

طراحی و تأمین بار الکتریکی-حرارتی یک مجموعه مرغداری با سلول‌های فتوولتائیک-حرارتی با استفاده از نرم‌افزار PVSOL و TRANSYS

ایلقار اطهری^۱، فرشاد ترابی^۲، احمد توسلی^۳

دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات تهران - دانشکده محیط زیست و انرژی - انتهای بزرگراه اشرفی اصفهانی به سمت حصارک
elgar.athari@gmail.com

چکیده

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و بخصوص انرژی خورشیدی برای تأمین انرژی مورد نیاز از جمله روش‌های اصلاح الگوی مصرف انرژی در کشور است. یکی از بخش‌های پرمصرف انرژی کشور در بخش کشاورزی، صنعت مرغداری است که در حدود ۴۰ درصد مصرف بخش کشاورزی است. در این مقاله با توجه به مشخصات جغرافیایی و اقلیمی شهر تبریز، مشخصات یک نمونه واحد مرغداری پرورش جوجه گوشتی و میزان تقاضای الکتریسیته مصرفی ساختمان مورد نظر، از سیستم ترکیبی گرمایش کفی و سلول‌های فتوولتائیک-حرارتی برای گرمایش سالن مرغداری نمونه استفاده شده است. هدف اصلی مورد بررسی در این مقاله آن است که از حرارت تولیدی در سلول‌های فتوولتائیک که سبب افزایش دما در سلول‌ها می‌شود، برای گرمایش محیط با توجه به نیاز دمای پایین سیستم گرمایش از کف، استفاده گردد. نتایج بدست آمده از مدل‌سازی سیستم خورشیدی، سیستم گرمایش کفی و محاسبه بارهای حرارتی سالن مرغداری نمونه، برای شبیه‌سازی دینامیکی کل ساعات سال نشان دادند که برای اقلیم سردسیر، سیستم ترکیبی فتوولتائیک-حرارتی و گرمایش کفی، قادر به تأمین ۱۲٪ از نیاز گرمایشی سالانه سالن مرغداری است. همچنین با خنک نگه داشتن صفحات خورشیدی باعث افزایش ۱٫۳٪ راندمان الکتریکی سالانه شده است، که خود منجر به افزایش تولید (kWh) ۲۵۰۰ توان الکتریکی در سال شده است.

واژه‌های کلیدی: فتوولتائیک-حرارتی، پنل خورشیدی، سیستم ترکیبی، گرمایش از کف

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی

۲- استادیار دانشکده مکانیک، دانشگاه خواجه‌نصیر طوسی

۳- دانشیار دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی

مصرف انرژی در مرغداری‌ها به علت دمای طراحی بالای آنها برای تأمین آسایش طیور، بسیار بالا بوده و این صنعت جزو صنایع انرژی‌بر محسوب می‌گردد. یکی از خصوصیات اصلی این گونه صنایع آن است که دمای طراحی بالایی نیاز دارند که با توجه به وضعیت جغرافیایی ایران، استفاده از انرژی حرارتی خورشیدی می‌تواند گزینه بسیار مناسبی برای تأمین حرارت مورد نیاز باشد اگرچه استفاده از انرژی خورشیدی برای گرمایش سالن‌های مرغداری در دنیا قدمتی نیم قرن دارد [۱-۳]، اما در ایران تاکنون انجام نگرفته‌است. مطالعه سیستم‌های فتوولتائیک-حرارتی نشان می‌دهد که سیستم‌های فتوولتائیک توانایی تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته را با راندمانی در حدود ۵ الی ۲۰ درصد دارند یعنی پانل فتوولتائیک بخش کمی از تشعشع جذب شده را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند، مابقی آن به صورت حرارت تلف می‌شود. سیستم‌های فتوولتائیک-حرارتی این انرژی حرارتی را که باعث افزایش دمای پانل می‌شود و راندمان آن را کاهش می‌دهد احیا کرده و مورد استفاده قرار می‌دهند. بدین وسیله واحد مرغداری به نوعی خود تولیدکننده بخشی از توان مصرفی می‌گردد.

سیستم فتوولتائیک یک انتخاب مناسب برای کمک به کشورها به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در سال‌های اخیر نصب سیستم‌های فتوولتائیک به طور متوسط در هر سال ۳۰٪ افزایش یافته‌است. دولتمردان ژاپنی انرژی خورشیدی را بخش مهمی از ترکیبات انرژی با هدف تولید ۱۰٪ الکتریسیته از سیستم‌های فتوولتائیک در سال ۲۰۳۰ قرار دادند [۴]. کرن و همکاران در سال ۱۹۷۸ اولین کسانی بودند که با استفاده از نتایج آزمایشگاهی مفهوم اصلی سیستم‌های فتوولتائیک-حرارتی را که توسط دو سیال عامل آب و هوا عمل می‌کرد، ارائه نمودند. نتایج نشان داد که استفاده از سیال عامل آب باعث افزایش انتقال حرارت و در نتیجه افزایش راندمان حرارتی می‌شود. زیرا که خواص ترموفیزیکی آب از هوا بیشتر است ولی استفاده از هوا به دلیل هزینه‌های ساختاری کمتر رایج است [۵]. بازیلیان و همکاران در سال ۲۰۰۲ یک مدل عددی برای سیستم‌های فتوولتائیک-حرارتی در حالت جابجایی آزاد ارائه کردند. جابجایی آزاد هوای پشت پنل‌های PV که برای خنک‌کاری سیستم بکار می‌رفت، برای گرمایش محل مورد استفاده در ساختمان قرار می‌گرفت. این مدل که توسط نرم‌افزار EES مدل‌سازی شد توانایی استفاده از شرایط آب و هوایی برای کارکرد سالانه سیستم بود [۶]. جوشی و همکاران در سال ۲۰۰۷، راندمان سیستم‌های فتوولتائیک-حرارتی را به دو صورت انرژی و انرژی برسی قرار دادند. آنان راندمان انرژی را حدود ۵۵ الی ۵۶ درصد و راندمان انرژی را حدود ۱۲ الی ۱۵ درصد بیان کردند [۷]. تئو و همکارانش در سال ۲۰۱۲ یک سیستم فتوولتائیک-حرارتی طراحی کردند و آن را مورد آزمایش قرار دادند برای خنک کردن فعال سلول‌های فتوولتائیک، یک آرایه‌ی موازی از کانال‌ها با منیفولد ورودی-خروجی جهت توزیع یکنواخت جریان هوا، طراحی و در پشت پنل PV وصل کردند. آزمایشات را با و بدون خنک کردن فعال انجام دادند. یک روند خطی بین دمای سلول و بازده به دست آمد بدون خنک کردن فعال، دمای ماژول بالا بود $65^{\circ}C$ و سلول خورشیدی تنها می‌توانست به بازده ۹٪ برسد اما زمانی که پنل فتوولتائیک در شرایط خنک کردن فعال کار می‌کرد دما به صورت چشمگیری $65^{\circ}C$ کاهش پیدا کرد و بازده سلول خورشیدی به ۱۴٪ افزایش یافت. در این بررسی یک مدل شبیه‌سازی انتقال حرارت برای مقایسه با پروفایل دمای واقعی فتوولتائیک ایجاد شد که بین شبیه‌سازی و آزمایش توافق خوبی دیده شد [۸]. ری و همکاران در سال ۲۰۰۹ با استفاده از سلول‌های فتوولتائیک-حرارتی به تأمین برق و نیاز آبگرم مصرفی یک مجموعه آموزشی با روش f چارت پرداختند. ذخیره انرژی را برای ماه‌های مختلف سال بدست آوردند [۹].

