



شبیه‌سازی و بهینه‌سازی گردآورنده فتوولتائیک-حرارتی در متمرکزکننده سهموی خطی

سعید خداترس^۱، سید رضا موسوی سیدی^۲، علی متولی^۳، مهدی منتظری^۴

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ saeedkhodatars@gmail.com

^۲دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ mousavi22@gmail.com

^۳استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری؛ motevali62@gmail.com

^۴دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس تهران؛ montazeri1112@gmail.com

چکیده

گلخانه‌ها می‌توانند شرایط کشت خارج از فصل محصولات کشاورزی را فراهم کرده اما در عین حال نیازمند انرژی زیادی بوده که این امر توسط سوخت‌های فسیلی تامین می‌شود. برای جایگزینی انرژی فسیلی، انرژی خورشیدی بسیار مورد توجه است که به صورت برق و حرارت قابل دسترس و ذخیره‌سازی می‌باشد. در پژوهش حاضر به شبیه‌سازی و بهینه‌سازی یک گردآورنده حرارتی سهموی خطی پرداخته شد. برای تحلیل بازده هندسه نوری سیستم پارامترهای عرض دهانه و نسبت تمرکز به عنوان متغیر در متمرکزکننده سهموی خطی در نظر گرفته شد و برای تحلیل بازده حرارتی سیستم، دبی به عنوان پارامتر متغیر تعریف شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که بهینه هندسه نوری با عرض یک متر و نسبت تمرکز ۶/۶ بیشترین بازتابش نور و جذب حرارت را با $1064.7 \frac{W}{m^2}$ دارا است. با افزایش دبی دمای سطح صفحه کاهش و همچنین تلفات حرارتی کاهش می‌یابد که سبب افزایش بازده حرارتی گردید و حداکثر راندمان در دبی $1.5 \frac{lit}{m}$ با میانگین راندمان ۳۶/۶۶٪ بدست آمد.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی نوری، بازده حرارتی، Solidworks

Simulation and optimization of photovoltaic-thermal collector in linear parabolic concentrator

Saeid Khodatars¹, Seyed Reza Mosavi Seyedi³, Ali Motevali², Mehdi Montazeri⁴

- 1- MSc Student of Biosystem Eng. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. miladtomran@yahoo.com
- 2- Associate Professor of Biosystem Eng. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Mousavi22@yahoo.com
- 3- Assistant Professor of Biosystem Eng. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. motevali62@gmail.com
- 4- PhD Student of Biosystem Eng. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. montazeri1112@gmail.com

ABSTRACT

Greenhouses can provide non-seasonal crop conditions, but at the same time, they require a lot of energy that energy can be provide from fossil fuels. Solar energy is available in the form of electricity and heat and can be storage regarded and replace fossil fuels. In this research were studied simulation and optimization of a linear parabolic thermal collector were studied. To analyze the optical geometry efficiency was considered the width rim and the concentration ratio parameters as a variable in the linear parabolic concentrator and was defined flow as a variable parameter for analyzing the thermal efficiency. The simulation results showed that optimum optical geometry with a width of 1 m and a concentration ratio of 6.6 had the most reflection of light and heat absorption with 1064.7 w/m^2 . By increasing flow, the surface temperature of the panel decreases and the heat loss decreases that due to increases the thermal efficiency and maximum efficiency was obtained at 1.5 (lit/min) flow rate with an average efficiency of 36.66%.



