

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



موسسه آموزش عالی انرژی
دانشکده انرژی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی سیستم های انرژی

عنوان :

مدلسازی و تحلیل انرژی یک سیستم ر دیاب خورشیدی جهت یافتن
زاویه بهینه در سیستم های فتوولتائیک برای تولید توان
ماکزیمم با استفاده از الگوریتم MOPSO

استاد راهنما
دکتر رضا علایی

استاد مشاور
دکتر مجتبی میرزایی

نگارش
حامد پوردروگر

پاییز ۱۳۹۷



موسسه آموزش عالی انرژی

کد فرم: RES-10-01

بسمه تعالی

فرم صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عجل الله تعالی فرجه الشریف)

جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم/ آقای شماره دانشجویی در
رشته: گرایش تحت عنوان:

با حضور هیأت داوران در محل مؤسسه آموزش عالی انرژی در تاریخ تشکیل گردید.

در این جلسه، پایان نامه با نمره به عدد به حروف مورد قبول ☐ مردود ☐
تمدید مهلت دفاع (طبق صورت جلسه) ☐ و با درجه عالی ☐ بسیار خوب ☐ خوب ☐ قابل قبول ☐ غیر قابل قبول ☐
مورد دفاع قرار گرفت.

نام و نام خانوادگی	سمت	مرتبه علمی	امضاء
	استاد راهنمای اول		
	استاد راهنمای دوم		
	استاد مشاور		
	داور داخلی پایان نامه		
	داور خارجی پایان نامه		
	نماینده تحصیلات تکمیلی		

دفاع مطابق مجوز اخذ شده و ضوابط و آیین نامه دوره کارشناسی ارشد صورت پذیرفته است و نتیجه آن مورد تأیید است.

تحصیلات تکمیلی موسسه عالی انرژی

توجه: این فرم بدون امضای مسئولین ذیربط و مهر موسسه فاقد اعتبار است.



موسسه آموزش عالی انرژی

به نام خدا

منشور اخلاق پژوهش

با یاری از خداوند سبحان و اعتقاد به این که عالم محضر خداوند است و همواره ناظر به اعمال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهمیت جایگاه دانشگاه در اعتلای فرهنگ و تمدن بشری ما دانشجویان دانشکده های موسسه آموزش عالی انرژی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تخطی نکنیم:

- ۱- اصل حقیقت جوئی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هرگونه پنهان سازی حقیقت،
- ۲- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهیدگان (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق،
- ۳- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه همکاران پژوهش،
- ۴- اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش،
- ۵- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هرگونه جانب داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار،
- ۶- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشور و کلیه افراد و نهادهای مرتبط با تحقیق،
- ۷- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت ها در انجام تحقیقات و رعایت جانب نقد و خودداری از هرگونه حرمت شکنی،
- ۸- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و اشاعه نتایج تحقیقات و انتقال آن به همکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد،
- ۹- اصل برائت: التزام به برائت جوئی از هرگونه رفتار غیر حرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به شائبه های غیر علمی می آلاینند.

نام و نام خانوادگی: حامد پوردروگر

تاریخ و امضاء:

فرم تعهدنامه اصالت پایان نامه

اینجانب **حامد پوردروگر** دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپيوسته در رشته **سیستم های انرژی** که در تاریخ **۹۷/۰۸/۳۰** از پایان نامه خود با عنوان **مدلسازی و تحلیل انرژی تیک سیستم ردیاب خورشیدی جهت یافتن زاویه بهینه در سیستم های فتوولتائیک برای تولید توان ماکزیمم با استفاده از الگوریتم MOPSO** با کسب نمره و درجه دفاع نموده ام بدینوسیله اعلام می کنم:

(۱) این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و ...) استفاده کرده ام، مطابق ضوابط موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست منابع ذکر و درج نموده ام.

(۲) این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها و مؤسسات آموزش عالی داخلی و خارجی ارائه نشده است.

ضمناً متعهد می شوم:

(۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره برداری اعم از چاپ مقاله، کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه را داشته باشم، از استاد محترم راهنما، گروه آموزشی مربوطه و معاونت پژوهشی مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

(۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و موسسه آموزش عالی انرژی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام، هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نتایج تحقیقات مندرج در این پایان نامه و دستاوردهای مادی و معنوی ناشی از آن (شامل فرمول ها، توابع کتابخانه ای، نرم افزارها، سخت افزارها و مواردی که قابلیت ثبت اختراع دارد) متعلق به موسسه آموزش عالی انرژی است. هیچ شخصیت حقیقی یا حقوقی بدون کسب اجازه از موسسه آموزش عالی انرژی حق فروش و ادعای مالکیت مادی یا معنوی بر آن یا ثبت اختراع از آن را ندارد. همچنین کلیه حقوق مربوط به چاپ، تکثیر، نسخه برداری، ترجمه، اقتباس و نظائر آن در محیط های مختلف اعم از الکترونیکی، مجازی یا فیزیکی برای موسسه آموزش عالی انرژی محفوظ است. نقل مطالب با ذکر ماخذ بلامانع است.

نام و نام خانوادگی: **حامد پوردروگر**

تاریخ و امضاء:

چکیده

مدلسازی و تحلیل انرژی سیستم ردياب خورشیدی جهت یافتن زاویه بهینه در سیستم های فتوولتائیک برای تولید توان ماکزیمم با استفاده از الگوریتم MOPSO

هدف: در تحقیقی که با عنوان مدلسازی و تحلیل انرژی سیستم ردياب خورشیدی جهت یافتن زاویه بهینه در سیستم های فتوولتائیک برای تولید توان ماکزیمم با استفاده از الگوریتم MOPSO صورت گرفت هدف از این تحقیق دستیابی به توان بیشتر در مقایسه با حالت های ساده تر سلول های فتوولتائیک می باشد.

مواد و روش: در این راستا ابتدا مدلسازی سلول فتوولتائیک با در نظر گرفتن مدل تک دیودی متغیرهای V-I صورت پذیرفت سپس ردياب خورشیدی به مدلسازی اعمال شد که منحنی مشخصه V-I برای این حالت استخراج شد. یافته ها: در گام بعدی با الگوریتم MOPSO با هدف دستیابی به حداکثر توان، بهینه سازی صورت پذیرفت.

بحث: نتایج قابل تامل در این کار میتوان به افزایش ۰,۱۷٪ تولید در قیاس با حالت ثابت سلول خورشیدی که با عثافزایش تولید در جریان و ولتاژ میشود را اشاره کرد. از نتایج منحنی مشخصه V-I میتوان به افزایش ۰,۲ آمپری سلول با در نظرگفتن ردياب خورشیدی بهینه سازی شده با الگوریتم را نسبت به حالت رديابی خورشیدی نام برد.

کلمات کلیدی: رديابی حداکثر نقطه توان، الگوریتم MOPSO، سیستم های فتوولتائیک، انرژی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
فصل اول : کلیات تحقیق	
۱-۱-۱- مقدمه	۱
۱-۱-۱- پتانسیل انرژی خورشیدی ایران	۲
۲-۱- بیان مساله	۴
۳-۱- سوالات و اهداف تحقیق	۵
۴-۱- فرضیه های تحقیق	۶
۵-۱- مبانی نظری تحقیق	۶
۶-۱- روش انجام تحقیق	۷
۷-۱- ساختار کلی تحقیق	۸
فصل دوم : مروری بر ادبیات و پیشینه تحقیق	
۱-۲- مقدمه	۱۰
۲-۲- انرژی خورشیدی	۱۱
۳-۲- تاریخچه سیستم های فتولتائیک	۱۱
۴-۲- بررسی مقالات پیشین	۱۶
فصل سوم : روش شناسی تحقیق	
۱-۳- انرژی خورشیدی	۲۶
۱-۱-۳- ثابت خورشیدی	۲۶
۲-۱-۳- تابش در روی سطح زمین	۲۷
۳-۱-۳- تابش خورشیدی کلی، مستقیم و پخشی	۲۷
۲-۳- سیستم برق خورشیدی	۲۸
۱-۲-۳- سیستم متصل به شبکه	۲۹
۱-۲-۳- سیستم های فتولتائیک متصل به شبکه غیر متمرکز	۳۰
۱-۲-۳- سیستم های فتولتائیک متصل به شبکه متمرکز	۳۰
۲-۲-۳- سیستم های فتولتائیک منفصل از شبکه	۳۱

۳۲.....	۱-۲-۳-سیستم نصب شده مستقیم
۳۲.....	۲-۲-۳-سیستم فتوولتائیک جدا از شبکه با باتری
۳۲.....	۳-۲-۳-سیستم هیبریدی
۳۳.....	۳-۲-۳-سیستم‌های پشتیبانی
۳۴.....	۳-۳-اجزا کلی سیستم فتوولتائیک
۳۴.....	۳-۱-پنل‌های خورشیدی
۳۵.....	۳-۲-انواع سلول‌های فتوولتائیک
۳۶.....	شکل ۳-۸ ساختار اصلی سلول‌های سیلیکونی
۳۶.....	۳-۳-باتری
۳۶.....	۳-۴-دستگاه کنترل کننده شارژ باتری
۳۶.....	۳-۵-سازه‌های فلزی یا ساختمانی
۳۶.....	۳-۶-کتوردو طرفه
۳۷.....	۳-۷-مبدل DC/AC (اینورتر)
۳۷.....	۳-۴-مزایا و معایب سیستم‌های فتوولتائیک
۳۷.....	۳-۴-۱-مزایای تکنولوژی فتوولتائیک
۳۸.....	۳-۴-۱-۱-معایب تکنولوژی فتوولتائیک
۳۹.....	۳-۵-شرایط مناسب جهت نصب و راه‌اندازی سیستم‌های فتوولتائیک
۴۰.....	۳-۶-دنبال کننده های خورشیدی
۴۴.....	۳-۶-۱-مزایای دنبال کننده های خورشیدی
۴۵.....	۳-۷-مدلسازی سیستم مورد مطالعه
۴۸.....	۳-۸-آنالیز انرژی سیستم ردياب خورشیدی
۵۰.....	۳-۹-پارامترهای مساله
۵۰.....	۳-۹-۱-شرایط آب و هوایی
۵۱.....	۳-۹-۲-مشخصات اجزای سیستم فتوولتائیک
۵۳.....	۳-۱۰-الگوریتم بهینه سازی توده ذرات چند هدفه (MOPSO)

فصل چهارم: نتایج و بحث و بررسی

- ۱-۴- مقدمه ۵۸
- ۲-۴- آنالیز انرژی سیستم ردیاب خورشیدی ۵۸
- ۳-۴- بهینه سازی عملکرد سیستم فتوولتاییک خورشیدی ۶۳
- ۱-۳-۴- تعریف توابع هدف ۶۳
- ۲-۳-۴- نتایج حاصل از بهینه سازی سیستم فتوولتاییک خورشیدی ۶۴

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۱-۵- نتیجه گیری ۷۲
- ۲-۵- پیشنهادات ادامه کار ۷۴
- منابع ۷۵

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳ مشخصات دنبال کننده های خورشیدی	۴۱
جدول ۲-۳ مشخصات مازول انتخابی سیستم فتوولتائیک	۵۲
جدول ۳-۳ مشخصات مبدل انتخابی سیستم فتوولتائیک	۵۲
جدول ۴-۳ پارامترهای مورد استفاده برای الگوریتم بهینه سازی	۵۵

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: نقشه خورشیدی ایران.....	۳
شکل ۳-۱ نحوه اتصال سیستم های فتوولتائیک شبکه ای به شبکه برق سراسری.....	۳۰
شکل ۳-۲ حالت نصب مستقیم سیستم فتوولتائیک جدا از شبکه.....	۳۲
شکل ۳-۳ سیستم فتوولتائیک جدا از شبکه با ذخیره ساز انرژی.....	۳۲
شکل ۳-۴ ترکیب سیستم فتوولتائیک با سایر منابع انرژی.....	۳۳
شکل ۳-۵ سیستم پشتیبان فتوولتائیکی.....	۳۳
شکل ۳-۶ نحوه اتصال سلول های خورشیدی در پنل.....	۳۴
شکل ۳-۷ نحوه جهت گیری پنل های PV برای دریافت بیشترین تابش.....	۳۵
شکل ۳-۸ ساختار اصلی سلول های سیلیکونی.....	۳۶
شکل ۳-۹ نمونه ای از دنباله های خورشیدی نصب شده.....	۴۳
شکل ۳-۱۰ مدل الکتریکی ماژول PV.....	۴۸
شکل ۳-۱۱ نمودار شدت تابش خورشیدی سالیانه شهر تهران.....	۵۰
شکل ۳-۱۲ میانگین دمای شهر تهران در ماههای مختلف سال.....	۵۰
شکل ۳-۱۳ نمودار ولتاژ - جریان ماژول انتخابی سیستم فتوولتائیک.....	۵۱
شکل ۳-۱۴ منحنی بازده مبدل انتخابی سیستم فتوولتائیک.....	۵۲
شکل ۳-۱۵ فلوچارت الگوریتم MOPSO [۲۱].....	۵۶
شکل ۴-۱ میزان دریافت تابش خورشیدی توسط سیستم فتوولتائیک در دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره برای روز ۳۰ بهمن ماه در شهر تهران.....	۵۹
شکل ۴-۲ میزان دریافت تابش خورشیدی توسط سیستم فتوولتائیک در دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره برای روز ۳۰ خرداد ماه در شهر تهران.....	۵۹
شکل ۴-۳ منحنی I-V برای روز ۳۰ خرداد ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره.....	۶۰
شکل ۴-۴ منحنی P-V برای روز ۳۰ خرداد ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره.....	۶۱
شکل ۴-۶ منحنی P-V برای روز ۳۰ بهمن ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره.....	۶۲
شکل ۴-۷ میزان انرژی ماهیانه تولیدی توسط سیستم فتوولتائیک در شهر تهران برای دو حالت با	

- آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره ۶۳
- شکل ۴-۸ مقایسه انرژی سالیانه تولید شده توسط سیستم فتوولتائیک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی ۶۵
- شکل ۴-۹ مقایسه انرژی سالیانه تولید شده توسط سیستم فتوولتائیک برای آرایه با ردیاب تک محوره قبل و بعد از بهینه سازی ۶۵
- شکل ۴-۱۰ روند همگرایی الگوریتم MOPSO ۶۶
- شکل ۴-۱۱ منحنی I-V برای روز ۳۰ خرداد ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی ۶۷
- شکل ۴-۱۲ منحنی P-V برای روز ۳۰ خرداد ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی ۶۷
- شکل ۴-۱۳ منحنی I-V برای روز ۳۰ خرداد ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ردیاب تک محوره قبل و بعد از بهینه سازی ۶۸
- شکل ۴-۱۴ منحنی P-V برای روز ۳۰ خرداد ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ردیاب تک محوره قبل و بعد از بهینه سازی ۶۸
- شکل ۴-۱۵ منحنی I-V برای روز ۳۰ بهمن ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی ۶۹
- شکل ۴-۱۶ منحنی P-V برای روز ۳۰ بهمن ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی ۶۹
- شکل ۴-۱۷ منحنی I-V برای روز ۳۰ بهمن ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ردیاب تک محوره قبل و بعد از بهینه سازی ۷۰
- شکل ۴-۱۸ منحنی P-V برای روز ۳۰ بهمن ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ردیاب تک محوره قبل و بعد از بهینه سازی ۷۰

فصل اول :
کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

امروزه انرژی در حیات اقتصاد صنعتی جوامع نقش زیربنایی را ایفا می‌کند، به این معنا که هرگاه انرژی به مقدار کافی و به موقع در دسترس باشد، توسعه اقتصادی نیز میسر خواهد بود. منابع انرژی از مهمترین عوامل و عناصر توسعه پایدار است. داشتن انرژی مناسب عمده ترین عامل اقتصادی جوامع صنعتی پس از نیروی انسانی است، چرا که انرژی یک نیاز اساسی برای استمرار توسعه اقتصادی، رفاه اجتماعی، بهبود کیفیت زندگی و امنیت جامعه است. در عصر کنونی انرژی یکی از نیازهای اولیه بشر محسوب می‌شود و وابستگی انسان به سوخت های فسیلی بسیار بیشتر از گذشته شده است، بطوریکه بیش از ۹۰٪ از انرژی مصرفی جهان از سوخت های فسیلی تامین می‌شود. اما با توجه به محدود بودن منابع انرژی های فسیلی و مشکلات ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، توجه بیش از پیش به صورت دیگر انرژی یعنی انرژی های تجدیدپذیر را بر همگان روشن و ضروری کرده است. لذا با کاهش سوخت های فسیلی در جهان، استفاده از انرژی های نو و تجدیدپذیر که آلاینده‌گی زیست‌محیطی هم به دنبال نداشته باشند، نقش پر رنگی در سبد انرژی کشورهای مختلف جهان بدست آورده است. از جمله مهمترین انرژی های تجدیدپذیر می‌توان به سیستم های انرژی خورشیدی که پیشرفت های قابل توجهی داشته است، اشاره نمود. کشور ایران یکی از کشورهای با مصرف انرژی بالا می‌باشد، و همچنین از پتانسیل بالای انرژی خورشیدی برخوردار است، لذا با توجه به این امتیاز مثبت در کشور، توسعه منطقی این منابع ارزشمند و خدادادی موجه به نظر می‌رسد، چرا که از این طریق می‌توان در جهت تحقق اهداف توسعه پایدار، کاهش مصرف انرژی های فسیلی و در نتیجه کاهش آلودگی های زیست محیطی گام برداشت [۱]. انرژی خورشیدی دارای مزایایی از جمله دسترسی آسان‌تر و ظرفیت عظیم این منبع است. میزان انرژی خورشیدی دریافتی توسط زمین چندین هزار برابر مصرف کنونی انرژی الکتریکی در سراسر جهان است [۴].

انرژی خورشیدی فاقد آلودگی است و در تمامی نقاط کره زمین و بخصوص در مناطق گرم به وفور قابل دسترس بوده و به ویژه در مناطق دور از شبکه سراسری برق، استفاده از آن برای تولید برق، گرمایش و سرمایش اقتصادی است. تلفات تولید، انتقال و توزیع برق و

پراکندگی جمعیت کشور ایران باعث می شود که استفاده از انرژی خورشیدی توجیه اقتصادی داشته باشد.

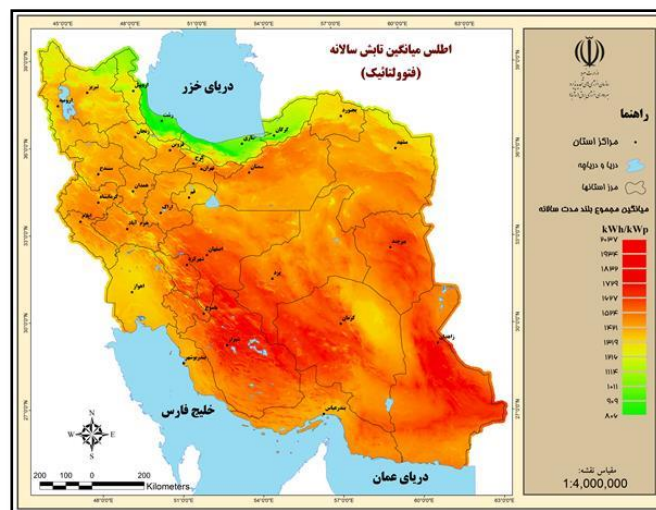
با توجه به هزینه بالای سیستم های فتوولتاییک، بهره گیری از حداکثر راندمان این منبع قدرت، یک ضرورت اساسی و غیر قابل انکار بشمار می آید. لذا بایستی با شناسایی و ارزیابی دقیق پارامترهای موثر بر عملکرد سلول های خورشیدی، در جهت افزایش راندمان خروجی آنها تلاش کرد. با این حال، برای نیل به این هدف، مدلسازی دقیق سلول خورشیدی مورد نیاز می باشد، چراکه باید برای پیش بینی منحنی مشخصات سلول خورشیدی، شرایط آب و هوایی متفاوت هر منطقه خاص مورد استفاده قرار گیرد. در حال حاضر، استفاده از این منابع انرژی در جایگزینی با سوخت های فسیلی با توجه به ویژگی های زیست محیطی و اقتصادی دغدغه اصلی سیاست گذاران انرژی محسوب می شود. از جمله مهمترین انرژی های تجدید پذیر میتوان به سیستم های انرژی خورشیدی که پیشرفت های قابل توجهی داشته است، اشاره نمود. انرژی خورشیدی منحصر بفرد ترین منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان است و منبع اصلی تمامی انرژی های موجود در زمین می باشد. انرژی خورشیدی به صورت مستقیم و غیرمستقیم می تواند به اشکال دیگر انرژی تبدیل گردد و دارای مزایایی از جمله دسترسی آسان تر و ظرفیت عظیم این منبع می باشد [۱].

۱-۱-۱- پتانسیل انرژی خورشیدی ایران

تعیین دقیق اینکه تا چه زمانی سوخت های فسیلی، در دسترس خواهند بود، خیلی مشکل است. به گفته شرکت های بزرگ نفت و گاز، منابع بزرگ نفت، در حال توسعه هستند و یا هنوز کشف نشده اند. یک برآورد مطمئن نشان می دهد که نفت منابع موجود برای تأمین نیاز فعلی تا حداقل ۳۰ سال دیگر کافی خواهد بود. آخرین گزارش ها نشان می دهند که منابع گاز برای تأمین نیاز فعلی تا ۶۰ سال دیگر کفایت خواهند کرد. منابع زغال سنگ می توانند تا صدها سال دوام یابند. البته جنبه منفی زغال سنگ، مقدار زیاد کربن موجود در آن است [۴].

کشور ایران یکی از کشورهای است که نه تنها بر روی کمر بند خورشیدی واقع شده است بلکه در عین حال جزء کشورهای است که پتانسیل بسیار بالایی برای استفاده از انرژی خورشیدی دارد (شکل (۱-۱)). پروژه های امکان سنجی نشان می دهند که سایر عناصر لازم برای این کار نیز در کشور ما وجود دارد، بعنوان مثال می توان از دسترسی به منابع غنی سیلیکون در ۹۰ درصد از زمین های کشور یاد کرد. سیلیکون همان ماده خامی است که برای

تولید سلول‌های فتوولتائیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک فاکتور مهم دیگر امکان دسترسی به زمین‌هایی است که عملاً هیچ کاربری خاصی ندارند و می‌توانند به راحتی برای نصب و استقرار سیستم‌های خورشیدی مورد استفاده قرار گیرند. کارشناسان باور دارند که جایگزینی تدریجی انرژی‌های پاک بالاخص انرژی خورشیدی با سوخت‌های فسیلی برای کشور ما به دلیل ارزش‌های افزوده‌ای که به همراه دارد، یک اقدام موثر و در عین حال ضروری است. ایران می‌تواند و باید امنیت انرژی خود را در دراز مدت افزایش دهد و لازمه اینکار تغییر مسیر از سمت سوخت‌های فسیلی به سمت انرژی‌های پاک است. نباید فراموش کرد که اشتغال‌زایی موثر حاصل از این تغییر رویه، حفاظت از محیط‌زیست و توسعه پایدار همه و همه از جمله دستاوردهایی این تکنولوژی می‌باشند. [۴]



شکل (۱-۱): نقشه خورشیدی ایران (www.satba.gov.ir)

لذا با وجود اینکه ایران از نظر جغرافیائی و آب و هوا در بهترین وضعیت کره زمین قرار گرفته است، اما متأسفانه بدلیل وجود نفت و گاز نسبتاً ارزان تا کنون دولت و ملت ایران به انرژی خورشید که سر منشا همه انرژی هاست بی توجه یا کم توجهی کرده اند، و انرژی با این اهمیت را به فراموشی سپرده اند. اگر هر خانوار ایرانی با تشویق و ترویج دولت تنها ۲۰۰ وات پانل خورشیدی را روی پشت بام خود نصب کند روزانه برقی معادل ۱۵۰۰ وات ساعت انرژی از خورشید بصورت رایگان در اختیار دارند که این میزان برق معادل ۲۰ درصد مصرف برق یک خانوار است که به همین راحتی یک پنجم برق کشور را خود مردم می‌توانند تولید کنند [۲].

با توجه به شکل (۱-۱) می‌توان گفت که میزان تابش خورشیدی در ایران بین ۱۸۰۰ تا

۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تخمین زده شده است. در ایران به طور متوسط سالانه بیش از ۲۸۰ روز آفتابی گزارش شده است که رقم بسیار قابل توجهی است [۲]. با وجود این شرایط این سوال مطرح می‌شود که چرا هنوز استفاده از انرژی خورشیدی عمومیت نیافته است؟

بنابراین با توجه به مطالب فوق، مطالعه در زمینه تولید الکتریسیته از انرژی خورشیدی به عنوان یک انرژی تجدید پذیر که با وجود داشتن پتانسیل فراوان، سهم اندکی در تولید انرژی را به خود اختصاص داده است و سازگار با محیط زیست بوده و به آسانی در دسترس است، امری ضروری به نظر می‌رسد. [1]

۱-۲- بیان مساله

با توجه به هزینه بالای سیستمهای فتوولتائیک، هدف بهره گیری از حداکثر راندمان این منابع می باشد. کارایی و راندمان آرایه فتوولتائیک با درجه حرارت، در معرض خورشید قرار گرفتن (زاویه تابش)، سایه و ساختار آرایه متناسب است [۵]. لذا در این تحقیق به ارزیابی و مدلسازی سیستم فتوولتائیک خورشیدی به همراه ردیاب جهت افزایش توان خروجی پرداخته می شود، و با تحلیل زاویه بهینه برای دریافت بیشترین انرژی تابشی خورشید، میزان الکتریسیته تولیدی برای نوع خاصی از سیستم فتوولتائیک بررسی می گردد.