در این مقاله با استفاده از سلول‌های فتوولتائیک-حرارتی و با شبیه‌سازی دینامیکی برای کل سال می‌توان انتظار داشت که میزان قابل توجهی از توان مورد نیاز مجموعه مرغداری توسط خود این بخش (بخش مصرف) در طی روز تأمین گردد و این امر به معنای کاهش تولید نیروگاهی، جلوگیری از افت ولتاژ، کاهش تلفات خط و کاهش آلودگی محیط زیست است. لذا چنین سیستم‌هایی می‌تواند گزینه مناسبی برای تأمین برق و حرارت یک مجموعه مرغداری بوده و علاوه بر این سهم بزرگی در تأمین انرژی پاک داشته‌باشد.

۲- انرژی سالانه مورد نیاز مجموعه‌ی مرغداری

ابتدا انرژی سالانه مورد نیاز برای مجموعه مرغداری محاسبه شده است. این انرژی همان انرژی مورد نیاز برای تأمین بار گرمایی ساختمان در زمان‌هایی که دمای هوا از حد آسایش پایین‌تر است، می‌باشد. سالن مرغداری به ابعاد ۱۲۰۰ مترمربع سوله با سقف شیبدار که از مصالح متوسط تشکیل شده است، شامل ۱۰۰۰۰ پرورش جوجه گوشتی در قفس در اقلیم سردسیر شهر تبریز می‌باشد. بازده دستگاه‌های گرمایشی با سوخت گازوئیل ۵۰ درصد است. محاسبه مقدار انرژی حرارتی مورد نیاز شامل سه بخش تلفات حرارتی پوسته ساختمان، تلفات حرارتی ناشی از سیستم تهویه و حرارت ایجاد شده توسط جوجه‌های پرورشی توسط نرم‌افزار کریر محاسبه شده است. در سالن‌های مرغداری، عمده اتلافات از دیوارها، درب و پنجره‌ها، سقف و کف و نیز بخاطر بار حرارتی ناشی از تهویه هوا است. اتلافات حرارتی از طریق دیوارها، کف و سقف با مکانیزم هدایت است. مقدار هوایی که برای تهویه سالن مرغداری نیاز است، به سیستم تهویه، دما، رطوبت محیط، نوع و وزن زنده و تعداد طیور در سالن بستگی دارد. استاندارد ASHRAE [۱۰]، متوسط هوای تازه سالن‌های مرغداری را به میزان $(hr^{-1} m^3)$ ۰/۳۵ برای هر کیلوگرم جرم مرغ زنده پیشنهاد می‌نماید. البته لازم بذکر است که در مجموعه مرغداری مورد نظر، هوای تهویه‌ای که مورد استفاده قرار می‌گیرد، بسیار بیشتر از این مقدار است. بنابراین در این مقاله، مقدار $(hr^{-1} m^3)$ ۲/۱ در نظر گرفته شده است. بهره‌های حرارتی دریافتی، در حقیقت حرارت ورودی به سالن بدون استفاده از وسایل گرمایشی است. این بهره‌های حرارتی، شامل سه نوع بهره حرارتی ناشی از طیور، بهره حرارتی ناشی از تابش خورشیدی به جداره‌های سالن و بهره حرارتی ناشی از سیستم‌های روشنایی است. با توجه به دمای بدن طیور و نیز فعالیت‌های متابولیسمی و فیزیکی آنها در یک تقریب کلی، مرجع استاندارد ASHRAE [۱۰]، مقدار حرارت تولیدی را ۷،۵ وات بر کیلوگرم وزن طیور در نظر گرفته شده است. چون وسایل حرارت‌زا در تمام ساعات شبانه‌روز در حال استفاده نیستند، بنابراین با تعیین برنامه‌ی سیستم روشنایی به نرم‌افزار که درصد حضور هریک از عوامل مختلف حرارت‌زا را در فضا و در ساعات گوناگون مشخص می‌کند، می‌توانیم بارهای حرارتی و موثر در فضا را در نظر بگیریم. بنابراین بهره‌های حرارتی حاصل از تابش خورشید به جداره‌ها و حرارت تولید شده توسط طیور و نیز سیستم روشنایی در جهت افزایش ضریب اطمینان گرمایش در محاسبات لحاظ می‌گردد. همچنین دمای طرح داخل برای حضور طیور $28^{\circ}C$ و همچنین برای عدم حضور $15^{\circ}C$ در نظر می‌گیریم. یک ضریب اطمینان ۲۰٪ برای بار گرمایشی در نظر می‌گیریم. با توجه به مشخصات ساختمان سالن مرغداری، شرایط محیطی و شرایط حرارتی مطلوب داخل اتلاف حرارتی کل برابر با $(BTU h^{-1})$ ۳۹۲۸۷۱ توسط نرم‌افزار کریر بدست می‌آید.

۳- انرژی گرمایی مورد نیاز

محاسبه انرژی گرمایی مورد نیاز به کمک روز-درجه گرمایش برای ماه‌های مختلف سال به دست می‌آید. در این مقاله برای محاسبه روز/درجه گرمایشی از رابطه (۱) استفاده شده است [۱۱]:

$$HDD = \sum_{i=1}^n (T_b - T_a)^+ \quad (1)$$

که در آن T_a میانگین دمای روزانه خارج و T_b پایه‌های دمایی مورد استفاده تعریف می‌شود. این کمیت که بستگی به منطقه مورد نظر و درجه حرارت متوسط روزانه دارد واحد آن $Day-^{\circ}F$ یا $Day-^{\circ}C$ است. برای تعیین بار گرمایی به دانستن اختلاف دمای هوای داخل ساختمان و بیرون از ساختمان نیاز است. با توجه به متوسط دمای روزانه، برای محاسبه روز درجه گرمایش برای ماه‌های سرد سال، اختلاف متوسط دمای هوای روزانه با دمای آسایش طیور محاسبه شده و سپس این اختلاف برای کل ماه‌ها بدست آورده می‌شود. در این مقاله پایه دمایی برابر با $82^{\circ}F$ در نظر گرفته شده است. دمای روزانه توسط نرم افزار Trnsys در هر ساعت محاسبه شده و با انتگراسیون از

