

روش‌های افزایش بازده توان خروجی در سلول‌های خورشیدی

صالح کریم پور^۱، آرام قادری^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد مهندسی برق- الکترونیک دانشگاه آزاد اسلامی مرکز بانه

۲- کارشناسی ارشد مهندسی برق، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج

*amde2002@gmail.com

ارسال: مرداد ۹۷ پذیرش: مهر ۹۷

چکیده

با توجه به روند روزافزون نیاز به انرژی الکتریکی در زندگی بشر امروزه از یک طرف و مشکلات استفاده از منابع سنتی از طرف دیگر، جایگزینی منابع تأمین این انرژی ارزشمند امری ضروری و غیرقابل اجتناب است. در این میان انرژی خورشید به دلیل اینکه همواره در دسترس و سازگار با محیط زیست است بیشتر از همه مورد توجه است. یکی از راه‌های بکارگیری انرژی خورشیدی در جهت تولید برق استفاده از سلول‌های خورشیدی است. پارامترهای زیادی در افزایش بازدهی جذب و تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی دخیل هستند. یکی از این پارامترها تابش خورشید که اولین مرحله مهار این پروسه می‌باشد؛ و با توجه به حرکت و تغییر جهت دادن خورشید برای جذب حداکثری باید از آرایه‌های متحرک استفاده کرد. در این تحقیق سعی بر آن است که با شناخت عوامل تأثیرگذار بر سلول‌های خورشیدی در جهت بهبود شرایط بهره‌برداری از سلول‌های خورشیدی گام برداشت.

کلمات کلیدی: افزایش بازده، زاویه تابش، زاویه کلکتور، سلول‌های خورشیدی.

۱- مقدمه

شناخت انرژی خورشیدی و استفاده از آن برای منظوره‌های مختلف به زمان ماقبل تاریخ بازمی‌گردد. شاید به دوران سفالگری، در آن هنگام روحانیون معابد به کمک جامه‌های بزرگ طلایی سیقل داده شده و اشعه خورشید آتشدان‌های محرابها را روشن می‌کردند. یکی از فراعنه مصر معبدی ساخته بود که با طلوع خورشید درب آن باز و با غروب خورشید درب بسته می‌شد. ولی مهمترین روایتی که درباره استفاده از خورشید بیان شده داستان ارشمیدس دانشمند و مخترع بزرگ یونان قدیم می‌باشد. در سال ۱۹۰۵ میلادی آلبرت اینشتین همراه با تئوری نسبیت خود اثر فوتوالکتریک را مطرح نمود سپس سال ۱۹۰۸ ویلیام جی بیلی یک کلکتور با سیم پیچ مسی و یک جعبه عایق ساخت. این طرح تقریباً شبیه همان طرحی است که امروزه برای کلکتورهای خورشیدی استفاده می‌شود. بعد از آن در سال ۱۹۱۴ دانشمندان متوجه یک بند الکترونی در دستگاههای فتوولتائیک شدند که نهایتاً در سال ۱۹۱۶ دانشمندان اثر فوتوالکتریک را به صورت تجربی اثبات کردند. پس از آن دانشمندان هر کدام در این زمینه فعالیت‌هایی داشتند که در سال ۱۹۵۴ سه دانشمند آمریکایی اولین سلول فتوولتائیک سیلیکونی را توسعه دادند، اولین سلول خورشیدی توانائی این را داشت که برق کافی را از طریق خورشید برای تجهیزات الکترونیکی فراهم نماید. ژاپنی‌ها نیز توانستند که سال ۱۹۶۳ ژاپن یک پنل ۲۴ وات را بر روی یک فانوس دریایی نصب نمود و ناسا اولین ماهواره ای که با سلولهای فتوولتائیک

