امکان سنجی استفاده از یک سامانه متمرکز کننده فعال جهت کنترل توان و دمای پنل خورشیدی در فصول مختلف سال

محمد حسین مروج ایمانی [۱]، جلال برادران مطیع [۲،*]

۱. دانشجوی مقطع کارشناسی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲. *عضو هیات علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد.

چکیده

امروزه با توجه به مشکلات زیست محیطی و همچنین سختی های دسترسی به سوخت های فسیلی، توجه جوامع بشری به سمت استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر معطوف شده است. خور شید از دیر باز منبع بی پایان انرژی بوده است. از آنجا که دریافت انرژی خور شیدی نیاز صرف هزینه و تجهیزات نسبتا گران قیمت دارد، افزایش راندمان و توان تولیدی از پنل های خورشیدی حائز اهمیت می باشد. متمرکز کردن تابش خورشید برروی پنل ها راه حل بسیار آسانی است اما موجب افزایش دما و کاهش طول عمر آنها بخصوص در فصل تابستان می شود. در این تحقیق ضمن معرفی یک سیستم متمرکز کننده فعال بر پایه لنز فرنل، ضمن تغییر فاصله عدسی با پنل موجب تغییر نقطه کانونی عدسی شده و شدت تابش را تنظیم کردیم. در این طرح فاصله عدسی تا پنل بین ۱/۵ تا ۲/۵ برابر فاصله کانونی آن متغیر است و به ترتیب می تواند بین دو تا نیم برابر تابش را تنظیم کرد. محاسبات برای فصول مختلف سال نشان داد استفاده از سیستم متمرکز کننده حدود تنظیم دمایی ۴۰ تا ۱۲۷ درجه سلسیوس و ۱۸ تا ۴۸ درجه سلسیوس به ترتیب برای فصل تابستان و زمستان در اختیار قرار دهد. این در حالی است که توان الکتریکی تولید شده توسط پنل نیز در محدوده قابل قبولی کنترل می شود. استفاده از سیستم متمرکز کننده فعال می تواند سیستم های خنک کاری مرسوم در پنل های خورشیدی را تا حد زیادی از سیستم ها حذف کند.

کلمات کلیدی:

انرژی خورشید، پنل فتوولتائیک، متمرکز کننده فعال، لنز فرنل

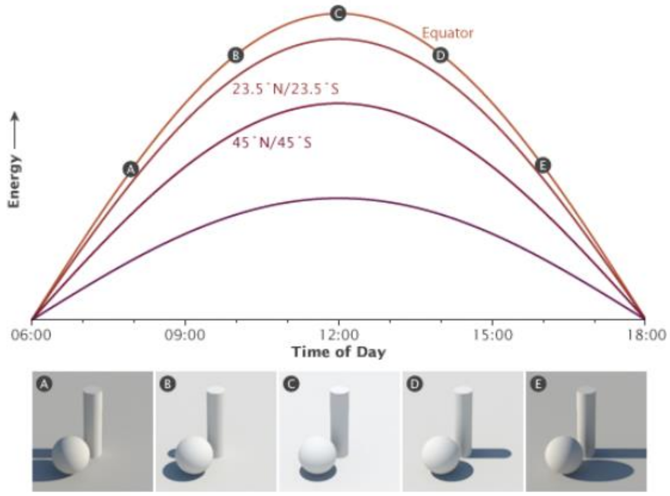
*نویسنده مسئول، j.baradaran@um.ac.ir

امکان سنجی استفاده از یک سامانه متمرکز کننده فعال جهت کنترل توان و دمای پنل خورشیدی در فصول مختلف سال

مقدمه

انرژی های فسیلی علی رغم نقش برجسته ای که در رشد و توسعه اقتصادی کشور ها ایفا می کنند، اما به طور هم زمان منشا ایجاد مسائل و مشکلات گسترده ای در عرصه های مختلف شده اند. در شرایط کنونی مسائل و مشکلات انرژی های فسیلی به حدی آشکار شده است،که دیگر ضرورت روی آوردن به انرژی های تجدید پذیر برکسی پوشیده نیست. بر این اساس بسیاری از کشورها به انرژی های تجدید پذیر روی آورده اند که ضمن تضمین رشد و توسعه واجد ویژگی های مهمی چون پایدار بودن نیز هست.

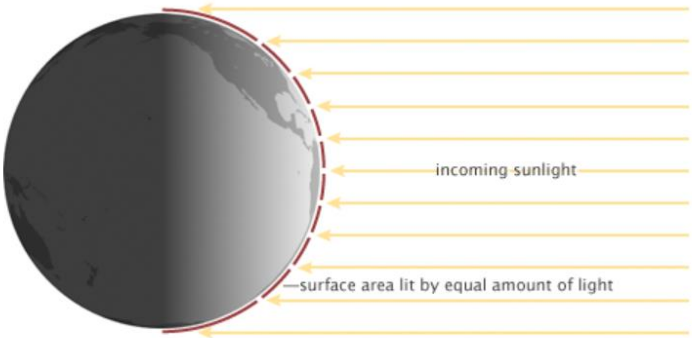
انرژی خورشیدی یکی از منابع تامین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست محیطی است که از دیر باز به روش های گوناگون مورد استفاده بشر قرار گرفته است. بنابر گزارش ناسا، انرژی که از خورشید به جو زمین میرسد بالغ بر ۱۳۶۰ وات برمتر مربع است، که این میزان انرژی باتوجه به موقعیت عرض جغرافیایی و روز های سال در سطح زمین با تغییراتی دریافت می شود[1]. از کل انرژی منتشر شده توسط خورشید ، تنها در حدود ۴۷ درصد آن به سطح زمین می رسد. این بدان معنی است که زمین در هر ساعت ، تابشی در حدود ۶۰ میلیون Btu دریافت می کند[2].



شکل ۱. تغییرات انرژی خورشیدی دریافت شده در سطح زمین نسبت به موقعیت عرض جغرافیایی و ساعت روز[1].