Keywords: Optical simulation, Thermal efficiency, Solidworks

Keywords: Three to six words

۱- مقدمه

افزایش جمعیت نیاز انسان‌ها به مواد غذایی را بیش از پیش بیشتر کرده است. این نیاز اهمیت مهمی در روند پیشرفت اجتماعی و اقتصادی جامعه دارد. یکی از اساسی‌ترین نیازهای بشر مواد غذایی است که مواد غذایی و محصولات کشاورزی در صورت کشت در فصول غیر از زمان کاشت عادی خود، نیاز به شرایط کنترل شده‌ای دارند که این فضا گلخانه نام دارد (ضیال‌الدینی و همکاران، ۱۳۹۵). به دلیل ماهیت تولید خارج فصل، برای برآورد نیاز اصلی جامعه گلخانه‌ها به سرعت زیادی در حال توسعه هستند. در گلخانه‌ها همه عوامل برای رشد گیاه (اعم از نور، دما و ...) را باید به دقت فراهم آورد. طبق تحقیقات انجام شده هزینه گرم کردن گلخانه‌ها در بعضی کشورها ۶۰ الی ۸۰ درصد هزینه تولید را در بر می‌گیرد. با توجه به این مطلب، بیشترین هزینه مربوط به سوخت‌های فسیلی بوده که این هزینه برای کشت مزرعه‌ای پس از کود در جایگاه دوم قرار دارد [جعفری و همکاران، ۱۳۹۵]. از یک سو جهان برای رشد و تامین نیازهای اصلی خود نیاز شدید به انرژی دارد که با توجه به کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و تولید آلاینده‌های زیست تخریب، نیازمند جایگزینی انرژی دارد [کاکایی و جعفرپور، ۱۳۹۵]. با در نظر گرفتن شرایط جغرافیایی ایران، انرژی خورشیدی یکی از مهمترین انرژی‌ها برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی است. انرژی خورشید را می‌توان هم به صورت برق و هم به صورت حرارت ذخیره کرد، که به فناوری تولید برق گردآورنده فتوولتائیک (PV) و به فناوری تولید حرارت گردآورنده حرارتی (SC) می‌نامند و به سیستم ترکیبی این دو گردآورنده‌های فتوولتائیک حرارتی (PV-T) اطلاق می‌گردد که همزمان تولید برق و حرارت می‌نماید. سیستم‌های فتوولتائیک حرارتی (PVT) با وجود اصلاحات زیاد هنوز هم مقرون به صرفه نبوده و بسیاری از محققان دنبال طرح‌های جدیدی از (PV-T) هستند. با ترکیب کردن یک گردآورنده فتوولتائیک حرارتی با یک متمرکزکننده، سیستم‌های متمرکزکننده فتوولتائیک حرارتی (CPV-T) ایجاد می‌شود [ولی زاده و همکاران، ۱۳۹۴]. در این سیستم به دلیل استفاده کمتر از صفحات فتوولتائیک در واحد سطح هزینه‌های سیستم را نسبت به سیستم‌های فتوولتائیک حرارتی صفحه تخت به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. سلول‌های فتوولتائیک ۵ الی ۲۰ درصد انرژی جذب شده خورشید را به الکتریسیته تبدیل و ما بقی به صورت گرما تلف می‌گردد. با افزایش گرما توان سلول‌های فتوولتائیک کاهش می‌یابد که با خنک کردن سلول‌ها می‌توان تولید انرژی الکتریکی را بهبود بخشید [محمدی ساردویی و همکاران، ۱۳۹۴]. در سال‌های اخیر پژوهش‌های فراوانی برای تعیین پتانسیل این نوع سیستم‌ها جهت تولید الکتریسیته و حرارت صورت گرفته است. محسن زاده و شفیع (۱۳۹۴)، مدل جدیدی از یک جمع‌کننده خورشیدی سهموی خطی پیشنهاد کردند که در آن از سلول‌های فتوولتائیک و ژنراتور ترموالکتریک استفاده گردید. نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داد که عملکرد مدل پیشنهادی نسبت به کلکتورهای سهموی خطی قابل قبول بوده و دارای راندمان کل (مجموعه راندمان الکتریکی و حرارتی) ۶۲٪ بود. کاکائی و جعفرپور (1395) به تحلیل حرارتی و ترمودینامیکی یک جمع‌کننده سهموی خطی پرداختند. معادلات مربوط به جمع‌کننده مورد نظر در محیط نرم‌افزار MATLAB حل و بررسی گردید. نتایج نشان داد که با تغییر پارامترهای هندسی و دمای سیال ورودی به جمع‌کننده میزان انرژی کلکتور به میزان قابل توجهی تغییر کرد. ژو و همکاران (۲۰۱۰) اثر خنک‌کاری را بر عملکرد سلول خورشیدی که نور خورشید با نسبت تمرکز از ۱۶۰ تا ۲۰۰ بر آن متمرکز شده بررسی کردند. چنلو و همکاران (۱۹۸۷) مدلی برای ساخت متمرکزکننده سهموی خطی مجهز به صفحه فتوولتائیک ارائه کردند که در آن نسبت تمرکز برابر ۳۷ بود و از لوله‌های مستطیلی برای خنک‌کاری سیستم استفاده شد، سیستم عملکرد حرارتی و الکتریکی برابر با ۵۸ درصد و ۱۱ درصد برای نرخ جرمی ۳۷،۵-۴۲،۵ $\frac{m}{s}$ بدست آمد. لی و همکاران (۲۰۱۱) عملکرد کلی مدل متمرکزکننده سهموی خطی فتوولتائیک با مساحت $2m^2$ و نسبت تمرکز 32 و 3 نوع سلول خورشیدی مختلف را مورد بررسی قرار دادند. سیستم خنک‌کاری در این بررسی از نوع هیئت سینک انتخاب شد و بازده کلی سیستم در بهترین شرایط ۵۰/۶ درصد به دست آمد. یانگ فنگ و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی یک متمرکزکننده با نسبت تمرکز ۱۰ پرداختند. بازده الکتریکی و بازده حرارتی این سیستم به ترتیب ۹/۵ و ۳۴ درصد به دست آمد. نیلسون و همکاران (۲۰۰۷) عملکرد سالانه یک سیستم متمرکزکننده سهموی ثابت که تمرکز آن روی صفحه فتوولتائیک انجام می‌شد، را بررسی کردند. عملکرد سالانه سیستم از لحاظ الکتریکی 378 kwh به ازای هر متر مربع سلول خورشیدی و عملکرد حرارتی آن به ازای هر متر مربع از $2145 \frac{\text{kwh}}{m^2}$ سطح سهموی تخمین زده شد. برناردو و همکاران (۲۰۱۱) عملکرد یک متمرکزکننده سهموی با نسبت تمرکز پایین (CR=7.8) را مورد بررسی قرار دادند. بررسی‌ها از لحاظ عملکرد حرارتی نشان داد که بازده نوری ۴۵ درصد می‌باشد. بلوس و همکاران (۲۰۱۶) مدلی از یک جمع‌کننده سهموی خطی را طراحی و عملکرد آن را از لحاظ نوری و انتقال حرارت در محیط نرم افزار Solidworks شبیه‌سازی کردند. در این مدل بازده نوری جمع‌کننده در زوایای مختلف بررسی شد. در تجزیه و تحلیل حرارتی جمع‌کننده، دو مایع معمولی حرارتی، آب تحت فشار و روغن حرارتی معمولی مقایسه شده است. آب تحت فشار بهتر عمل می‌کند و مناسب‌ترین سیال کار برای انتقال گرما به دلیل خواص آن است. تزویانیدیس و همکاران (۲۰۱۶) عملکرد یک کلکتور سهموی خطی