کل ساعات می‌توان دمای متوسط هر روز را بدست آورد. برای بدست آوردن انرژی گرمایی مورد نیاز برای گرمایش این واحد مرغداری با توجه به رابطه‌ی (۲)، ضریب بار ساختمان محاسبه می‌شود [۱۱]:

$$UA = \frac{Q}{\Delta T} \quad (2)$$

که در آن Q بار حرارتی ماهانه کل ساختمان و $\Delta T = (T_b - T_a)$ برای ماه‌های مختلف سال طبق جدول (۱) است. هدف از این بخش بدست آوردن ضریب بار ساختمان که برای همه‌ی ماه‌های سال یکسان است، می‌باشد. در ادامه با فرمول (۳) می‌توان انرژی ماهانه مورد نیاز مجموعه‌ی مرغداری را بدست آورد [۱۱]. نتایج در جدول (۱) قابل مشاهده است.

$$Energy_{month} = UA \times DD \times 24 \quad (3)$$

انرژی حرارتی مورد نیاز مرغداری توسط هیترهای گازی سوز تأمین می‌گردد. در این حالت میزان سوخت مصرفی به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$Gasoil(m^3) = \frac{kcal}{9232kcal/kg \times 0.5 \times 835kg/m^3} \quad (4)$$

جدول (۱): روز / درجه گرمایش ، اتلاف ماهانه ، انرژی گرمایی و مصرف سوخت گازوئیلی برای مجموعه مرغداری

ماه	T_a °F	$\Delta T = (T_b - T_a)$ °F	HDD Day- °F	اتلاف حرارتی ماهانه BTU h ⁻¹	انرژی گرمایی GJ	مصرف سوخت m ³
January	25/3	57/0	1770/3	392871/0	351/4	18/6
February	33/6	48/7	1365/2	384337/8	271/1	13/4
March	41/8	41/2	1277/1	324772/4	253/7	12/5
April	50/9	31/5	945/1	248188/5	187/6	9/2
May	66/7	19/6	485/4	123385/8	96/4	4/1
June	73/0	9/3	280/8	73747/7	55/7	2/7
July	82/4	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
August	77/7	4/6	145/0	36873/5	28/8	1/4
September	68/0	14/4	432/0	113457/8	85/7	4/2
October	64/5	17/8	552/4	140403/3	109/6	5/8
November	45/8	36/5	1096/2	287898/6	217/5	10/8
December	35/9	46/4	39/14	36590/7	285/8	15/4

۴- راندمان الکتریکی و حرارتی

راندمان الکتریکی مدول فتوولتائیک طبق رابطه (۵) تابعی از دمای آن است [۱۲]:

$$\eta_{el} = \eta_{ref} \cdot [1 - \beta_{ref}(T_c - T_a)] \quad (5)$$

که در آن η_{ref} بازده ماژول در دمای مرجع ۲۰ درجه سلیسیوس و برابر با ۱۳/۹٪ همچنین β_{ref} ضریب دمای بازده ماژول که با توجه به انتخاب پنل های شرکت AnfaSolar در حدود ۰/۴۵٪ است. T_c دمای سلول و T_a دمای محیط است.

یک معیار ارزیابی عملکرد کلکتور، بازدهی کلکتور می‌باشد که به صورت نسبت دریافت مفید در طول یک مدت زمان مشخص به انرژی خورشیدی برخوردی در مدت زمان مشابه است [۱۲]:

$$\eta_{th} = \frac{\int Q_u dt}{A_c \int G_T dt} \quad (6)$$

انرژی مفید کسب شده واقعی از یک کلکتور خورشیدی با سیال عامل مایع (آب و محلول ضدیخ) از رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۱۲]:

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)] \quad (7)$$

در رابطه فوق A_c سطح کلکتور، F_R ضریب اخذ گرمای گردآورنده، S انرژی حرارتی تابشی دریافتی، U_L ضریب کلی انتقال حرارت کلکتور، T_i دمای سیال عامل ورودی و T_a دمای محیط است.

۵- حرارت کمکی

با موازنه انرژی برای سالن مرغداری، مقدار انرژی حرارتی کمکی برای مواقعی که سیستم ترکیبی خورشیدی، پاسخگوی نیاز حرارتی سالن نباشد بدست می‌آید:

$$Q_{AUX} = Q_{Demand} - Q_u \quad (8)$$

Q_U انرژی مفید دریافتی سیستم ترکیبی خورشیدی است. Q_{Demand} انرژی گرمایی که برای ماه‌های مختلف سال طبق جدول (۱) بدست آمد. لذا برای ثابت نگه داشتن دمای مخزن در ۴۰ درجه سلسیوس نیاز به حرارت کمکی Q_{AUX} است.

۶- محاسبه میزان تشعشع خورشید

با استفاده از مدل پخش همسانگرد کل شار تشعشعی که به یک سطح شیبدار برای یک ساعت می‌رسد شامل سه بخش تابش مستقیم، تابش پخشی و تابش بازتابی است [۱۲]:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (9)$$

مجموعه تابش پخشی از آسمان و تابش بازتابی زمین روی سطح شیبدار، بدون توجه به جهت، یکسان می‌باشند سهم تابش مستقیم به عنوان $I_b R_b$ است. در واقع یک سطح با شیب β نسبت به افق دارای فاکتور دیدی به آسمان به صورت $\left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right)$ است، که اگر تابش پخشی همسانگرد باشد عبارت $I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right)$ سهم تابش

پخشی خواهد بود. سطح شیبدار دارای دیدی به زمین $\left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$ بوده و اگر محیط اطراف دارای یک ضریب

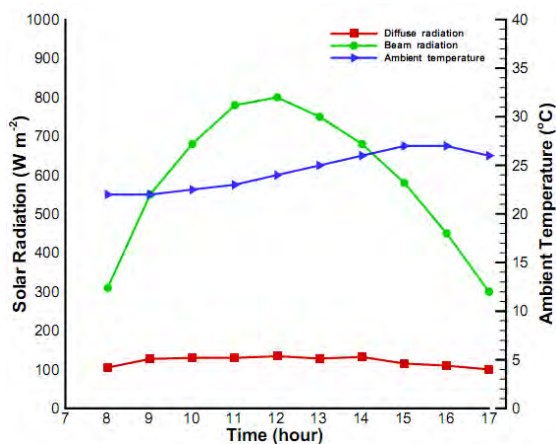
بازتابش ρ_g برای تابش کل خورشیدی باشد تابش بازتابی از محیط اطراف به روی سطح برابر $I \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$

خواهد بود. ضریب انعکاس زمین اطراف است که صفحه گیرنده آن را می‌بیند. معمولاً ρ_g مقدار کوچک است، برای روزهای معمولی $\rho_g = 2/0$ و برای حالتی که مقابل صفحه گیرنده آب یا برف باشد، $\rho_g = 7/0$ انتخاب می‌گردد. که در این مقاله ۵/۰ در نظر گرفته شده است. همچنین R_b نسبت تابش مستقیم روی سطح شیبدار به تابش مستقیم روی سطح افقی برابر با [۱۲]:

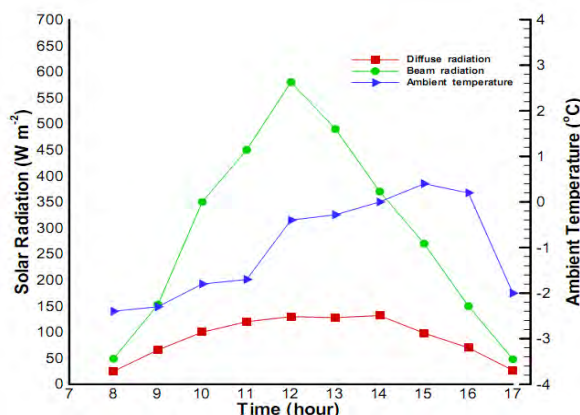
$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad (10)$$

که در رابطه‌ی مزبور، ϕ عرض جغرافیایی بوده و برابر با ۳۸ درجه، δ زاویه میل و β زاویه‌ی شیب پنل‌ها نسبت به سطح افق است که با توجه به نصب آرایه‌ها به طور فصلی با نرم‌افزار PVSOL بهینه‌سازی شده‌است.