این بدان معنی است که انرژی ناشی از سه روز تابش خورشید به زمین برابر با تمام انرژی ناشی از احتراق کل سوخت های فسیلی در دل زمین است. این مطلب اهمیت توجه به روش های دریافت انرژی خورشید به صورت های گرمایی و الکتریکی می باشد. انرژی الکتریسیته به دلیل در دسترس بودن فناوری دریافت، ذخیره سازی و انتقال و همچنین قابلیت تبدیل به صور دیگر انرژی بسیار مورد توجه محققین و صنعتگران قرار دارد. با به کارگیری پنل های خورشیدی می توان تاحدودی از این منبع انرژی بی پایان ، پاک و رایگان استفاده کرد و تاحد بسیار زیادی در مصرف سوخت های فسیلی صرفه جویی نمود[3].

میزان تابش انرژی خورشیدی در نقاط مختلف جهان متغیر بوده و در کمربند خورشیدی زمین بیشترین مقدار را دارا است، کشور ایران نیز در نواحی پرتابش واقع است و مطالعات نشان می دهد که استفاده از تجهیزات خورشیدی در ایران مناسب بوده و می تواند بخشی از انرژی مورد نیاز کشور را تامین نماید (شکل ۲). ایران با وجود ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دو سوم آن و متوسط تابش ۴/۵ – ۵/۵ کیلو وات ساعت بر متر مربع در روز، یکی از کشور های با پتانسیل بالا در زمینه انرژی خورشیدی معرفی شده است[4].



شکل۲. تاثیر عرض جغرافیایی بر شدت انرژی خورشیدی دریافتی[1].

یکی از مسائلی که دریافت انرژی خورشیدی با آن در ارتباط مستقیم می باشد، تغییر زاویه خورشید نسبت به سطح زمین در طول روز و همچنین در طول سال است، که به دلیل حرکات وضعی زمین و تغییر زاویه محور آن رخ می دهد. این مسئله بر راندمان و میزان حداکثر انرژی قابل استحصال چه به صورت گرمایی و یا الکتریکی تاثیر گذار است. لذا تلاش ها به سمتی متمایل شده است که تا حد امکان بتوان راندمان را در حد قابل قبولی نگه داشت. از جمله راه حل هایی که برای مطابقت سامانه های دریافت انرژی خورشیدی (پنل ها) با زاویه تابش در طول روز بکار گرفته می شود استفاده از مکانیزم های دنبال کننده خورشید[1] می باشد. این مکانیزم در تمام طول روز با تغییر زاویه قرار گیری پنل سعی می کند زاویه تابش نسبت به سطح پنل را در حالت قائم حفظ کند. اما حالت دوم تغییر زاویه تابش خورشید نسبت به سطح زمین در طول سال می باشد. این مسئله علاوه بر تغییر زاویه موجب تغییر شدت تابش کلی به سطح زمین نیز می گردد (به عنوان مثال در زمستان تابش کلی به زمین کاهش می یابد)، لذا دنبال کننده های خورشیدی در این بخش موفقیت چندانی نمی توانند داشته باشند. راه حلی که در این جا به کار گرفته می شود استفاده از سامانه های متمرکز انرژی است تا بتوان مقدار بیشتری از انرژی دریافتی از خورشید را به سطح پنل ها تاباند و راندمان و توان تولیدی را در حداکثر مقدار ممکن نگه داشت. در این زمین تحقیقات مختلفی انجام شده است که به شرح زیر می باشد.

در فناوری فتوولتائیک ، فوتون های موجود در تابش خورشیدی توسط نیم رسانا ها و مدارات موجود درسلول خورشیدی بر اساس اثر فتوولتائیک به الکتریسیته تبدیل می شود[5]. سلول های فتوولتائیک به دو صورت صفحات تخت (pv) و متمرکز کننده های خورشیدی (cpv) می باشند. در این میان صفحات فتوولتائیک برای تولید مستقیم انرژی خورشیدی به الکتریسیته استفاده می شود و همچنین در سلول های خورشیدی متمرکز کننده ابتدا فوتون ها را به کمک یک بازتابنده متمرکز شده و در ادامه با شدت تابش بیشتر به سطح سلول خورشیدی هدایت می شود [6].

به علت کوچک بودن سلول خورشیدی مورد نیاز در فناوری متمرکز کننده ، هزینه تهیه سلول خورشیدی نسبت به فناوری های غیر متمرکز کننده کمتر می باشد. استفاده از سلول های خورشیدی که داری قیمت گران تر و همچنین بازدهی بیشتر می باشند مانند سلول های چند پیوندی در این فناوری توجیه پذیر است. بازده فناوری متمرکز کننده در شرایط آزمایشگاهی با به کارگیری سلول های خورشیدی چند پیوندی به حدود ۴۴ درصد نیز رسیده است[7].

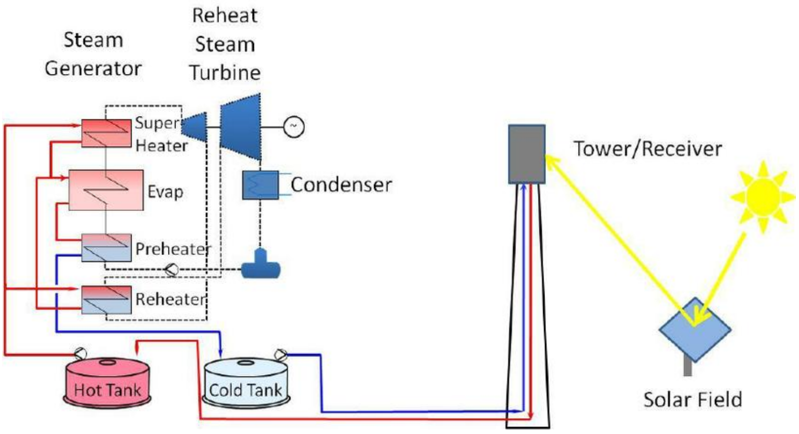
امروزه روش های مختلفی جهت استفاده از فناوری متمرکز کننده مانند: روش سهموی خطی، برج خورشیدی، بشقاب خورشیدی و لنز های فرنل به کار گرفته می شود. در روش سهموی خطی از تعداد زیادی بازتابنده مقعر با طول زیاد و همچنین سطح مقطع سهمی استفاده شده است. این بازتابنده ها فوتون ها را در خط کانونی سهمی ها بازتابانده و متمرکز می کنند. در ادامه برای استفاده از گرمای حاصل از تابش در خط کانونی، لوله ای حاوی یک سیال جاذب گرما در طول خط کانونی سهمی قرار می گیرد. این لوله دوجداره که

[1] Sun tracker

موسوم به (لوله جاذب) نیز می باشد به گونه ای طراحی شده است که پتانسیل تحمل دمای بالا و جذب بیشترین انرژی را داشته باشد. این لوله ها اغلب از فلزی با روکشی به رنگ سیاه و یک لایه محافظ شیشه ای ساخته می شود.