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



کوچک را تحت شرایط مختلف مدل سازی (در محیط Solidworks) و بررسی کردند و با انجام آزمایش های میدانی نتایج را با داده های مدل سازی مقایسه کردند. نتایج بدست آمده حاکی از تطابق خوب داده های میدانی با مدل شبیه سازی بود. بلوس و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی عملکرد یک سیستم فرسnel خطی با دریافت کننده فتوولتاییک صفحه تخت پرداختند. در این پژوهش ابتدا بررسی عددی توسط نرم افزار Solidworks صورت گرفت و مدل سازی حرارتی، نوری و جریانی در آن انجام شد و سپس نتایج مدل سازی برای فصول مختلف سال ارائه گردید.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مدل سازی

این سامانه در بخش part در نرم افزار Solidworks با مشخصات زیر طراحی گردید. این سامانه متشکل از یک متمرکز کننده سهموی خطی و یک سلول فتوولتاییک حرارتی بود. طرح کلی این سیستم در شکل ۱ و اجزا و اندازه سیستم در جدول ۱ ذکر شده است. اولین قدم در این شبیه سازی ایجاد شرایط فیزیکی از قبیل شرایط مرزی، نوع مواد و خواص آن ها و شرایط تابش خورشید می باشد. اندازه و خواص مواد تشکیل دهنده پنل فتوولتاییک در جدول ۲ ذکر شده است.

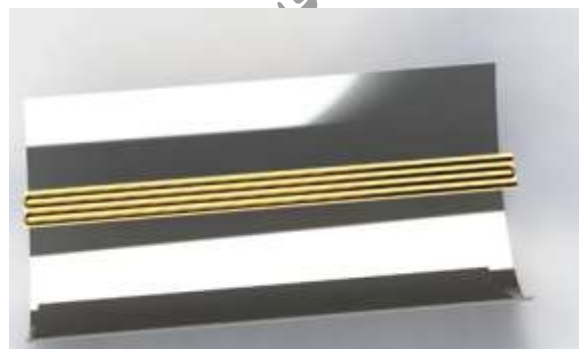


Figure 1. Schematic of a Parabolic Linear Concentrator with PV Photovoltaics

شکل ۱ - طرحواره یک سامانه متمرکز کننده با فتوولتاییک حرارتی

جدول ۱- اجزای سازنده سامانه

Table 1. Dimensions of the components

Component	Dimensions (mm)
EVA	2000×150×0.5
Photovoltaic cells	2000×150×0.3
Tedlar	2000×150×0.1
Copper absorber plate	2000×150×0.4
Inner diameter of collector pipes	9
Outer diameter of collector pipes	10
collector	2000×1000

جدول ۲- خواص ترمودینامیکی اجزای سازنده

Table 2. Thermophysical properties of the components

Component	Specific heat capacity ($J kg^{-1} K^{-1}$)	Thermal conductivity ($W m^{-1} K^{-1}$)	Density ($kg m^{-3}$)
EVA	۲۰۹۰	۰,۳۵	۹۶۰
Photovoltaic cells	۷۰۰	۱۴۹	۲۳۳۰
Tedlar	۱۲۵۰	۰,۲۸	۱۲۰۰
Copper absorber plate	۳۸۵	۴۰۱	۸۹۶۰

۲-۲- اعمال شرایط مرزی شبیه‌سازی

- صفحه متمرکزکننده در فضای شبیه سازی solidworks به عنوان whitebody wall انتخاب شد
- صفحه فتوولتایک به عنوان absorber wall تعریف شد.
- چینش لوله به صورت موازی با صفحات فتوولتایک تعریف شد.
- تابش خورشید به صورت عمود بر سامانه یعنی سامانه دارای ردیاب خورشید می باشد.
- جنس لوله های جمع کننده حرارتی مس تعریف شد.
- جنس صفحه دریافت کننده نور در متمرکزکننده سهموی خطی ورق استیل تعریف شد.
- خواص مواد تشکیل دهنده فتوولتایک بنا به جدول ۲ تعریف شد.
- سیکل سیستم باز تعریف شد (دمای ورودی سیال به طور ثابت ۲۰ درجه سانتی گراد فرض شد).

