شبیهسازی سیستمهای فتوولتاییک / حرارتی در حالت جابجایی آزاد

امين شىھسىوار*'، مھران عامرى'

چکیدہ:	تاریخ دریافت مقاله: ۸۸/۶/۴
در این مقاله شبیه سازی سیستمهای فتوولتایی/حرارتی در حالت جابجایی آزاد برای	تاریخ پذیرش مقاله: ۸۸/۸/۲
تهای با سرپوش شیشهای و بدون آن ارائه شده و نتایج حاصل با مقادیر آزمایـشگاهی	حاله
یسه شده است. نتایج نشان میدهد که شبیهسازی و مقادیر آزمایشگاهی همخوانی بسیار	مقاي
بی دارد. اثرات قرار دادن سرپوش شیشهای بـر روی پـارامترهـای مختلـف سیـستم نیـز	خوب
سی شده است. نتایج نشان میدهد که قرار دادن سرپوش شیشهای در سیستمهای	برره
ولتایی/حرارتی (PV/T) منجر به افزایش راندمان حرارتی و کاهش راندمان الکتریکی	کلمات کلیدی: فتور
ِ سیستمها میشود.	جابجایی آزاد، شبیهساری، فتوولتایی، فتوولتاییک/ حرارتی این

۱) دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی مکانیک (نویسندهٔ مسئول) ac.ir ۲) دانشگاه شهید باهنر کرمان، پژوهشکده انرژی و محیط زیست

amin.shahsavar@yahoo.com ameri_mm@mail.uk.ac.ir

مقدمه

امروزه بر اثر افزایش بهای سوختهای فسیلی و محدودیت منابع و از طرف دیگر مشکلات زیست محیطی و تغییرات اقلیمی استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. یکی از منابع قابل دسترس و فـراوان، انـرژی خورشیدی است. از جمله کاربردهای انرژی خورشیدی تبدیل مستقیم پرتوهای خورشید بـه الکتریـسیته بوسـیله پانـلهـای فتوولتایی است. سیستمهای فتوولتایی توانایی تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریـسیته را بــا رانـدمانی در حـدود ۵ الــی ۲۰ درصد داراست. یعنی پانل فتوولتایی بخش کمی از تشعشع جذب شده را به انرژی الکتریکی تبدیل مـیکنـد و بقیـه أن بـه صورت حرارت تلف میشود. در عین حال افزایش دمای پانل موجب کاهش راندمان الکتریکی آن میشود. با دفع حرارت از یانلها میتوان این اثر نامطلوب را کاهش داد، به این صورت که با جاری ساختن یک سیال بر روی پانلهای فتوولتایی، به واسطه انتقال حرارت جابجایی، میتوان بخش زیادی از این حرارت را از پانل جذب کرده و دمای سطح پانـل فتوولتـایی را کاهش و در نتیجه راندمان الکتریکی را افزایش داد. دمای سیال عبوری از روی پانل در اثر جذب حرارت افزایش مییابـد و در نتیجه می وان از آن جهت مصارف مختلف از جمله خشک کن خورشیدی و تهویـه مطبـوع اسـتفاده کـرد. تمـامی ایـن فرایندها را میتوان در یک مجموعه جای داد که این مجموعه را سیستم فتوولتایی/حرارتی خورشیدی مینامند. در ایـن فن[وری، خنککاری پانل فتوولتایی و افزایش راندمان با یکدیگر مقارن شده است. استفاده از اب و هوا برای خنـککاری پانلهای فتوولتایی رایج است. سیستمهای فتوولتایی/حرارتی مورد توجه بسیاری قرار گرفتـه و در نتیجـه توسـط محققـین بسیاری هم از لحاظ نظری و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. در سال ۱۹۷۸ کرن و راسل اولـین کـسانی بودنـد که با استفاده از نتایج ازمایشگاهی مفهوم اصلی سیستمهای فتوولتایی/حرارتی را که توسط دو سیال عامل اَب و هوا عمل می کرد، ارائه نمودند [۶]. پراکاش با تحقیق بر روی سیستمهای فتوولتاییک/حرارتی با سیال عامل هوا و اب به این نتیجه رسيد كه راندمان اين سيستمها با سيال عامل أب بيشتر از هوا است، زيرا كه خواص ترموفيزيكي أب از هـ وا بيـشتر اسـت. ولی استفاده از هوا به دلیل هزینههای ساختاری کمتر رایجتر است [۳]. سوپیان و همکارانش با انجام انالیز حرارتی بر روی سیستمهای فتوولتایی/حرارتی هوایی از نوع تک کانالی و دو کانالی نشان دادند که سیستم با آرایش دو کانالی مشخصههای بهتری نسبت به نوع تک کانالی داراست [۸]. بازیلیان و پراساد یک مدل عددی برای سیستمهای فتوولتایی/حرارتی در حالت جابجایی آزاد ارائه کردند [۱]. تونی و تریپاناگنوستوپولوس، اصلاحاتی بـر روی سیـستمهای فتوولتایی/حرارتی انجام دادند و آن را به دو صورت انتقال حرارت اجباری و آزاد مورد بررسی قرار دادند [۷]. در سال ۲۰۰۷، جوشی و تیواری، راندمان سیستمهای فتوولتاییک/حرارتی را به دو صورت انرژی و اگزرژی مورد بررسی قـرار دادنـد. أنـان راندمان انرژی را حدود ۵۵ الی ۵۶ درصد و راندمان اگزرژی را حدود ۱۲ الی ۱۵ درصد بیان کردند [۵]. در این مقاله یک سیستم فتوولتایی/حرارتی هـوایی دو کانـالی در حالـت جابجـایی آزاد بـرای حالـتهـای بـا سـرپوش شیشهای و بدون سرپوش شیشهای شبیهسازی شده و نتایج حاصل از شبیهسازی با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه شده است.

