مجرای هوا از ۶ عدد حس‌گر حرارتی LM35 که برنامه‌نویسی آن‌ها توسط نرم‌افزار آردینو صورت گرفته بود استفاده گردید. محاسبات تئوری با استفاده از روش کدنویسی در نرم‌افزار متلب صورت گرفت. نتایج نشان داد استفاده از سیال هوا، کاهش دمای سلول‌های خورشیدی و در نتیجه افزایش ولتاژ خروجی گردآورنده PV/T را به میزان حدود ۹٪ در تمامی ساعات آزمایش نسبت به سیستم شاهد (PV) به دنبال داشت. بازدهی حرارتی PV/T در کار تجربی و تئوری به ترتیب ۴۷٪ و ۵۱٪ محاسبه گشت. همچنین اختلاف دمای هوای خروجی کار تجربی با تئوری حدود ۸٪ برآورد شد و حداکثر اختلاف دمای هوای خروجی در کار تجربی و تئوری با دمای محیط به ترتیب ۷/۰۶ و ۱۰/۲۵ و حداقل دما به ترتیب ۱/۴ و ۲/۹۷ درجه سلسیوس به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: انرژی خورشیدی، بازده گرمایی، گردآورنده فتوولتائیک، جمع‌کننده حرارتی-فتوولتائیک

۱- مقدمه

مستقیم هم است. در این گردآورنده‌ها غالباً از هوا، آب یا هر دو آن‌ها به صورت توأم به منظور خنک‌سازی مدول فتوولتائیک استفاده می‌شود. علاوه بر اینکه عملکرد کلی این سیستم بالاتر هست فضای کمتری نیز در مقایسه با نوع معمولی آن نیاز دارد.

با توجه به اینکه سلول‌های فتوولتائیک موجود در بازار با بازده پایینی (کمتر از ۱۸٪) قادر به تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته هستند، بسیاری از پژوهشگران به منظور بالا بردن بازده موجود، گردآورنده‌های ترکیبی PV/T را بیش از پیش مورد مطالعه قرار داده‌اند (هانگ و همکاران^۱، ۲۰۰۱). یکی از پارامترهای مهم در کاهش بازدهی PVها دمای سلول است. مطالعات انجام شده نشان داده است که افزایش دما به اندازه یک درجه کلین باعث کاهش بازدهی الکتریکی به میزان ۰/۲ تا ۰/۵ درصد می‌شود (ونگ و یانگ^۲، ۲۰۰۸). بنابراین، خنک‌کاری سلول‌های خورشیدی اهمیت اساسی دارد. برخی از

انرژی عاملی هست که می‌تواند رشد اقتصادی کشورها را تضمین کند. مطالعات نشان داده که بین سطح توسعه کشور و میزان مصرف انرژی آن رابطه مستقیمی وجود دارد. امروزه با توجه به نیاز روزافزون به منابع انرژی و کم‌شدن منابع انرژی فسیلی، ضرورت سالم نگه‌داشتن محیط-زیست و کاهش آلودگی هوا، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند جایگاه ویژه‌ای داشته باشد. انرژی‌های تجدیدپذیر شامل منابع متنوع و مختلفی است که از انرژی‌های طبیعی و قابل دسترس به وجود می‌آیند. استفاده از آن‌ها موجب کاهش مصرف فرآورده‌های نفتی و افزایش اشتغال‌زایی و کاهش میزان آلاینده‌های محیط‌زیست می‌شود. امروزه با توجه به هزینه بالای ساخت تجهیزات لازم برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی و همچنین بازده پایین تجهیزات، سعی و تلاش پژوهش‌گران در راستای کاهش قیمت تمام شده و افزایش بازدهی را به دنبال داشته است به طوری که توانسته‌اند تا حدی استفاده از این انرژی‌ها را توجیه‌پذیر سازند. گردآورنده PV/T معرف هر گردآورنده خورشیدی است که در کنار تولید گرما قادر به تولید برق

¹ Hung and et al

² Weng and Yang

یک کار تجربی گردآورنده ترکیبی PV/T با جریان دوگذره مخالف هم طراحی و ساخته شد. طراحی به گونه‌ای بود که مجرای فوقانی و تحتانی به ترتیب از فاصله بین پوشش شیشه‌ای و مدول الکتریکی و فاصله بین مدول الکتریکی و دیواره پشتی تشکیل شده بودند. همچنین در مجرای تحتانی به منظور افزایش ضریب انتقال حرارت از مدول به جریان هوا از تیغه‌های طولی بهره گرفته شد. میانگین کارایی الکتریکی، حرارتی و کلی این سیستم به ترتیب ۳/۹، ۱۸ و ۲۸ درصد گزارش گردید (سرنیواس و جایراج^۶، ۲۰۱۳). عثمان و همکاران (۲۰۱۳) در یک پژوهش اثر به کارگیری سه نوع مبدل حرارتی متفاوت (لانه‌زنبوری، V شکل و پشم فولاد) را روی عملکرد گردآورنده PV/T بررسی کردند. مبدل‌های حرارتی در قسمت پشت مدول الکتریکی به صورت افقی قرار گرفته بودند. این آزمایش با شار تابشی 828 W m^{-2} و سرعت هوای 0.2 تا 0.13 کیلوگرم بر ثانیه انجام شد. آن‌ها حداکثر عملکرد حرارتی را در دبی جرمی هوای 0.11 kg s^{-1} برای مدل V برابر ۷۱ درصد، پشم فولاد ۸۶ درصد و لانه‌زنبوری ۸۷ درصد و بازدهی الکتریکی را نیز به ترتیب ۷/۰۴، ۶/۸۸ و ۷/۱۳ درصد محاسبه کردند. با توجه به نتایج استخراج شده، بهترین عملکرد برای مبدل لانه‌زنبوری به دست آمد. در پژوهشی دیگر تجزیه و تحلیل تأثیر استفاده از مجرای سیال دوگذره جریان مخالف، نصب تیغه‌های عمودی در مجرای تحتانی هوا و تغییرات قطر مجرای هوا بر روی عملکرد گردآورنده، در شرایط پایدار مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از تیغه‌ها منجر به کاهش دمای کار مدول الکتریکی از ۸۲ به ۶۶ درجه سانتی‌گراد و افزایش عملکرد سیستم شد. همچنین افزایش شار تابشی و کاهش قطر هیدرولیکی افزایش دمای سلول‌های خورشیدی و در نتیجه کاهش عملکرد را به دنبال داشت (کومار و راسن^۷، ۲۰۱۱). موجامدر و همکاران^۸ (۲۰۱۶) در یک پژوهش عملکرد حرارتی و الکتریکی یک سیستم PV/T با جریان تک‌گذره را با و بدون نصب ورقه‌های فلزی تخت مستطیلی شکل در مجرای هوا بررسی کردند نتایج به دست آمده نشان داد استفاده از ورقه‌های فلزی منجر به افزایش بازدهی حرارتی و الکتریکی سیستم می‌شود. همچنین افزایش تعداد ورقه‌های فلزی تأثیر مثبتی بر بهبود عملکرد سیستم داشت. حداکثر بازدهی حرارتی و الکتریکی PV/T با دبی جرمی هوای 0.14 kg s^{-1} و شار تابشی 700 W m^{-2} به ترتیب ۵۶/۱۹ و ۱۳/۷۵ درصد اندازه‌گیری شد. لذا با توجه به مطالعات انجام شده و تأثیر مثبت کاهش دمای سلول بر بازدهی آن در این مقاله