سیستمهای فتوولتائیک با ردیاب خورشیدی در طول روز به طور مستمر خورشید را دنبال می کنند. ظرفیت تولید الکتریسیته توسط پنلهای فتوولتائیک بستگی به تابش خورشیدی دارد که سیستم های ردیاب این امر را مهیا می کنند. ساختار ردیاب باید به نحوی باشد که قادر به دنبال کردن خورشید در تمام طول روز باشد. سیستم ردیاب تک محوره^۱ با چرخش در یک زاویه حرکت خورشید را دنبال می کند. این سیستم ها خورشید را در طول روز از شرق تا غرب و یا از شمال تا جنوب دنبال می کنند. سیستم های دو محوره^۲ خورشید را در دو زاویه، یعنی از شرق تا غرب در طول روز و از شمال تا جنوب به طور فصلی دنبال می کنند. در این تحقیق سعی بر این است که از سیستم های فتوولتائیک خورشیدی برای تولید انرژی الکتریکی استفاده گردد، اما با توجه به این که این سیستم ها راندمان پایینی دارند میتوان از سیستم های ردیاب خورشیدی برای افزایش خروجی آنها بهره برد. سیستم ردیاب خورشیدی به آرایه های

¹One Axis Tracking

²Two Axis Tracking

خورشیدی این امکان را می‌دهد که حرکت خورشید را دنبال کرده و به واسطه این حرکت زاویه پنل‌ها نسبت به خورشید بهینه شده و موجب افزایش تولید گردد[۵]. همچنین جهت بهینه سازی زاویه پنل‌ها از الگوریتمی بنام MOPSO^۱ استفاده می‌گردد. این الگوریتم حالت خاصی از الگوریتم بهینه سازی توده ذرات (PSO)^۲ می‌باشد که در آن از عملگری به نام عملگر جهش واحد استفاده می‌شود که یک عضو از جمعیت را انتخاب کرده و مقدار یک بعد آن را به عددی در محدوده مقادیر معتبر تغییر می‌دهد. همچنین، یک سیاست نخبه گرایی به منظور نگه داشتن نتایج برتر و غالب در تکرارهای الگوریتم تعریف می‌شود. پاسخهای غالب در آرشیو خارجی که ساختار گرید دارد، ذخیره می‌شوند. دستاورد مدیریت صحیح آرشیو، تنوع جمعیت و توزیع مناسب پاسخها می‌باشد. جمعیتی از پاسخ‌های نامغلوب که تاکنون پیدا شده اند در مخزن نگهداری می‌شوند. مخزن دارای فضای محدودی است و برای نگهداری بهترین موقعیت‌هایی که تابحال پیدا شده اند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. ظرفیت مخزن ثابت در نظر گرفته شده و اگر تعداد اعضا از ظرفیت بیشتر باشد به حذف اعضا پرداخته می‌شود. بعد از این مرحله فضای حل جدول بندی می‌شود و هر عضو یک رهبر انتخاب می‌کند و رهبر از بین اعضای مخزن انتخاب می‌گردد تا حرکت بر اساس آن صورت بگیرد. انتخاب رهبر بر اساس اعضای جبهه‌های پارتو انجام می‌گیرد و اگر در یک جبهه چندین عضو موجود باشد از تمهید جدول بندی استفاده می‌شود. بعد از این مرحله موقعیت ذرات به روز می‌شود و اعضای نامغلوب انتخاب می‌شوند که وارد مخزن گردند. برای ورود به مخزن اگر ذره ای درون مخزن نباشد، ذره جدید در مخزن جای می‌گیرد و اگر در حال ورود به مخزن ذره ای در مخزن باشد و این ذره ، ذره جدید را مغلوب کند، ذره جدید وارد مخزن نمی‌شود. تا رسیدن به شرط خاتمه مراحل فوق تکرار می‌شود [۱۸].

۱-۳- سوالات و اهداف تحقیق

الف- سوالات تحقیق :

- ✓ انرژی خورشیدی در حالت ماکزیمم کارکرد قادر به تامین چه میزان از انرژی موردنیاز می‌باشد؟
- ✓ میزان راندمان سیستم فتوولتاییک خورشیدی به‌مراه ردیاب، چه میزان بیشتر از حالت عادی کارکرد سیستم می‌باشد؟

^۱Multi-Objective Particle Swarm Optimization

^۲Particle Swarm Optimization

✓ الگوریتم مطرح شده در تحقیق تا چه میزان در بهینه سازی سیستم مورد مطالعه کارایی دارد؟

ب - هدف اصلی : استفاده از انرژی خورشید برای تولید انرژی الکتریکی به همراه بهینه سازی خروجی سیستم جهت افزایش توان تولیدی توسط سیستم خورشیدی

پ - اهداف فرعی: جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه با کاهش مصرف سوخت های فسیلی

۴-۱- فرضیه های تحقیق

- فرضیه های زیر می توانند بعنوان فرضیه های اصلی پژوهش حاضر مطرح باشند :
- سیستم فتوولتاییک را می توان در جهت دستیابی به خروجی بهینه مدلسازی نمود؛
 - تنظیم زاویه سیستم فتوولتاییک در دستیابی به حداکثر توان خروجی موثر است؛
 - الگوریتم MOPSO پیشنهادی توانایی تعیین زاویه بهینه سیستم را جهت رسیدن به حداکثر توان خروجی دارد؛
 - مدل سلول خورشیدی در نرم افزار MATLAB پاسخ شبیه به واقعیت می دهد؛

مفروضات مسئله

- پرتوهای خورشید به شکل تابش موازی هستند؛
- از تاثیر شرایط جوی و آلودگی بر روی قسمت های مختلف تابش خورشیدی چشم پوشی می شود؛
- از تاثیر سایه بر روی پنلها و کلکتورهای خورشیدی صرف نظر می شود؛
- جنس سلول فتوولتاییک از نوع کریستال سیلیکونی در نظر گرفته می شود.

۵-۱- مبانی نظری تحقیق

ایده اصلی در این پژوهش تولید انرژی الکتریکی با استفاده از انرژی خورشیدی به همراه بهینه سازی خروجی سیستم جهت افزایش توان تولیدی می باشد. تعاریف واژه های مهم بصورت زیر می باشد :

سیستم فتوولتاییک خورشیدی : سیستم فتوولتاییک یکی از سیستم های انرژی خورشیدی است که از ماژول های PV برای تبدیل نور خورشید به الکتریسیته استفاده می کند. الکتریسیته تولید شده را هم می توان ذخیره نمود و یا به طور مستقیم استفاده کرد؛ به خط شبکه تزریق کرد و یا در نهایت با یک یا چند ژنراتور یا منابع تولید انرژی تجدید پذیر ترکیب

نمود.

سیستم ردیاب خورشیدی : ردیاب خورشیدی به آرایه های خورشیدی این امکان را می دهد که حرکت خورشید را دنبال کرده و به واسطه این حرکت زوایه پنلها نسبت به خورشید بهینه شده و موجب افزایش تولید می گردد. ردیاب های تک محوره اغلب دارای محور شمالی - جنوبی بوده و حرکت خورشید را از طلوع تا غروب خورشید به صورت روزانه دنبال می کنند. ردیاب های خورشیدی دو محوره نیز علاوه بر تعقیب روزانه خورشیدی از شرق به غرب، دارای سیستمی برای تنظیم زوایه شیب نیز بوده و تغییر زوایه ارتفاع خورشید را در طی سال نیز دنبال می کنند.

الگوریتم بهینه سازی : هدف از بهینه سازی یافتن بهترین جواب قابل قبول، با توجه به محدودیت ها و نیازهای مسأله است. برای یک مسأله، ممکن است جواب های مختلفی موجود باشد که برای مقایسه آنها و انتخاب جواب بهینه، تابعی به نام تابع هدف تعریف می شود. انتخاب این تابع به طبیعت مسأله وابسته است. برای بهینه سازی از روش های مختلفی استفاده می شود که به آنها الگوریتم های بهینه سازی گفته می شود. برخی از مهمترین الگوریتم های بهینه سازی عبارتند از : الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کلونی مورچگان، الگوریتم کرم شب تاب، الگوریتم بهینه سازی توده ذرات و

۱-۶- روش انجام تحقیق

ابتدا مروری بر ادبیات گذشته صورت گرفته و بعد از آن به تعاریف مهم در راستای موضوع تحقیق پرداخته شده است. با مطالعه منابع مشابه، با توجه به پارامترهای تحقیق آن قسمت از مدل هایی که می توانند در روند تحقیق ما را یاری نمایند یادداشت کرده و قسمت های ناقص را شناسایی کرده ایم. در مرحله بعدی به چگونگی کارکرد سیستم های انرژی خورشیدی و تاثیر عوامل مختلف بر روی عملکرد آنها پرداخته شده است. سپس با مدلسازی سیستم خورشیدی مورد نظر در محیط نرم افزار MATLAB نقطه کاری سیستم فتولتاییک بررسی شده است. بعد از بدست آوردن منحنی ولتاژ - جریان سیستم فتولتاییک، با استفاده از الگوریتم MOPSO نقطه بهینه توان خروجی سیستم بدست می آید تا سیستم برای داشتن حداکثر راندمان خروجی تحت شرایط محیطی مشخص طراحی گردد. مرحله آخر تحقیق، مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج تحقیقات انجام گرفته در راستای موضوع پژوهش حاضر طی سال های اخیر می باشد.

۱-۷- ساختار کلی تحقیق

در این تحقیق بعد از بیان کلیات تحقیق شامل مقدمه و بیان مساله در فصل اول به مرور ادبیات گذشته در رابطه با عنوان تحقیق و تاریخچه انرژی خورشیدی و سلول های خورشیدی در فصل دوم می پردازیم. فصل سوم اصول کلی و مبانی نظری تحقیق را شامل می شود. در فصل چهارم بعد از مدلسازی و آنالیز انرژی سیستم فتولتاییک خورشیدی به همراه ردیاب به تعیین زاویه بهینه خروجی جهت افزایش توان خروجی سیستم با استفاده از الگوریتم پیشنهادی پرداخته می شود. در فصل آخر نیز نتایج بدست آمده از تحقیق و پیشنهادات ادامه کار بیان می گردند.

فصل دوم :

مروری بر ادبیات و پیشینه تحقیق

۲-۱- مقدمه

همانطوری که بیان شد، در حال حاضر با توجه به انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثرات آن بر روی گرمایش زمین و تخریب زیست بوم در نتیجه استفاده از منابع سوخت فسیلی با توجه به ارزان بودن آن جهت تولید برق، خطری جدی را برای زیست بوم و تغییر اقلیم ایجاد می‌کند، که مناسب نمی‌باشد. به همین جهت مجامع بین المللی راه حل‌هایی برای کاستن از سرعت تخریب زیست بوم انسان و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی پیشنهاد کردند که در همین راستا در حوزه تولید انرژی الکتریکی به تولید برق با منابع تجدیدپذیر مانند نیروگاه برق خورشیدی روی آوردند. ضمن آنکه اکثر قریب به اتفاق کشورها به این انرژی لایزال خداوندی دسترسی دارند و توسعه به کارگیری این انرژی نیز به قطع وابستگی کشورها کمک می‌کند. خورشید برای ما انسانها منبع بی پایان انرژی محسوب می‌شود. استفاده و بهره‌مندی از انرژی خورشیدی از دیرباز مورد توجه بشر بوده است. استفاده از انرژی خورشیدی علاوه بر داشتن مزایایی چون عاری بودن از هرگونه آلودگی‌های زیست محیطی، فراوانی، ارزانی، فنا ناپذیری و عدم وابستگی به انرژی‌های دیگر، همیشه در دسترس بوده و استفاده از آن دشوار نیست. توجه به افزایش بهره‌گیری از این انرژی، کشورها را به سوی کاهش وابستگی به انرژی‌های تجدید ناپذیر سوق می‌دهد. استفاده از سوخت‌های فسیلی مثل گاز بعنوان پرمصرف‌ترین منبع تامین گرمایش در کشور یکی از عوامل توسعه به شمار می‌آید. مشکل رساندن و توزیع سوخت‌های فسیلی بخصوص در مناطق دور افتاده روستایی همیشه یکی از چالش‌های پیش روی توسعه پایدار روستاها بوده است. از این رو انرژی خورشیدی که در هر مکان قابل بهره‌برداری و در دسترس است، بستر بسیار مناسبی را برای توسعه و عمران روستا های کشور فراهم می‌سازد. از طرفی قرارگیری ایران در عرض جغرافیایی مناسب سبب جذب مقادیر قابل توجه انرژی خورشیدی شده و از این طریق موقعیت ممتازی را برای بهره‌گیری از انرژی پایدار و پاک آن فراهم نموده به طوری که می‌توان با استراتژی‌های مناسب اتخاذ شده در این بخش مصرف ساختمان‌ها را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. کاهش مصرف انرژی با استفاده بیشتر از خورشید برای گرمایش و تامین انرژی الکتریکی و مصرف آن، به گردش هوا در ساختمان کمک نموده و راهکاری مطلوب برای دستیابی به پایداری محسوب می‌شود [۶].