مدلسازى

نمونهای از سیستمهای فتوولتایی/ حرارتی مطابق شکل (۱) در دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان ساخته شده و در محیط آزاد مورد آزمایش قرار گرفته است. ابعاد این سیستم برابر با ۳۵×۵۴×۹۶ سانتیمتر است. اجـزای مختلف سیستم و کلیه ضرایب انتقال حرارت در مقطع عرضی ارائه شده در شکل (۲) نشان داده شده است. در ایـن مجموعـه از دو پانل فتوولتایی نوع سیلیکونی پلی کریستالی که هر کدام توان اسمی برابر با ۴۵ وات را داراست، اسـتفاده شـده است. ایـن از پانلها بخشی از تشعشع رسیده را جذب می کنند که صرف تولید الکتریسیته و بالا رفتن دمای آنها میشود. تشعشع عبوری جلوگیری کرده و باعث افزایش راندمان الکتریکی پانلها میشود. دمای هوای عبوری از کانالهای سیـستم بـر اثـر جـذب حرارت پانل فتوولتایی و کلکتور حرارتی، به واسطه انتقال حرارت جابجایی، افزایش مییابد. افزایش دمای هـوا بـه افـزایش بلوگیری کرده و باعث افزایش راندمان الکتریکی پانلها میشود. دمای هوای عبوری از کانالهای سیـستم بـر اثـر جـذب راندمان حرارت پانل فتوولتایی و کلکتور حرارتی، به واسطه انتقال حرارت جابجایی، افزایش مییابد. افزایش دمای هـوا بـه افـزایش راندمان حرارت پانل فتوولتایی و کلکتور حرارتی، به واسطه انتقال حرارت جابجایی، افزایش مییابد. افزایش دمای هـوا بـه افـزایش راندمان حرارتی منجر میشود. پس با این نحوه طراحی میتوان انرژی بر واحد سطح بیشتری به دست آورد. نحـوه جریـان راندمان حرارتی منجر میشود. پس با این نحوه طراحی میتوان انرژی بر واحد سطح بیشتری به دست آورد. نحـوه جریـان راندمان حرارتی منجر میشود. پس با این نحوه طراحی میتوان انرژی بر واحد سطح بیشتری به دست آورد. نحـوه جریـان راندمان حرارتی منجر میشود. پن با این نحوه طراحی میتوان انرژی بر واحد سطح بیشتری به دست آورد. نمحوه جریـان رایدمان حرارتی منجر میشود. پنال میتوان به این صورت شرح حرارتی دول افزایش دما و در نتیجه کاهش چگالی میشود. بـر اثـ کاهش چگالی، هوا در داخل کانالها را میتوان بالا حرکت کرده و هوای محیط که چگـالی بیـشتری دارد، جـایگزین آن در ابتدای کانال میشود. هوای عبوری از کانال بالای سیستم با جذب حرارت پانل فتوولتایی موجب کـاهش دمـا و در نتیجـه