۲-۳- ساختار مش بندی (شبکه بندی)

شبیه سازی جریان، مدل واقعی ایجاد شده در solidworks را به طور خودکار یک مش محاسباتی مستطیلی در دامنه محاسباتی جامد و مایع ایجاد می کند. مش بندی در solidworks را می توان برای تجزیه و تحلیل دو بعدی و سه بعدی بکار برد که در این تحقیق از مش بندی سه بعدی استفاده شده است. مش بندی توسط خود محاسبات solidworks که بر پایه جریان است انجام گردید. در این پژوهش تعداد سلول های مش بندی حدود ۲ میلیون تعریف شده است. شکل ۲ مش بندی داخل لوله های جمع کننده حرارتی را نشان می دهد.

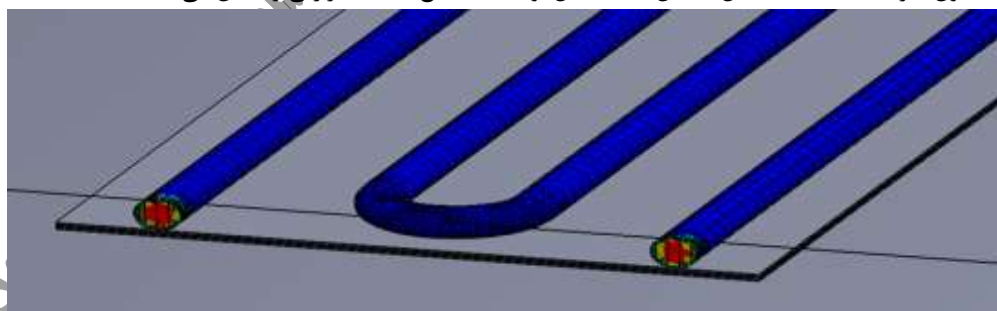


Figure 2. The grid distribution for heat collector pipes

شکل ۲- سایز بندی لوله های جمع کننده حرارتی

۲-۴- تحلیل حرارتی

در این پژوهش، شبیه سازی سیال آب به عنوان سیال پایه برای خنک سازی سیستم در نظر گرفته شده است. این تحلیل در نرم افزار solidworks در بخش flowsimulation مورد بررسی قرار گرفت. در این تحلیل از سیال آب به عنوان سیال پایه و از سه نرخ جریان استفاده شده است. سیکل سیستم باز تعریف شده یعنی دمای ورودی سیال به طور ثابت ۲۰ درجه سانتی گراد فرض شد. نسبت تمرکز به عنوان نسبت سطح فتوولتایک به سطح متمرکز کننده تعریف می گردد:



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



$$C_{pvt} = \frac{A_{ap}}{A_{pvt}} \quad (1)$$

که A_{ap} مساحت سطح متمرکز کننده m^2 و A_{pvt} مساحت سطح فتولتاییک m^2 می باشد. توان حرارتی مفید تولیدی در متمرکز کننده برابر است با:

$$Q_C = \dot{m} C_p (T_O - T_i) \quad (2)$$

\dot{m} نرخ دبی سیال $\frac{kg}{s}$ ، C_p ظرفیت گرمایی ویژه آب، T_O دمای خروجی سیال $^{\circ}C$ ، T_i دمای ورودی سیال $^{\circ}C$ می باشد. در نتیجه بازده حرارتی متمرکز کننده برابر است با:

$$\eta_{th} = \frac{Q_C}{I \times A_c} \quad (3)$$

I شدت تابش خورشید $\frac{w}{m^2}$ و A_c مساحت سطح متمرکز کننده m^2 می باشد. میزان کاهش توان الکتریکی بر حسب دما نیز برابر است با:

$$\eta_{el} = \eta_r \times [1 - 0.0045 \times (T_{cell} - 25)] \quad (4)$$

η_{el} راندمان توان بر اثر دما، η_r بازده سلول در شرایط مرجع، می باشد.

T_{cell} میانگین دمای سلول به درجه سانتی گراد.