در بین لوله و لایه محافظ فاصله ای وجود دارد که سبب کاهش اتلاف گرما می شود همچنین برای افزایش کارایی ممکن است یک لایه ضد بازتابش به سطح خارجی شیشه افزوده شود. بازتابنده های سهموی خطی اغلب برروی محور خود و در راستای شمالی جنوبی تراز می شوند و روی یک سامانه ردیابی خورشیدی قرار می گیرند که حرکت شرقی غربی خورشید را در آسمان دنبال می کند. بازده نیروگاه های سهموی خطی در تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته حدود ۱۴ درصد است[7].

نیروگاه های برج خورشیدی که موسوم به (نیروگاه های خورشیدی با دریافت کننده مرکزی) می باشد یکی دیگر از روش های متمرکز کننده خورشیدی که انرژی گرمایی حاصل از فوتون ها را به الکتریسیته تبدیل می کند. در این روش برج خورشیدی درمرکز دریافت کننده های نور که متشکل از آینه ها می باشند قرار می گیرد. در قسمت بالای برج خورشیدی برای جذب گرمای حاصل از تابش دریافت کننده ای طراحی شده است و برای افزایش بازده، هر آینه یک سامانه ردیابی خورشیدی دار که جهت آن را مطابق با حرکت خورشید تغییر می دهد به نحوی که بیشترین بازتاب به سمت دریافت کننده در بالای برج باشد. همچنین دریافت کننده نیز به گونه ای است که قابلیت جذب انرژی دریافتی را با بیشترین بازده داشته باشد و آن را به سیال جاذب حرارت انتقال دهد. و این سیال جاذب حرارت می تواند نمک مذاب ، آب و یا هوا باشد. نمک مذاب با دمای بیش از ۵۵۰ درجه سانتی گراد پس از خارج شدن از مخزن ذخیره و عبور از مبدل حرارتی ، با انتقال گرمای خود به آب منجر به تبخیر آن و سپس حرکت توربین بخار و تولید برق می شود. در ادامه نمک مذاب سرد با دمای حدود ۲۹۰ درجه سانتی گراد ، بار دیگر به مخزن ذخیره سرد باز می گردد تا دوباره برای عبور از دریافت کننده انرژی خورشیدی آماده شود[7].

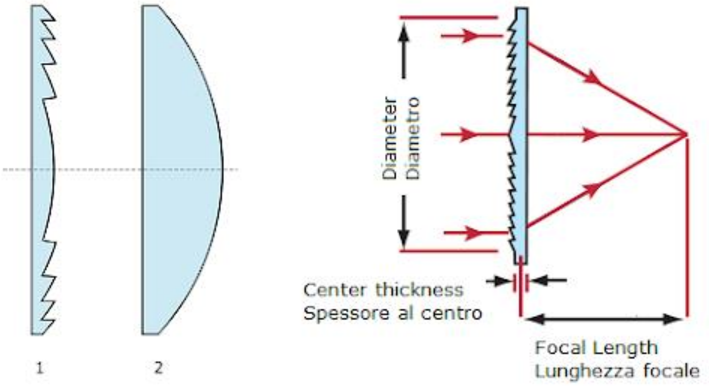


شکل ۳. شماتیک یک نیروگاه برج خورشیدی مجهز به متمرکز کننده های آینه ای[8].

در روش دیگر به منظور متمرکز کردن انرژی خورشید، با استفاده از یک بشقاب سهموی چرخان، تابش خورشید را دریافت و آن را به نقطه کانونی خود بازتاب و هدایت می کند. موتور گرمایی که در قسمت کانون بشقاب خورشیدی قرار گرفته است با تبدیل گرمای حاصل از تابش به حرکت مکانیکی، ژنراتور را به کار می اندازد. در اغلب بشقاب های خورشیدی موتور گرمایی خاصی به نام موتور استرلینگ به کار می رود که بازده نظری این موتورها در حدود ۴۰ درصد میباشد در حالی که بازده عملی آن ها نزدیک به ۳۰ درصد است. بشقاب خورشیدی ، سازه ای مشبک می باشد که بر روی آن تعداد زیادی آینه انحنا دار قرار می گیرد. این آینه ها امکان دارد از شیشه و یا فلزی براق ساخته شوند و به شکل دایره ، مثلث و یا مستطیل باشند. پایه ای در مرکز این بشقاب ها می باشد که موتور گرمایی روی آن قرار می گیرد[7].

یکی دیگر از روش های متمرکز کردن تابش خور شید برروی نقطه هدف که می تواند منجر به افزایش نرخ دریافت حرارت و یا تولید الکتریسیته شود، کاربرد عد سی ها و یا لنز های محدب ا ست. این عد سی ها می توانند تابش های نور خور شید که را ستایی موازی دارند را به سمت نقطه کانونی متمرکز نموده و تابش را در نقطه مشخصی محدود کند. از آنجا که عدسی های محدب که بتواند این امر را میسر کند قطعه ای بزرگ و سنگین می باشد، نوع دیگری از عدسی ها (لنز های متمرکز کننده) بکار گرفته می شود که می تواند با ضخامت و وزن کمتر تابش را به سمت نقطه کانونی متمرکز کند. این عدسی ها به نام لنز های فرنل[۲] شناخته می شوند.

لنز فرنل از جنس متیل متاکریلات (PMMA) که ماده ای شفاف مانند شیشه و شفافیت آن شبیه به فیبر نوری می با شد، ساخته شده ا ست. لنز فرنل دارای شکل صفحه ای ا ست که از تجزیه لنز کروی بد ست آمده ا ست و برای هر منطقه، ضخامت لنز تبدیل منحنی پیوسته در یک سری از سطوح با همان انحنا ولی ناپیوسته را محدود می کند.



شکل ۳. ساختار لنز فرنل (۱) و مقایسه ضخامت آن با عدسی محدب (۲) با نقطه کانونی مشابه.