شکل ۱ : دستگاه ساخته شده در دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان



شکل ۲: اجزای مختلف سیستم مورد بررسی و ضرایب انتقال حرارت

محاسبه دبی جرمی

برای به دست آوردن رابطه ی جهت محاسبه دبی جرمی برای حالت جابجایی آزاد، با توجه به شکل (۳)، معادل ه برنولی برای نقاط ۱ و ۲ یعنی به ترتیب ورودی و خروجی هوا به داخل کانال به شکل زیر نوشته می شود. در این رابطه ρ ، ρ_1 و γ برای نقاط ۱ و ۲ یعنی به ترتیب ورودی و خروجی هوا به داخل کانال به شکل زیر نوشته می شود. در این رابطه ρ ، ρ و γ به ρ_2 و γ به ترتیب عبارت است از چگالی هوای ورودی، چگالی هوای خروجی و چگالی متوسط هوا در حالی 1v، 2v و v به ترتیب عبارت است از چگالی هوای ورودی، چگالی هوای خروجی و چگالی متوسط هوا در حالی 1v، 2v و v به ترتیب عبارت است از جگالی هوای ورودی، سرعت هوای خروجی و سرعت متوسط هوا در داخل کانال. 1 ضریب ات لاف ترتیب عبارتست از: سرعت هوای ورودی، سرعت هوای خروجی و سرعت متوسط هوا در داخل کانال. 1 ضریب ات لاف جزئی ناشی از ورود هوا به داخل کانال بوده و برابر با ۲/۰ در نظر گرفته می شود در حالی که 2 ضریب ات لاف جزئی ناشی از خروج هوا از کانال است و برابر با ۱ در نظر گرفته می شود. k_3 نیز ضریب اتلاف جزئی ناشی از سایر گرفته شده است ایر با ۲/۰ در نظر گرفته می شود. و بایر با ۲/۰ در نظر گرفته می شود در حالی که راهی از سایر عوامل بوده و برابر با ۲/۰ در نظر گرفته می شود. در حالی که زئی ناشی از سایر با دار است و برابر با ۲ در نظر گرفته می شود. k_3 نیز ضریب اتلاف جزئی ناشی از سایر عوامل بوده و برابر با ۲/۰ در نظر گرفته می شود. در الاف جزئی ناشی از سایر عوامل بوده و برابر با ۲/۰ در نظر گرفته شده است [۱].

$$p_1 + \frac{\rho_1 v_1^2}{2} + \rho_1 g z_1 - \frac{fL}{D_H} \frac{\rho v^2}{2} - k_1 \frac{\rho_1 v_1^2}{2} - k_3 \frac{\rho v^2}{2} = p_2 + \frac{\rho_2 v_2^2}{2} + \rho_2 g z_2 + k_2 \frac{\rho_2 v_2^2}{2} \tag{1}$$



شکل ۳: مقطع عرضی سیستم فتوولتایی/حرارتی

در رابطه فوق $D_H = \frac{4A}{p}$ محاسبه میشود. در این $D_H = \frac{4A}{p}$ محاسبه میشود. در این رابطه $D_H = \frac{4A}{p}$ محاسبه میشود. در این رابطه فوق D_H محاسبه میشود. در این رابطه A مطح مقطع کانال و p محیط کانال را نشان میدهند. همچنین در رابطه فوق f ضریب اصطکاک بوده و با استفاده از رابطه زیر محاسبه میشود [۵]:

$$f = 1.906(Gr / \Pr)^{1/12}$$
(Y)

$$Gr = \frac{L^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\mu} \tag{(7)}$$

برای سادهتر شدن معادله (۱)، تعدادی فرض ساده کننده در نظر گرفته می شود که عبارتست از :

۱- با توجه به این نکته که نقاط ۱ و ۲ هر دو با هوای محیط در ارتباط است، می توان فشار این نقاط را یکسان در نظر $p_1 = p_2$. گرفت یعنی میتوان فرض کرد : $p_1 = p_2$

$$\rho_1 g z_1 - \rho_2 g z_2 = \frac{\rho_2 v_2^2}{2} + \frac{fL}{D_H} \frac{\rho v^2}{2} + k_3 \frac{\rho v^2}{2} + k_2 \frac{\rho_2 v_2^2}{2} \tag{(f)}$$