با توجه به روابط اشاره شده میزان تشعشع خورشیدی عمود تابیده شده بر سطوح پنل‌ها با زاویه‌ی نصب فصلی برای ۸۷۶۰ ساعت از سال توسط نرم‌افزار Tmsys محاسبه شده است. به عنوان مثال در شکل‌های (۱) و (۲) میزان تابش مستقیم و تابش پخشی و دمای محیط برای یک روز در زمستان و تابستان رسم شده است.



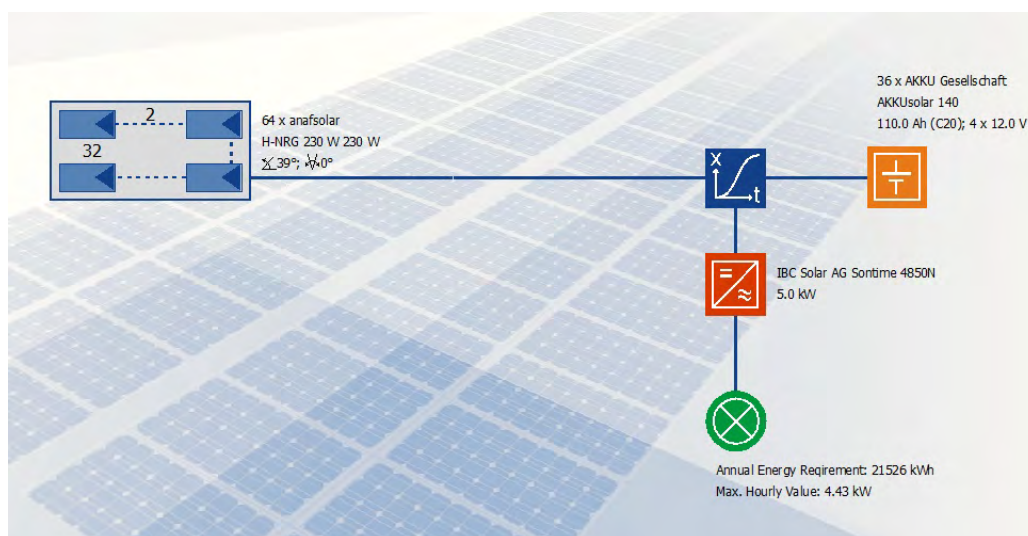
شکل (۲): تابش مستقیم، تابش پخشی و دمای محیط (روز دهم ژولای)



شکل (۱): تابش مستقیم، تابش پخشی و دمای محیط (روز دهم ژانویه)

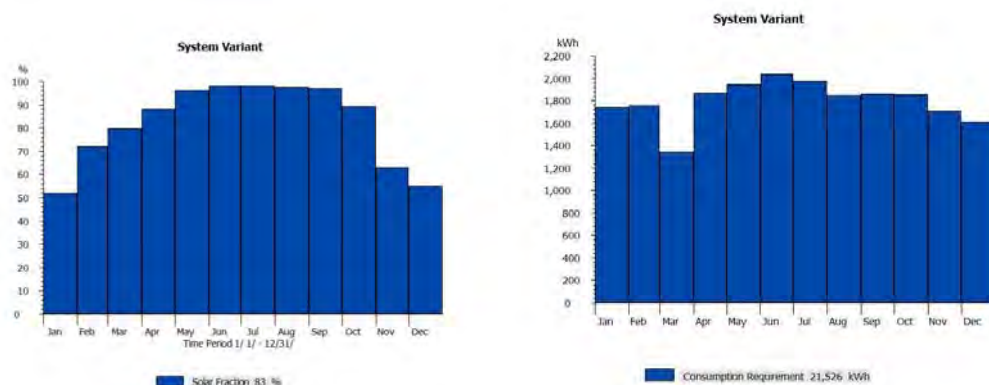
۵- طراحی سیستم فتوولتائیک با استفاده از نرم افزار PVSOL

در این بخش با استفاده از نرم افزار PVSOL به امکان‌سنجی فنی استفاده از سلول‌های فتوولتائیک جهت طراحی و کنترل بهینه تولید برق استفاده می‌شود. در ابتدای کار با این نرم افزار شهر مورد نظر (تبریز) را انتخاب می‌شود و بالطبع با در نظر گرفتن بار مصرفی مجموعه و مشخصات آب و هوایی منطقه و پس از وارد کردن مشخصات مکانی به طراحی تعداد سلول‌های فتوولتائیک-حرارتی مورد نیاز پرداخته می‌شود. سپس در گام دوم مشخصات سازنده سیستمی که قصد خرید از او را داریم از جمله نوع ماژول و ظرفیت مورد نیاز نوع اینورتر، باتری و توان مورد نیاز از هر کدام تعیین می‌گردد. در گام بعد تعداد آرایه‌ها در طول و عرض محل قرارگیری مشخص می‌گردد. و در پایان به محاسبه راندمان سیستم، محاسبه نوع و تعداد هر جزء سیستم با توجه به مصرف مرغداری، توان خروجی کل مجموعه توسط نرم‌افزار تعیین می‌شود.



شکل (۳): نمایی از نحوه سربندی پنل‌ها، باتری و اینورتر با استفاده از نرم‌افزار PVSOL

با وارد کردن داده‌های ورودی بار مصرفی در ساعات مختلف، مشخصات ماژول‌ها، باتری‌ها، اینورتر و شارژکنترلر، تعداد ۶۴ عدد ماژول ۲۳۰ وات از نوع H-NRG برای اینورتر محاسبه می‌گردد، که با توجه به توان ماژول‌های مزبور، در آرایش دو ردیف سری با تعداد ۳۲ ماژول، در مجموع ۶۴ عدد ماژول برای ورودی اینورتر مناسب‌ترین حالت ممکن تعیین شده‌است. با توجه به حداکثر توان مصرفی مرغداری در طول یک روز آفتابی تیر ماه که حدود $4/4 \text{ kW}$ است، از اینورتر Solar AG 5000 وات استفاده می‌کنیم. تعداد ۳۶ عدد باتری ۱۲ ولتی که در ۴ ردیف سری برای تأمین ولتاژ سیستم (۴۸ ولتی) در ۹ ردیف موازی قرار گرفته‌اند را در نظر می‌گیریم. با توجه به اینکه روزهای دوره‌ی پرورش ۴۵ روزه است و با در نظر گرفتن تعطیلات ۵ روزه بین دو دوره‌ی پرورش، مصرف برق در ماه‌های مختلف در شکل (۴) تعیین شده‌است. شماتیک سربندی ماژول‌ها را می‌توان در شکل (۳) مشاهده نمود.