این اپتیک خاص اجازه می دهد تا تمرکز همان مقدار تابش خورشیدی بدست آمده با لنز منحنی به همان قطر را با حجم کمتر بدست آوریم. به طور کلی این لنز ها به کمک ماشین پرس PMMA ساخته شده است، شکل هندسی منحصر به فرد و به کارگیری از مواد پلیمری لنز فرنل سبب می شود تا در مقایسه با شیشه استاندارد با دیوپتریک مشابه، بسیار سبک با شد. همچنین بازده نوری لنز فرنل حدود ۸۵٪ و در لنز شیشه ای ۸۰٪ می باشد[۷].

لنز های فرنل به علت وزن مناسب وساختار ساده وهمچنین تلفات کم انرژی مورد توجه بوده است. شکست نور حاصل از برخورد با سطح عدسی می تواند با وجود هرمقدار از حجم هوای بین عدسی و سطح مورد نظر، ویژگی های خود را حفظ نماید. در لنزهای فرنل با تمرکز به صورت نقطه ای، قسمت عمده ای از تاثیر مواد بین سطح مورد نظر و عدسی توسط انحراف زاویه ای عدسی از مرکز آن کاهش یافته است[۵].

انرژی فتوولتائیک متمرکز شده (با غلظت بالا) به طور ایده آل به دو قسمت مجزا تقسیم می شود : یک بخش نوری تشکیل شده از هموژنایزر ها و لنز ها و یک بخش حساس به نور تشکیل شده از سلول، مدار متمرکز و دستگاه خنک کننده محصور در یک پوشش از جنس آلومینیوم که اغلب این مدل دارای یک متوازی السطوح است. همچنین در رابطه با پنل های نقطه متمرکز فرنل cpv می توان گفت که با استفاده از سلول های خورشیدی که دارای چند نقطه اتصال می باشند، می تواند راندمانی حدود دو برابر سلول های کریستالی سیلیکون داشته باشد و همینطور تلفات آن نیز بسیار کمتر از سلول های سیلیکونی می باشد[۹].

هرچند صفحات خورشیدی مجهز به متمرکز کننده نسبت به صفحات ساده راندمان بالاتری دارند اما این متمرکز کننده ها به صورت ثابت برروی صفحات خورشیدی قرار می گیرند و در طول سال عملکرد یکسانی دارد. یکی از مسائل پیش روی استفاده از متمرکز کننده

[2] Fresnel Lens

ها افزایش دمای پنل در تابستان است که استفاده از سیستم های خنک کننده را الزامی می کند. همچنین در زمستان به دلیل کاهش شدت تابش به سطح پنل توان تولیدی تحت تاثیر قرار می گیرد. در این تحقیق سعی شده است امکان کاربرد یک سیستم تنظیم شدت تمرکز تابش خورشید به کمک لنز های فرنل بررسی شود. بدین صورت که در تابستان با تغییر فاصله قرار گیری پنل نسبت به نقطه کانونی عدسی شدت تابش را کاهش داده و از افزایش بیش از حد پنل جلوگیری نمود و همچنین در زمستان به صورت عکس، شدت تمرکز را افزایش و علاوه بر گرم تر کردن پنل و رسیدن به دمای کارکرد مطلوب با افزایش تابش توان تولیدی افزایش یابد. در ادامه این سیستم بررسی می شود.

مواد و روش ها

هنگام برخورد فوتون ها به لایه N کریستال نیمه هادی موجود در صفحات پنل، الکترون ها انرژی لازم برای شکستن باند انرژی را دریافت می کنند و به لایه p حرکت می کنند. در این میان افزایش دمای ناشی از تابش سبب کاهش عرض باند انرژی می شود و با کاهش طول باند انرژی جریان عبوری از باند باید افزایش یابد اما به علت اینکه بار های متصل به سلول ثابت است، ولتاژ کاهش یافته و موجب کاهش جریان تولیدی سلول می شود[۱۰]. همچنین تابش خورشید سبب افزایش دمای سلول خورشیدی می گردد که ناشی از جذب اشعه ی مادون قرمز نور خور شید و همچنین تیره بودن رنگ آن ها می با شد که می تواند این افزایش دما قابل ملاحظه با شد به گونه ای که در نواحی گرمسیر میزان دما به ۸۰ الی ۹۰ درجه سانتی گراد می رسد[۱۱].

دمای سلول خورشیدی و تابش خورشیدی رابطه خطی با یکدیگر دارند که طبق رابطه (۱) محاسبه می گردد :

$$T = T_0 + 0.031\ R \qquad (۱)$$

که T برابر دمای سلول خورشیدی بر حسب درجه ی سانتی گراد و T_0 دمای اولیه محیط بر حسب درجه سانتی گراد و همچنین R میزان تابش خورشیدی برحسب $W/_{m^2}$ می باشد[۱۲].

عوامل موثر بر دمای سلول خورشیدی شامل : تلفات الکتریکی ، دمای محیط ، رسانش گرمایی و تابش خورشیدی می باشند.

در سلول خورشیدی مقداری از انرژی تابشی خورشید جذب شده و به الکتریسیته تبدیل می شود و مقدار دیگر نیز به انرژی گرمایی تبدیل می گردد. و در صورتی که انرژی گرمایی ناشی از تابش به صورت کامل جذب گردد نحوه ی محاسبه ی آن طبق رابطه (۲) می باشد :

$$Q_L = A \times R \times t \qquad (۲)$$

که Q_l انرژی گرمایی ناشی از تابش ، R شدت تابش ، A مساحت سطح و t زمان می باشد.

همچنین بخشی از توان الکتریکی P_{lelc} به انرژی گرمایی تبدیل می گردد که مقدار آن بر اساس رابطه (۳) محاسبه می گردد :

$$P_{lelc} = P_{rs} + P_D = r_s I^2{}_{pv} + \left(V_{pv} + r_s I_{pv}\right) \times\ I_s\ \left(\exp\left(\frac{q\left(V_{pv} + r_s I_{pv}\right)}{n\,k\,T_{cell}}\right) - 1\right) \qquad (۳)$$

$$Q_{elc} = P_{lelc} \times t \qquad (۴)$$

که V_{pv} ولتاژ خروجی سلول خور شیدی ، I_{pv} جریان خروجی سلول خور شیدی ، T_{cell} دمای سلول خور شیدی ، q بار یک الکترون ، K ثابت بولتزمن ، n فاکتور انتشار ، I_s جریان اشباع معکوس ، I_{ph} جریان وابسته به شدت تابش و r_s مقاومت سری سلول می باشد. بنابراین انرژی گرمایی ناشی از تلفات الکتریکی تابعی از دمای سلول خورشیدی در زمان و ولتاژ خروجی می باشد.