معادله بقای جرم و رابطه میان چگالی هوا و دمای آن به ترتیب عبارتست از:

$$\dot{m} = \rho A_{ch} v = \rho_2 A_2 v_2 \tag{a}$$

$$\rho_T = \rho \beta T \tag{($)}$$

در رابطه فوق ho_{T} چگالی هوا در دمای مفروض T است. eta ضریب انبساط حرارتی هوا بوده و بـه صـورت زیـر تعریـف ho_{T} می شود:

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad \text{(Y)} \quad T_f = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

با بکارگیری معادلات (۵)، (۶) و (۷) در معادله (۴)، معادله زیر برای محاسبه سرعت هوای عبوری از کانال حاصل می شود:

$$v^{2} = 2g\beta L\sin\theta (T_{out} - T_{in}) \left[2.2 + \frac{fL}{D_{H}} = 2\beta T_{out} \left(\frac{A_{ch}}{A_{2}}\right)^{2} \right]^{-1}$$
(A)

با استفاده از معادلات (۵) و (۸)، معادله زیر برای محاسبه دبی جرمی بدست میآید:

$$\dot{m}^{2} = 2g\beta L\sin\theta (A_{ch}\rho)^{2} (T_{out} - T_{in}) \left[2.2 + \frac{fL}{D_{H}} + 2\beta T_{out} \left(\frac{A_{ch}}{A_{2}}\right)^{2} \right]^{-1}$$
(9)

گرمای جذب شده توسط هوای عبوری از کانال با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Q_u = \dot{m}C_p \left(T_{out} - T_{in}\right) = \eta_{th}A_{pv}I_r \tag{1}$$

در این رابطه I_r شدت تابش برخوردی به پانلهای فتوولتایی، A_{pv} مساحت پانلها و η_{th} راندمان حرارتی سیستم را نشان می دهد. C_p نیز گرمای ویژه هوا است که برابر با 1 - 1 - 1 = 1 = 1 ۲۰۰۰ در نظر گرفته شده است. در صورتی که عبارت $(T_{out} - T_{in})$ را از معادله (۱۰) بدست آورده و در معادله (۹) قرار دهیم، رابطه نهایی برای محاسبه دبی جرمی هوای داخل کانال به دست می آید:

$$\dot{m} = \left(\frac{2g\beta(A_{ch}\rho)^2 A_{p\nu}\eta_{th}I_r L\sin\theta}{C_p(2.2 + fL/D_h + 2\beta T_{out}(A_{ch}/A_2)^2)}\right)^{\frac{1}{3}}$$
(11)

در صورتی که از اختلاف ارتفاع کانالهای بالا و پایین صرفنظر کنیم، از رابطه (۱۱) برای محاسبه دبی جرمی هر دو کانال میتوان استفاده کرد.

معادلات بقای انرژی

برای نوشتن معادلات بقای انرژی اجزای مختلف سیستم، المانی دیفرانسیلی به طول dx و به عرض w و به فاصله x از طول ورودی در نظر می گیریم. فرضیات مورد استفاده برای نوشتن معادلات انرژی عبارتست از: انتقـال حـرارت غیـر دائم و یک بعدی، صرفنظر کردن از گرمای ویژه همه اجزا به جز هوای داخل کانالها، یکسان در نظـر گـرفتن ضـریب انتقال حرارت جابجایی میان هوای داخل کانالها با پانل فتوولتایی، کلکتور حرارتی و جداره عایق و در نهایت یکنواخت در نظر گرفتن ضـریب انتقال حرارت غیـر و یک بعدی، صرفنظر کردن از گرمای ویژه همه اجزا به جز هوای داخل کانالها، یکسان در نظـر گـرفتن ضـریب انتقال حرارت جابجایی میان هوای داخل کانالها با پانل فتوولتایی، کلکتور حرارتی و جداره عایق و در نهایت یکنواخت در روابط رگرفتن ذمای پانل فتوولتایی، کلکتور حرارتی و جداره عایق و در نهایت یکنواخت در روابط بقای انرژی برای اجزای مختلف سیستم میپردازیم. گفتنی است که در روابط ارائه شده انـدیسها g ، g