به ظرفیت ۴۷۰ وات تغذیه می گردید توسط سفینه فضایی به فضا پرتاب نمود؛ در سال ۱۹۷۷ میلادی دولت آمریکا موسسه تحقیقات انرژی خورشیدی را راه اندازی کرد که منجر به توسعه و پیشرفت فراوان در این حوزه گردید [۱]. مزایای متعدد منابع انرژی تجدید پذیر از جمله، فراوانی، عدم ایجاد آلودگی، فناوری نسبتاً ساده و تولید غیر متمرکز، باعث افزایش روزافزون استفاده از این منابع شده است. سیستم‌های فتوولتائیک یکی از انواع این انرژی‌هاست. سیستم‌های فتوولتائیک، انرژی خورشیدی را به صورت مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند و از مزایای این سیستم‌ها نسبت به سایر سیستم‌های تولید انرژی، عدم آلودگی محیط زیست است. مبدل‌های فتوولتائیک به دلیل امکان تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی و مزایای دیگر نظیر وزن کم و امکانات نصب در قدرت‌های کوچک، جزء تجهیزات مورد توجه در زمینه استفاده از انرژی‌های نو می باشند ولی در مقایسه با سایر مبدل‌های انرژی الکتریکی، قیمت بیشتری دارند؛ بنابراین لازم است که همواره شرایطی فراهم شود که از این مبدل‌ها حداکثر انرژی جذب شود تا استفاده بهینه از سیستم صورت گیرد. کاربردهای دیگر سیستم‌های خورشیدی علاوه بر تزریق توان اکتیو به شبکه مانند توانایی کنترل فلوی توان اکتیو و راکتیو به منظور تأمین نیازهای شبکه طبق استانداردها، کنترل ولتاژ نقطه PCC مبدل و ... شده است [۲].

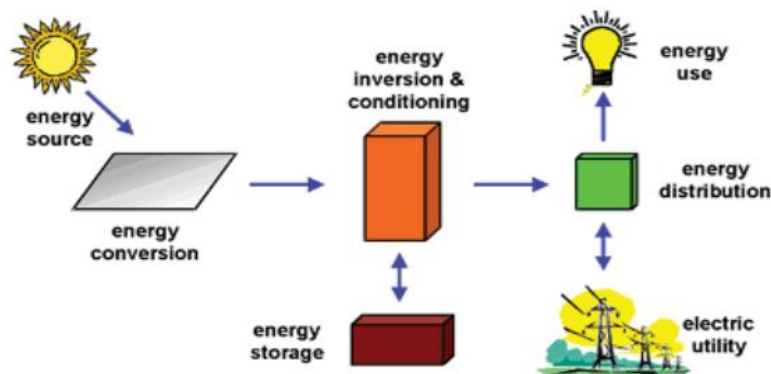
سلول خورشیدی بدون استفاده از سیکل ترمودینامیک یا سیال عامل، راندمان انرژی تشعشعی فوتون‌های نور خورشید را با ۵ تا ۲۵ درصد مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند و می توانند خودشان جمع کننده نور باشند و یا از متمرکز کننده‌های نوری مانند آینه یا عدسی محدب استفاده کنند. به دلیل مزایایی مانند کوتاه بودن زمان طراحی و راه اندازی، بی صدا بودن فرایند تبدیل انرژی، عمر زیاد و نیاز به نگهداری اندک به دلیل نداشتن اجزاء متحرک و حمل و نقل آسان بدلیل وزن کم اجزاء، این سیستم در حال پیشرفت است اما هنوز در مقایسه با سایر مبدل‌های انرژی نظیر دیزل ژنراتورها گران تر است. لذا استفاده بهینه و جذب حداکثر انرژی ممکن از آن‌ها ضروری است زاویه تابش نور خورشید بر سطح یک آرایه خورشیدی، در میزان انرژی جذب شده توسط آرایه تأثیر زیادی می گذارد و با توجه به هزینه زیاد آرایه خورشیدی، ضروری است که همواره شرایطی فراهم شود که حداکثر انرژی خورشیدی جذب و تبدیل به انرژی الکتریکی شود تا استفاده بهینه از سیستم صورت گیرد. یکی از این شرایط، استفاده از آرایه خورشیدی متحرک با قابلیت تعقیب مسیر حرکت خورشید می باشد [۳]، [۴].