پژوهشگران بیان داشته‌اند که با ترکیب PV/T با بازتابندهای متمرکزکننده می‌توان از یک مساحت مشخص فتولتائیک توان تولیدی بیشتری اخذ نمود (عثمان و همکاران^۱، ۲۰۰۵). تنو و همکاران^۲ (۲۰۱۲) در یک مطالعه جهت خنک‌کاری سلول‌های فتولتائیک از جریان هوا به صورت فعال و غیرفعال استفاده نمودند آن‌ها وجود یک روند خطی را بین دمای سلول و بازدهی آن گزارش دادند. بازدهی این سامانه با استفاده از روش خنک‌کاری غیرفعال و فعال به ترتیب ۹٪ و ۱۴٪ ثبت شد که افزایش ۵ درصدی بازده الکتریکی را در روش فعال نسبت به غیرفعال (به علت پایین‌تر آمدن دمای کاری سلول‌ها) نشان داد. در مطالعه‌ای دیگر یک سیستم PV/T هوایی مجهز به صفحه PV تک کریستالی مورد آزمایش قرار گرفت. متوسط بازده حرارتی و الکتریکی گردآورنده مذکور به ترتیب ۲۲ و ۱۵ درصد محاسبه شد. همچنین دمای سیال خروجی به طور متوسط ۵ درجه سلسیوس بیشتر از دمای هوای بیرون گزارش گردید؛ که از این گرما می‌توان به عنوان پیش گرمایش هوای سیستم تهویه ساختمان استفاده کرد (کیم و همکاران^۳، ۲۰۱۴). پژوهشگرانی در هند تأثیر پارامترهای عملیاتی از قبیل شدت تابش خورشید، رطوبت نسبی، سرعت باد، دمای سلول و دمای پشت سلول را روی عملکرد PV/T، تحت شرایط آب و هوایی متفاوت مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها آزمایش‌های خود را در شرایط آب و هوایی آسمان صاف، آسمان ابری و اندکی مه‌آلود مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان دادند در شرایط آسمان صاف، کاهش دمای سلول‌ها و خنک‌کاری پشت آن‌ها افزایش عملکرد سامانه را به دنبال دارد (کورشی و همکاران^۴، ۲۰۱۴). تونویی و تریپان^۵ (۲۰۰۸) طی تحقیقی عملکرد گردآورنده PV/T را در سه طرح مختلف (۱) کانال هوای تک‌گذره (۲) دوگذره جریان موازی (۳) تک‌گذره مجهز به ورقه‌های نازک فلزی نصب شده روی دیواره پشتی کانال هوا، با و بدون استفاده از پوشش شیشه‌ای بررسی کردند. همچنین برای اعتبارسنجی نتایج آزمایش خود، یک مدل عددی را با استفاده از داده‌های بدست آمده کار تجربی محاسبه نمودند. نتایج حاکی از آن بودند که استفاده از کانال هوا دوگذره و ورقه‌های نازک فلزی باعث افزایش بازدهی الکتریکی و گرمایی سیستم شد و به کارگیری پوشش شیشه‌ای افزایش دمای هوای خروجی و دمای کارکرد سلول را در هر سه مدل به دنبال داشت. در

¹ Othman et al

² Teo and et al

³ Kim and et al

⁴ Qureshi and et al

⁵ Tounui and Tripan

⁶ Srinivas and Jayaraj

⁷ Kramer and Rosen

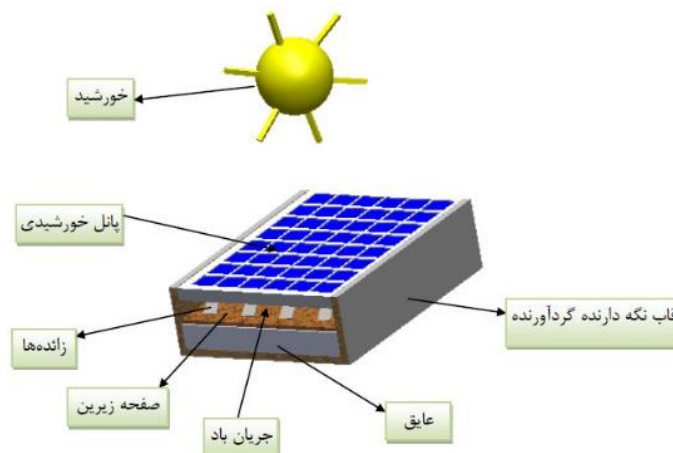
⁸ Mojumder and et al

شکل ۱ نمای کلی یک PV/T را نشان می‌دهد که شامل صفحه فتوولتائیک، صفحه پره‌دار، مجرای جریان هوا و عایق (پشم‌شیشه) می‌باشد. صفحه فتوولتائیک از چند لایه مختلف تشکیل شده که شامل شیشه بالائی، سلول‌های خورشیدی، اتیلن‌واینیل‌استات (Ethylene vinyl Acetate) و شیشه پایینی است. برای کاهش تلفات حرارتی چارچوب گردآورنده از چوب MDF با ضخامت ۱۶ mm ساخته شد. در مسیر جریان هوا برای ایجاد جریان توربولانت جهت تماس بهتر هوا با رویه پایینی شیشه دوم صفحه فتوولتائیک (در بعضی مواقع از تدارک هم جهت محافظت سلول‌های فتوولتائیک استفاده می‌شود) پره‌های دوزنقه‌ای شکل روی صفحه زیرین نصب گردید. شکل ۲ آرایش چیدمان حس‌گرهای حرارتی و پره‌ها را روی صفحه چوبی نمایش می‌دهد. ضخامت صفحه چوبی ۸ mm و ابعاد آن ۵۰×۳۵ cm و از جنس چوب MDF ساخته شده است. ضخامت صفحه فتوولتائیک ۲۵ میلی‌متر و ابعاد آن ۵۰×۳۵ سانتی‌متر و فاصله صفحه پره‌دار از صفحه فتوولتائیک فوق‌الذکر ۴ سانتی‌متر انتخاب شد. پره‌ها به‌صورت دوزنقه‌ای شکل با ابعاد: قاعده پائینی ۳۰، قاعده بالائی ۲۵ و ارتفاع ۴۲/۴ میلی‌متر از ورق آهن گالوانیزه با ضخامت ۰/۳ میلی‌متر ساخته شدند و روی صفحه چوبی با زاویه ۴۵ درجه نسبت به‌افق نصب شدند. صفحه فتوولتائیک شامل ۳۶ عدد سلول از جنس پلی کریستال با ولتاژ و شدت جریان بیشینه ۱۷/۶ ولت و ۱/۱۵ آمپر و توان بیشینه ۲۰ وات بود. برای اینکه هوا به‌طور یکنواخت بتواند وارد گردآورنده شود از یک داکت ورودی و برای جمع‌آوری هوای گرم و انتقال آن به‌بیرون از یک داکت خروجی استفاده گردید (شکل ۳-ب).