۲-۲- انرژی خورشیدی

انرژی خورشیدی منحصر بفرد ترین منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان است و منبع اصلی تمامی انرژی‌های موجود در زمین می‌باشد. انرژی خورشیدی به صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند به اشکال دیگر انرژی تبدیل گردد. به‌طور کلی انرژی متصاعد شده از خورشیدی در حدود $3/8$ در 10^{23} کیلووات در ثانیه می‌باشد. ایران با داشتن حدود 280 روز آفتابی در سال جزو بهترین کشورهای دنیا در زمینه پتانسیل انرژی خورشیدی در جهان می‌باشد. با توجه به موقعیت جغرافیای ایران و پراکندگی روستایی در کشور، استفاده از انرژی خورشیدی یکی از مهمترین عواملی است که باید مورد توجه قرار گیرد. استفاده از انرژی خورشیدی یکی از بهترین راه‌های برق رسانی و تولید انرژی در مقایسه با دیگر مدل‌های انتقال انرژی به روستاها و نقاط دور افتاده در کشور از نظر هزینه، حمل‌نقل، نگهداری و عوامل مشابه می‌باشد [۶].

با توجه به استانداردهای بین‌المللی اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز بالاتر از $3/5$ کیلووات ساعت در مترمربع (3500 وات ساعت) باشد، استفاده از مدل‌های انرژی خورشیدی نظیر کلکتورهای خورشیدی یا سیستم های فتوولتائیک بسیار اقتصادی و مقرون به صرفه است. در بسیاری از قسمت های ایران انرژی تابشی خورشید بسیار بالاتر از این میانگین بین‌المللی می‌باشد و در برخی از نقاط حتی بالاتر از 7 تا 8 کیلو وات ساعت بر مترمربع اندازه‌گیری شده است، ولی بطور متوسط انرژی تابشی خورشید بر سطح سرزمین ایران حدود $4/5$ کیلو وات ساعت بر مترمربع در روز است.

۲-۳- تاریخچه سیستم های فتولتائیک

عبارت فتوولتائیک^۱ ترکیبی از کلمه یونانی Photos به معنی نور با Volt به معنای تولید الکتریسیته از نور است. به پدیده ای که در اثر تابش نور بدون استفاده از مکانیزم های محرک، الکتریسیته تولید می کند پدیده فتوولتائیک و به هر سیستمی که از این پدیده استفاده کند سیستم فتوولتائیک می گویند. سیستم های فتوولتائیک یکی از پر مصرف ترین کاربرد های انرژی های نو می باشند و تاکنون سیستم های گوناگونی با ظرفیت های مختلف در سراسر جهان نصب و راه اندازی شده است و با توجه به قابلیت اطمینان و عملکرد این سیستم ها هر روزه بر تعداد متقاضیان آنها افزوده می شود. از سری و موازی کردن سلول های خورشیدی

^۱ Photovoltaic

می توان به جریان و ولتاژ قابل قبولی دست یافت. بازده یک سلول خورشیدی عبارت از درصدی از انرژی خورشیدی تابیده به سطح آن می باشد که به انرژی الکتریکی تبدیل شده باشد. کمتر از ۱٪ انرژی خورشیدی تابیده شده به سطح این سلول ابتدایی به الکتریسیته تبدیل می شد.

سیستم فتوولتاییک به دلیل مزایایی مانند کوتاه بودن زمان طراحی و نصب سیستم، بی صدا بودن فرایند تبدیل انرژی، عمر زیاد و نیاز به نگهداری اندک به دلیل نداشتن اجزاء متحرک، حمل و نقل آسان به دلیل سبک بودن اجزاء و همچنین عدم تولید آلودگی های زیست محیطی، در حال گسترش و پیشرفت شتابان است. لیکن نسبت به سایر منابع تولید انرژی دارای قیمت نسبتاً بالایی می باشد. لذا استفاده بهینه و جذب و تبدیل حداکثر مقدار انرژی دریافتی خورشیدی ممکن بسیار ضروری است [۵].

شناخت انرژی خورشیدی و استفاده از آن برای منظوره های مختلف، به زمان ما قبل تاریخ، شاید به دوران سفالگری باز می گردد. در آن هنگام روحانیون معابد به کمک جام های بزرگ طلایی صیقل داده شده و اشعه خورشید، جهت روشن کردن آتشدان های محراب استفاده می کردند. مهمترین روایتی که در رابطه با استفاده از تابش خورشید بیان شده است داستان ارشمیدس دانشمند و مخترع بزرگ یونان قدیم می باشد، که ناوگان روم را با استفاده از انرژی حرارتی خورشید به آتش کشید. گفته می شود که ارشمیدس با نصب تعداد زیادی آینه های کوچک مربعی شکل در کنار یکدیگر که روی یک پایه متحرک قرار داشته است، اشعه خورشید را از راه دور روی کشتی های رومیان متمرکز ساخته و باین ترتیب آنها را به آتش کشیده است. به همین علت از ارشمیدس بعنوان بنیانگذار استفاده از تابش خورشید نام می برند، درحالیکه منابع مصری قدیمی تر از آن است.

حدود ۱۸۰۰ سال پس از ارشمیدس شخصی به نام A.KIRCHER (سال ۱۶۱۰-۱۶۸۰) شاهکار ارشمیدس را تکرار کرد و با استفاده از تعدادی آینه، یک لنگرگاه چوبی را از فاصله دور آتش زد و ثابت کرد که داستان حقیقت دارد. د رسال ۱۶۱۵ میلادی SALMON DE CAUM اهل فرانسه بیانیه ای راجع به موتور خورشیدی منتشر کرد. او با استفاده از تعدادی عدسی که در یک قاب نصب شده بودند اشعه خورشید را بر روی یک استوانه فلزی سربسته که قسمتی از آن از آب پر شده بود متمرکز نمود. تابش خورشید باعث گرم شدن هوای داخل استوانه شده و با انبساط هوا، فشار داخل محفظه افزایش یافته و آب به بیرون رانده می شد. در قرن هجدهم ناتورا اولین کوره خورشیدی را در فرانسه ساخت. بزرگترین کوره او از ۳۶۰

قطعه آینه تخت کوچک تشکیل شده بود که هر کدام بطور مستقل اشعه خورشید را به یک نقطه متمرکز می کردند. این محقق کوره کوچکی را نیز که از ۱۶۸ قطعه آینه تشکیل شده بود در سال ۱۷۴۷ طراحی و تولید کرد و بوسیله آن یک تل چوبی را در فاصله ۶ متری آتش زد. دستگاه خوراک پز خورشیدی اولین بار بوسیله شخصی بنام NICHELAS DE SAUCCER ساخته شد. اجاق او شامل یک جعبه عایق شده با صفحه سیاه رنگی بود که قطعات شیشه ای درپوش آنرا تشکیل می دادند، اشعه خورشید با عبور از میان شیشه ها وارد جعبه شده و بوسیله سطح سیاه جذب و درجه حرارت داخل جعبه را به 88°C افزایش می داد. آتونی لاوازیه خالق شیمی نوین برای کسب بیشترین انرژی از خالص ترین منبع حرارتی، تحقیقاتی در کوره های خورشیدی انجام داد و کوره ای ساخت که برای تشکیل یک عدسی محدب این کوره از دو صفحه شیشه ای که بین این دو صفحه با الکل پر شده بود، استفاده نمود. عدسی مایع به قطر ۱۳۰ سانتیمتر و به فاصله کانونی ۳۲۰ سانتیمتر بود. چون قدرت انکسار این عدسی مایع برای بدست آوردن درجه حرارت زیاد در کانون آن موثر نبود، لاوازیه عدسی کوچک دیگری را در کانون آن قرار داد و با کوچکتر کردن فاصله کانونی موثر، این دستگاه قادر شد حتی پلاتینیوم را در دمای 1760°C ذوب نماید. BESSMER پدر فولاد جهان حرارت مورد نیاز کوره خود را با استفاده از انرژی خورشیدی تامین کرد. در قرن نوزدهم تلاش هایی جهت تبدیل انرژی خورشیدی به دیگر فرم های انرژی مثل تولید بخار و استفاده در موتورهای بخار انجام گرفت. در این سال ها چندین موتور بخار خورشیدی ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفتند. در سال ۱۸۷۸ میلادی MUCHO اولین کلکتور خورشیدی با متمرکز کننده مخروطی شکل را طراحی کرد. آینه های داخل مخروط تمام اشعه های خورشیدی را در نقطه ای در وسط مخروط ناقص که جذب کننده ای در آنجا نصب شده بود، متمرکز می کرد. این کلکتور را AXICON می نامیدند. اولین AXICON بزرگی که ساخته شد شامل یک صفحه از جنس نقره با قطر ۵۴۰ سانتیمتر و به سطح $18/2$ متر مربع بود. وزن آن با کلیه قسمت های متحرک در حدود ۱۴۰۰ کیلوگرم بود و قدرت داشت ۷۸ درصد از انرژی خورشیدی تابیده شده را جذب کند. اریکسون مبتکر سیکل موتور هوای گرم، قدرت مورد نیاز آزمایشات خود را بوسیله یک متمرکز کننده سهموی دریافت می کرد. این شخص با یک سطح انعکاسی برابر با $9/3$ متر مربع در حدود $0/7$ کیلووات انرژی دریافت می کرد.

در سال ۱۸۸۰ اولین کلکتور تخت خورشیدی بوسیله TELIER ساخته شد. در سال ۱۸۸۸ WESTER پیشنهاد استفاده از انرژی خورشیدی در ترموکوپل ها را ارائه داد. باین

ترتیب که با متمرکز کردن انرژی خورشیدی بر روی ترموکوپل و با استفاده از اساس کار آنها و با ایجاد منابع گرم و سرد، انرژی الکتریکی در دو سر سیم های نیکل و آهن ایجاد نمود. در قرن نوزدهم دستگاه های آب شیرین کن خورشیدی رواج پیدا کردند و دستگاه هایی ساخته شدند که قادر بودند در روزهای آفتابی روزانه حدود ۲۰۰۰۰ لیتر آب مقطر تولید نمایند. در قرن بیستم استفاده از کلکتورها جهت تولید بخار در نیروگاه های برقی مورد توجه زیاد قرار گرفته است. گرم کردن ساختمان ها با استفاده از انرژی خورشید، ایده تازه ای بود که در سال های ۱۹۳۰ میلادی مطرح و در یک دهه به پیشرفت های قابل توجهی نائل آمد. اولین خانه خورشیدی در انستیتو تکنولوژی ماساچوست آمریکا در سال ۱۹۳۸ میلادی ساخته شد. در سال ۱۹۵۴ میلادی 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. در سال ۱۹۵۸ میلادی سلولهای فتوولتائیک جدید در مقابل اشعه خورشید مقاوم تر شدند و این ویژگی برای استفاده سلولهای فتوولتائیک در فضا بسیار حائز اهمیت بود. ناسا در سال ۱۹۶۴ میلادی اولین ماهواره ای که با سلولهای فتوولتائیک به ظرفیت ۴۷۰ وات تغذیه می گردید، توسط سفینه فضایی به فضا پرتاب نمود.

در دهه ۱۹۷۰ میلادی دکتر الیوت برمن و اکسون کرب سلول خورشیدی ارزان تری را طراحی نمودند و این عامل باعث استفاده گسترده تر از سلولهای فتوولتائیک گردید. در سال ۱۹۷۶ میلادی مرکز تحقیقات لوئیس ناسا برای اولین بار شروع به نصب ۸۳ سیستم فتوولتائیک در سرتاسر جهان نمود که برای روشنایی درمانگاهها، پمپاژ آب و تلویزیون کلاس ها و موارد دیگر به کار می رفت. در سال ۲۰۰۱ میلادی تین فیلم فتوولتائیک ساخته شد. بزرگترین سیستم خورشیدی پشت بامی در کالیفرنیا در سال ۲۰۰۲ میلادی نصب گردید، و در سال ۲۰۰۸ میلادی بزرگترین پارک خورشیدی در آلمان بوسیله سیستم های تین فیلم راه اندازی گردید [۷].