۲- مقدمه ای بر معرفی سیستم‌های فتوولتائیک

به پدیده‌ای که در اثر آن و بدون استفاده از مکانیزم‌های مکانیکی، انرژی تابشی به انرژی الکتریکی تبدیل شود پدیده فتوولتائیک گفته می شود. این پدیده بر فرضیه ذره‌ای بودن انرژی تابشی بنا نهاده شده است. هر سیستمی نیز که از این خاصیت استفاده نماید سیستم فتوولتائیک نام دارد. عمده دلایل توجه به صنعت فتوولتائیک در سال‌های اخیر و رشد سالانه آن به شرح ذیل است:

۱. عدم نیاز به سوخت فسیلی و مشکلات سوخت رسانی به ویژه در مناطق صعب العبور
 ۲. قابلیت تولید در محل مصرف، کاهش و صرفه جویی در هزینه‌های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی و عدم نیاز به شبکه سراسری برق
 ۳. تنوع بخشی با منابع تامین کننده انرژی
 ۴. امکان نصب و راه اندازی در توان‌های مختلف، متناسب با نیاز مصرف کننده
 ۵. طول عمر مناسب و سهولت در بهره برداری
 ۶. امکان نصب بر نما و یا روی سقف خانه‌ها و توانایی ذخیره سازی انرژی در باطری
- سیستم‌های فتوولتائیک از سه بخش اصلی زیر تشکیل شده اند که در شکل یک نمایش داده شده است:
۱. ماژول یا پنل‌های خورشیدی که مبدل انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی می باشد.

۲. قسمت واسطه یا بخش توان مطلوب، انرژی الکتریکی حاصل از سیستم‌های فتوولتائیک را بر اساس طراحی انجام شده، متناسب با نیاز مصرف کننده، مدیریت و القا می‌نماید.
۳. مصرف کننده یا بار الکتریکی، کلیه مصرف کنندگان الکتریکی اعم از مصارف برق مستقیم (AC) و (DC) را متناسب با میزان مصرف شامل می‌گردد [۵].



شکل ۱- انتقال انرژی از خورشید تا مصرف کننده الکتریکی [۵]، [۶]

۳- تأثیر زاویه تابش نور خورشید بر سطح سلول در میزان تبدیل انرژی

محور چرخش زمین نسبت به مسیر حرکت آن حول خورشید دارای زاویه‌ای معادل $32/5$ درجه است. این اختلاف زاویه باعث تغییر طول مدت شب و روز در سیاره زمین می‌شود. در تابستان به دلیل طولانی شدن مسیر حرکت خورشید در آسمان، روزها بلندتر و در زمستان به دلیل کوتاه شدن مسیر حرکت خورشید در آسمان، روزها کوتاه‌تر می‌شود. زاویه که بین محور شمال - جنوب زمین و صفحه مدار گردش زمین و صفحه مدار گردش زمین حول خورشید می‌باشد، توسط رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{2\pi(n-80)}{365} \right] \quad (1)$$

در رابطه (۱)، n شماره روز در سال میلادی است که در روز اول ژانویه است [۷].