بازده پنل خورشیدی وابسته به دمای آن و همچنین دمای پنل خورشیدی به دمای محیط و شدت تابش خورشیدی و همینطور توان تولیدی پنل خورشیدی به شدت تابش خورشیدی و دمای آن وابسته می باشد[۱۳]. در ارتباط با بازده سلول های خورشیدی و دمای آن ها تحقیقات فراوانی صورت گرفته که می توان به ودافه و بکام (۱۹۹۴) اشاره نمود که دمای سلول های خورشیدی را به صورت تابعی از توان تابشی خورشید و دمای محیط مدل می کنند[۱۴].

مسترز (۲۰۱۳) نیز در رابطه با تاثیر دما در انرژی تولیدی سلول های خورشیدی تحقیقاتی را انجام دادند که درآن مدل ، بازده سلول خور شدی به صورت خطی با تغییرات دمای محیط متنا سب ا ست در حالی که در دما های بالا بازده سلول خور شیدی کاهش می یابد[۱۵]. برای محا سبه ی توان خروجی در سلول خور شیدی در شرایط ا ستاندارد (STC) که توان نامی نیز نامیده شده و تو سط سازنده معرفی می شود ، پنل خورشیدی به مساحت A و بازده η به صورت رابطه (5) می شود :

$$P_{rated} = A \times \eta \times 1000\ (Watts) \qquad (۵)$$

توان خروجی سلول خورشیدی با تغییرات دمای سلول خورشیدی تغییر می کند همچنین ضریب تغییر دمای توان (γ) برای سلول های خورشیدی مختلف مقداری متفاوت است که به عنوان یکی از پارامتر ها توسط کارخانه سازنده ارائه می شود و توان خروجی پنل خورشیدی در شرایط غیر از STC در شدت تابش R و دمای T_{cell} طبق رابطه (۷)محاسبه می گردد :

$$\Delta T = T_{cell} - 25 \qquad (۶)$$

$$P_{out} = R \times A \times \eta = R \times A \times \eta_{rated} \times (1 - \gamma \Delta T) \qquad (۷)$$

توان ورودی سلول های خور شیدی ، توان دریافتی از خور شید می با شد که در شدت تابش R و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به طبق رابطه (۸) محاسبه می گردد :

$$P_{in} = R \times A \qquad (۸)$$

بنابر این بازده سلول های خورشیدی در شرایط استاندارد طبق رابطه (۹) محاسبه می شود :

$$\eta_{rated} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \qquad (۹)$$

و می توان برای بازده سلول های خورشیدی در شرایط غیر استاندارد به صورت رابطه (۱۰) محاسبه نمود :

$$\eta = \eta_{rated} \times (1 - \gamma \Delta T) \qquad (۱۰)$$

افزایش دما تاثیرات مخربی بر عملکرد سلول های خورشیدی دارد و موجب کاهش بازدهی و طول عمر سلول خورشیدی می شود.میزان افت ولتاژ مدار باز سلول های خورشیدی حدود ۰/۳ تا ۰/۴ درصد به ازای افزایش هر درجه سانتی گراد دمای محیط است و همچنین افزایش جریان اتصال کوتاه حدود ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۷۵ درصد به ازای هر درجه سانتی گراد افزایش دما می باشد. بنابر این بازده سلول خورشیدی به میزان ۰/۰۵ درصد به ازای هر درجه سانتی گراد افزایش دمای محیط کاهش می یابد[۱۶].

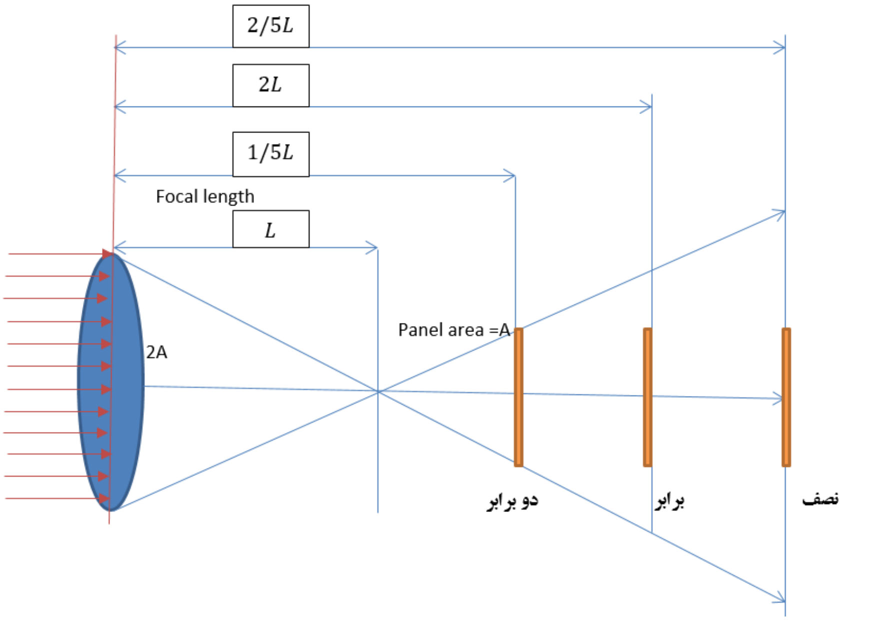
جدول زیر مقادیر بازده را برای نیمه های های Ge ، Si ، GaAs ، InP ، CdTe و Cd S در سلول های خورشیدی و در بازه ی دمایی 273k – 523k بررسی شده است[۱۷].

جدول ۱. مقایسه بازده پنل خورشیدی با انواع مواد مختلف به عنوان نیمه هادی و تاثیر دما بر میزان بازده آنها[۱۷].