شکل (۵): سهم سلول‌های خورشیدی در تأمین انرژی الکتریکی

شکل (۴): نرخ مصرف انرژی الکتریکی

با توجه به نیاز مصرف‌کننده و انرژی الکتریکی تأمین شده توسط سلول‌های فتوولتائیک می‌توان سهم انرژی خورشیدی را برای ماه‌های مختلف سال در شکل (۵) مشاهده کرد. انرژی الکتریکی تأمین نشده را می‌توان از شبکه سراسری تأمین کرد. همچنین نتایج حاصل از مدل‌سازی، شامل کل انرژی الکتریکی تولید شده توسط پنل‌ها برای کل سیستم، میزان مصرف مورد نیاز، مقدار انرژی الکتریکی تأمین شده توسط سلول‌ها برای واحد مرغداری، سهم انرژی خورشیدی در تأمین برق مجموعه را می‌توان در جدول (۲) مشاهده نمود.

جدول (۲): انرژی الکتریکی تولید شده و سهم سلول‌های فتوولتائیک در تأمین برق مجموعه

ماه	انرژی الکتریکی تولید شده پنل‌ها (kWh)	میزان مصرف (kWh)	انرژی الکتریکی تأمین شده توسط PV (kWh)	Solar Fraction (%)
ژانویه	۱,۲۱۵/۸۶۰	۱,۷۴۰/۹۴۴	۹۵۰/۸۱۷	۵۲/۰
فوریه	۱,۶۴۰/۴۴۶	۱,۷۵۶/۱۸۴	۱,۲۶۳/۵۱۵	۷۱/۹
مارس	۲,۰۷۶/۲۱۹	۱,۳۴۲/۶۶۴	۱,۰۶۹/۳۲۸	۷۹/۶
آوریل	۲,۰۲۰/۹۸۷	۱,۸۶۱/۶۸۰	۱,۶۴۲/۲۹۳	۸۸/۲
می	۲,۵۵۴/۲۰۷	۱,۹۴۲/۲۷۲	۱,۸۶۵/۱۶۳	۹۶/۰
ژوئن	۲,۵۹۴/۱۳۷	۲,۰۳۶/۶۷۲	۲,۰۰۲/۵۱۷	۹۸/۳
ژولای	۲,۶۸۷/۷۱۴	۱,۹۷۲/۳۳۴	۱,۹۳۹/۶۷۷	۹۸/۳
اوت	۲,۷۶۵/۳۳۳	۱,۸۴۰/۳۰۴	۱,۸۰۱/۰۹۲	۹۷/۷
سپتامبر	۲,۵۷۴/۶۹۸	۱,۸۵۷/۲۷۴	۱,۸۰۴/۵۹۸	۹۷/۱
اکتبر	۲,۲۴۰/۳۹۴	۱,۸۵۳/۵۲۸	۱,۶۵۳/۵۹۹	۸۹/۲
نوامبر	۱,۵۸۷/۶۹۱	۱,۷۱۰/۲۲۲	۱,۰۷۹/۷۹۷	۶۳/۱
دسامبر	۱,۲۶۵/۹۳۴	۱,۶۹۰/۱۸۲	۸۸۷/۰۲۱	۵۵/۱

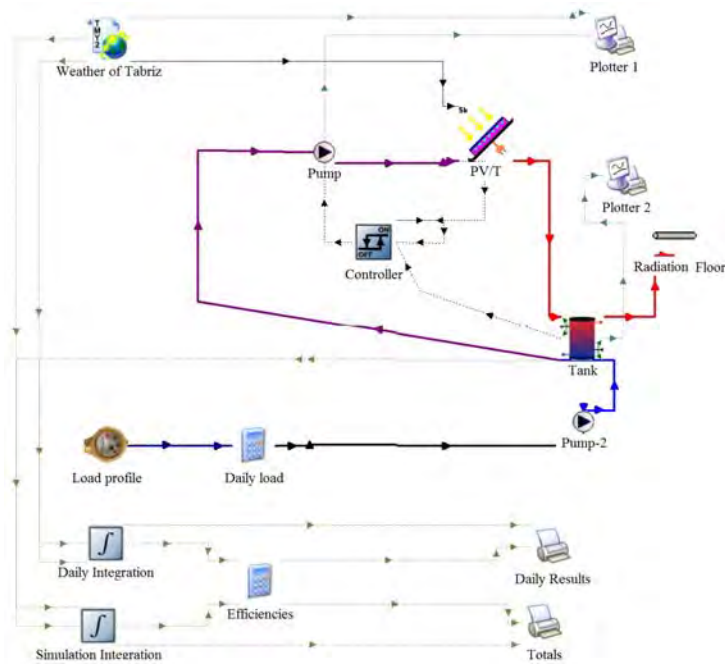
۴- مدل سازی سیستم با استفاده از نرم افزار TRNSYS

در این بخش سیکل کاری سیستم فتوولتائیک-حرارتی و گرمایش از کف، با استفاده از نرم افزار Trnsys مدل خواهد شد. مراحل انجام مدل سازی شامل وارد کردن اطلاعات آب و هوایی منطقه شهر تبریز، (باید توجه داشت که چون کلیه اطلاعات این نرم افزار اعم از دما و یا تابش به صورت ساعتی است لذا با انتگراسیون می توان اطلاعات روزانه و یا سالانه را بدست آورد) وارد کردن اطلاعات مربوط به سیستم فتوولتائیک-حرارتی، مخزن، پمپ، بار مصرفی، سیستم گرمایشی کمکی و سیستم کنترل است. همچنین اطلاعات ورودی بار مصرفی سیستم گرمایش کفی بایستی با تعریف یک پروفایل مصرف به صورت ساعتی وارد نرم افزار شود.