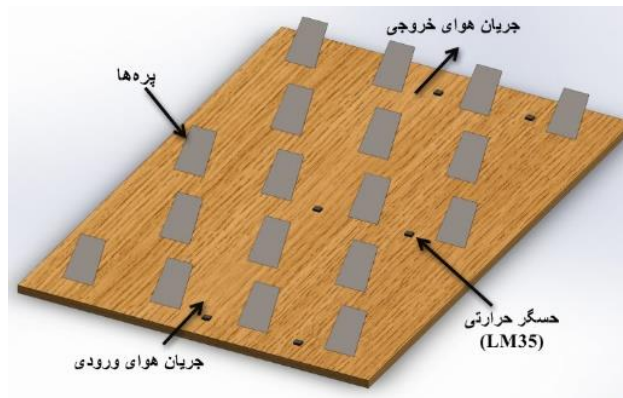
سعی شده است با نصب پره‌های منحرف‌کننده مستطیلی شکل با چیدمانی منحصربه‌فرد (بررسی نشده در مطالعات قبلی) بر روی صفحه پستی در مجرای جریان هوا، با هدف ایجاد جریان هوای آشفته و افزایش ضریب انتقال حرارت بین سلول‌ها و جریان هوا، راه‌کاری مناسب جهت افزایش بازدهی گردآورنده حرارتی- فتوولتائیک (PV/T) ارائه شود. هم‌چنین علاوه بر عملکرد الکتریکی سامانه بازده گرمایی سیستم نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

۲- مواد و روش

گردآورنده PV/T از ترکیب دو مجموعه حرارتی و فتوولتائیک تشکیل شده است. لذا در این پژوهش عملکرد الکتریکی از طریق کار تجربی و عملکرد حرارتی سامانه توسط کار تجربی و تئوری مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور بررسی تأثیر خنک‌کاری سلول‌های خورشیدی بر عملکرد الکتریکی و ارزیابی بازده گرمایی PV/T، در زیر صفحه پستی سلول‌های خورشیدی از یک مجرای هوای مجهز به- تیغه‌های دوزنقه‌ای شکل استفاده گردید به‌طریقی که هوا بعد از ورود به کانال با برخورد به تیغه‌ها به‌طرف بالا (صفحه پستی سلول‌ها) منحرف شده و بعد از تبادل گرما با صفحه جاذب از قسمت خروجی کانال به- بیرون هدایت می‌گردید. برای مقایسه نتایج عملکرد الکتریکی سامانه PV/T از یک سیستم شاهد (بدون بخش خنک‌کننده) بهره گرفته شد و برای تحلیل و ارزیابی راندمان حرارتی سامانه، مدل‌سازی سامانه PV/T، با استفاده از روش کدنویسی در متلب صورت گرفت و نتایج آن با کار تجربی مقایسه گشت.



شکل ۱- نمای کلی یک PV/T



شکل ۲- آرایش چیدمان پرده‌ها روی صفحه چوبی

هر دو گردآورنده بر روی شاسی قابل تنظیم با زاویه ۳۰ درجه روبه جنوب نصب شدند (شکل ۳-a و b). برای اندازه‌گیری میزان تابش از تابش‌سنج TES 1333 با مشخصات: تفکیک‌پذیری (رزولوسیون) 1 W m^{-2} ، بازه طیفی ۰/۴ تا $1 \mu\text{m}$ و دقت $\pm 10 \text{ W m}^{-2}$ و برای اندازه‌گیری سرعت هوای خروجی گردآورنده از سرعت‌سنج سیم‌داغ (Hot wire)، مدل yk-2004A و تفکیک‌پذیری 0.1 ms^{-1} و دقت ± 5 درصد استفاده گردید. آزمایش‌های تجربی به مدت ۵ روز از ساعت ۹ صبح تا ۶ بعداز ظهر در تاریخ‌های پنجم لغایت نهم ماه ژوئیه ۲۰۱۵، در تبریز (جایی که عرض جغرافیایی تقریباً $38/4$ درجه است) در هوای آزاد انجام شد.

برای جریان دادن هوا در مجرای هوا یک دمنده در قسمت جلو داکت ورودی نصب گردید. برای اندازه‌گیری دما در مجرای هوا با توجه به وجود مسئله تقارن محوری از ۶ عدد حسگر LM35 در نیمه سمت راست صفحه پشتی استفاده شد. موقعیت قرارگیری حسگرها به ترتیبی بود که دوتای آن‌ها در قسمت جلو، دوتا در وسط و دوتای دیگر در قسمت خروجی به ترتیب برای اندازه‌گیری دمای هوا در ورودی، بخش میانی و خروجی به کار گرفته شدند و نتایج برای کل صفحه بسط داده شد. برنامه ضبط دما توسط حسگرها با استفاده از نرم‌افزار آردینو نوشته شد که در کامپیوتر شخصی مشاهده و ثبت می‌گردید. برای مطالعه اثر خنک‌کاری بر روی بازده الکتریکی از یک گردآورنده شاهد (PV) با مشخصاتی شبیه گردآورنده خنک‌کاری شده بهره گرفته شد.

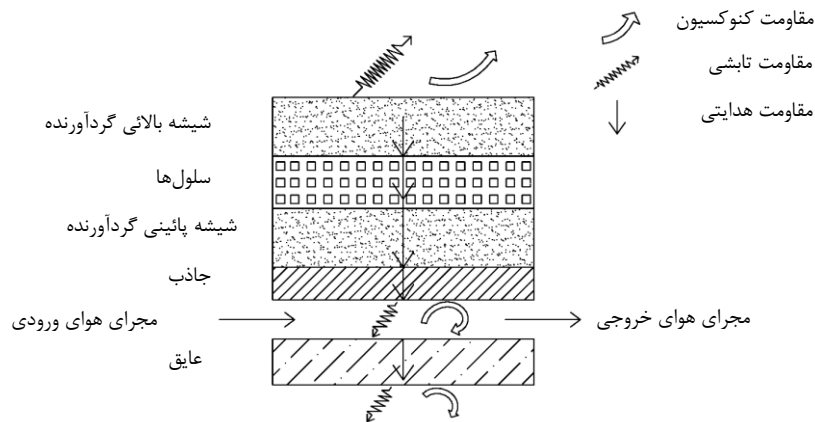


شکل ۳- (a) سیستم شاهد (b) گردآورنده حرارتی - فتوولتائیک

استفاده از روش کدنویسی در متلب استفاده شد و نتایج آن با داده‌های عددی استخراج شده از کار تجربی مقایسه گشت.

۲-۱- مدل‌های ریاضی

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شده گردآورنده PV/T از دو بخش فتوولتائیک و حرارتی تشکیل شده است. به منظور تحلیل حرارتی گردآورنده حرارتی- فتوولتائیک صفحه تخت از یک مدل عددی با



شکل ۴- طرحواره مدار مقاومت حرارتی سیستم PVT

$$Re = \frac{\rho_a V D_h}{\mu} \quad (14)$$

V : سرعت حرکت سیال (ms^{-1}).