مواد \ دما T	300k	350k	400k	450k	500k
Ge	10	5	1	0	0
Si	25	20	15	10	7.5
GaAs	27	23	19	17	13
InP	27	22	17	15	12
CdTe	27	25	21	20	18
CdS	14	14.5	13.5	13	12

نتایج و بحث

به عنوان یکی از راههای تمرکز تابش خورشید بر پنل و افزایش راندمان با استفاده از عدسی های متوالی ای که مختص هر سلول با ابعاد بزرگ تر از خود سلول خورشیدی است میزان تابش های خورشیدی که به سطح پنل می رسند را افزایش داده می شود. این عدسی های متوالی بر روی صفحه نگهدارنده ای متشابه با ماژول و با نسبت تشابه بزرگ تر قرار گرفته اند به نحوی که هر یک از عدسی ها، یک سلول خورشیدی را به طور کامل در بر می گیرد و نیز برای این که مایل بودن زاویه تابش خورشید باعث ایجاد سایه عدسی ها روی صفحات خورشیدی نشود باید از ردیاب خورشیدی برای ایجاد تابش عمود به عدسی ها استفاده نمود. این صفحه نگهدارنده در فاصله ای تعیین شده از ماژول قرار می گیرد که کانون عدسی ها قبل از صفحه ی خورشیدی باشد که باعث ایجاد نقطه سوزان نشود بلکه سطح سلول های خورشیدی پس از کانون قرار بگیرد به نحوی که میزان تابش نور به سطح سلول به میزان قابل توجهی افزایش می یابد.



شکل ٤. مکان قرار گیری پنل نسبت به عدسی متمرکز کننده و میزان تابش دریافتی نسبت به حالت بدون عدسی

پایه های صفحه نگهدارنده از نوع باز شونده می باشد و قابلیت تغییر فاصله صفحه نگهدارنده را از ماژول ایجاد می کنند. این پایه ها در زیر ماژول به الکتروموتور AC آسنکرون قفس سنجابی متصل اند که وظیفه آن ایجاد نیروی مکانیکی لازم برای تغییر فاصله صفحه نگهدارنده عدسی ها از ماژول را بر عهده دارد که باسرعت ثابت قابلیت حرکت پایه های بازشونده را فراهم می کند.

این تغییر فاصله بر مبنای رابطه ای از دمای سطح سلول خورشیدی و دمای محیط، توسط سنسور دمایی PT100 صورت می گیرد. سنسور دمایی PT100 در صفر درجه دارای مقاومت ۱۰۰ اهم می با شد و مقاومت آن تابعی از دما بوده و با افزایش یا کاهش دما تغییر پیدا می کند. سنسور دمایی PT100 با داشتن دقت بالا و طول عمر زیاد و بازه ی تشخیص دمایی گسترده از بهترین سنسور های تشخیص دمایی می باشد.

از آنجایی که دمای بالا سبب کاهش بازده و طول عمر سلول سلول خور شیدی شده و با نگه دا شتن دمای سلول خور شیدی در بازه ی دمایی مناسب می توان سبب افزایش بازده و طول عمر آن گردید. نگه داشتن دمای سلول خورشیدی دربهترین بازه ی دمایی به این صورت انجام می شود که سنسور دمایی با تشخیص دمای سطح سلول و محیط و با استفاده از رابطه تعیین شده بین آن ها فرمان تغییر فاصله را به الکتروموتور AC آسنکرون قفس سنجابی ارسال می کند و الکتروموتور فاصله صفحه نگهدارنده را بدین صورت تغییر می دهد که در صورت کاهش دمای ماژول، با نزدیک کردن صفحه نگهدارنده به ماژول کانون عد سی ها را به سلول های خور شیدی نزدیک تر کرده و باعث افزایش دمای آن و در نتیجه سبب متعادل تر شدن دما می شود یا در صورت افزایش دمای ماژول ، الکتروموتور با افزایش فاصله نگهدارنده از ماژول سبب دور شدن کانون عدسی از سلول های خورشیدی شده و در نتیجه تابش کمتری به سطح سلول خورشیدی خواهد رسید که این عمل سبب کاهش دمای سطح سلول خورشیدی خواهد شد.

البته باید این نکته را در نظر داشت که برای جلوگیری از افتادن کانون عدسی ها روی سلول خور شیدی و یا از دست رفتن میزان زیادی از تابش باید بازه ی دمایی خا صی را در نظر گرفت به صورتی که فا صله صفحه نگهدارنده عد سی ها در بازه دمایی منا سب همان منطقه و نزدیک به بهترین بازه عملکرد دمایی سلول خورشیدی تغییری نکند و نیز هنگامی که دمای ماژول به بیش از بازه در نظر گرفته شده برسد پایه ها باز شده و فاصله صفحه نگهدارنده عدسی ها زیاد می شود تا میزان تابشی را که به سلول می رسد کاهش یابد و در نتیجه دمای سطح سلول خورشیدی کمتر می شود اما این افزایش فاصله تا حدی صورت می گیرد که میزان هدر رفت تابش خورشیدی از اندازه تعیین شده بیشتر نشود همچنین هنگامی که دمای ماژول به کمتر از بازه در نظر گرفته شده برسد پایه ها بسته شده و صفحه نگهدارنده عدسی ها به سطح سلول خورشیدی نزدیک می گردد و در نتیجه تابش متمرکز تر شده و دمای سطح سلول به تعادل می رسد و مانع از کاهش بازده آن می شود.

در ادامه به منظور شبیه سازی، از پنل خورشیدی با مشخصات جدول (۲) استفاده می کنیم.