۴- تأثیر زاویه کلکتور در جذب انرژی خورشیدی

خورشید همواره در طول روز در حرکت است، نور آن با زاویه به سطح کلکتورهای ثابت می‌تابد و به دلیل انعکاس نور از سطح کلکتور، امکان تبدیل کامل انرژی وجود نخواهد داشت که در مورد مبدل فتوولتائیک به دلیل گران قیمت بودن ماژول‌های خورشیدی، این موضوع اهمیت پیدا می‌کند. همان گونه که انتظار می‌رود یک کلکتور مستقیم که همواره رو به خورشید قرار دارد، در تمامی طول سال، حداکثر انرژی را در مقایسه با کلکتورهای دیگر جذب می‌کند. همچنین میزان جذب انرژی توسط کلکتور شیب‌دار با زاویه‌های معادل عرض جغرافیایی محل و رو به جنوب و نیز برای کلکتور افقی، شود مشاهده می‌شود [۳]. یکی از دلایل کاهش انرژی جمع‌آوری شده در طول روز برای یک کلکتور شیب‌دار در مقایسه با کلکتور افقی کاهش طول روز خورشیدی (ساعات حضور خورشید در بالای سطح یا صفحه جمع کننده) برای سطح شیب‌داری است که رو به جنوب (در نیمکره شمالی زمین) قرار گرفته است ولی طول روز خورشیدی برای یک کلکتور افقی و یک کلکتور مستقیم از طلوع یا غروب کامل خورشید است. یک کلکتور افقی در فصل تابستان انرژی بیشتری نسبت به کلکتور شیب‌دار جذب می‌کند که به دلیل افزایش ارتفاع خورشید در وسط روز است. اما در زمستان همواره نور خورشید زاویه‌دار بر آن می‌تابد. بخصوص در زمان آغاز و پایان روز، به میزان انرژی تبدیل شده بسیار کم خواهد بود لذا طراحی خوبی برای یک آرایه خورشیدی نمی‌باشد. زاویه‌دار شدن کلکتور خورشیدی نسبت به افق، باعث افزایش در میزان انرژی قابل جذب می‌شود اما چنانچه گفته شد این عیب را دارد

که طول روز خورشیدی برای نوع کلکتور، از طول روز واقعی کوتاه تر است بخصوص در تابستان این اختلاف چشمگیر است و باعث کم شدن راندمان مبدل می شود [۳]، [۸].

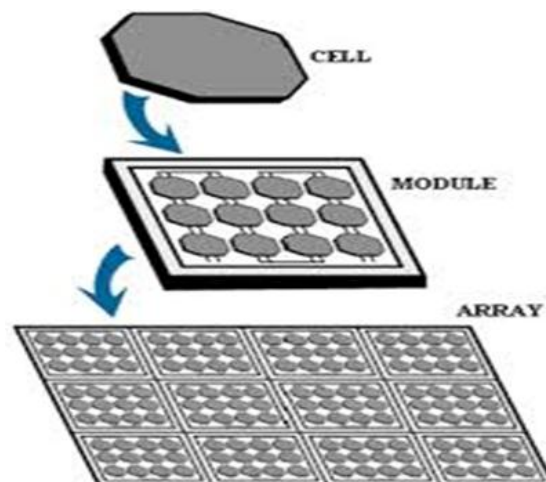
همچنین آرایه خورشیدی متحرک توان بیشتری تولید می کند که دلیل آن تابش مستقیم نور خورشید بر آرایه است در حالی که نور خورشید به صورت زاویه دار بر سطح آرایه ثابت می تابد. همان طور که انتظار می رود با بالا آمدن خورشید، افزایش توان آرایه ثابت می یابد که به دلیل کاهش زاویه تابش خورشید به سطح آرایه ثابت است. توان تولید شده توسط آرایه متحرک به دلیل تابش عمودی نور بر سطح آن در هر زمان تغییرات جزئی دارد. در ساعات ۱۱ تا ۱۳ میزان تولید توان توسط آرایه متحرک به حداکثر خود می رسد. همچنان آرایه متحرک توان آرایه متحرک نیز در این ساعات تقریباً مقدار بیشتری تولید می نماید. از ساعت که خورشید به سمت غرب حرکت می کند و ارتفاع آن و نیز توان تولید شده توسط آرایه ثابت کاهش می یابد. به دلیل کاهش شدت نور خورشید آرایه متحرک هم به تدریج کاهش توان اندکی را دارد [۴].