ρ_a : چگالی هوا (kg m^{-3}) که از رابطه ۱۵ تخمین زده شد (هدایتی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۵):

$$\rho_a = 3.9147 - 0.016082T_f + 2.9013 \times 10^{-5}T_f^2 - 1.9407 \times 10^{-8}T_f^3 \quad (15)$$

μ : لزجت دینامیکی هوا ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$) بوده و از رابطه ذیل تخمین زده می‌شود (بهره‌مند و همکاران، ۲۰۱۵):

$$\mu = [1.6157 + 0.06523 \times T - 3.029 \times 10^{-5} \times T^2] \times 10^{-6} \quad (16)$$

$h_{r,p-g}$: ضریب انتقال حرارت تشعشعی از صفحه جاذب به شیشه که از رابطه ذیل به دست می‌آید (هدایتی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۵):

$$h_{r,p-g} = \frac{\sigma(T_p + T_g)(T_p^2 + T_g^2)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_p}\right) + \left(\frac{1}{\varepsilon_g}\right) - 1} \quad (17)$$

در این رابطه T_p دمای صفحه پشتی برحسب درجه کلونین، T_g دمای شیشه برحسب درجه کلونین، ε_p ضریب صدور گرمایی صفحه جاذب، ε_g ضریب صدور گرمایی شیشه و σ ثابت استفان-بلتزنم می‌باشند.

$$h_{c,P_1-f} = h_{c,P_2-f} = \left(\frac{K_a}{D_h}\right) Nu \quad (9)$$

K_a : ضریب هدایت گرمایی هوا ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$).

D_h : قطر هیدرولیکی مجرا بوده که در مجرای پرده‌دار (پره‌های دوزنقه‌ای شکل) از رابطه ذیل برآورد می‌شود (محمدی و سبزویشانی، ۲۰۱۳):

$$D_h = \frac{4 \left[(L \cdot W) - \left(\frac{(W_1 + W_2) \times h_t \times N_t}{2} \right) \right]}{[2 \times (L + W)] + [2L_t N_t]} \quad (10)$$

W : عرض مجرای عبور هوا (m)، L : ارتفاع مجرای عبور هوا (m)، W_1 : عرض بالایی پره (m)، W_2 : عرض پائینی پره (m)، h_t : ارتفاع پره (m)، N_t : تعداد پره‌ها در ردیف اول، L_t : طول پره (m) (عدد ناسلت) نسبت انتقال حرارت جابجایی به هدایت را درون یک سیال نشان می‌دهد، در جریان هوای آرام و آشفته از روابط ذیل به دست می‌آید:

$$Nu = \frac{h_c D_h}{K_a} \quad (11)$$

$$Nu = 0 / 344 \times Re^{0/35} \quad 100 < Re < 2100 \quad (12)$$

$$Nu = 0 / 0158 \times Re^{0/8} \quad (13)$$

Re (عدد رینولدز) که برای محاسبه آن می‌توان از رابطه شماره ۱۴

استفاده نمود:

بهره انرژی مفید را نشان می‌دهد که برای گردآورنده پرده‌دار از رابطه ذیل می‌توان حساب نمود (یح و همکاران، ۲۰۰۰):

$$F' = \frac{h_r h_1 + h_2 \phi U_i + h_2 \phi h_r + h_r h_1 \phi}{(U_i + h_r + h_1)(U_b + h_2 \phi + h_r) - h_r^2} \quad (24)$$

h_1 و h_2 در رابطه ۵ و ۹، h_r در رابطه ۱۷ و ϕ در رابطه ۶ معرفی شدند.

دمای هوای خروجی با استفاده از رابطه ذیل محاسبه شد (کالوگیرو، ۲۰۱۴):

$$T_0 = T_i + \frac{1}{U_L} [S - U_L (T_i - T_a)] \times \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m} c_p}\right) \right] \quad (25)$$

T_i (K) دمای سیال ورودی، T_a (K) دمای هوای محیط، A_c (m^2) سطح گردآورنده، G_i ($W m^{-2}$) شار تابشی (Irradiance) فرودی روی گردآورنده و S ($W m^{-2}$) میزان تابش خورشیدی جذب شده که با استفاده از معادله ذیل به دست آمد:

$$S = G_i (\tau \alpha)_{eff} \quad (26)$$

$(\tau \alpha)_{eff}$ ضریب عبوری و جذبی مؤثر گردآورنده فتوولتائیک بوده که توسط رابطه ۳ قابل محاسبه است.

C_p ($J kg^{-1} K^{-1}$): گرمای ویژه هوا در فشار ثابت بوده و از رابطه ذیل محاسبه می‌شود (چابین و همکاران، ۲۰۱۳):

$$C_p = 999.2 + 0.1434 T_f + 1.101 \times 10^{-4} T_f^2 - 6.7581 \times 10^{-8} \times T_f^3 \quad (27)$$

T_f (K) دمای سیال (هوا) است.

۲-۱-۴- بازده گردآورنده

انرژی مفید گرمایی لحظه‌ای (Q_u) از رابطه ۲۸ محاسبه می‌شود (پریام و چاند، ۲۰۱۶):

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)] \quad (28)$$

U_t : ضریب اتلاف حرارتی از بالای گردآورنده خورشیدی به محیط اطراف است که از طریق پوشش شیشه‌ای بالای گردآورنده صورت می‌گیرد و از رابطه ذیل به دست می‌آید (دافی و بکمن، ۱۹۷۶):

$$U_t = \left(\frac{1}{\frac{C}{T_p} \left[\frac{T_p - T_a}{1+f} \right]^e + \frac{1}{h_w}} \right)^{-1} + \left(\frac{\sigma (T_p - T_a) (T_p^2 - T_a^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0.05(1-\varepsilon_p)} + \frac{2+f-1}{\varepsilon_p} - 1} \right)^{-1} \quad (18)$$

C ، f و e : از معادلات ذیل برآورد شدند:

$$C = 520(1 - 0.000051\beta^2) \quad (19)$$

$$f = (1 + 0.089h_w - 0.1166h_w \varepsilon_p)(1 + 0.07866N) \quad (20)$$

$$e = 0.430(1 - 100/T_{pm}) \quad (21)$$

h_w : ضریب انتقال حرارت باد ($W m^{-2} K^{-1}$) از معادله ۲۲ محاسبه شد (دافی و بکمن، ۱۹۷۶).

$$h_w = \frac{8.6(V)^{0.6}}{L^{0.4}} \quad (22)$$

V و L به ترتیب نشانگر سرعت هوای عبوری از بالای گردآورنده برحسب متر بر ثانیه و طول گردآورنده PV برحسب متر می‌باشند.

برای $0 < \beta < 90$ (زاویه شیب گردآورنده)، تلفات از پشت گردآورنده از رابطه ذیل محاسبه می‌شود (اوس و همکاران، ۲۰۰۸):

$$U_b = \frac{1}{\frac{e_{is}}{\lambda_{is}} + \frac{e_b}{\lambda_b} + \frac{1}{h_w}} \quad (23)$$

e_{is} : ضخامت عایق (m)، e_b : ضخامت چوب (m)، λ_{is} : ضریب هدایت حرارتی عایق ($W m^{-1} K^{-1}$) و λ_b : ضریب هدایت حرارتی چوب ($W m^{-1} K^{-1}$) است.