سرپوش شیشهای

$$\alpha_{g}I_{r}wdx = (h_{r,pv-g} + h_{c}')(T_{g} - T_{pv})wdx + (h_{r,g-a} + h_{w})(T_{g} - T_{a})wdx$$
(17)

پانل فتوولتايي

$$\tau_{g}\alpha_{pv}(1-\eta_{el})I_{r}wdx = U_{T}(T_{pv}-T_{a})wdx + h_{c}(T_{pv}-T_{f1})wdx + h_{r,pv-p}(T_{pv}-T_{p})wdx$$
(17)

سيال كانال بالا

$$\dot{m}_{f1}C_p dT_{f1} = h_c (T_{pv} - T_{f1})w dx + h_c (T_p - T_{f1})w dx \tag{14}$$

كلكتور حرارتي

$$h_{r,pv-p}(T_{pv} - T_p)wdx = h_c(T_p - T_{f1})wdx + h_c(T_p - T_{f2})wdx + h_{r,p-p}(T_p - T_b)wdx$$
(10)

سیال کانال پایین

$$\dot{m}_{f2}C_p dT_{f2} = h_c (T_p - T_{f2})w dx + h_c (T_b - T_{f2})w dx \tag{19}$$

جداره عايق

$$h_{r,p-b}(T_p - T_b)wdx = U_b(T_b - T_a)wdx + h_c(T_b - T_{f2})wdx$$
(1V)

برای حالت بدون سرپوش شیشهای علاوهبر حذف شدن معادله (۱۲)، معادله (۱۳) نیز به شکل زیر تغییر میکند:

$$\alpha_{pv}(1-\eta_{el})I_rwdx = h_w(T_{pv} - T_a)wdx + h_c(T_{pv} - T_{f1})wdx + h_{r,pv-p}(T_{pv} - T_p)wdx$$
(1A)

روابط مورد استفاده برای محاسبه راندمان حرارتی و راندمان الکتریکی سیستم عبارتست از:

$$\eta_{ih} = \frac{\dot{m}_{f1}c_p (T_{out} - T_{in})_{f1}}{I_r A} + \frac{\dot{m}_{f2}c_p (T_{out} - T_{in})_{f2}}{I_r A}$$
(19)

$$\eta_{el} = \eta_{ref} \left(1 - \beta_{ref} \left(T_{pv} - T_{ref} \right) \right) \tag{Y}$$

$$\eta_{tot} = \eta_{th} + \eta_{el} \tag{(Y)}$$

در رابطه (۲۰)، β_{ref} ضریب دمایی سلول خورشیدی و η_{ref} راندمان الکتریکی پانل در دمای مرجع T_{ref} است. برای سیستم فتوولتایی/حرارتی مورد بررسی، η_{ref} با استفاده از نتایج آزمایشگاهی برای دمای مرجع ۲۵ سانتی گراد بـرای حالتهای با سرپوش شیشهای و بدون آن به ترتیب برابر با ۱۱۷/۰ و ۱۱۷/۰ در نظر گرفته شده است. β_{ref} نیـز بـرای هر دو حالت با سرپوش و بدون سرپوش برابر با معادلات ارائه شده بیانگر این واقعیت است که معادلات انرژی و معادله (۱۱) وابسته بوده و در نتیجه برای شبیهسازی سیستم مورد بررسی باید دستگاه معادلات وابسته حاصل با استفاده از روشهای عددی حل شود.

محاسبه ضرايب انتقال حرارت

ضرايب انتقال حرات جابجايي

ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد میان شیشه و سطح رویی پانل فتوولتایی از رابطه زیر محاسبه می شود [۴]:

$$h'_{c} = \frac{k}{s\left\{1 + 1.44[1 - R]^{*}(1 - R(\sin 1.8\theta)^{1.6}) + [0.66416R^{-1/3} - 1]^{*}\right\}}$$
(YY)

در رابطه فوق θ میان شیشه و پانل فتوولتایی، θ زاویـه $Ra_s \, cos \theta$ عدد رایلی برای فاصله هوایی میان شیشه و پانل فتوولتایی است که برای سیستم قرارگیری کلکتور نسبت به افق (برای کرمان °30) و s فاصله هوایی میان شیشه و پانل فتوولتایی است که برای سیستم مورد بررسی برابر با ۲۵ میلیمتر است. منظور از علامت * در این رابطه این است که اگر ترمهای مزبور منفی شود باید با صفر جایگزین شود. در ضمن کلیه خواص به کار گرفته شده در این رابطـه بایـد در دمـای میانگین فاصـله هـوایی یعنی مود باید با $\frac{(T_{pv} + T_g)}{2}$ محاسبه شود.