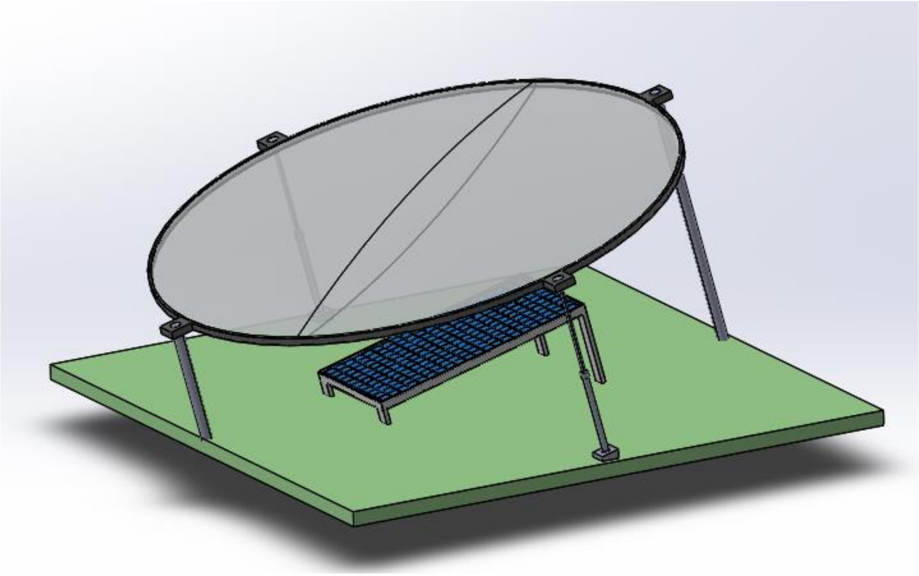
جدول (۲) . مشخصات فنی پنل مورد آزمایش

پارامتر	واحد	مقدار
ابعاد	میلی متر مکعب	$50 \times 810 \times 1555$
وزن	کیلوگرم	16
تعداد سلول ها	عدد	72
جریان بیشینه	آمپر	4/99
ولتاژ بیشینه	ولت	40/08
توان بیشینه	وات	200

اگر فاصله ی عدسی تا نقطه کانونی را L در نظر بگیریم در نتیجه می توانیم فاصله ی $1.5L$ را به عنوان محل پنل خورشیدی در حالت متمرکز قرار دهیم. که از این رو مساحت منطقه ی مورد تابش توسط عدسی را می توان دایره ای به قطر، قطر پنل خورشیدی در نظر گرفت که می توان قطر دایره را با توجه به رابطه ی (۱۱) و با توجه به ابعاد پنل خورشیدی به دست آورد.

$$\sqrt{(1555)^2(810)^2} = 1754mm \qquad (۱۱)$$

بنابراین با اســتفاده از تشــابه مثلثاتی می توان مقدار مســاحت ناحیه مورد تابش و مقدار تابش مورد نظر در پنل خورشــیدی را در فاصله های $1.5L$ ، $2\ L$ و $2.5L$ به دست آورد(شکل ۵).



شکل۵. شماتیک عدسی متمرکز کننده فعال که فاصله آن تا پنل به کمک جک های الکتریکی تنظیم شده و میزان تابش را تغییر می دهد. قطر عدسی دو برابر قطر پنل است.

در ادامه با توجه به روابط ، مقدار تابش خورشــیدی، توان ورودی، توان خروجی و دمای پنل خورشــیدی را در چهار ماه، اردیبهشت، مرداد، آبان و بهمن محاسبه گردیده است .

جدول ۳ . وضعیت پنل خورشیدی در ماه اردیبهشت با میانگین دمای محیط ۲۵ درجه سانتی گراد

فاصله	$1.5L$	$2L$	$2.5L$
شدت تابش $\left({}^{w}/_{m^{-2}}\right)$	*2184*	*546*	*243*
توان ورودی (w)	*2751.84*	*687.96*	*306.18*
توان خروجی (w)	*550.37*	*137.59*	*61.24*
دمای پنل خورشیدی (C^0)	*92.7*	*41.9*	*32.5*

جدول ٤ . وضعیت پنل خورشیدی در ماه مرداد با میانگین دمای محیط ۳۰ درجه سانتی گراد

فاصله	$1/5L$	$2L$	$2/5L$
شدت تابش $\left({}^{w}/_{m^{-2}}\right)$	*2928*	*732*	*325*
توان ورودی (w)	*3689.28*	*922.32*	*409.5*
توان خروجی (w)	*737.85*	*184.46*	*81.9*
دمای پنل خورشیدی (C^0)	*120.7*	*52.5*	*40*

جدول ۵ . وضعیت پنل خورشیدی در ماه آبان با میانگین دمای محیط ۱۲ درجه سانتی گراد

فاصله	$1/5L$	$2L$	$2/5L$
شدت تابش $\left(\frac{w}{m^{-2}}\right)$	1656	414	184
توان ورودی (w)	2086.56	521.64	231.84
توان خروجی (w)	417.31	104.32	46.37
دمای پنل خورشیدی (C^0)	63.3	24.8	17.7

جدول ٦ . وضعیت پنل خورشیدی در ماه بهمن با میانگین دمای محیط ۸ درجه سانتی گراد

فاصله	$1/5L$	$2L$	$2/5L$
شدت تابش $\left(\frac{w}{m^{-2}}\right)$	1276	319	142
توان ورودی (w)	1607.76	401.94	178.92
توان خروجی (w)	321.55	80.39	35.78
دمای پنل خورشیدی (C^0)	47.5	17.9	12.4

نتایج نشان داده شده در جداول ۳ تا ۶ نشان می دهد، بکارگیری سیستم تغییر فاصله عدسی تا پنل می تواند ضمن تغییر توان تولیدی دامنه گسترده ای از تغییرات دما را در اختیار قرار دهد. به عنوان مثال در فصل تابستان به دلیل شدت تابش بالاتر در صورت بکارگیری متمرکز کننده دمای پنل تا ۱۲۰ درجه افزایش می یابد که این منجر به کاهش راندمان و کاهش عمر پنل خواهد شد، لذا با تغییر فاصله عدسی به 2L دما به ۵۲ درجه کاهش یافته و از گرمای بیش از حد جلوگیری می شود. در زمستان (بهمن ماه) در حالت 2L که معادل و ضعیت بدون متمرکز کننده ا ست دما به ۱۸ درجه کاهش یافته و توان خروجی حدود ۸۰ وات ا ست، لذا با تنظیم فا صله عد سی به کمک سامانه کنترلی دستگاه، به 1.5L (فاصله کانونی) شدت تابش برروی پنل دو برابر شده و توان خروجی به ۳۲۱ وات افزایش می یابد. این مقدار حتی از توان تولیدی در تابستان (در حالت بدون متمرکز کننده) نیز بیشتر است.

نتیجه گیری

در این مقاله ضمن بررسی انواع سیستم های متمرکز کننده نور خورشید در سامانه های فتوولتائیک، سیستم جدیدی معرفی شد که می تواند به صورت خودکار براساس توان تولیدی، میزان تابش و دمای پنل، به کمک تغییر فاصله عدسی متمرکز کننده (از نوع لنز فرنل انتخاب می شود) از پنل با توجه به تغییر موقعیت نسبت به نقطه کانونی عدسی، شدت تابش را تنظیم کرد. تنظیم شدت تابش در تابستان در جهت کاهش تابش و خنک کاری پنل و در زمستان در جهت افزایش تابش و گرم کردن پنل انجام می شود. لذا هم دمای پنل در یک رنج مطلوب نگه داری می شود و هم میزان توان تولیدی در محدوده ای که از نظر دما و راندمان بهینه است، قرار می گیرد. این طرح در مرحله ساخت نمونه آزمایشگاهی می باشد.