۲-۱-۳- میانگین دمای هوای خروجی

اگر دمای صفحه جذب برابر دمای سیال ورودی باشد آنگاه F' (ضریب بازدهی گرمایی گردآورنده) نسبت بهره انرژی مفید واقعی به

² Chabane

³ Priyam and Chand

¹ Duffi and Beckman

ارتباط مستقیمی وجود دارد این موضوع تأثیر منفی، بالا بودن دمای کارکرد سیستم بر توان تولیدی سلول‌های خورشیدی را نشان می‌دهد؛ که علت آن افزایش مقاومت الکتریکی در اثر گرم‌تر شدن سلول‌های خورشیدی است. همچنین ملاحظه می‌شود سیستم حاوی منحرف‌کننده جریان هوا (PV/T)، در تمامی ساعات دارای ولتاژ بالاتری (در حدود ۲ ولت) نسبت به سیستم مرجع هست که دلیل آن کاهش دمای کاری سلول‌های خورشیدی به دلیل استفاده از جریان همرفت اجباری در مقایسه با شاهد است. بین دو سامانه PV/T و شاهد اختلاف ولتاژ کمی دیده می‌شود؛ یکی از دلایل وجود اختلاف ولتاژ پایین میان این دو سیستم ورزش باد شدید (۳-۲ متر بر ثانیه) در ۵ روز آزمایش بوده که خنک کاری طبیعی سیستم شاهد را به همراه داشت. نتایج به دست آمده (اختلاف ولتاژ پایین) با کار انجام شده توسط سرحدی و همکاران (۲۰۱۰) که در فضای باز، با متوسط سرعت باد (ورزش باد محیط) ۲ متر بر ثانیه انجام شده است مطابقت دارد در ادامه می‌توان تأیید کرد با توجه به تأثیر مثبت خنک کاری بر عملکرد الکتریکی سلول‌ها، در صورت عدم ورزش باد طبیعی در روزهای آزمایش مطمئناً سیستم شاهد در دمای بالاتری کار می‌کرد که موجب کاهش ولتاژ خروجی در مقایسه با PV/T و در نتیجه اختلاف ولتاژ بیشتر بین آن دو می‌شد. نتایج به دست آمده با کار انجام شده توسط دیگر محققان (سایگین و همکاران، ۲۰۱۷؛ کومار و راسن، ۲۰۱۱) هم‌خوانی دارد.

۴-۲- بازده گرمایی PV/T

عملکرد حرارتی (بازده گرمایی) از مهمترین فاکتورهای بررسی قابلیت حرارتی گردآورنده خورشیدی در نظر گرفته می‌شود. تحت شرایط پایدار، مقدار حرارت مفید که از طریق گردآورنده خورشیدی دریافت می‌شود برابر است با نرخ انرژی جذب شده توسط هوا (در گردآورنده‌های هوایی) منهای تلفات حرارتی مستقیم و غیرمستقیم از قسمت‌های مختلف گردآورنده به محیط اطراف می‌باشد. استفاده از تیغه‌های مستطیلی شکل به علت کاهش قطر هیدرولیکی و ایجاد آشفستگی در جریان هوا علاوه بر بهبود روند خنک‌سازی سلول‌ها و افزایش بازده الکتریکی، عملکرد حرارتی مناسبی را برای PV/T، به دنبال داشت. در این پژوهش، بازدهی گرمایی PV/T با دبی جرمی ۰/۳۳ گیلوگرم بر ثانیه از نظر تجربی و تئوری به ترتیب ۰/۴۷ و ۰/۵۱ محاسبه شد. اختلاف ۴ درصدی بازدهی بین کار تجربی و تئوری به علت عوامل غیرقابل کنترل در کار تجربی از قبیل امکان نشستی در گردآورنده‌های هوایی، اثر منفی گردوغبار جمع‌شده روی پوشش شیشه‌ای، غیریک‌نواختی جریان سیال درون گردآورنده به علت خطای

در این رابطه F_R ضریب برداشت گرما بوده و از رابطه ذیل قابل برآورد است (شجاعی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۵):

$$F_R = \frac{\dot{m} c_p}{A_c U_L} \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{A_c U_L F'}{\dot{m} c_p} \right) \right\} \quad (29)$$

بازدهی لحظه‌ای گرمایی سامانه را می‌توان از رابطه ذیل بدست آورد:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c G_t} \quad (30)$$

با اندازه‌گیری دمای هوای خروجی گردآورنده، انرژی مفید کلی (global) از رابطه ۳۱ بدست آمد.

$$Q_{uT} = \dot{m} c_p (T_o - T_i) \quad (31)$$

T_o دمای سیال در خروجی گردآورنده است.

۴- نتایج و بحث‌ها

در این مطالعه تأثیر خنک‌کاری سلول‌های خورشیدی با استفاده از سیال هوا، روی عملکرد الکتریکی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای افزایش ضریب انتقال حرارت بین صفحه جاذب (صفحه پشتی سلول‌های خورشیدی) و جریان هوا، تیغه‌های دوزنقه‌ای شکل در مجرای هوا نصب گردید. همچنین روند جذب انرژی مفید در ساعات مختلف و عملکرد حرارتی PV/T تعیین و نتایج مربوطه به شرح ذیل ارزیابی و تحلیل شد.

۴-۱- تأثیر دمای کاری بر عملکرد الکتریکی

گردآورنده

عملکرد الکتریکی سامانه خورشیدی با و بدون استفاده از خنک‌کردن به روش فعال (جریان هوای اجباری) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. ولتاژ خروجی در سه زمان (۱) ابتدای روز با کمترین شار تابشی و دمای محیط (۲) وسط روز با بیشترین شار تابشی (۳) انتهای روز با بیشترین دمای محیط اندازه‌گیری و ثبت گشت. در جدول ۲ مقایسه میانگین ولتاژ تولیدی PV/T با سیستم شاهد در ابتدا، وسط و انتهای روز نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود علی‌رغم کمترین شار تابشی و دمای محیط در ساعت ۹ صبح، بیشترین ولتاژ تولیدی برای هر دو سیستم در این ساعت ثبت شده است. با توجه به اینکه بین دمای کارکرد سلول خورشیدی و محیط

مقادیر اصلی استفاده شده در کد متلب:

جدول ۱- مقادیر اصلی استفاده شده در کدنویسی متلب

مقدار	پارامتر	مقدار	ارامتر
0.35	W (m)	0.175	$A_c (m^2)$
0.025	$W_1 (m)$	0.0149	$A_f (m^2)$
0.030	$W_2 (m)$	0.008	$e_b (m)$
0.85	α_γ	0.05	$e_{is} (m)$
0.90	β_{SC}	0.03	$h_t (m)$
0.88	ϵ_g	46	$k_f (Wm^{-1}K^{-1})$
0.9	ϵ_p	0.5	L (m)
0.04	$\lambda_b (Wm^{-1}K^{-1})$	0.04	$L_t (m)$
0.035	$\lambda_{is} (Wm^{-1}K^{-1})$	0.033	$\dot{m} (kgs^{-1})$
5.67×10^{-8}	$\sigma (Wm^{-2}K^{-4})$	4	N_t
0.95	τ_{gl}	0.0003	$t_f (m)$