۵-۲- تحلیل هندسه نوری

در این بخش پارامترهای هندسی که بر بازده نوری سامانه تاثیرگذار بودند، مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، پارامترهایی از قبیل دهانه سهموی، فاصله‌ی کانونی فتولتاییک، نسبت تمرکز، به عنوان پارامترهای متغیر انتخاب شد که در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- پارامترهای متغیر

Table 2. Variable parameters

Focus ratio	Concentrating area (cm^2)	aperture length (cm)
۶	۱۸۰۰۰	۹۰
۶/۳۳	۱۹۰۰۰	۹۵
۶/۶	۲۰۰۰۰	۱۰۰
۷	۲۱۰۰۰	۱۰۵
۷/۳	۲۲۰۰۰	۱۱۰

۳- نتایج و بحث

نتایج شبیه سازی برای بخش هندسه نوری نشان داد که متمرکز کننده سهموی خطی با دهانه ۱ متر و نسبت تمرکز (۶/۶) بیشترین نرخ میانگین تابشی را داراست که نمودار تابش خالص بر صفحه خورشیدی بر اساس طول دهانه در شکل ۳ آورده شده است. دلیل بدست آمدن این نتایج آن است که با کاهش عرض دهانه، مقدار ورود اشعه خورشید به سطح متمرکز کننده کاهش یافته و به دنبال آن مقدار نرخ خالص جذب انرژی کاهش می یابد. از سوی دیگر با افزایش عرض دهانه متمرکز کننده، میزان انرژی ورودی به سطح سامانه متمرکز کننده افزایش یافته، اما در عین حال با افزایش بیشتر عرض این دهانه، پخش شدگی نور و بازتاب آن توسط دریافت کننده سهموی خطی بیشتر شده و تمرکز انرژی بر روی سطح دریافت کننده (صفحات فتولتاییک خورشیدی) کم می گردد. میزان بازتاب انرژی با عرض دهانه رابطه مستقیم داشت که این مقدار در شکل ۳ آورده شده است.

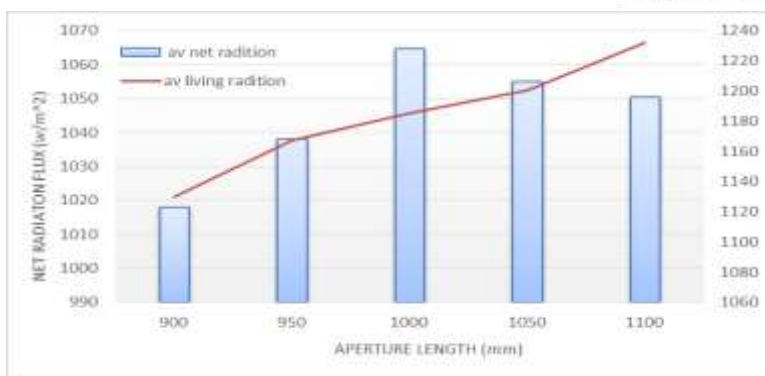


Figure 3. Net Radiation Flux and Living Radiation

شکل ۳- نرخ خالص جذب و بازتابش تابش

نتایج شبیه سازی برای عملکرد حرارتی نشان داد که هر چه دبی سیال افزایش یابد، دمای سطح پنل کاهش یافته و به دنبال آن تلفات هدایتی و تابشی کاهش می یابد. این امر سبب می گردد تا راندمان حرارتی افزایش یابد که نمودار دمای خروجی سیال و دمای سطح صفحه خورشیدی براساس شدت تابش روزانه برای دبی های متفاوت به ترتیب در شکل های ۴ و ۵ آورده شد. دمای میانگین سطح پنل برای دبی ۰/۵ و ۱ و ۱/۵ به ترتیب ۳۶/۲۷، ۳۳/۰۵ و ۳۱/۶۲ درجه سانتی گراد بدست آمد. همچنین دمای میانگین خروجی سیال برای دبی ۰/۵ و ۱ و ۱/۵ به ترتیب ۲۹/۸۹ و ۲۶/۲۴ و ۲۴/۹۵ درجه سانتی گراد بدست آمد.