با توجه به نصب ۶۴ عدد سلول فتوولتائیک-حرارتی برای تأمین برق مجموعه مرغداری، بایستی با توجه به نیاز مجموعه در فصول گرم و سرد سال بهترین چیدمان در نظر گرفته شود. لذا جهت بدست آوردن ترکیب بهینه ای از تأمین برق-حرارت، چیدمان سری-موازی در نظر گرفته می شود. با استفاده از نرم افزار Trnsys آرایش ۲۰ عدد سلول فتوولتائیک-حرارتی به صورت سری در ۳ ردیف به صورت موازی، در مجموع ۶۰ عدد سلول فتوولتائیک-حرارتی در نظر گرفته شده است. انرژی حرارتی خارج شده، به علت دمای پایین با روش گرمایش از کف مورد استفاده قرار می گیرد. حجم منبع ذخیره حرارت برابر مجموع میزان آبگرم مصرفی و حجم لازم برای گردش آب در سیستم گرمایش از کف تعیین می گردد. که چون آبگرم مصرفی وجود ندارد، حجم لازم برای گرمایش از کف برابر با حجم کل آب موجود در لوله های گرمایش از کف است. طول کلی حلقه های گرمایش از کف با توجه به نتایج حاصل از مدل سازی ۴۰۰۰ متر است. (هر کدام از حلقه های گرمایش از کف با توجه به افت فشار مسیر ۱۰۰ متر در نظر گرفته شده است). با در نظر گرفتن ۲۰ درصد ضریب اطمینان منبع ذخیره ۱۰۰۰ لیتری انتخاب می شود.

در سیستم کنترلر به دو سنسور دما نیاز است که یک سنسور در پایین واحد ذخیره و یکی در محل خروجی سیال از کلکتور نصب شود. زمانیکه دمای خروجی سیال از سلول فتوولتائیک-حرارتی از دمای متوسط مخزن بیشتر باشد پمپ روشن است در غیر این صورت خاموش است. خاموش و روشن شدن پیوسته پمپ هنگام صبح ممکن است به وقوع بپیوندد. زیرا سیال درون پمپ یا کانال های بین واحد ذخیره و کلکتور از دمای پایین مخزن خنک تر خواهد بود در نتیجه زمانیکه پمپ روشن می شود مایع سرد وارد سلول فتوولتائیک-حرارتی شده که کنترل کننده پمپ را خاموش می کند تا وقتی که مایع درون کلکتور تا دمای مناسب گرم شود یا تابش برخوردی بیشتر از تراز بحرانی تابش شود، مجدداً پمپ را روشن می کند.

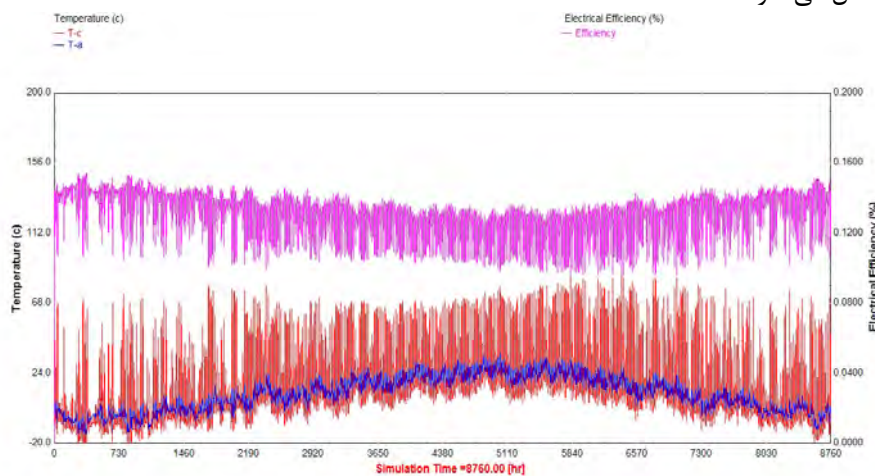
سیستم گرمایش کفی با چرخش آب گرم از میان شبکه ای از لوله های تلفیقی پنج لایه موسوم به PEX-AL-PAX که در کف نصب گردیده اند، به آرامی حرارت را در تمام سطح توزیع می کند. برای مدل سازی انتقال حرارت صورت گرفته از لوله ها به داخل سالن، اگر دمای ورودی به سیستم گرمایش کفی، از دمای سطح کف سالن کمتر شود، پمپ بکار رفته در مسیر سیستم گرمایش کفی خاموش شده و از منتقل شدن حرارت از سالن به مخزن ذخیره جلوگیری می کند. حداکثر دمای ورودی به سیستم گرمایش کفی نیز برابر ۳۸ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است. در صورتیکه دمای خروجی از مخزن، از این مقدار تجاوز کند، قسمتی از سیال برگشتی از سیستم گرمایش کفی با سیال خروجی از مخزن (که دمای بالایی دارد) مخلوط شده تا نهایتاً حداکثر دمای ورودی به سیستم گرمایش کفی (۳۸ درجه) حاصل گردد. این نکته حائز اهمیت است که مقدار حداکثر در نظر گرفته شده، جهت جلوگیری از بالا رفتن دمای کف از مقادیر مجاز و توزیع یکنواخت حرارت در سالن است. همچنین اگر دمای مخزن از دمای نقطه جوش سیال عامل (آب) فراتر رود، پمپ در مسیر کلکتور، جریان داخل کلکتور را قطع می نماید. لازم به ذکر است که برای سیستم گرمایش از کف پروفایل مصرف ماهانه تعریف شده است. شکل (۶) مدل طراحی سیکل پیشنهادی را نمایان می کند.