منابع

[۱] N.d. Climate and Earth’s Energy Budget. https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page2.php. [accessed July 5, 2021].
[۲] Mekhilef, S., Saidur, R., Safari, A., 2011. A review on solar energy use in industries. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15(4): 1777–90, Doi: 10.1016/j.rser.2010.12.018.
[۳] Baker, E., Fowlie, M., Lemoine, D., Reynolds, S.S., 2013. The Economics of Solar Electricity.

Annual Review of Resource Economics 5(1): 387–426, Doi: 10.1146/annurev-resource-091912-151843.

[۴] قره یالی، س.س.، ۱۳۹۶. صفر تا صد انرژی خورشیدی: نیروگاه خورشیدی. دیباگران تهران.

[۵] کریم‌پور، صـالح.، قادری، آرام.، ۱۳۹۷. روش های افزایش بازده توان خروجی در سـلول های خورشـیدی. نخبگان علوم و مهندسی ۱۳(۳): ۷۳–۸

[۶] آرایایی اصل، آ.، رضایی، م.، ۱۳۹۳. متمرکزکننده های انرژی خورشیدی، طراحی و ساخت دیش خورشیدی سهموی. چهارمین کنفرانس بین المللی رویکرد های نوین در نگهداشت انرژی، تهران.

[۷] شـمس، م.، خاوری، ف.، محمدی، م.، نوری، ج.، ۲۰۱۳. مروری بر فناوری‌های تولید برق از انرژی خورشـیدی و مقایسـه آماری بزرگ‌ترین نیروگاه‌های خورشیدی جهان. فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی ۱۱(۲۱): ۱–۲۲.

[۸] Pacheco, J., Wolf, T., Muley, N., 2013. Incorporating Supercritical Steam Turbines into Advanced Molten-Salt Power Tower Plants : Feasibility and Performance.

[۹] شفیعی، م.، مهدوی، م.، ۱۳۹۴. مقایسه بهره و بهبود عملکرد فتوولتائیک متمرکز. چهارمین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق، اصفهان.

[۱۰] وثوقی نسب، م.، رستگارفاطمی، س.، ۱۳۹۴. تاثیر افزایش دمای ناشی از تابش خورشید در کاهش راندمان سلول های خورشیدی و مقایسـه راندمان سـلول خورشـیدی متاثر از افزایش دما با حالت عدم تاثیر. هفتمین همایش علمی تخصـصـی انرژی های تجدید پذیر، پاک و کارآمد، تهران.

[۱۱] بقا، غ.، نوبری، ل.، طاهری، ف.، ۱۳۹۵. بررسـی اثر دما و زاویه تابش خورشـید بر روی راندمان سـلول خورشـیدی. نهمین همایش علمی تخصصی انرژی های تجدید پذیر، پاک و کارآمد.

[۱۲] بقا، غ.، طاهری، ف.، ر ضایی مر ساق، م.، ۱۳۹۵. برر سی اثر دما بر روی کاهش راندمان سلول های خور شیدی و عوامل موثر در جلوگیری از کاهش راندمان بر اثر دما. نهمین همایش علمی تخصصی انرژی های تجدید پذیر، پاک و کارآمد.

[۱۳] بدری، م.، عالم رجبی، ع.ا.، زمانی، ب.، ۱۳۹۷. مدل سازی عددی و ارزیابی تجربی عملکرد سلول های خور شیدی تحت تمرکز نور خورشید. مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز ۴۸(۱)پیاپی ۸۲–۵۴–۴۵

[۱۴] Duffie, J.A., Beckman, W.A., Worek, W.M., 1994. Solar engineering of thermal processes.

[۱۵] Masters, G.M., 2013. Renewable and efficient electric power systems. John Wiley & Sons.

[۱۶] صداقت، م.، سیادتان، ع.، طاهری، ب.، ۲۰۱۹. سیستم‌های خورشیدی کنترل‌شونده با مد لغزشی برای کار در نقطه توان ماکزیمم با استفاده از مبدل چوک. هوش محاسباتی در مهندسی برق ۹(۳)

[۱۷] حسینی مطلق، س.ن.، عوض زاده، س.، ۱۳۹۴. تجزیه و تحلیل وابستگی دمایی عملکرد سلول های خور شیدی. پنجمین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، پنجمین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی.

Feasibility study of using an active concentrator system to control the power and temperature of the photovoltaics panel in different seasons of the year

Mohamad Hossein Moravej Imani[1], Jalal Baradaran Motie*[2]

1. Undergraduate student, Department of biosystems engineering, Ferdowsi university of Mashhad.
2. Faculty member, Department of biosystems engineering, Ferdowsi university of Mashhad.

Abstract

Today, due to environmental problems as well as difficulties in access to fossil fuels, human societies have turned their attention to the use of renewable energy sources. The sun has long been an endless source of energy. Since receiving solar energy requires relatively expensive and expensive equipment, increasing the efficiency and production capacity of solar panels is important. Concentrating sunlight on the panels is a very easy solution, but it increases the temperature and reduces their lifespan, especially in summer. In this research, while introducing an active concentrating system based on the Fresnel lens, while changing the distance between the lens and the panel, we changed the focal point of the lens and adjusted the radiation intensity. In this design, the distance from the lens to the panel varies between 1.5 to 2.5 times its focal length and can be adjusted between two to half times the radiation, respectively. Calculations for different seasons of the year showed that the use of a centralization system would provide temperature adjustment ranges of 40 to 127 degrees Celsius and 18 to 48 degrees Celsius for summer and winter, respectively. Meanwhile, the electrical power generated by the panel is also controlled within an acceptable range. Using an active concentrator system can largely eliminate conventional cooling systems in solar panels.

Key words: Solar energy, photovoltaic panel, active concentrator, Fresnel lens.

*Corresponding author
E-mail: j.baradaran@um.ac.ir