مطالعات در زمینه انرژی خورشیدی در ایران از حدود ۴۰ سال قبل و بطور همزمان در دانشگاههای شیراز و صنعتی شریف شروع شد. از جمله طرح های مهم مورد توجه در این مراکز نیروگاه خورشیدی ۱۰ مگاواتی در دانشگاه شیراز و طرح و توسعه و ساخت سلولهای فتوولتائیک در مرکز فوق الذکر بود. پروژه هایی در زمینه انرژی خورشیدی هم اکنون در کشور توسط سازمان انرژی های تجدیدپذیر و بهره وری برق ایران در جریان است، که اهم فعالیت های انجام شده در زمینه انرژی خورشیدی کشور عبارتند از [۶]:

- ✓ احداث نیروگاه حرارتی خورشیدی سهموی خطی شیراز به ظرفیت ۲۵۰ کیلووات تا مرحله تولید بخار و انجام تحقیقات در زمینه فناوری ساخت و تست
- ✓ برقرسانی فتوولتائیک به روستاها جمعاً به ظرفیت ۳۸۶ کیلووات
- ✓ طراحی، نصب و راه اندازی نیروگاه فتوولتائیک با ظرفیت اسمی ۹۷ کیلووات در منطقه سرکوبر سمنان
- ✓ سیستم فتوولتائیک ۴۰ کیلووات متصل به شبکه در سایت طالقان که قابلیت افزایش تا ۱۰۰ کیلووات را دارا می باشد
- ✓ طراحی، نصب و راه اندازی نیروگاه فتوولتائیک با ظرفیت اسمی ۵ کیلووات در منطقه دربید یزد
- ✓ مطالعه و پژوهش برای تسلط بر فناوری طراحی و ساخت دیش استرلینگ خورشیدی
- ✓ انجام پتانسیل سنجی و تهیه اطلس خورشیدی کشور و زمینه سازی جهت تهیه نقشه های پتانسیل تابش خورشیدی ایران با سازمان فضایی آلمان
- ✓ طراحی، ساخت و نصب انواع سیستمهای برق خورشیدی نظیر چراغهای خیابانی فتوولتائیک، پمپ آب کش برای مصارف کشاورزی، تجهیز یک منطقه مرزی، روشنایی تونل به کمک سیستمهای فتوولتائیک
- ✓ مطالعه و ساخت اتصالات اهمیتیک برای سلولهای خورشیدی سیلیسیم لایه نازک
- ✓ طراحی، تدوین دانش فنی و ساخت اینورتر متصل به شبکه با توان ۵ کیلووات و همچنین اینورتر متصل به شبکه بدون ترانس با توان ۱/۵ کیلووات
- ✓ مطالعات شناخت، امکان سنجی فنی - اقتصادی کاربرد و طراحی سیستمهای هیبرید انرژیهای تجدید پذیر (باد-دیزل-فتوولتائیک- زیست توده و خورشیدی) در ایران
- ✓ احداث پارک خورشیدی در سایت انرژیهای نو طالقان
- ✓ طراحی مفهومی نیروگاه هیبریدی خورشیدی شیراز به منظور افزایش ظرفیت ۵۰۰ کیلووات با بهره گیری از کلکتورهای پیشرفته سهموی خطی
- ✓ مطالعه انواع فن آوریهای آب شیرین کن خورشیدی
- ✓ ارزیابی رفتار مصرف کنندگان سیستم های انرژی خورشیدی (آبگرمکن و اجاق) در منطقه جنگلی آرموده
- ✓ طراحی و ساخت دستگاه تبرید ۵ تن خورشیدی به روش دسیکنت جامد خورشیدی

۲-۴- بررسی مقالات پیشین

سیستم فتوولتاییک به دلیل مزایایی مانند کوتاه بودن زمان طراحی و نصب سیستم، بی صدا بودن فرآیند تبدیل انرژی، عمر زیاد و نیاز به نگهداری اندک به دلیل نداشتن اجزاء متحرک، حمل و نقل آسان به دلیل سبک بودن اجزاء و همچنین عدم تولید آلودگی های زیست محیطی، در حال گسترش و پیشرفت شتابان است. لیکن نسبت به سایر منابع تولید انرژی دارای قیمت نسبتاً بالایی می باشد. لذا استفاده بهینه و جذب و تبدیل حداکثر مقدار انرژی دریافتی خورشیدی ممکن بسیار ضروری است. بدین منظور لازم است تا عوامل مؤثر بر راندمان سیستم های فتوولتاییک مشخص گردند و شرایط لازم برای استفاده بهینه از آنها معرفی شوند.

از طرفی در سیستم های فتوولتاییک که دارای نقطه مطلوب منطبق با ماکزیمم توان می باشند، توان خروجی آرایه سلول خورشیدی بسته به حالات نور خورشید و دما تغییر می کند. در این زمینه مهمترین مطلب، ردیابی بیشینه توان می باشد که از مشخصه VI به دست می آید. در ردیابی بیشینه توان هم به دلیل غیرخطی بودن نمودار VI و هم به دلیل تاثیر شرایط محیطی (میزان تابش و دما) ردیابی بیشینه توان دقیق، یک موضوع بحث برانگیز می باشد. پس می توان گفت که، در سیستم های فتوولتاییک با صرفنظر از نوع و سایز آنها، یکی از موارد بحرانی تاثیر همین MPPT^۱ در سیستم است. برای بدست آوردن ماکزیمم توان از آرایه فتوولتاییک، سیستم فتوولتاییک معمولاً به یک کنترل کننده ای نیازمند است که نقطه ماکزیمم توان را دنبال کند. این زمینه، زمینه جالب و اقتصادی است که پژوهشگران زیادی را به سمت خود جذب کرده است، که در پی یافتن راهی اقتصادی و سریع برای بهبود بخشیدن بهره خروجی از سیستم فتوولتاییک هستند. در دنبال کردن ماکزیمم توان بنا به دلایلی که بیان شد، ردیابی بیشینه توان دقیق، یک موضوع بحث برانگیز است و این قضیه وقتی که میزان تابش به طور کامل به سیستم فتوولتاییک نمی رسد و در هر جایی متفاوت می باشد خیلی پیچیده تر می شود. وقتی در حالت عادی ماژول ها به یک میزان تابش خورشید دریافت کنند، نمودار مشخصه آنها یک نقطه پیک دارد. روش های مختلفی برای ردیابی توان بیشینه در سیستم های فتوولتاییک وجود دارد که متداول ترین آنها عبارتند از [۳ و ۲]:

✓ روش تپه نوردی^۲

✓ روش اغتشاش و مشاهده (P&O)

^۱Maximum Power Point Tracking

^۲Hill-Climbing

✓ کنترل مد لغزشی

✓ شبکه عصبی

✓ کنترل کننده فازی

✓ هدایت افزایشی (INC^2) و ...

در این روش ها با استفاده از سیستم ردیاب کننده توان، دائماً سیستم در حالتی تنظیم می شود که همواره بیشترین توان را مستقل از شرایط محیطی یا شرایط بار در اختیار ما قرار دهد. در میان روش های پیشنهادی برای پیدا کردن نقطه توان ماکزیمم، برخی از آنها بر روی مطالعه تغییرات ناگهانی در سطح تابش متمرکز شده اند. تفاوت بین این الگوریتم ها به عملکرد، سرعت همگرایی و پیچیدگی سخت افزاری مربوط می شود. این روش ها در ردیابی MPP زمانی که شرایط تابشی برای همه ماژول یکنواخت نیست و سایه رخ داده است، موفق نیستند. در این وضعیت، ماژول های سایه دار بخشی از برق تولید شده را مصرف کرده و به عنوان بار رفتار می کنند، که تولید برق کل را کاهش می دهد و ممکن است مشکل نقطه داغ³ رخ دهد. به منظور حفاظت ماژول ها از مشکل نقطه داغ، یک دیود بای پس به طور موازی با هریک از ماژول های PV متصل می شود. اما منحنی PV در نتیجه اتصال دیود بای پس در شرایط سایه جزئی دارای چندین نقطه اوج می شود. بنابراین معادله مشخصه VI آرایه PV دیگر معتبر نخواهد بود.

اساس روش اغتشاش و مشاهده بر ایجاد آشفتگی بر ولتاژ و مشاهده توان خروجی می باشد که در صورت افزایش توان آشفتگی را در همان مسیر نگاه می دارد و همچنین در صورت کاهش توان آشفتگی بعدی را معکوس می کند. روش موفق اغتشاش و مشاهده بدون نیاز به پارامتر های سلول خورشیدی، نقطه حداکثر توان را ردیابی می کند. اما از ایرادات وارد بر این روش می توان به آشفتگی مستمر سیستم اشاره نمود، به گونه ای که حول نقطه حداکثر توان MPP با نوسانات کار می کند. اساس روش تپه نوردی همانند اغتشاش و مشاهده می باشد. اساس روش هدایت افزایشی بر صفر بودن مشتق توان نسبت به ولتاژ و یا نسبت به جریان در نقطه حداکثر توان است، و با انجام هدایت لحظه ای با هدایت افزایشی نقطه حداکثر توان یافت می شود [3].

¹Perturbation and Observation

²Incremental Conductance

³Hot Spot

دسته دوم روش های مبتنی بر مدل سازی سلول خورشیدی هستند. در این روش ها با مدل کردن سلول خورشیدی و برقراری روابط موجود در مدل ارائه شده ویژگی های سلول خورشیدی قابل پیش بینی خواهد بود و سیستم را مبتنی بر مدل طراحی و اجرا می کنند. مشکل اصلی این نوع روش ها نداشتن انعطاف با تغییر سلول خورشیدی با سلول دیگر است؛ به طوری که هر پیاده سازی مختص به همان سلول خورشیدی است که از پیش برای آن طراحی شده است. علاوه بر مشکل بیان شده یافتن مدل و پارامترهای سلول خورشیدی قبل از طراحی خود مشکل دیگری است [۶].

دسته سوم روش های مبتنی بر رابطه موجود بین نقطه کار و پارامترهای سلول خورشیدی است. از نمونه های این روش به سه روش مطرح می توان اشاره نمود :

روشی که از رابطه تقریباً خطی موجود بین جریان اتصال کوتاه و جریان نقطه کار بهره می برد، که به آن روش جریان اتصال کوتاه می گویند. اساس روش دیگر که به نام ولتاژ مدار باز معروف است وجود تابع تقریباً خطی بین ولتاژ نقطه کار و ولتاژ مدار باز سلول است. قطع دوره ای برای اندازه گیری ولتاژ مدار باز باعث از دست دادن توان در سیستم می شود. برای مشکل قطع دوره ای روشی ارائه شده است، که از یک سلول پایه به عنوان راهنما برای تشخیص رفتار کل پانل استفاده می گردد که مشکل جدید عدم قطعیت در اندازه گیری سلول پایه نسبت به کل پانل را به وجود می آورد. روشی دیگر خطی سازی را به سه ناحیه تقسیم کرده تا کارایی سیستم را بهبود بخشد. در هر صورت، رابطه موجود بین نقطه کار و پارامتر کاملاً غیر خطی است و هرگونه تقریب زدن خطی، باعث ایجاد خطا در سیستم می شود. همچنین، رابطه خطی تقریب گرفته شده و یا جدول جستجو نیز با تغییر سلول خورشیدی تغییر می کند [۷].

دسته چهارم روش های کنترل هوشمند است. در این نوع روش ها کنترل منطق فازی یا منطق فازی و شبکه های عصبی مصنوعی به کار رفته است. Hsiang Chao و همکاران روش کنترل وابسته به رپل (RCC^۱) را بهبود داده و شبکه عصبی موجود با توجه به رفتار سیستم به اعمال سیکل کاری، در مرحله آتی خطای خروجی را کاهش می دهد و طی چندین نوسان خطا را میرا کرده اند. مرجع دیگری با کنترل فازی قرار داده شده در سیستم، عمل یافتن ولتاژ نقطه حداکثر توان را بهینه می کند. مرجع بعدی روش اغتشاش و مشاهده را با استفاده از کنترل منطق فازی بهبود بخشیده است. نویسندگان مرجع بعدی با استفاده از کنترل منطق فازی و شبکه عصبی و اندازه گیری شدت تابش و دما، ولتاژ نقطه کار را به دست آورده اند [۸].

^۱Ripple correlation control

روش های هوشمند به مدل سلول خورشیدی به کار رفته نیاز مبرم دارند که همین امر سیستم کنترلی را به

استفاده در سلول خورشیدی طراحی شده محدود می کند. به طور کلی، نمی توان هیچ روشی را مطلقاً بهترین روش قلمداد کرد، درحالی که برای انتخاب سیستم ردیابی حداکثر توان ملاک های متفاوتی از قبیل هزینه ساخت، سرعت ردیابی، دقت نقطه یافت شده، سادگی پیاده سازی، عمومیت داشتن و ... وجود دارد که هر روشی را در توان های مختلف می توان بهتر و مؤثرتر قلمداد کرد.

مرجع دیگری روش های MPPT را که در شرایط تابشی غیر یکنواخت و یکنواخت قابل اجرا هستند به دو گروه طبقه بندی می کند: الگوریتم های مبتنی بر نرم افزار و الگوریتم های مبتنی بر سخت افزار. روش های مبتنی بر نرم افزار قله جهانی را در میان قله های متعدد در شرایط سایه جزئی ردیابی می کنند. روش پیشنهادی در مقاله بعدی بر اساس حرکت نقطه کار توسط یک تابع خطی در کل منحنی PV می باشد، سپس MPPT معمولی برای ردیابی نقطه قله جهانی استفاده می شود. مرجع بعدی روش دو مرحله ای مبتنی بر روش P&O را برای ردیابی نقطه قله جهانی پیشنهاد کرده است. این روش در ردیابی نقطه MPP هنگامی که تفاوت بین سطح تابش ماژول های سایه دار و ماژول بدون سایه بزرگ است و تعداد ماژول های سایه دار بیشتر از تعداد ماژول های بدون سایه است، با مشکل مواجه می شود [۹].