جدول ۲- مقایسه میانگین ولتاژ تولیدی دو سیستم در سه ساعت متفاوت

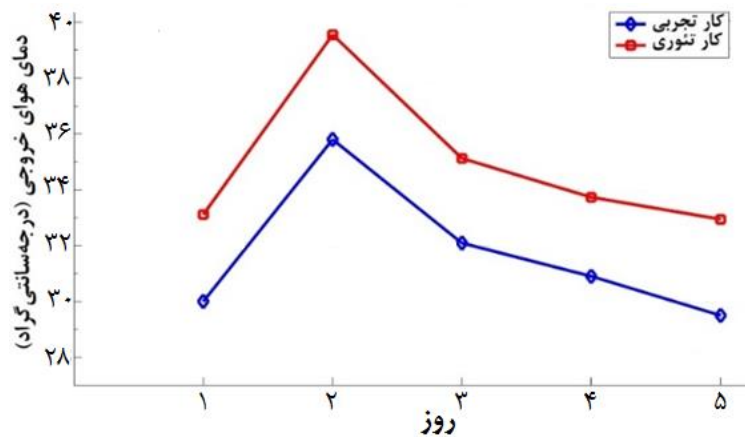
PV/T	شاهد	دمای محیط	شار تابشی	ساعت
		C°	(W/m^2)	
۲۰/۶	۱۸/۸	۲۴/۷	۲۱۰	۹
۲۰/۱	۱۷/۹	۳۰/۷۲	۷۲۰	۱۳
۱۹/۲	۱۷/۲	۳۴/۵	۳۷۱	۱۷

قابل قبولی وجود دارد (در حدود ۳ درجه سانتی‌گراد). بیشترین دمای هوای خروجی در هر دو مورد (تجربی و شبیه‌سازی) برای روز دوم ثبت شده است که با توجه به نتایج جدول شماره ۳، روز دوم شار تابشی و دمای محیط بیشتری نسبت به روزهای دیگر دارد. افزایش شار تابشی علاوه بر افزایش دمای محیط، افزایش دمای صفحه جاذب PV/T را نیز به دنبال داشت. می‌توان نتیجه گرفت افزایش شدت تابش خورشیدی به دو دلیل افزایش دمای هوای ورودی و بالا رفتن دمای صفحه جاذب (صفحه پشت سلول‌ها) منجر به بالا رفتن دمای هوای خروجی می‌شود. با مقایسه نتایج روز سوم با چهارم در شکل ۵ و

ساخت و حتی خطاهای آزمایشی منطقی و توجیه‌پذیر است. کار انجام شده توسط کومار و راسن (۲۰۱۶) تأثیر مثبت استفاده از مجرای هوای ناهموار (استفاده از منحرف‌کننده) بر بازده گرمایی و نتایج بدست آمده در این راستا را تأیید می‌کند. در شکل ۵ مقایسه دمای هوای خروجی کار تجربی با تئوری (مدل‌سازی) در ظهر خورشیدی (ساعتی که به‌عنوان بهترین ساعت آزمایش با هدف بسط دادن نتایج آن ساعت برای کل روز در نظر گرفته می‌گردد و معمولاً بین ساعت ۱۲ تا ۱۳ لحاظ می‌شود) برای ۵ روز آزمایش مشاهده می‌شود. همان‌طور که مشخص است بین نتایج تجربی و شبیه‌سازی اختلاف

طریق جابجایی تأثیر مستقیمی دارد. به همین دلیل افزایش سرعت باد افزایش تلفات حرارتی و در نتیجه کاهش عملکرد گرمایی سامانه را به دنبال داشت. لذا ضریب تلفات حرارتی کل در پی کاهش سرعت باد به دو دلیل، ۱- کم شدن اختلاف دمای سیستم با محیط ۲- کاهش ضریب تلفات حرارتی از جلو سامانه کاهش یافت. به طور کلی می توان گفت با ثابت بودن دیگر شرایط افزایش یا کاهش سرعت باد تأثیر مستقیمی بر تغییرات دمای هوای خروجی سامانه PV/T دارد.

جدول ۳ مشاهده می شود سامانه در روز سوم علی رغم شار تابشی کمتر، دمای هوای خروجی بیشتری نسبت به روز چهارم دارد که با در نظر گرفتن سرعت باد ثبت شده در این دو روز و نتایج حاصل شده درمی یابیم کاهش سرعت باد علاوه بر افزایش دمای محیط، کاهش تلفات حرارتی کل سامانه را به دنبال دارد، همچنین با توجه به اینکه تلفات حرارتی از گردآورنده به محیط از سه طریق جابجایی، هدایت و تشعشع صورت می گیرد افزایش سرعت باد بر افزایش تلفات حرارتی از



شکل ۵- میانگین دمای خروجی PV/T در ظهر خورشیدی در ۵ روز آزمایش

جدول ۳- عوامل محیطی اندازه گیری شده در پنج روز آزمایش

روز	شار تابشی (Wm^{-1})	دمای محیط ($^{\circ}C$)	سرعت باد (ms^{-1})
۱	۵۷۳	۲۷/۷	۱/۲
۲	۷۰۸	۳۲	۱/۲
۳	۵۹۸	۲۸/۸	۱/۱
۴	۶۳۲	۲۶	۱/۵
۵	۶۸۰	۲۸/۵	۱/۷

میانگین تفاوت دمای هوای خروجی بین کار تئوری و تجربی در طی ۵ روز آزمایش برای ساعات مختلف روز در حدود ۰.۸٪ بدست آمد و بیشترین و کمترین اختلاف به ترتیب ۳/۱۶ و ۱/۵۶ درجه در ساعت ۱۳ و ۱۸ عصر محاسبه شد. این اختلاف دمای با توجه به کار انجام شده توسط پولی و همکاران (۲۰۱۶) در هند، منطقی و قابل قبول است.

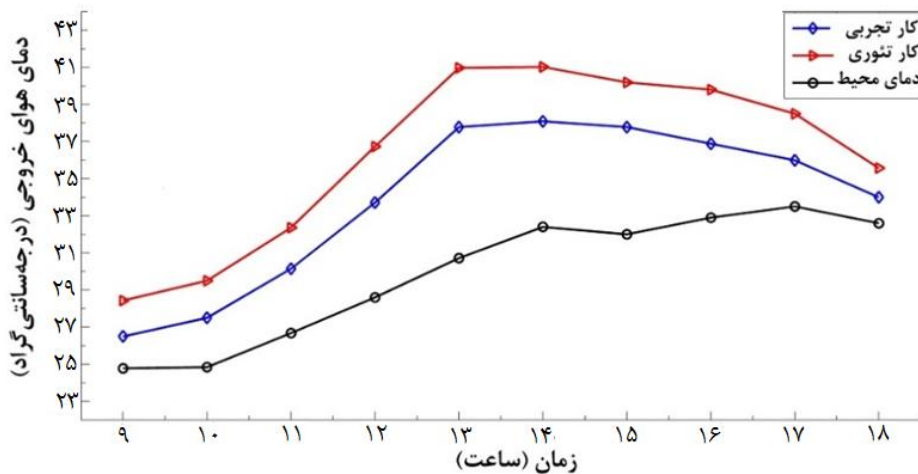
در شکل ۶ مقایسه میانگین دمای هوای خروجی از ساعت ۹ صبح الی ۶ عصر مشاهده می شود. بیشترین دمای هوای خروجی در کار تجربی و تئوری در ساعت ۱ ظهر با شار تابشی $720/6 (W m^{-2})$ ، به ترتیب $37/78$ ، $40/97$ و کمترین دما در ساعت ۹ صبح با شار تابشی $230 (W m^{-2})$ ، به ترتیب $26/5$ و $28/43$ درجه سانتی گراد ثبت شد.