ضریب انتقال حرارت جابجایی شیشه با هوای آزاد برای حالت با شیشه و سطح رویی کلکتور با هوای آزاد برای حالت بدون شیشه از رابطه زیر محاسبه می شود [۲]:

 $h_w = 2.8 + 3V_w \tag{(YT)}$

در رابطه فوق V_w نشان دهنده سرعت باد است.

برای محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد میان هوای داخل کانالهای بالا و پایین سیـستم بـا پانـل فتوولتـایی، کلکتور حرارتی و جداره عایق از روابط زیر استفاده میشود [۱] :

$$Nu = 0.68 + \frac{0.67 \left[\left[Gr. \Pr \right] \right]^{(1/4)}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{\Pr} \right)^{\left(\frac{9}{16} \right)} \right]^{(4/9)}}$$
(Yf)

$$h_c = \frac{kNu}{D_H} \tag{Y\Delta}$$

ضرايب انتقال حرارت تشعشعي

ضریب انتقال حرات تشعشعی میان اَسمان و سرپوش شیشهای برای حالت با سرپوش و سطح رویـی پانـل فتوولتـایی برای حالت بدون سرپوش از رابطه زیر محاسبه میشود [۲]:

$$h_{r,g-a} = \sigma \varepsilon_{pv} \frac{(T_g^4 - T_s^4)}{T_g - T_a} \tag{(YF)}$$

$$T_s = 0.0552T_a^{1.5}$$
(YY)

برای حالت بدون سرپوش شیشهای باید در رابطه (۲۶) به جای T_g ، T_g قرار داد. برای محاسبه ضریب انتقال حرارت تشعشعی میان سطوح ۱ و ۲، رابطه زیر مورد استفاده قرار می گیرد [۲]:

$$h_{r,1-2} = \sigma(T_1 + T_2)(T_1^2 + T_2^2) \left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)^{-1}$$
(YA)

ضرايب اتلاف حرارتى

ضريب اتلاف حرارت سطح پاييني بدنه به محيط اطراف از رابطه زير محاسبه مي شود [7]:

$$U_b = \frac{k_{ins}}{\delta_{ins}} \tag{19}$$

در رابطه فوق، k_{ins} و β_{ins} به ترتیب نشان دهنده رسانایی حرارتی و ضخامت عایق است.

ضریب اتلاف حرارت پانل فتوولتایی به محیط اطراف با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود [۲]:

$$U_{T} = \left[\frac{N}{(C/T_{p})[(T_{p} - T_{a})/(N+f)]^{e}} + \frac{1}{h_{w}} \right]^{-1} + \left[\frac{(\varepsilon_{p} + 0.00591Nh_{w})^{-1} + \left[(2N + f - 1 + 0.133\varepsilon_{p})/\varepsilon_{g} \right] - N}{\sigma(T_{p} + T_{a})(T_{p}^{2} + T_{a}^{2})} \right]^{-1}$$
(γ .)

در رابطه فوق، پارامترهای c، c و f با استفاده از روابط زیر محاسبه می شود:

$$c = 520(1 - 0.000051\beta^2) \quad for \quad 0^\circ < \beta < 70^\circ \ \beta = 70^\circ \quad if \quad 70^\circ < \beta < 90^\circ \tag{(71)}$$

$$e = 0.43(1 - \frac{100}{T_p}) \tag{77}$$

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

علاوهبر این در رابطه فوق N نشان دهنده تعداد سرپوشهای شیـشهای اسـت کـه در بـالای پانـل فتوولتـایی قـرار داده میشود.

نتايج مدلسازى

برای اینکه بتوان نتایج مدلسازی را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کـرد از شـدت تـابش، دمـای محـیط و سـرعت بـاد اندازهگیری شده در آزمایشگاه استفاده شده است. شکلهای ارائه شده در این بخش به خـوبی نـشان مـیدهنـد کـه نتـایج حاصل از شبیهسازی برای حالتهای با سرپوش شیشهای و بدون آن انطباق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد.