بنابراین ملاحظه می شود که در صورت استفاده از آرایه فتوولتائیک با سازه متحرک که توانایی تعقیب مسیر حرکت خورشید را داشته باشد میزان انرژی قابل جذب را به صورت چشمگیر افزایش می دهد. منحنی های مربوط به آرایه متحرک به دلیل اینکه همواره نور خورشید عمود بر آن می تابد دارای تغییرات کمی است در حالی که این منحنی ها برای آرایه فتوولتائیک ثابت دارای تغییرات زیادی است که اختلال زیادی در جریان بار ایجاد نموده و نیاز به واحد ذخیره سازی انرژی الکتروشیمیایی نظیر باتری با ظرفیت بیشتر جهت جبران تغییرات انرژی دارد. پیک توان تولید شده توسط هر دو سیستم با فرض جذب حداکثر توان از آرایه در جدول ذکر شده است و انرژی جذب شده در طول یک روز محاسبه شده میزان افزایش انرژی برای آرایه متحرک در حدود ۳۶ درصد به دست آمده که با در نظر گرفتن نمونه برداری در یک روز کامل از طلوع تا غروب خورشید این عدد به بیش از ۴۰ درصد نیز خواهد رسید [۷]، [۹].

۵- آرایه خورشیدی

سلول های خورشیدی تک، توان، ولتاژ و جریان کمی تولید می کنند. یک آرایه خورشیدی از سلول های متصل شده به صورت سری برای بالا بردن ولتاژ به مقدار مورد نظر استفاده می کند که رشته نامیده می شود. رشته ها برای تولید جریان مورد نظر به صورت موازی متصل می شوند [۱۰].

یک سلول خورشیدی از جنس سیلیکون ولتاژی بین ۰/۵ تا ۰/۶ ولت تولید می کند و به همین دلیل تعداد زیادی از سلول ها را در یک ماژول خورشیدی به صورت سری متصل می کنند تا سطح ولتاژ بیشتری حاصل شود. برای اینکه سطح ولتاژ و جریان مورد نیاز بار الکتریکی تأمین شود، مجموعه ای از ماژول های خورشیدی به صورت سری و موازی متصل می شوند و این مجموعه مانند شکل ۲ یک آرایه خورشیدی به وجود می آورد [۷]، [۱۱].



شکل ۲- آرایه خورشیدی [۱۱]

در صورتی که یک یا چند سلول در معرض سایه قرار گیرند، نه تنها تولید کننده انرژی نخواهند بود بلکه به صورت بارهای غیر خطی در سیستم عمل می نمایند. همچنین اگر برابر جریان نامی از آن عبور کند در حالت شکست معکوس قرار گرفته و توان زیادی دریافت می کند و نهایتاً باعث ایجاد نقاط گرم در آرایه های خورشیدی می گردد. استفاده از رشته های سری و موازی و ترکیب نردبانی آن ها، امکان ایجاد نقاط گرم را کاهش می دهد و از تغییرات ناگهانی توان خروجی به علت خروج. تعدادی از سلول ها از مدار جلوگیری می نماید. برای محدود نمودن اثرات نامطلوب سایه اندازی، از اتصالات موازی دیودهای سد است در این صورت در دو سر یک سلول و یا گروهی از سلول های سری شده استفاده می نماید خروج اضطراری از مدار، توسط دیودها به طور خودکار اتصال کوتاه خواهند شد. در عمل ممکن است این دیودها در خارج آرایه و در بخش جداگانه ای استقرار یابند و سرهای خروجی آرایه خورشیدی به آن ها متصل شوند [۱۱]، [۱۲].

ولتاژ خروجی سلول با افزایش جریان آن به آرامی کاهش می یابد ولی شدت افت ولتاژ بسیار کم است یعنی در این محدوده سلول تقریباً به صورت یک منبع ولتاژ ثابت عمل می نماید و مقاومت داخلی آن بسیار کم می باشد پس از عبور از نقطه متناظر با حداکثر توان مشخصه سلول کام تغییر می کند و تقریباً به صورت یک منبع جریان ثابت با مقاومت داخلی زیاد عمل می نماید [۱۳]. سلول های خورشیدی شدیداً غیر خطی می باشد و هم زمان با دو فاکتور تابش خورشید و دمای محیط V-I مشخصه تغییر می کند افزایش دما، اثرات نامطلوبی بر عملکرد سلول ها دارد و به طور کلی راندمان آن ها را کاهش می دهد. برای هر درجه افزایش دمای محیط می باشد، درحالی که $4/2$ تا $3/2$ درصد میزان افت ولتاژ مدار باز سلول ها حدود $2/75$ درصد برای هر درجه افزایش دما است و نتیجه کلی کاهش راندمان افزایش جریان اتصال کوتاه تنها $2/5$ درصد به ازای هر درجه سانتی گراد افزایش حرارت محیط (برای سلول های سیلیکونی) می باشد [۱۴].