شکل (۶): طراحی سیکل پیشنهادی توسط نرم افزار Trnsys

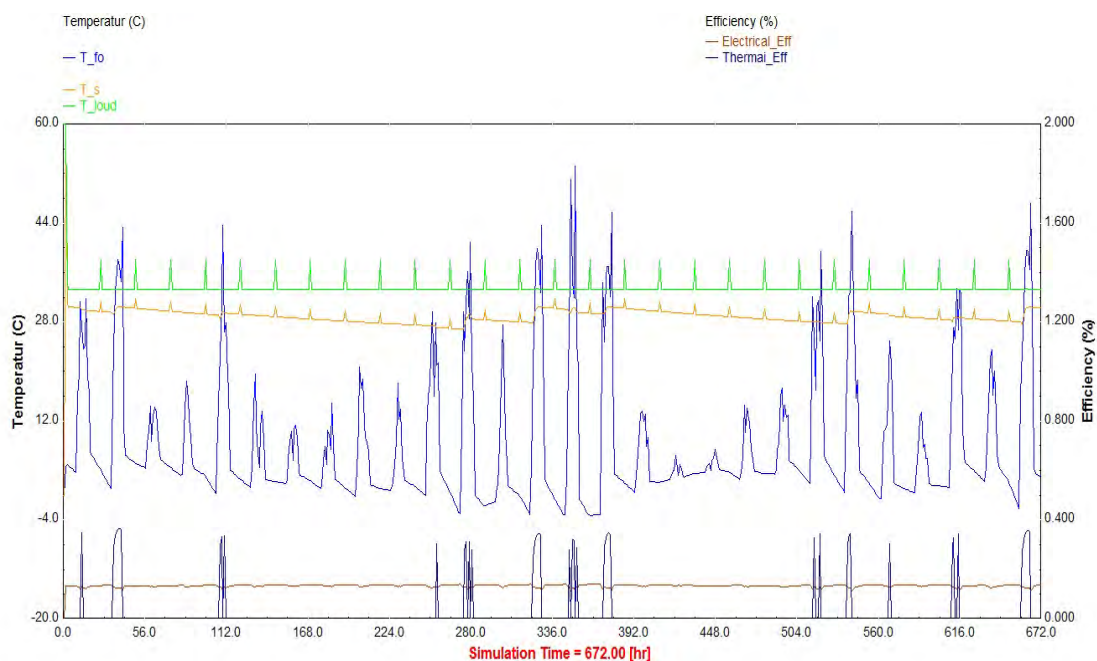
۵- رفتار دینامیکی سیستم

طبق معادله از جمله مشخصاتی که بر بازدهی پنل‌ها تاثیر مستقیمی می‌گذارد دمای سطح ماژول است. شکل (۷) مربوط به سیستم فتوولتائیک است که گویای این مطلب است که با افزایش دمای محیط و دمای سلول فتوولتائیک، برای ماه‌های گرم سال راندمان الکتریکی کاهش می‌یابد. دمای پنل با شروع کار (افزایش میزان تابش و افزایش توان تولیدی) و تزریق توان به شبکه افزایش پیدا می‌کند و از دمای محیط بالاتر می‌رود. این افزایش دمای سطح ماژول خود باعث کاهش میزان تولید ماژول‌های فتوولتائیک می‌گردد. ولی برای سلول فتوولتائیک-حرارتی تحت همان شرایط آب و هوایی با خنک کردن دمای سلول باعث افزایش راندمان الکتریکی می‌شود. نتایج حاکی از آن است که میانگین راندمان الکتریکی سالانه سیستم فتوولتائیک ۱۲,۱٪ درحالیکه سیستم فتوولتائیک-حرارتی مشابه آن دارای میانگین راندمان الکتریکی ۱۳,۴٪ است. که افزایش ۱,۳٪ راندمان الکتریکی باعث تولید (kWh) ۲۵۰۰ انرژی الکتریکی در سال می‌شود.

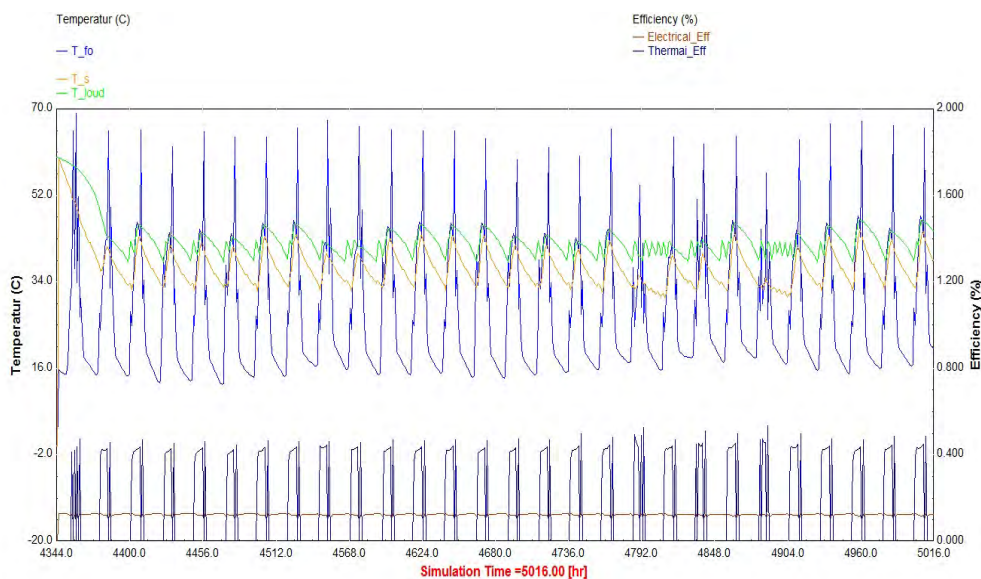


شکل (۷): افزایش دمای سلول فتوولتائیک با افزایش دمای محیط و کاهش راندمان الکتریکی

دبی مورد نیاز سیستم مصرف با توجه به نیاز گرمایش ماهیانه بایستی به صورت ساعتی وارد نرم‌افزار شود. چون اطلاعات ورودی و خروجی نرم‌افزار همگی ساعتی است لذا با تعریف ساعتی بار مصرفی سیستم گرمایش از کف می‌توان خروجی مناسب از جمله دمای مخزن T_s ، دمای سیال خروجی از سلول فتوولتائیک حرارتی T_{fo} ، دمای ورودی به سیستم گرمایش از کف T_{Load} ، راندمان الکتریکی و راندمان حرارتی سیستم را برای کل سال، ساعتی بدست آورد. از آنجایی که عملکرد تغییرات فصلی موجب تغییرات تابش می‌شود میزان دریافت انرژی پنل‌ها نیز با توجه به تغییرات فصول تغییر می‌کند. انرژی لازم جهت گرمایش سالن هم با توجه به تغییرات آب و هوایی برای ماه‌های مختلف سال متفاوت است لذا با در نظر گرفتن پروفایل‌های مصرف مختلف برای ماه‌های مختلف سال می‌توان تغییرات خروجی راندمان حرارتی، راندمان الکتریکی، تغییرات دمایی مخزن و موارد دیگر را مشاهده کرد. در واقع با تعریف پروفایل‌های مصرف جداگانه برای ماه‌های مختلف سال بایستی از افزایش بی‌رویه حرارت کمکی و همچنین افزایش دمای مخزن و دمای ورودی به سیستم گرمایش از کف جلوگیری می‌شود. به علت تعریف کردن پروفایل‌های مصرف جداگانه برای ماه‌های مختلف سال لذا شبیه‌سازی مدل برای کل ساعات هر ماه به صورت جداگانه مقدور خواهد بود. نتایج مربوط به دمای سیال خروجی، دمای مخزن، دمای ورودی به سیستم گرمایش از کف، راندمان الکتریکی و حرارتی، میزان تابش، انرژی مفید دریافتی و انرژی کمکی سیستم برای ماه ژانویه و ژولای در شکل‌های (۸) و (۹) قابل مشاهده است. نتایج مربوط به تابش کل بر روی سطوح شیبدار، انرژی دریافتی مفید از سلول‌های فتوولتائیک-حرارتی، میزان حرارت کمکی سیستم و در نهایت سهم انرژی خورشیدی در تأمین حرارت مجموعه مرغداری برای کلیه ماه‌ها در جدول (۳) قابل مشاهده است. همانطوری که در شکل (۸) برای برخی روزها در ماه سرد سال مشاهده می‌شود به علت شرایط نامساعد تابش، سیستم کنترلر دما، اجازه ورود سیال از خروجی سلول فتوولتائیک-حرارتی را به علت کمتر بودن دما از دمای مخزن نمی‌دهد. لذا راندمان حرارتی برای این روزها وجود ندارد.