محاسبه و ثبت گشت. در شکل ۷ مقایسه روند گرمای مفید جذب شده در کار تجربی و تئوری دیده می‌شود مقادیر ثبت شده در ساعات مختلف در هر دو کار روند مشابه و قابل قبولی را طی می‌کنند. به طوری که بیشترین و کمترین اختلاف دما بین نتایج کار تجربی و شبیه‌سازی به ترتیب در ساعت ۱ ظهر و ۶ عصر ثبت شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، بیشترین گرمای جذب شده در وسط روز (ساعت ۱ با بیشترین شار تابشی خورشیدی) و کمترین مقدار آن در انتهای روز (ساعت ۶ با کمترین شار تابشی) بدست آمد. این قضیه مبین این است که با افزایش شار تابشی، مقدار گرمایی مفید جذب شده توسط سامانه خورشیدی بیشتر شده و به دنبال آن بهبود در عملکرد گرمایی گردآورنده خورشیدی را به دنبال دارد. با توجه به مقایسه نتایج کار تئوری و تجربی به دست آمده در این تحقیق و مقایسه یافته‌ها با دیگر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه (موجامدر و همکاران، ۲۰۱۶؛ اوس و همکاران، ۲۰۰۸) می‌توان نتایج مدل را تأیید نمود.

شکل ۶ نشان می‌دهد بیشینه اختلاف دمای هوای خروجی در کار تجربی و تئوری با دمای محیط به ترتیب ۷/۰۶ و ۱۰/۲۵ درجه سلسیوس در ساعت یک ظهر و کمترین اختلاف در ساعت ۱۸ به ترتیب ۱/۴ و ۲/۹۷ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. با در نظر گرفتن فاصله دمای هوای خروجی هر دو کار با محیط، واقعیت توجیه پذیر بودن استفاده از سیستم ترکیبی PV/T آشکار می‌شود زیرا علاوه بر افزایش بازدهی الکتریکی در گردآورنده خورشیدی می‌توان از گرمای هوای خروجی این سیستم جهت پیش‌گرمایش سیستم گرمایشی ساختمان استفاده نمود.

۴-۳- انرژی مفید کلی

به طور معمول بیشترین مقدار تشعشع خورشیدی فرودی بر روی سطح صفحه جاذب (صفحه پشتی سلول‌های خورشیدی) PV/T، جذب و به سیال هوا انتقال می‌یابد و به انرژی مفید تبدیل می‌شود. مقدار گرمای مفید قابل برداشت از گردآورنده مذکور با داشتن دمای هوای ورودی و نیز تعیین دمای هوای خروجی با استفاده از رابطه ۳۱



شکل ۶- میانگین دمای هوای خروجی PV/T در ۵ روز آزمایش از ساعت ۹ صبح الی ۱۸ عصر

(۱) ولتاژ خروجی PV/T در تمامی ساعات بیشتر از سیستم شاهد بود که تأثیر مثبت کاهش دمای گردآورنده را در افزایش بازدهی الکتریکی سامانه خورشیدی بیان می‌کند.

(۲) دمای محیط با افزایش شار تابشی بیشتر می‌شود که به دنبال آن افت در ولتاژ تولیدی هر دو سامانه (شاهد و PV/T) را به علت افت توان در سلول‌های خورشیدی در اثر گرم‌تر شدن در پی داشت.

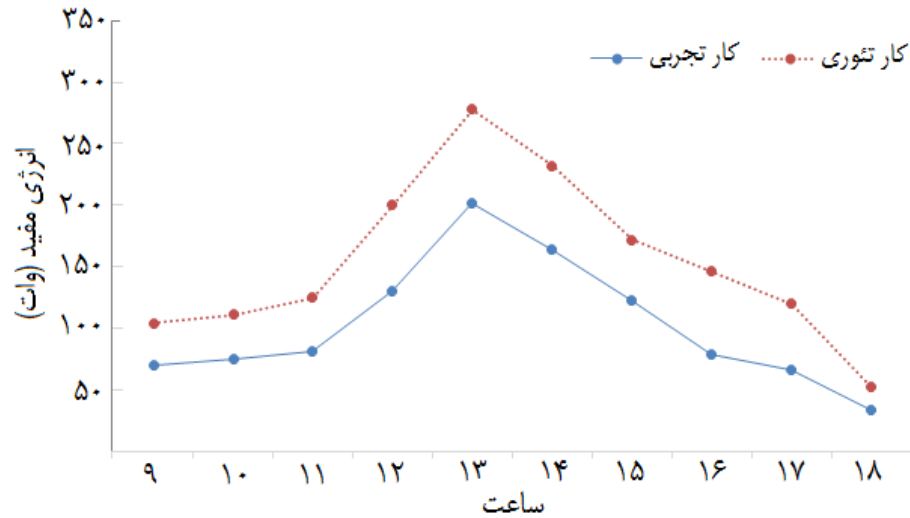
(۳) افزایش شار تابشی در اواسط روز علیرغم اینکه افزایش در عملکردی الکتریکی سامانه خورشیدی را به دنبال نداشت اما به علت افزایش مقدار انرژی تابشی جذب شده توسط صفحه جاذب و افزایش

۵- نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل تئوری و تجربی روی سامانه PV/T مجهز به زائده‌های دوزنقه‌ای شکل در مجرای هوا انجام شد. بررسی بازده گرمایی PV/T و تأثیر دمای کارکرد گردآورنده خورشیدی روی خروجی الکتریکی آن با استفاده از گردآورنده شاهد (PV) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به شرح ذیل حاصل شد:

هوای خروجی با محیط، می‌شود نتیجه گرفت با استفاده از سامانه PV/T علاوه بر بهره‌گیری از توان الکتریکی، می‌توان جهت پیش‌گرمایش سیستم گرمایشی ساختمان‌ها نیز استفاده نمود و اختلاف دمای هوای خروجی با دمای محیط مبین این واقعیت است.

دمای هوای خروجی بهبود در عملکرد گرمایی گردآورنده را در پی داشت. (۴) اختلاف قابل قبولی بین نتایج بررسی تجربی و تئوری بازدهی گرمایی PV/T وجود دارد. با توجه به نتایج بدست آمده و اختلاف دمای



شکل ۷- مقایسه روند گرمای قابل جذب در ۵ روز آزمایش در کار تجربی و تئوری

منابع

- Aoues, K., Moumimi, N., Moumimi, A., Zellouf, M. and Achouri, A. L. E. 2008. **Etude de l' influence des rugosités artificielles sur les performances thermiques des capteurs solaires plans à air**. Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, pp. 219–227.
- Bahrehmand D., Ameri, M., and Gholampour, M. 2015. **Energy and exergy analysis of different solar air collector systems with forced convection**. Renewable Energy, Vol. 83, pp. 1119–1130.
- Chabane, F., Moumimi, N., Benramache, S., Bensahal, D. and Belahssen, O. 2013. **Collector efficiency by single pass of solar air heaters with and without using fins**. Engineering Journal, Vol. 17, No. 3, pp. 43–55.
- Duffie, J. and Beckman, W. 1976. **Solar Engineering of Thermal Processes**. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, p. 910.
- Hedayatizadeh, M., Ajabshirchi, Y., Sarhaddi, F., Farahat, S., Safavinejad, A. and Chaji, H. 2012. **Analysis of exergy and parametric study of a v-corrugated solar air heater**. Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung, Vol. 48, No. 7, pp. 1089–1101.
- Hedayatizadeh, M. 2013. **Exergetic optimization of a co-concentrating photovoltaic-thermal (PV/T) solar collector**. Ph.d Thesis, tabriz-Iran.
- Hedayatizadeh, M., Sarhaddi, F., Safavinejad, A., Ranjbar, F. and Chaji, H. 2015. **Exergy loss-based efficiency optimization of a double-pass/glazed v-corrugated plate solar air heater**. Energy, Vol. 94, pp. 799–810.
- Ho, C. D., Yeh, H. M., Cheng, T. W., Chen, T. C. and Wang, R. C. 2009. **The influences of recycle on performance of baffled double-pass flat-plate solar air heaters with internal fins attached**. Applied Energy, Vol. 86, No. 9, pp. 1470–1478.