۶- نتیجه گیری

مزایای مبدل های فتوولتائیک نظیر تبدیل انرژی بدون صدا و عدم ایجاد آلودگی زیست محیطی و دارا بودن طول عمر زیاد و نیاز به سرویس و نگهداری کم، قابلیت های نصب در قدرت های کم (چند وات) تا قدرت های زیاد (چند مگاوات) و سبکی نسبی اجزاء در سیستم های تبدیل انرژی خورشیدی، این مبدل ها بسیار مورد توجه قرار گرفته اند که به دلیل هزینه زیاد سیستم آرایه فتوولتائیک آن، جذب حداکثر انرژی خورشیدی و در نتیجه کاهش قیمت برق تولید شده توسط آن ها ضروری است. همچنین به علت وابستگی زیاد میزان توان تولید شده توسط سلول های خورشیدی به شدت نور جذب شده توسط آن، یکی از بهترین حالات بهره برداری از مبدل فتوولتائیک، استفاده از آرایه خورشیدی متحرک می باشد. نتایج به دست آمده نشان دهنده این مطلب است که در صورتی که از آرایه فتوولتائیک متحرک استفاده می شود بیش از 36 درصد انرژی بیشتر در طول یک روز کامل تابستانی قابل جذب است.

۷- مراجع

1. N. K. M'Sirdi, A. Rabhi, and M. Abarkan, "A New VSAS approach for Maximum Power Tracking for Renewable Energy Sources (RES)," Energy Procedia, vol. 42, pp. 708–717, Jan. 2013.
2. K. H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino, and M. Osakada, "Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions," Transmission and Distribution IEE Proceedings - Generation, vol. 142, no. 1, pp. 59–64, Jan. 1995.
3. K. Chang(eds.), Solar Cells and their Applications, Second Edition, Second Edition. 2010.
4. Mukund R. Patel, Ph.D., P.E., Wind and Solar Power Systems. Boca Raton London New York Washington, D.C.: CRC Press, 1999.
5. S.-J. Jang, C.-Y. Won, B.-K. Lee, and J. Hur, "Fuel Cell Generation System With a New Active Clamping Current-Fed Half-Bridge Converter," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 22, no. 2, pp. 332–340, Jun. 2007.

6. F. Liu, Y. Kang, Y. Zhang, and S. Duan, "Comparison of P and O and hill climbing MPPT methods for grid-connected PV converter," in 2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2008, pp. 804–807.
7. M. A. Green, Solar cells: Operating principles, technology, and system applications. 1982.
8. J. J. Williams et al., "Development of a high-band gap high temperature III-nitride solar cell for integration with concentrated solar power technology," in 2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 2017, pp. 1–3.
9. C. Hua and C. Shen, "Control of DC/DC Converter for Solar Energy System With Maximum Power Tracking," presented at the IECON 23rd International Conference on Industrial Electronics, 1997, vol. 2, pp. 827–832.
10. J. N. Munday and T. Safi, "Radiative cooling of a GaAs solar cell to improve power conversion efficiency," in 2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 2017, pp. 1–3.
11. K. Gatland, The Illustrated encyclopedia of space technology: a comprehensive history of space exploration, 1st U.S. ed. New York: Harmony Books, 1981.
12. J. R. Wertz and W. Larson, Eds., Space Mission Analysis and Design. Springer Netherlands, 1991.
13. S.-S. Jang and J. Choi, "Energy balance analysis of small satellite in Low Earth Orbit (LEO)," in 2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference, 2008, pp. 967–971.
14. A. Falk, C. Durschner, and K.-H. Remmers, Photovoltaics for Professionals: Solar Electric Systems Marketing, Design and Installation. Berlin: London: Routledge, 2007.