شکل (۸): دمای سیال خروجی، دمای مخزن، دمای ورودی به سیستم گرمایش از کف، راندمان الکتریکی و حرارتی برای ماه ژانویه



شکل (۹): دمای سیال خروجی، دمای مخزن، دمای ورودی به سیستم گرمایش از کف، راندمان الکتریکی و حرارتی برای ماه ژولای

جدول (۳): سهم انرژی خورشیدی در تأمین حرارت

ماه	میزان تشعشع I_T ($kJ\ m^{-2}$)	میزان حرارت دریافتی Q_{ii} (kJ)	میزان حرارت کمکی Q_{Aux} (kJ)	سهم انرژی خورشیدی SCF (%)
ژانویه	۲۶۱,۹۷۶/۶۱	۲,۳۱۰,۶۲۵/۳۰	۲۵۶,۸۸۵,۸۳۹/۸۲	۰/۸۹
فوریه	۴۱۴,۵۳۳/۶۵	۶,۹۴۳,۳۹۹/۶۹	۲۳۲,۱۰۳,۶۷۷/۵۶	۲/۹۰
مارس	۹۰۱,۲۸۹/۵۰	۱۳,۹۸۵,۲۶۵/۸۱	۴۸۹,۳۹۳,۷۱۸/۹۰	۲/۷۸
آوریل	۷۲۷,۷۳۶/۰۶	۲۲,۵۵۴,۱۹۳/۰۱	۱۸۰,۶۲۳,۵۰۸/۵۱	۱۱/۱۰
می	۷۷۵,۰۹۰/۱۶	۲۸,۳۰۱,۶۳۷/۵۸	۸۱,۰۱۲,۶۷۸/۵۷	۲۵/۸۹
ژوئن	۸۱۴,۱۰۰/۶۳	۳۵,۳۴۶,۱۹۵/۷۴	۱۰,۹۷۸,۱۴۰/۲۶	۷۶/۳۰
ژولای	۸۵۷,۵۴۵/۵۶	۳۰,۶۹۷,۲۷۰/۵۹	۱,۴۴۴,۷۱۰/۶۴	۹۵/۵۱
اوت	۸۹۶,۰۱۸/۳۵	۳۴,۵۸۷,۷۲۳/۰۹	۱۱,۴۴۳,۹۶۶/۱۷	۷۵/۱۴
سپتامبر	۸۱۵,۰۷۳/۱۹	۲۹,۳۱۱,۳۰۷/۹۸	۷۹,۳۷۸,۴۳۳/۶۵	۲۶/۹۷
اکتبر	۶۰۸,۵۰۵/۹۰	۲۰,۵۹۱,۸۹۹/۴۸	۷۷,۹۸۱,۱۰۲/۶۰	۲۰/۸۹
نوامبر	۴۵۵,۶۲۶/۳۰	۱۰,۴۴۳,۱۷۵/۵۰	۲۵۷,۱۱۵,۰۹۲/۴۱	۳/۹۰
دسامبر	۴۷۳,۹۲۷/۷۲	۵,۵۰۰,۶۸۱/۶۱	۲۶۵,۲۳۳,۰۷۵/۵۹	۲/۰۳

۷- نتیجه گیری

طراحی سیستم فعال خورشیدی، شامل پنل‌های فتوولتائیک-حرارتی و سیستم گرمایش کفی، برای سالن مرغداری نمونه واقع شهر تبریز به عنوان نمونه‌ای از اقلیم سردسیر جهت تأمین همزمان برق و حرارت مجموعه مورد بررسی قرار گرفت. با در نظر گرفتن توان بهینه مصرف انرژی الکتریکی، تعداد سلول‌های فتوولتائیک-حرارتی به گونه‌ای که سهم سلول‌های فتوولتائیک در تأمین انرژی الکتریکی بالای ۸۰٪ شود، توسط نرم‌افزار PVSOL بهینه شد. ضمن اینکه به علت نیاز مجموعه مرغداری به برق در ۲۴ ساعت اول روزهای اول تا چهارم دوره پرورش، لذا مجموعه در

حالت اتصال به شبکه سراسری برق در نظر گرفته شد. سپس به مدل سازی سیکل پیشنهادی و با وارد کردن اطلاعات کلی اجزا طراحی به نرم افزار Tmsys به شبیه سازی دینامیکی سلول های فتوولتائیک- حرارتی جهت تأمین حرارت مورد نیاز مجموعه با توجه به تغییرات آب و هوایی پرداخته شد. با محاسبه انرژی مفید کسب شده توسط سیستم خورشیدی و با توجه به نیاز گرمایشی سالن مرغداری در طول یک سال، مقدار انرژی و سوخت فسیلی صرفه جویی شده برای شرایط اقلیمی نمونه محاسبه شد. نتایج محاسبات نشان دادند که سیستم ترکیبی بیان شده، باعث صرفه جویی سالیانه ۱۱۰۰۰ لیتر گازوئیل معادل ۱۲٪ از نیاز گرمایشی سالیانه سالن مرغداری، در شهر تبریز می شود. همچنین با خنک نگه داشتن صفحات خورشیدی باعث افزایش ۱,۳٪ راندمان الکتریکی سالیانه شده است. که منجر به تولید توان الکتریکی (kWh) ۲۵۰۰ در سال شد.

مراجع

- [1]- Reece, F.N., "Use of energy in poultry production," Conf. Proceeding, Solar Energy in livestock production, Univ. of Md. Nov.28-29, 1978
- [2]- Rockby, T.R.C., Redford, J.M., and Pitts, D.J., "Solar heating for commercial broiler house: a further evaluation," Trans. ASAE. Vol. 26, pp. 507-511, 1983
- [3]- Okonkwo, W.I., Trombe Wall as a Heat Source for a Passive Solar Energy Poultry Chick Brooder. Ph.D Thesis, University of Nigeria, 2000
- [4]- New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), 2004, Overview of "PV Roadmap Toward 2030". Japan, Tokyo.
- [5]- Kern. C., Russell. M.C., 1978. "Combined Photovoltaic and Thermal Hybrid Collector Systems." In Proceedings of the 13th IEEE PV Specialist Conference, Washington, DC. 5-8. p. 1153-7.
- [6]- 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.
- [7]- Joshi .A, Tiwari. A., 2007. "Energy and Exergy Efficiencies of a Hybrid Photovoltaic- Thermal Air Collectors." Renewable Energy 32, 2223-2241.
- [8]- Teo .H.G., Lee . P.S., M.N.A. Hawlader, 2012 , "An active cooling system for photovoltaic modules", Applied Energy 90 .309-315.
- [9]- Rey.D., Manuel.B, Francisco.C, Fernandez.A, 2009. "Solar mixed thermal and photovoltaic installation for an infantile educational-sanitary lodging in Senkata-El Alto (BOLIVIA) ." International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09)
- [10]- ASHRAE handbook of fundamentals, 2001," American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering," Inc. Atlanta, 287.
- [11]- Day.T, Fry. T, Jhanson.M, "Degree- Days theory and application ", Balham High Road, London, 2006
- [12]- Duffie. J. A, Beckman. W. A, Solar Engineering of Thermal Processes Wiley, Interscience, University of Wisconsin-Madison, 1980.