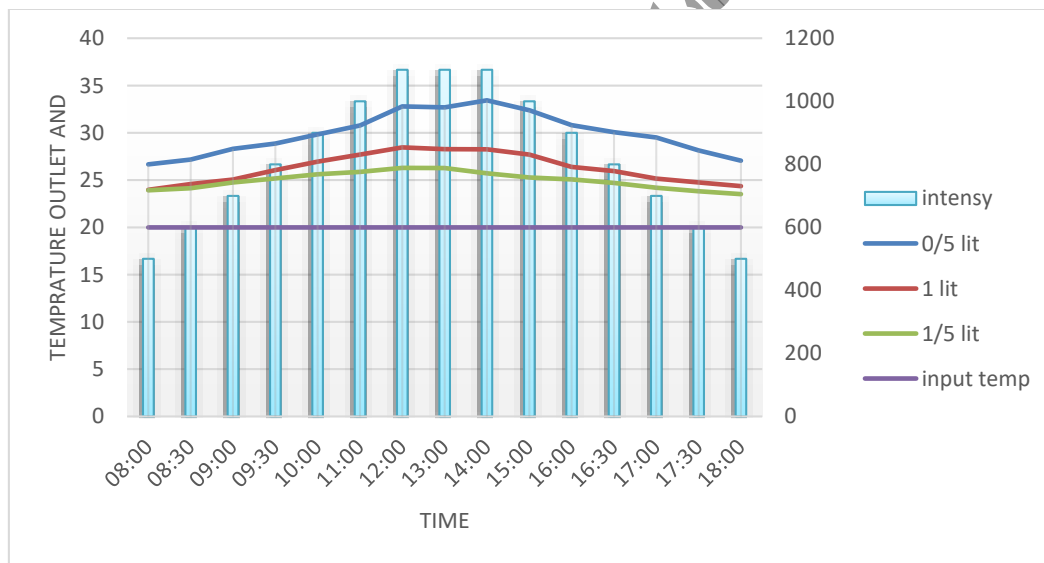


Figure 4. Temperature outlet and inlet

شکل ۴- نمودار دمای خروجی و ورودی

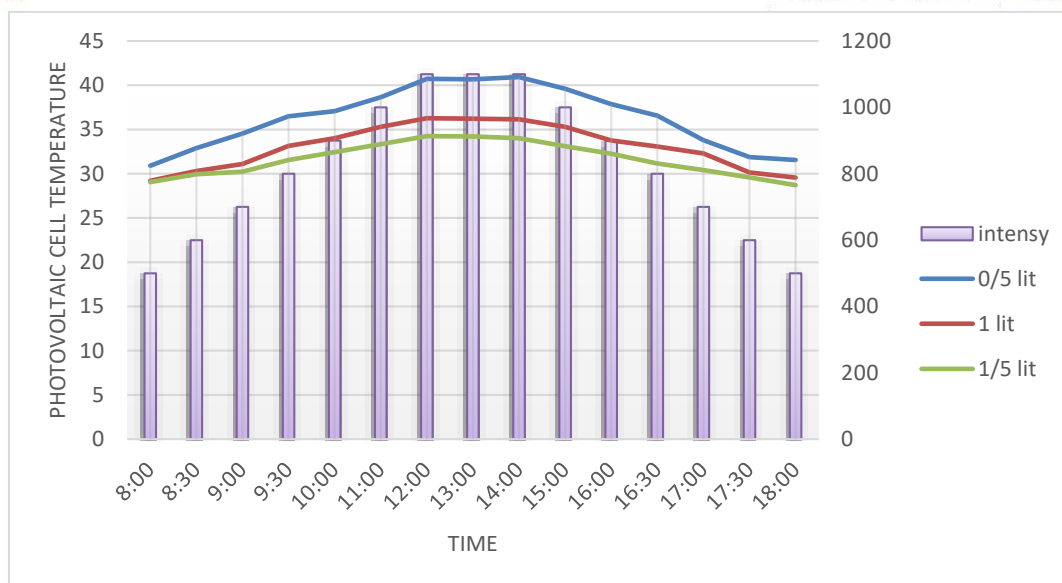


Figure 5. Photovoltaic cell Temperature

شکل ۵- دمای سطح فتوولتائیک

نتایج بدست آمده در شکل ۶ نشان داد که با گذشت زمان در طول روز روند تغییرات راندمان حرارتی ابتدا نزولی (تا میانه روز) و سپس روند آن به صورت صعودی (بعد از میانه روز) می‌باشد. دلیل این امر آن است که با گذشت زمان از صبح به سمت ظهر شدت تابش رسیده به سطح متمرکزکننده روند صعودی داشته (شکل ۴) و در عین حال نسبت تغییرات درجه حرارت سیال به انرژی ورودی به سطح متمرکزکننده در ظهر (میانه روز) نسبت به صبح کمتر بوده (تغییرات دما در میانه روز تقریباً خطی می‌باشد) و این امر سبب می‌گردد تا راندمان حرارتی از صبح به سمت ظهر روند نزولی داشته باشد. همچنین روند تغییرات بازده حرارتی برای بازه زمانی ظهر تا غروب به صورت افزایشی بوده و دلیل این امر افزایش میزان نسبت تغییرات درجه حرارت سیال به انرژی ورودی به سطح متمرکزکننده در غروب می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش دبی سیال میزان بازده حرارتی روند صعودی داشته، به طوری که با افزایش دبی از ۰/۵ به ۱/۵ lit/min، میزان بازده حرارتی به طور متوسط از 26% تا 41.42% تغییر می‌یابد. نتایج بدست آمده (شکل ۴) نشان داد که اختلاف دمای ورودی و خروجی برای میانه روز در دبی ۱/۵ در حدود ۶ درجه سانتی‌گراد و برای دبی ۱ در حدود ۸ درجه سانتی‌گراد و برای دبی ۰/۵ در حدود ۱۲ درجه سانتی‌گراد بوده که بنا به رابطه ۲ مقدار توان حرارتی مفید تولید شده برای سه دبی به ترتیب در حدود ۶۵۶، ۵۵۴ و ۴۲۴ ژول بدست آمد. همچنین بنابه رابطه ۳ راندمان حرارتی در میانه روز برای سه دبی ۱/۵، ۱ و ۰/۵ به ترتیب 36%، 31% و 23% بدست آمد. با افزایش دبی دمای سطح پنل کاهش یافته، و همچنین تلفات حرارتی کاهش یافته که سبب افزایش راندمان حرارتی شده و حداکثر آن برای دبی 1/5 با میانگین راندمان 38/66% بدست آمد.