در شرایط تابش یکنواخت می توان از روش های مرسوم ردیابی نقطه حداکثر توان استفاده نمود، در حالیکه در شرایط سایه جزئی به دلیل وجود چندین نقطه ماکزیمم توان در مشخصه توان ولتاژ، این روش ها زیاد کارایی ندارند. از طرفی بکارگیری روش های سخت افزاری برای یک واحد ردیابی نقطه حداکثر توان به صورت جداگانه برای هر ماژول، بسیار هزینه بر میب اشد و همچنین استفاده از روش های نرم افزاری نیز دارای معایبی از جمله ضرورت تنظیمات دوره ای و عدم ردیابی انواع الگوهای سایه می باشد. افسری و کریم پور در با توسعه روابط حاکم بر آرایه فتوولتائیک در شرایط سایه جزئی، معادله کلی حاکم بر آرایه فتوولتائیک را تحت شرایط سایه جزئی بدست آورده اند. آنها با استناد به روابط بدست آمده، منحنی کلی آرایه فتوولتائیک را بدست آورده اند. ایشان برای اینکار با بکارگیری یک سنسور تابش در هر ماژول و تعیین منحنی تقریبی توان ولتاژ یک آرایه فتوولتائیک، ولتاژ بهینه متناظر با توان ماکزیمم جهانی را تعیین کرده و با استفاده از کنترلر فازی با اطلاعات قطبی نقطه عملکرد سیستم را به این ولتاژ بهینه منتقل کرده اند. نتیجه کار آنها نشان داده است که با این روش می

توان توان خروجی ماژول را افزایش داد و با قابلیت اطمینان و سرعت و دقت بالا و بدون سردرگمی (از معایب روش تپه نوردی)، نقطه توان بیشینه اصلی را در شرایط تابشی مختلف پیدا کرد. آنها همچنین با تخمین منحنی توان-ولتاژ، ردیابی نقطه حداکثر توان آرایه فوتولتائیک را در شرایط سایه جزئی انجام داده اند. آنها در این مقاله، با ارائه یک روش جدید ردیابی نقطه ماکزیمم جهانی، تشخیص نقطه حداکثر توان جهانی را در شرایط الگوهای مختلف سایه محقق کرده اند، که در مقایسه با روش های مرسوم که ممکن است در شرایط سایه جزئی نقطه حداکثر توان محلی را به عنوان نقطه کار بهینه تلقی کنند، به صورت کارتر و باتلفات توان کمتر عمل می نماید. ایشان برای اینکار با بکارگیری یک سنسور تابش در هر ماژول و تعیین منحنی تقریبی توان ولتاژ یک آرایه فوتولتائیک، ولتاژ بهینه متناظر با توان ماکزیمم جهانی را تعیین کرده و با استفاده از کنترلر تناسبی انتگرالی، نقطه عملکرد سیستم را به این ولتاژ بهینه منتقل می کنند. نتایج کار آنها موید کارایی روش پیشنهادی می باشد و نشان می دهد که با بکارگیری این روش، توان خروجی ماژول افزایش می یابد [۱۰].

میزان انرژی دریافتی از نور خورشید توسط صفحات خورشیدی بستگی به میزان تابش خورشید و دمای محیط دارد و این در حالی است که در طول شبانه روز با تغییر شرایط آب و هوایی میزان تابش خورشید تغییر می کند؛ بنابراین سلول های خورشیدی منابع متغیری از انرژی محسوب می شوند. با این وجود سیستم های فوتولتائیک جایگاه وسیعی در تکنولوژی الکترونیک قدرت یافته اند. از دیگر موانع اصلی در مسیر استفاده از سیستم های PV می توان به بازده پایین تبدیل انرژی آنها اشاره کرد. دلیل اصلی بازده پایین الکتریکی تغییر غیرخطی ولتاژ و جریان خروجی همراه با تغییر در میزان تابش، تغییر دمای محیط کار و تغییر بار الکتریکی و سایه است. اغلب اوقات آرایه های PV به طور جزئی یا به طور کامل به وسیله ابرهای عبوری، ساختمان های مجاور و ... دچار سایه می شوند. تحت شرایط سایه جزئی مشخصه آرایه PV بسیار پیچیده شده و دارای چندین ماکزیمم می گردد که این عامل سبب می گردد تا ردیابی نقطه حداکثر توان مشکل تر گردد. همانطوریکه اشاره شد، تاکنون، روش های متفاوتی برای افزایش بازده سلول های خورشیدی استفاده شده است. برخی از این روش ها در حین ردیابی دچار اشکال می شوند و یا پاسخ دهی آنها کند است، گروهی از آنها وابستگی به نوع و ساختار سلول های خورشیدی دارند، پیاده سازی بعضی از آنها بسیار پیچیده و پرهزینه است و ... بهرامی با استفاده از نرم افزار MATLAB/SIMULINK روشی ارائه داده است که که ضمن سادگی پیاده سازی، سرعت و دقت بالای همگرایی به نقطه حداکثر توان لحاظ می گردد.

این روش یک روش دومرحله‌ای است. در مرحله اول نقطه حداکثر توان تخمین زده می‌شود یعنی نقطه کار سیستم به نزدیکی نقطه کار بهینه برده می‌شود و این مرحله نقطه شروع مرحله دوم خواهد بود. سپس مرحله دوم با استفاده از یک کنترل فازی به‌طور دقیق‌تر ردیابی می‌گردد. در این روش ردیابی، اغلب مرحله دوم عمل می‌کند تا اینکه تغییرات تابش و دما از حدی بیشتر شود. در این صورت مرحله اول دوباره راه‌اندازی می‌گردد. درواقع روش ایشان تعمیمی از روش‌های پیشین و مقایسه توانایی عملکرد آنهاست. سیستم مورد مطالعه در این مقاله از دو ماژول سری شده به‌عنوان آرایه فتوولتائیک، باتری به‌عنوان بار و مبدل DC-DC به‌عنوان یک رگولاتور استفاده شده است [۱۷].

ایمانی و نجار به منظور استفاده بهینه از ماژول‌ها و کاهش هزینه سیستم‌های فتوولتائیک، روش کنترلی بر مبنای تئوری مجموعه‌های فازی ارائه داده‌اند. در این روش، دوره کار کلیدزنی پردازشگر توان متصل به ماژول خورشیدی به نحوی کنترل می‌گردد که نقطه حداکثر توان ماژول تحت شرایط مختلف دما و شدت نور حاصل گردد. نتایج کار ایشان نشان داد که استقلال از نوع ماژول بکار رفته و عدم نیاز به سیگنال مرجع و یا نیاز به هرگونه اطلاعات فیزیکی از ماهیت ماژول می‌باشد. همچنین در این روش نیازی به سنسورهای دما و شدت نور نمی‌باشد و کنترلر فازی توانایی ردیابی نقطه حداکثر توان را در شرایط پیش‌بینی نشده و برای هر آرایش دلخواهی از ماژول‌ها دارد.

Kamarzaman و Wei Tan در الگوریتم‌های MPPT موجود برای سیستم‌های PV اعم از تکنیک‌های متعارف تا الگوریتم‌های تصادفی مبنای پیشرفته امروزی را بررسی کرده‌اند. معیارهای طراحی الگوریتم-های MPPT به عوامل مختلفی مانند پیچیدگی طراحی، توانایی ردیابی نقطه توان ماکزیمم، هزینه، حساسیت به تغییرات جوی، سرعت همگرایی و بازدهی کنترل‌کننده برای عملکرد در شرایط جوی غالب بستگی دارد. آنها بیان داشته‌اند که، الگوریتم‌های MPPT معمول، تحت تابش یکنواخت خورشیدی به خوبی کار می‌کنند، اما این الگوریتم‌ها برای تحریک نقطه عملکرد سیستم PV برای ردیابی نقطه توان ماکزیمم مناسب، تحت تغییرات سریع جوی و شرایط سایه جزئی شکست می‌خورند. این موضوع با استفاده از تکنیک‌های MPPT جدید بسته به تصادفی و هوش مصنوعی غالب بود، که عملکرد خوب در ردیابی قله محلی را نشان داده است. علاوه بر این، فرایند ردیابی سریعتر است و قادر به دست‌یابی MPP درست یا قله سراسری بدون نوسان است. یه گفته ایشان امروزه، تحقیق بر روی الگوریتم‌های MPPT با هدف نهایی برای پیدا کردن یک الگوریتم آسان ارزان و پر بازده در

حال انجام است. تقریباً همه انرژی های تجدید پذیر طبیعتاً با مشخصه های غیر خطی کار می کنند، از این رو کنترل کننده MPPT نیاز است که مطمئن شود که برای بهترین استفاده از تکنولوژی گران، سیستم در شرایط بهینه کار می کند [۱۸].

نعیمی و قنبری برای یافتن نقطه توان حداکثر از الگوریتم بهینه سازی مورچگان جهت تعیین سیکل کاری کانورتر DC/DC و در نتیجه ردیابی نقطه حداکثر توان استفاده کرده اند. طبق گفته آنها، الگوریتم بهینه سازی مورچگان یکی از پرکاربردترین الگوریتم های بهینه سازی اکتشافی است که توانایی بالایی در حل مسایل غیرخطی دارد و در عین حال از سرعت همگرایی بسیار خوبی برخوردار است. ایشان به منظور ارزیابی روش پیشنهادی خود از مدل یک نیروگاه خورشیدی تحت سایه جزیی استفاده کرده اند. نتایج مطالعات عددی آنها نشان داده است که روش پیشنهادی عملکرد بسیار خوبی در ردیابی نقطه حداکثر توان در سیستم های فتوولتائیک تحت سایه جزیی دارد [۱۴].

شهبازی و همکاران برای تعیین بهینه MPPT آرایه های خورشیدی در شرایط سایه جزئی با بیان اینکه الگوریتم بهینه سازی کوچ پرندگان قادر به تعیین نقطه بهینه سیستم در شرایط سایه می باشد، اما در هنگام تغییرات سریع و ناگهانی شرایط محیطی (همچون دما و شدت تابش) و سایه، به دلیل کمبود زمان، این الگوریتم در تعیین دقیق نقطه بهینه سیستم ناتوان می باشد، روشی دیگر مبتنی بر سیستم فازی - عصبی تطبیقی ارائه داده اند. آنها ابتدا با استفاده از الگوریتم بهینه سازی کوچ پرندگان، نقطه بهینه آرایه های خورشیدی را در دما و شدت تابش متفاوت و در شرایط سایه جزئی به صورت برون خط بدست آورده و سپس با استفاده از سیستم فازی - عصبی تطبیقی، روشی سریع جهت تعیین توان بیشینه در شرایط متفاوت محیطی و وجود سایه معرفی کرده اند. مزیت اصلی این روش، سرعت همگرایی بالا، عدم قرارگیری در نقاط بهینه محلی و کارکرد بسیار خوب در زمان تغییرات ناگهانی در شرایط محیطی و سایه می باشد [۱۵].

در مرجع بعدی، ترکیبی از روش فازی چندهدفه و الگوریتم کلنی مورچگان (ACO^۱) بعنوان الگوریتم هوشمند برای حل همزمان بازآرایی و جایابی بهینه (سایز و مکان) آرایه های فتوولتائیک (PV) بعنوان تولید پراکنده (DG^۲) و جبران ساز استاتیکی توزیع^۳ بعنوان دستگاه سیستم انتقال متناوب منعطف توزیع (D-FACT^۴) در یک سیستم توزیع، استفاده شده است.

^۱Ant Colony Optimization

^۲Distributed Generation

^۳Distribution-STATCOM

^۴Distribution Flexible AC Transmission System

هدف از این تحقیق شامل کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ (VP^1) و افزایش تعادل بار فیدر می‌باشد. روش گفته شده با استفاده از سیستم نمونه ۳۳ باس $IEEE^2$ اعتبار سنجی شده است. در این مقاله ابتدا معادلات شارش توان در شبکه، معادلات تولید آرایه‌ی PV و معادلات مربوط به D-STATCOM آورده شده و سپس به نحوه اجرا و پیاده سازی روش گفته شده پرداخته شده است. در انتها نیز نتایج بدست آمده نشان دهنده‌ی بهبود تلفات و پروفیل ولتاژ و همچنین تعادل بار است. روش استفاده شده نسبت به روش‌های دیگر نتیجه بهتری داشته است [۱۱].

مرجع دیگری از یک روش مؤثر و هوشمند بازآرایی بر اساس پارتیشن‌بندی آرایه‌ی PV استفاده کرده است. در این روش هدف جست و جوی بهترین اتصال از میان اتصال‌های ممکن در چندین پارتیشن سائز کوچک شده از آرایه و با تجزیه‌ی آن با توجه به محل سایه‌ها برای حصول روش کنترل، است. بنابراین فضای جست و جوی اتصالات ممکن بطور قابل ملاحظه-ای برای استفاده در زمان حقیقی در کاربرد پروسه‌ی بازآرایی در آرایه‌های سائز بزرگ PV کاهش یافته است. در نهایت نتایج بدست آمده با سایر روش‌های موجود نیز مقایسه شده است [۱۲].

مقاله بعدی روشی مؤثر برای جابجایی بهینه‌ی آرایه‌ی PV و بازآرایی در شبکه توزیع شعاعی بطور همزمان برای کاهش تلفات کلی توان اکتیو و بالا بردن سطح ولتاژ شبکه ارائه می‌کند. الگوریتم ارزیابی تفاضلی (DEA^3) مبتنی بر جمعیت برای مشخص کردن بهینه‌ترین ترکیب کلیدزنی، بهینه‌ترین مکان، سائز و تعداد ماژول‌های PV در سیستم توزیع بکار برده شده است. در این مطالعه بسته به بازآرایی فیدر و مکان‌یابی آرایه‌ی PV، چندین حالت در نظر گرفته شده و با هم مقایسه شده اند. در میان تمام ترکیب‌ها، ترکیب بازآرایی و جابجایی آرایه-ی PV، بهره‌برداری PV در ضریب توان ۰/۸۵، بهترین نتیجه را داده است.