شکل ۷: راندمان الکتریکی برای زمانهای مختلف روز



شکل ۸: راندمان مجموع برای زمانهای مختلف روز

نتيجەگىرى

نتایج ارائه شده نشان میدهد که شبیه سازی سیستمهای فتوولتایی/حرارتی و نتایج آزمایش همخوانی بسیار خوبی دارد. به علاوه قرار دادن سرپوش شیشه ی منجر به افزایش دبی جرمی هوا و راندمان حرارتی و کاهش راندمان الکتریکی این سیستمها می شود. بنابراین، تنها در کاربردهایی که راندمان حرارتی دارای اولویت بیشتری در مقایسه با راندمان الکتریکی است قرار دادن سرپوش شیشه ی مناسب است. محاسبه نشان می دهد راندمان مجموع (الکتریکی+حرارتی) تئوری و آزمایشگاهی سیستمهای فتوولتاییک/حرارتی هوایی برای هر دو حالت با شیشه و بدون شیشه بسیار بیشتر از راندمان ۵ الی ۲۰ درصدی سیستمهای فتوولتایی است.

فهرست علائم

A	m^2 مساحت مقطع کانال، m^2
D_H	قطر هيدروليكي، m
f	ضریب اصطکاک
Gr	عدد گراشف
h_c	ضريب انتقال حرارت جابجايی، <i>WK</i> ⁻¹ m ⁻²
h_r	$W\!K^{-1}m^{-2}$ ضریب انتقال حرارت تشعشعی،
I _r	$W\!m^{-2}$ شدت تابش ورودی، $W\!m^{-2}$
k	$Wm^{-1}K^{-1}$ رسانایی حرارتی،
L	طول سیستم، m
'n	دب <i>ی</i> جرمی، Kg / s
Nu	عدد ناسلت
p	فشار، Pa
Pr	عدد پرانتل
Γ	K دمای مطلق، K

منابع

U	$WK^{-1}m^{-2}$. ضربت اتلاف جرارتی
W	ر
	علائم يونانى
α	ضريب جذب
β_{ref}	ضریب دمایی سلولهای فتوولتایی
δ	ضخامت عايق
η_{ref}	راندمان الکتریکی پانل فتوولتایی در دمای مرجع
η_{el}	راندمان الكتريكي پانل فتوولتايي در دماي پانل
η_{th}	راندمان حرارتي سيستم فتوولتايي/حرارتي
σ	ثابت اشتفان– بولتسمان، $K^{-4} = Wm^{-2} K^{-4}$ ثابت اشتفان– بولتسمان، ثابت اشتفان
τ	ضريب عبور
	زيرنويس
b	جداره عايق
f1	سیال کانال بالا
<i>f</i> 2	سیال کانال پایین
g	شيشه
p	کلکتور حرارتی
pv	پانل فتوولتاييک

- Bazilian, M, Prasad, D., 2002. "Modelling of a Photovoltaic Heat Recovery System and its Role in a Design Decision Support Tool for Building Professionals." Renewable Energy 27, 57-68.
- [2] Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1991. "Solar Engineering of Thermal Processes "John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [3] FPrakash, J., 1994. "Transient Snalysis of a Photovoltaic-Thermal Solar Collector for Cogeneration of Electricity and Hot Air/Water." Energy Conversion and Managment 35, 967– 972.
- [4] Hegazy, A., 2000. "Comparative Study of the Performance of Four Photovoltaic/Thermal Solar Air Collectors." Energy Conversion & Management 41, 861-881.
- [5] Joshi, A., Tiwari, A., 2007. "Energy and Exergy Efficiencies of a Hybrid Photovoltaic-Thermal Air Collectors." Renewable Energy 32, 2223–2241.
- [6] Kern, EC., Russell, M.C., 1978. "Combined Photovoltaic and Thermal Hybrid Collector Systems." In: Proceedings of the 13th IEEE PV Specialist Conference, Washington, DC. 5–8 June 1978. p. 1153–7.
- [7] Onui, J.K., Tripanagnostopoulos, Y., 2006. "Improved PV/T Solar Collectors with Heat Extraction by Forced or Natural air Circulation,." Solar Energy 81, 498-511.
- [8] Sopian, K., Yigit, K.S., Liu, H.T., Kakac, S., Veziroglu, T.N., 1996. "Performance Analysis of Photovoltaic Thermal Air Heaters." Energy Conversion and Management 37, 1657–1670.