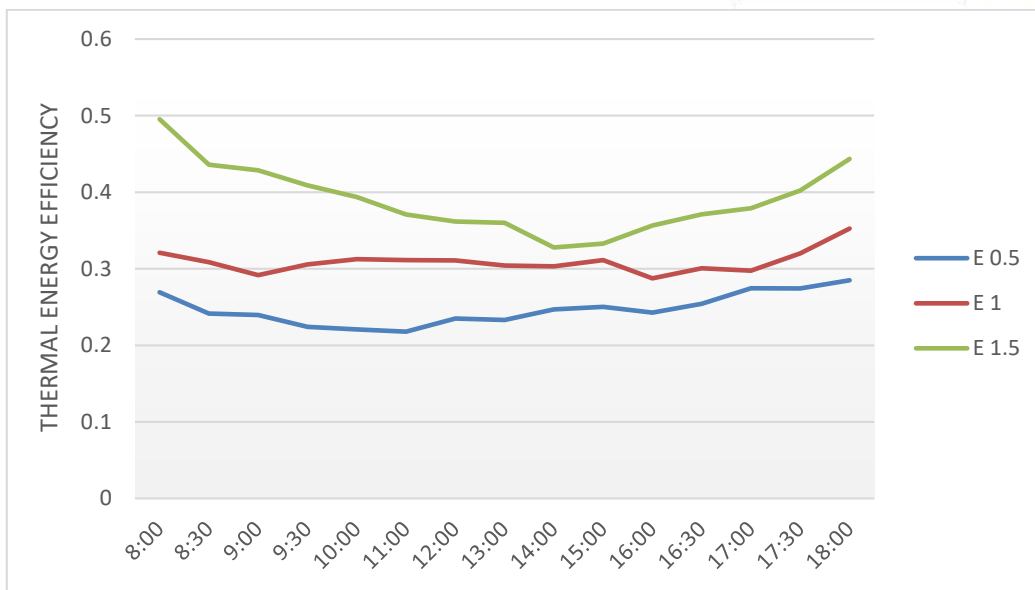


Figure 6. Thermal energy efficiency

شکل ۶- نمودار راندمان حرارتی

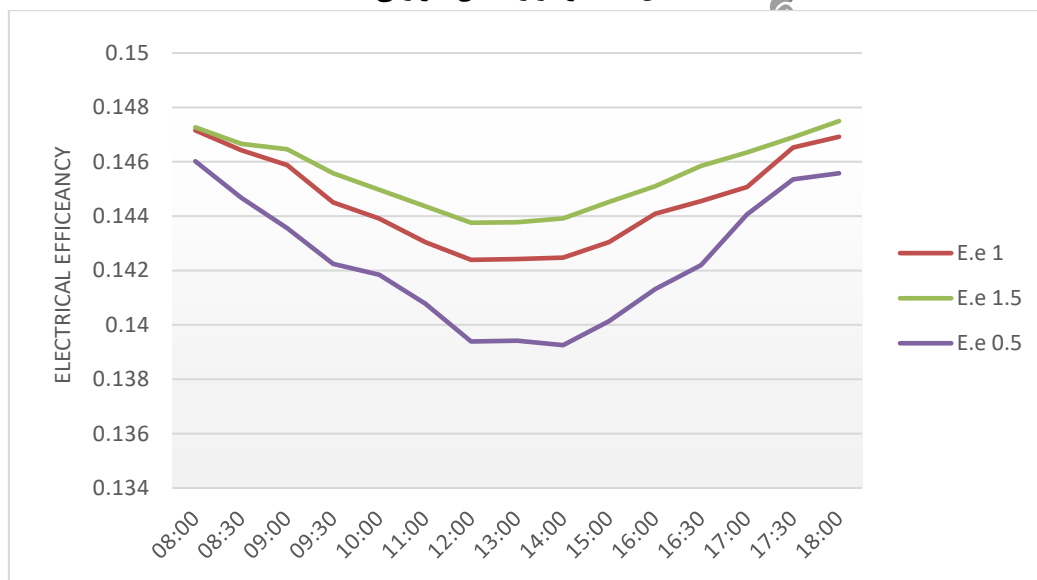


Figure 7. Electrical energy efficiency

شکل ۷- نمودار راندمان الکتریکی

تغییرات شدت تابش و دمای خروجی در (شکل ۴) نشان داد که با افزایش شدت تابش دمای خروجی و دمای سطح صفحه فتوولتاییک در هر سه سطح جریان دبی سیال، روند صعودی و با کاهش شدت تابش این روند نزولی بود. بنابه رابطه ۴ راندمان الکتریکی به دمای سطح صفحه فتوولتاییک وابستگی دارد. نتایج شبیه سازی در شکل ۷ نشان داد که با افزایش دمای سطح صفحه فتوولتاییک راندمان الکتریکی کاهش می یابد همچنین با افزایش دبی از ۰/۵ به ۱/۵ لیتر بر دقیقه راندمان الکتریکی نیز روند صعودی داشت اما بازده اختلاف حرارتی بین دمای ورودی و خروجی با افزایش دبی روند نزولی داشت. همچنین نتایج شبیه سازی نشان داد که تغییرات الکتریکی همچون راندمان حرارتی در طول روز را داشت.



نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که:

- ۱- برای بازده نوری سیستم یک عرض دهانه ای بهینه وجود دارد که با کاهش و افزایش عرض دهانه از بازده نوری آن کاسته می شود
- ۲- با افزایش دبی راندمان حرارت بدلیل افزایش ضریب هدایت و کاهش تلفات حرارتی افزایش می یابد
- ۳- راندمان حرارتی از صبح به سمت ظهر روند نزولی داشته دلیل این امر آن است که با گذشت زمان از صبح به سمت ظهر شدت تابش رسیده به سطح متمرکزکننده روند صعودی داشته و در عین حال نسبت تغییرات درجه حرارت سیال به انرژی ورودی به سطح متمرکزکننده در ظهر (میان روز) نسبت به صبح کمتر بوده است.
- ۴- روند تغییرات بازده حرارتی برای بازه زمانی ظهر تا غروب به صورت افزایشی بوده و دلیل این امر افزایش میزان نسبت تغییرات درجه حرارت سیال به انرژی ورودی به سطح متمرکزکننده در غروب می باشد.

۵- منابع

- Bernardo L.R., Perers B., Håkansson H., Karlsson B. (2011) Performance evaluation of low concentrating photovoltaic/thermal systems: a case study from Sweden Sol. Energy, 85: 1499-1510
- Calise, F. and Vanoli, L. (2012), Parabolic Trough Photovoltaic/Thermal Collectors: Design and Simulation Model, Energies, 5, pp 4186-4208.
- J. Nilsson, H. Håkansson, B. Karlsson, Electrical and thermal characterization of a PV-CPC hybrid, Sol. Energy 81 (2007) 917-928
- Jafari, M., Morteza Poor, H., Jafari Naeimi, K., Maharlouei, M., (1395), Experimental Investigation of the Performance of Greenhouse Solar Heating System Equipped with Dual-Use Solar Flat Parabolic Concentrator, Agri. Machinery J. 7, 378-364.
- Kakaei S., Jafarpour, J. (2011). Thermal and Thermodynamic Analysis and Two-objective Optimization of Parabolic Linear Collector, First National Conference on Energy Systems, Lamerd, Fars, Iran.
- Korres B.E.D., Tzivanidis C., Antonopoulos K.A. (2016). Design, simulation and optimization compound parabolic collector, Sust. Energy Technol. Assess., 116: 53-63
- Korres B.E.D., Tzivanidis C., Antonopoulos K.A. (2016). Experimental and numerical investigation of a linear Fresnel solar collector with flat plate receiver, Energy Convers. Manag. 130: 44-59
- Li M., Li G.L., Ji X., Yin F., Xu L., (2011). The performance analysis of the trough concentrating solar photovoltaic/thermal system, Energy Convers. Manag. 52: 2378e2383.
- Mohammadi Sardouei, M., Morteza Pour, H. and Jafari Naeimi, K, 1396, Numerical Analysis of Using Photovoltaic-Thermal Combined Solar Water Heater in Iran, Agri.l Machinery J. 7, 221-233.
- Tzivanidis C., Bellos E., Korres D., Antonopoulos K.A., Mitsopoulos G. (2015). Thermal and optical efficiency investigation of a parabolic trough collector, Case Studies Thermal Eng. 6 226-237
- Valid Zadeh, M., Barkhadi, F., Mahdavi Adeli, M., 2011, Thermal, Electrical and Exergy Analysis of a linear parabolic thermal photovoltaic collector, International Conference on Research Findings in Industrial Engineering and Mechanical Engineering, Tehran
- Yongfeng X., Ming L., Liuling W., Wenxian L., Ming X., Xinghua Z. (2009). Performance analysis of solar cell arrays in concentrating light intensity J. Semicond. 30 084011.
- Zhu L., Wang Y., Fang Z., Sun Y., Huang Q. (2010). An effective heat dissipation method for densely packed solar cells under high concentrations, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 94: 133-140.
- Chenlo F., Cid M., (1987). A linear concentrator photovoltaic module: analysis of nonuniform illumination and temperature effects on efficiency, Sol. Cells 20 27-39.
- Ziaoddini, A., Morteza Pour, H., Shamsi, M. and Rafie, A., (1395). Energy and Exergy Analysis of Greenhouse Heating with Solar Heating System Equipped with Linear Parabolic Concentrator and Flat Panel Adapter, Master's Thesis, Faculty of Agriculture, University of Bahonar Kerman.