- Huang, B. J., Lin, T. H., Hung, W. C. and Sun, F. S. 2001. **Performance evaluation of solar photovoltaic / thermal systems**. Solar Energy, Vol. 70, No. 5, pp. 443–448.
- Kalogirou, S. A. 2014. **Solar Energy Engineering: Processes and Systems**. Second ed., Elsevier, p. 813.
- Kim, J. H., Park, S. H. and Kim, J. T. 2014. **Experimental performance of a photovoltaic-thermal air collector**. Energy Procedia, Vol. 48, pp. 888–894.
- Kumar, R. and Rosen, M. A. 2011. **Performance evaluation of a double pass PV/T solar air heater with and without fins**. Applied Thermal Engineering, Vol. 31, No. 8–9, pp. 1402–1410.
- Mohammadi K. and Sabzpooshani, M. 2013. **Comprehensive performance evaluation and parametric studies of single pass solar air heater with fins and baffles attached over the absorber plate**. Energy, vol. 57, pp. 741–750.
- Mojumder, J. C., Chong, W. T., Ong, H. C., Leong, K. Y. and Abdullah-Al-Mamoon, C. 2016. **An experimental investigation on performance analysis of air type photovoltaic thermal collector system integrated with cooling fins design**. Energy and Buildings, Vol. 130, pp. 272–285.
- Othman M. Y. H., Yatim, B., Sopian, K. and Abu Bakar, M. N. 2005. **Performance analysis of a double-pass photovoltaic/thermal (PV/T) solar collector with CPC and fins**. Renewable Energy, Vol. 30, No. 13, pp. 2005–2017.
- Othman, M. Y. H., Hussain, F. , Sopian, K. , Yatim, B. and Ruslan, H. 2013. **Performance study of air-based photovoltaic-thermal (PV/T) collector with different designs of heat exchanger**. Sains Malaysiana, Vol. 42, No. 9, pp. 1319–1325.
- Priyam, A. and Chand, P. 2016. **Thermal and thermohydraulic performance of wavy finned absorber solar air heater**. Solar Energy, Vol. 130, pp. 250–259.
- Pauly, L., Rekha, L., Vazhappilly, C. V. and Melvinraj, C. R. 2016. **Numerical Simulation for Solar Hybrid Photovoltaic Thermal Air Collector**. Procedia Technology, Vol. 24, pp. 513–522.
- Qureshi, U., Baredar, P. and Kumar, A. 2014. **Effect of weather conditions on the Hybrid solar PV/T Collector in variation of Voltage and Current**. International Journal of Research, Vol. 1, No. 6, pp. 872–879.
- Roger, M. and Jerry, V. 2005. *Photovoltaic Systems Engineering*. Second ed., Taylor & Francis e-Library, p. 435.
- Shojaeizadeh, E., Veysi, F. and Kamandi, A. 2015. **Exergy efficiency investigation and optimization of an Al₂O₃-water nanofluid based Flat-plate solar collector**. Energy and Buildings, Vol. 101, pp. 12–23.
- Srinivas, M. and Jayaraj, S. 2013. **Performance Study of a Double Pass , Hybrid -Type Solar Air Heater with Slats**. Vol. 3, pp. 112–121.
- Sarhaddi, F., Farahat, S., Ajam, H., Behzadmehr, A. and Mahdavi Adeli, M. 2010. **An improved thermal and electrical model for a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector**. Applied Energy, Vol. 87, No. 7, pp. 2328–2339.
- Saygin, H., Nowzari, R., Mirzaei, N., Aldabbagh, L. B. Y., pauly, L., Rekha, L., Vazhappilly, C. V. and Melvinraj, C. R. 2017. **Numerical Simulation for Solar Hybrid Photovoltaic Thermal Air Collector**. Procedia Technology, Vol. 24, pp. 513–522.

- Tonui, J. K. and Tripan, Y. 2008. **Performance improvement of PV/T solar collectors with natural air flow operation.** Solar Energy, Vol. 82, No. 1, pp. 1–12.
- Teo H. G., Lee, P. S. and Hawlader, M. N. A. 2012. **An active cooling system for photovoltaic modules.** Applied Energy, Vol. 90, No. 1, pp. 309–315.
- Weng, Z. and Yang, H. 2008. **Primary Analysis on Cooling Technology of Solar Cells under Concentrated Illumination.** Energy Technology, Vol. 29, No. 1, pp. 16–18.
- Yeh, H., Ho C., and Lin, C. 2000. **Effect of collector aspect ratio on the collector efficiency of upward type baffled solar air heaters.** Energy Conversion and Management, Vol. 41, pp. 971–981.
- Yeh, H. M. and Ho, C. D. 2013. **Collector efficiency in downward-type internal-recycle solar air heaters with attached fins.** Energies, Vol. 6, No. 10, pp. 5130–5144.

Thermal Performance Analysis of a Photovoltaic/Thermal (PV/T) Solar Collector with Fins

A. morady¹, Y. Ajabshirchi¹ and A. Daliran^{1*}

Received: 24 April 2018

Accepted: 11 August 2018

¹Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding author: daliran2@gmail.com

Abstract

In this study, the energy analysis of an air-cooled photovoltaic-thermal (PV/T) equipped with fins was investigated. A PV panel with the same characteristics without cooling fluid was used to compare the results as the control system. A fan with air flow rate of 0.033 kg s^{-1} was used to create forced convection flow. In the lower part of the air channel, a plate with trapezoid fins was mounted to create turbulent flow in the air channel to increase the heat transfer coefficient between the plate and air fluid. Six temperature sensors LM35 were used to record air temperature and a computer program in MATLAB was developed to compute the theoretical performance. The results showed that the use of air flow reduces the temperature of solar cells and thus increases the PV/T output voltage by about 9% over all hours of the experiment compared to the control system (PV). The theoretical and experimental thermal efficiency of the PV/T was calculated as 0.51 and 0.47, respectively. Also, the average difference between theoretical and experimental temperature was about 8%. The maximum difference between air outlet temperature and ambient temperature in measured and predicted were 7.06 and 10.25, respectively, and the minimum differences were 1.40 and 2.97, respectively.

Keywords: Photovoltaic/Thermal collector, Photovoltaic panel, Solar energy, Thermal efficiency