مقاله دیگری وضعیت حقیقی جهانی مانند مقدار تغییرپذیری نفوذ PV در یک شبکه تست برای محاسبه‌ی تأثیر آن در بازآرایی شبکه با هدف کاهش تلفات را در نظر گرفته است. این مقاله نشان می‌دهد که یک افزایش تدریجی در نفوذ PV هم در پیکربندی بهینه‌ی و هم در پیکربندی‌ای که بسیار شبیه قبلی می‌باشد، به این معنا که پیکربندی بهینه جدید به سادگی با انتقال بار ترمینال بین فیدر از پیکربندی بهینه قبلی به دست آمده است، نتیجه یکسانی خواهد داشت. این نتیجه به اجتناب از تلاش محاسباتی مجدد در پیدا کردن پیکربندی بهینه زمانی که

¹Voltage Profile

²The Institute of Electrical and Electronics Engineers

³The Differential Evaluation Algorithm

یک تغییر تدریجی در نفوذ PV رخ می دهد، کمک می کند. یک پارامتر ساده یعنی پارامتر حداقل کاهش تلفات توان در تصمیم گیری فیدرهای دخیل در انتقال بار کمک می کند [۲۱]. مطالعه بعدی به بررسی سایه جزئی در آرایه های PV و اثر آن بر عملکرد سیستم پرداخته است. در شرایط سایه جزئی بازآرایی برای تغییر اتصالات پانل در آرایه با هدف افزایش راندمان آرایه PV مد نظر است. در این مقاله از یک روش آنالیز برای پروسه ی پیکربندی مجدد مبتنی بر بهینه سازی لایه ی پانل و ماتریس کلیدزنی با توجه به سایه های جزئی در آرایه ی PV استفاده شده است. [۲۲].

در مرجع دیگری تاثیر واحدهای فتوولتائیک (PV) نصب شده در شبکه های توزیع به پیکر بندی مجدد بهینه برای کاهش تلفات بررسی شده است. در این مقاله یک رابطه سه سطح به منظور توضیح اینکه چگونه باید برای تجزیه و تحلیل کامل و جامع با مسأله مواجه شد، ارائه شده است. همچنین ورژن ساده شده ای از روش بیان شده با در نظر گرفتن یک آنالیز حساسیت دو مرحله ای در این کار انجام شده است: یک آنالیز حساسیت فضایی با توجه به توزیع واحدهای PV، و یک آنالیز حساسیت کمی در مورد نفوذ واحد PV با توجه به ظرفیت شبکه می باشد [۲۳].

لذا با توجه به مطالب عنوان شده، در این تحقیق یک روش ساده و مقاوم جهت ردیابی نقطه حداکثر توان سیستم های فتوولتائیک ارائه شده است. این روش مبتنی بر الگوریتم MOPSO برای ردیابی نقطه ماکزیمم توان برای یک سیستم فتوولتائیک می باشد.

فصل سوم :
روش شناسی تحقیق

۳-۱-۱- انرژی خورشیدی

خورشید، کره ای عظیم به قطر $1/39 \times 10^6 \text{ km}$ (یعنی بیش از ۱۰۰ برابر قطر کره ی زمین) متشکل از گازهای بسیار داغ یونیزه موسوم به پلاسما^۱ است. دمای درون خورشید بین $8 \times 10^6 \text{ K}$ تا $40 \times 10^6 \text{ K}$ تخمین زده می شود، که در آنجا انرژی توسط فرآیند همجوشی هسته ای و در طی فرآیند تبدیل اتم های هیدروژن به اتم های هلیوم آزاد می شود. این انرژی به صورت امواج الکترومغناطیس از سطح خورشید ساطع می شود. کل انرژی تابشی از خورشید، $3/8 \times 10^{26} \text{ MW}$ است که در دمای تقریباً 6000 K و با شار 63 MW/m^2 از سطح خورشید خارج می شود. از این انرژی فقط بخش بسیار کوچکی به زمین می رسد، که برابر $1/7 \times 10^{11} \text{ MW}$ است. انرژی تابشی رسیده به زمین به شکل ذرات بسیار ریزی موسوم به فوتون^۲ ها هستند. انرژی موجود در فوتون ها می تواند توسط روش های مختلف به انرژی حرارتی، انرژی الکتریکی، انرژی شیمیایی و ... تبدیل شود. به عنوان مثال وقتی فوتون ها توسط یک فلز جذب می شوند، انرژی آن ها به انرژی حرارتی تبدیل می شود. زمانی که این ذرات بر یک سلول خورشیدی PV می تابند، انرژی الکتریکی تولید می کنند. در حالی که در صورت تابش بر روی یک گیاه، انرژی آن ها در ترکیب با اکسیژن به انرژی شیمیایی گیاه تبدیل می شود (فرآیند فتوسنتز). همچنین انرژی خورشیدی با گرم کردن سطح زمین، موجب ایجاد جریان باد و با تبخیر آب های سطحی موجب بارش باران می شود [۱].

۳-۱-۱- ثابت خورشیدی

مقدار تابش خورشیدی دریافتی توسط یک سیاره، به فاصله ی آن از خورشید بستگی دارد. فاصله ی زمین از خورشید $1/7\% \pm 150 \times 10^6 \text{ km}$ است. شار انرژی تابشی دریافتی زمین در خارج از جو زمین به ازای یک متر مربع در جهت عمود بر جهت تابش، ثابت خورشیدی نام دارد. این پارامتر با توجه به فاصله ی تقریباً ثابت زمین از خورشید و وجود خلأ در مسیر پرتوها تا رسیدن به جو، مقداری ثابت و برابر 1376 W/m^2 است. این مقدار توسط اندازه گیری های واقعی به دست آمده است [۱].

^۱ Plasma

^۲ Photon

۳-۱-۲- تابش در روی سطح زمین

تابش خورشیدی، قبل از اینکه به سطح زمین برسد، از جو زمین عبور می‌کند. در طی این عبور، به دلیل پدیده‌های جذب و پخش در جو مقدار تابش روی سطح زمین نسبت به خارج از جو کم‌تر می‌شود. دو پدیده‌ی مذکور به دلیل وجود لایه‌ی ازن، بخار آب، CO_2 ، O_2 ، ذرات غبار و... در جو اتفاق می‌افتند. مقدار کاهش تابش، بستگی به مسافت طی شده توسط پرتوها از میان جو دارد. بسته به زاویه‌ی پرتوهای رسیده به سطح زمین این مسافت متفاوت خواهد بود. این مسافت، زمانی کمترین مقدار را خواهد داشت که پرتو، عمود بر زمین بتابد. در این صورت مقدار شار تابشی برابر 1105 W/m^2 خواهد بود. اگر پرتوها با محور عمود بر سطح زمین زاویه‌ی 42° بسازند، فاصله‌ی طی شده در عبور از جو $1/5$ برابر حالت اولیه خواهد شد و شار تابشی به 1000 W/m^2 کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین اگر این زاویه 60° باشد، مسافت، 2 برابر حالت اولیه بوده و شار تابشی به 894 W/m^2 خواهد رسید [۱ و ۲].

۳-۱-۳- تابش خورشیدی کلی، مستقیم و پخشی

پرتوهای خورشیدی در خارج از جو زمین به صورت موازی حرکت می‌کنند. همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد، با رسیدن به جو دو پدیده‌ی جذب و پخش بر روی آن‌ها تأثیر می‌گذارند. در پدیده‌ی جذب، قسمتی از انرژی تابشی خورشیدی توسط مولکول‌های گازی و سایر ذرات موجود در جو جذب می‌شود. به طور متوسط حدود 20% تابش در جو جذب می‌شود.

تابش پخشی^۱ : در اثر پدیده‌ی پخش، جهت پرتوهای خورشیدی تغییر کرده و به صورت تصادفی در همه‌ی جهت‌ها پراکنده می‌شود. این تابش پراکنده شده، تابش پخشی نام دارد.

تابش مستقیم^۲ : پرتوهایی که بدون جذب یا پراکنده شدن در جو به صورت مستقیم به سطح زمین می‌رسند، به عنوان تابش مستقیم شناخته می‌شوند.

تابش کلی^۳ : تابش دریافتی در سطح زمین که مجموع تابش مستقیم و تابش پخشی است، تحت عنوان تابش کلی شناخته می‌شود.

در یک روز آفتابی عادی، تابش پخشی مقداری حدود 15% تا 20% تابش کلی دارد. در روزهای ابری این مقدار افزایش می‌یابد [۱].

¹ Diffuse Radiation

² Direct Radiation

³ Global Radiation

۳-۲- سیستم برق خورشیدی

در حالت کلی دو روش متفاوت برای تولید توان از انرژی خورشیدی وجود دارد. یکی از آن‌ها استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک است که انرژی تابشی خورشید در آن‌ها به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. روش دیگر استفاده از سیستم‌های خورشیدی-حرارتی^۱ است. در این سیستم‌ها ابتدا انرژی تابشی خورشید در یک گردآورنده‌ی خورشیدی به گرما تبدیل شده و سپس این گرما در یک چرخه‌ی تولید توان ترمودینامیکی به توان تبدیل می‌شود. فناوری‌های تولید برق خورشیدی در حال حاضر دارای پیشرفت‌های نوید بخشی می‌باشند و می‌توان انتظار داشت که در آینده نزدیک با پیشرفت و توسعه فناوری‌های جدید در این زمینه و کاهش مداوم قیمت تولید با این روش‌ها، نیروگاه‌های خورشیدی سهم قابل قبولی از مجموع تولید برق مورد نیاز جهان را به خود اختصاص دهند. احداث نیروگاه‌های خورشیدی انتخاب مناسبی در راستای اهداف دراز مدت تأمین انرژی الکتریکی با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی محسوب می‌گردد.

کاربرد انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی برای مصارف بزرگ از امیدهای آینده است. اشکال بزرگ در کاربرد انرژی خورشیدی، متمرکز نبودن، تناوبی بودن و ثابت نبودن مقدار تشعشع خورشید می‌باشد. اگر وسیله‌ای جهت متمرکز نمودن آن تهیه گردد، به طوری که نوسانات خورشید تاثیر زیادی بر روی آن نگذارد، در آن صورت خورشید به یک منبع انرژی بسیار بزرگ تبدیل می‌شود که تا قرن‌ها می‌تواند تأمین کننده نیاز انرژی بشر باشد. با توجه به وضع انرژی در جهان و رشد جمعیت و مصرف روز افزون آن، اگر به طور هوشمندانه رفتار شود، ملاحظه می‌گردد خورشید تنها منبع انرژی است که به وفور و به صورت رایگان و در همه ادوار در اختیار می‌باشد. اگر راندمان تبدیل انرژی خورشید به انرژی مورد نیاز بشر را تنها یک درصد در نظر بگیریم، ۰/۵ درصد سطح کره زمین برای تأمین تقاضای کل انرژی بشر کافی خواهد بود. کشور ما دارای شرایط مناسب و پتانسیل بالایی برای بهره برداری از انرژی خورشیدی می‌باشد و لذا می‌توان انرژی خورشیدی را به عنوان یک منبع تجدید پذیر برای تأمین انرژی مورد نیاز کشور مورد توجه قرار داد.

به طور کلی کاربردهای سیستم فتوولتائیک را می‌توان به سه دسته زیر طبقه بندی

نمود[۲۰]:

۱- سیستم‌های متصل به شبکه^۲

^۱ Solar-Thermal Systems

^۲ Grid connected systems

۲- سیستم های جدا از شبکه^۱

۳- سیستم های پشتیبانی

۳-۲-۱- سیستم متصل به شبکه

سیستم های فتوولتائیک شبکه ای نوع نسبتاً جدیدی از کاربرد انرژی خورشیدی می باشد که در آن علاوه بر تامین بار خانه، ساختمان و سایر مصرف کنندگان توسط سلول های خورشیدی به شبکه برق عمومی نیز وصل می باشد. سیستم های فتوولتائیک به مقدار زیادی با ساختمان ها ترکیب شده اند و در آینده نیز جزو استفاده معمول کاربران خواهند شد. این سیستم ها جهت مصرف خانگی، تجاری و صنعتی به کار می روند. در این نوع کاربرد به طور معمول مقدار آن ها از 0.4 kW تا 100 kW می باشد. این سیستم وقتی که مقدار انرژی تولیدی آن بیش از میزان مصرف کننده باشد برق را به شبکه بر می گرداند. این نوع از سیستم فتوولتائیک مزایایی به صورت زیر دارد :

✓ باتوجه به اینکه سیستم در محل مصرف نصب می شود، تلفات به واسطه توزیع کاهش می یابد؛

✓ فضای اضافی جهت نصب سیستم PV نیاز نمی باشد؛

✓ هزینه تکیه گاه در صورت ترکیب سیستم با ساختمان کاهش می یابد؛

✓ آرایه های PV می توانند به عنوان سقف ساختمان به کار روند و یا این که بر روی پشت بام نصب شوند. سیستم های فتوولتائیک شبکه ای در مقایسه با حالت جدا از شبکه ارزانتر بوده و نیاز به نگهداری کمتری دارند. تنها کار نگهداری سیستم تمیز کردن ماژول های PV برای جلوگیری از پدیده سایه می باشد؛

✓ سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه معمولاً به ذخیره ساز انرژی احتیاج ندارند که فاکتوری جهت بهبود راندمان سیستم به شمار می رود. استفاده از باتری در زمانی که نیاز به تولید انرژی مداوم از سیستم های PV داریم ضروری می باشد. معمولاً زمانی که تولیدات PV جهت تامین بار کافی نباشد، شبکه به کمک آن می آید.

سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه می توانند به دو نوع تقسیم شوند :

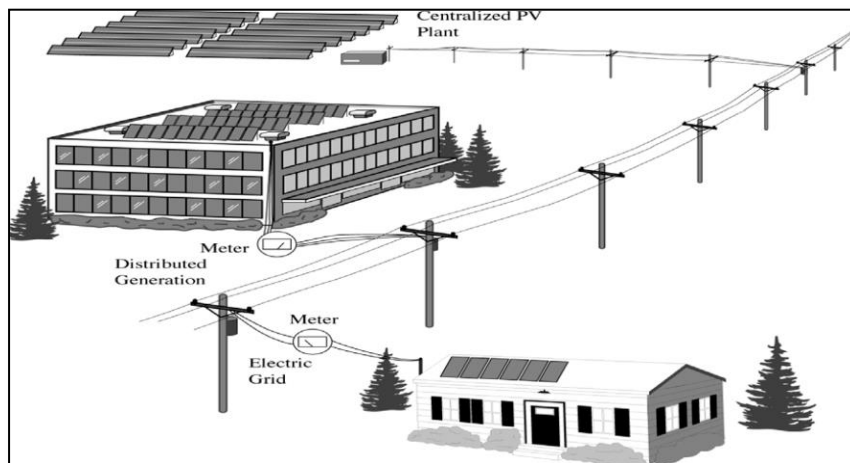
^۱Stand-alone systems

۱-۲-۳ سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه غیر متمرکز

سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه غیر متمرکز عمدتاً یک محدوده توانی کوچک دارند. این سیستم‌ها بر روی پشت بام ساختمان‌ها نصب شده یا با نمای ساختمان‌ها تلفیق می‌شوند. لازم به ذکر است که در این موارد ذخیره انرژی ضروری نیست. در روزهای آفتابی تولید کننده‌های خورشیدی به عنوان مثال برای کاربردهای الکتریکی در خانه، توان تولید می‌کنند، و انرژی اضافی تولید شده به شبکه عمومی داده می‌شود. در طول شب و روزهای ابری، خانه برق مورد نیاز را از شبکه عمومی تأمین می‌کند. در این روش (سیستم‌های PV متصل به شبکه غیر متمرکز) شبکه الکتریکی می‌تواند به عنوان یک واحد ذخیره بزرگ لحاظ شود. در این روش، نرخ پایه مطلوب تعرفه برای الکتریسیته تولیدی از سیستم‌های PV می‌تواند به عنوان یک نیرو و عامل جذاب و یک امتیاز بزرگ برای تزریق الکتریسیته خورشیدی به شبکه باشد.

۱-۲-۳ سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه متمرکز

سیستم‌های PV متصل به شبکه متمرکز، توان نصب شده در محدوده بالای MW دارند. این سیستم‌ها با ایستگاه‌های توان فتوولتائیک مرکزی می‌توانند به طور مستقیم برای تزریق به شبکه‌های ولتاژ متوسط به بالا به کار روند. هم سیستم‌های PV متصل به شبکه غیر متمرکز و هم سیستم‌های PV متصل به شبکه متمرکز از دو قسمت اساسی مازول‌های PV و اینورتر تشکیل شده‌اند. شکل (۱-۳) نحوه اتصال سیستم فتوولتائیک شبکه‌ای را در حالت‌های توزیع پراکنده و متمرکز نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳ نحوه اتصال سیستم‌های فتوولتائیک شبکه‌ای به شبکه برق سراسری

با استفاده از نیروگاه‌های فتوولتائیکی متصل به شبکه سراسری به صورت متمرکز و یا غیرمتمرکز (ضمن تقویت انرژی جاری در شبکه توزیع)، به دلیل تزریق ولتاژ و جریان مانع افت

ولتاژ شبکه توزیع گردیده و در نتیجه از فشار بر روی نیروگاه ها در طی روز جلوگیری می کند. این امر به مثابه این است که هر مشترک شبکه سراسری برق، با نصب سیستم متصل به شبکه، خود به عنوان تولید کننده پراکنده کوچک، می تواند به صورت یک نیروگاه کوچک عمل نماید. در این روش علاوه بر تامین بخشی از انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف کننده، انرژی الکتریکی (مازاد بر مصرف) به شبکه سراسری برق تزریق می شود.

۳-۲-۲- سیستم های فتوولتائیک منفصل از شبکه

کاربرد سیستم های فتوولتائیک زمینی می تواند به دو صورت سیستم های فتوولتائیک خود ایستا و سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه تقسیم شود. سیستم های توان فتوولتائیک به صورت خود ایستا در توان پیک خود می توانند توانی از حدود چندین میلی وات تا چندین کیلووات تولید نمایند. این نوع از سیستم های فتوولتائیک هیچ ارتباطی با یک شبکه الکتریکی ندارند. به عبارت دیگر تامین توان الکتریکی در این سیستم ها در زمان های بدون تابش (مثلاً در شب) یا با تابش خیلی کم (مثلاً در زمان های ابری) نیازمند وجود یک سیستم ذخیره در این سیستم ها می باشد. اگر این سیستم ها فقط در طول زمانی که تابش خورشید کافی است برای تولید توان الکتریکی به کاربرده شوند وجود یک سیستم ذخیره در این سیستم ها ضروری نیست. در حال حاضر گستره تنوع زیادی از کاربرد سیستم های مستقل از شبکه وجود دارد، از ماشین حساب و ساعت های خورشیدی گرفته تا سیستم هایی برای کنترل ترافیک و سیستم هایی که قادر به تامین نیاز توان الکتریکی یک یا چند ساختمان در مناطق دور افتاده هستند. این سیستم ها می توانند به صورت سیستم های DC یا بدون باتری ذخیره و یا به صورت سیستم های AC با یک اینورتر طراحی شده باشند. سیستم های PV متصل به شبکه معمولاً با یک شبکه الکتریکی عمومی از طریق یک اینورتر مناسب (به خاطر این که مازول PV فقط توان DC تحویل می دهد) ارتباط دارند. به طور ایده ال، تقریباً هیچ اثری از سیستم های PV روی کیفیت توان شبکه سراسری، بار روی خطوط، ترانسفورماتورها و ... ایجاد نمی شود. ولی به هر حال برای یک سهم بزرگی از سیستم های فتوولتائیک در شبکه های ولتاژ ضعیف، این پارامترها نیاز است که محاسبه شوند.

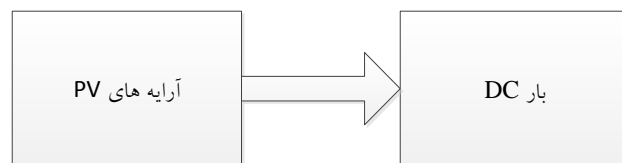
طراحی سیستم های منفصل از شبکه به گونه ای است که مستقل از شبکه برق سراسری عمل نموده و غالباً جهت تولید بار الکتریکی DC و یا AC طراحی می شوند. به منظور تولید برق توسط سیستم های منفصل از شبکه، می توان از توربین های بادی، ژنراتورها و یا از شبکه برق سراسری به عنوان نیروی کمکی استفاده نمود. به این گونه سیستم ها، سیستم هیبرید

فتوولتائیکی گفته می‌شود. در سیستم‌های منفصل از شبکه به منظور ذخیره انرژی و بکارگیری آن در هنگام شب و یا مواردی که نور خورشید به اندازه کافی وجود ندارد، از باتری استفاده می‌شود.

سیستم های فتوولتائیک جدا از شبکه می تواند به صورت زیر دسته بندی شود [۲۰]:

۱-۲-۲-۳- سیستم نصب شده مستقیم

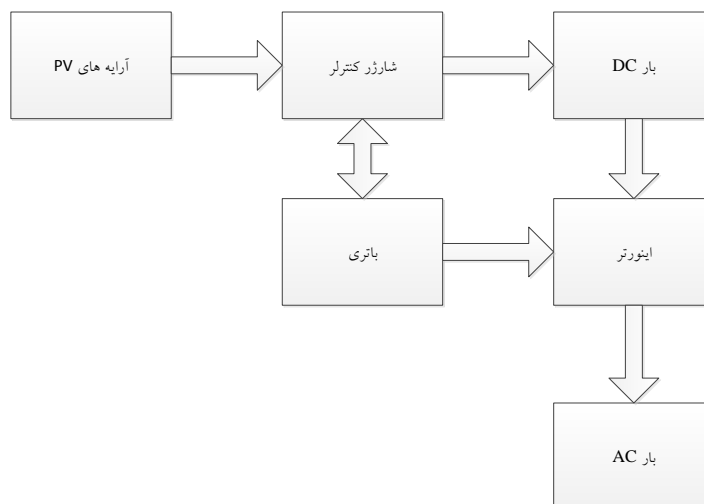
در این حالت بار به صورت مستقیم به آرایه PV وصل می شود. شکل (۲-۳) بلوک دیاگرام نصب مستقیم را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳ حالت نصب مستقیم سیستم فتوولتائیک جدا از شبکه

۲-۲-۲-۳- سیستم فتوولتائیک جدا از شبکه با باتری

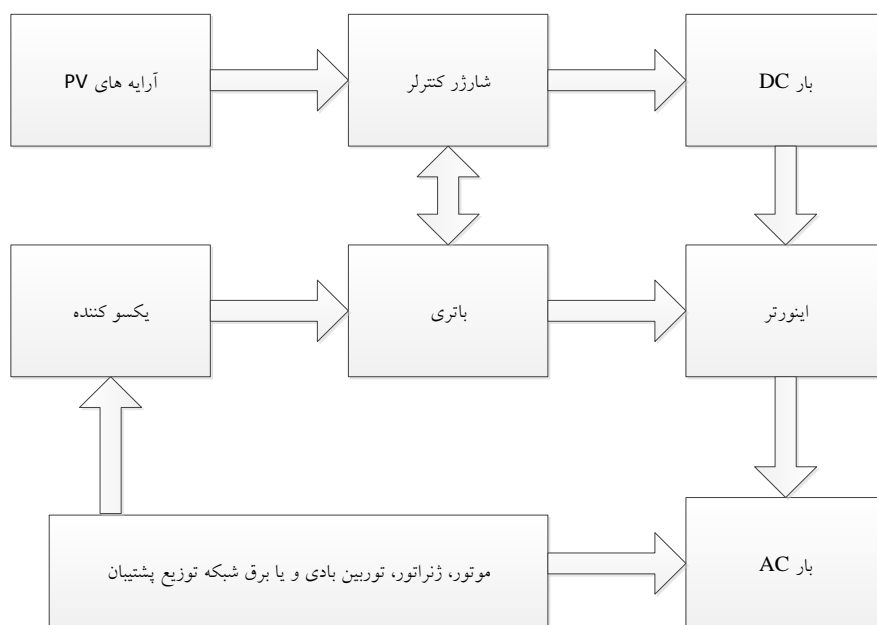
این نوع از سیستم قادر است که انرژی را در باتری ها ذخیره کرده و بار زمانی که آرایه های PV توان لازم را تولید نمی کنند، از آن استفاده کند. شکل (۳-۳) سیستم جدا از شبکه را به همراه باتری نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳ سیستم فتوولتائیک جدا از شبکه با ذخیره ساز انرژی

۳-۲-۲-۳- سیستم هیبریدی

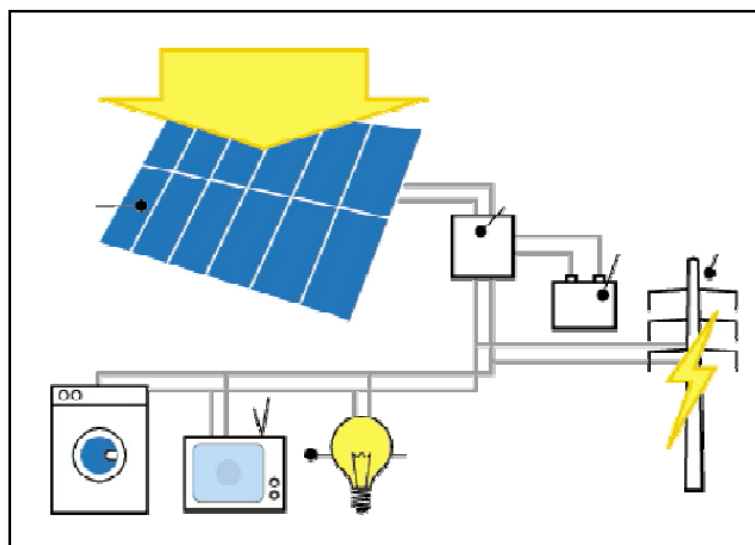
زمانی که سیستم فتوولتائیک جدا از شبکه در ترکیب با دیزل ژنراتور و یا توربین بادی به کار می‌رود، سیستم هیبریدی به وجود می‌آید، شکل (۴-۳) یک سیستم هیبریدی را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴ ترکیب سیستم فتوولتائیک با سایر منابع انرژی

۳-۲-۳- سیستم های پشتیبانی

مهمترین کاربرد سیستم های پشتیبانی فتوولتائیکی، در طی دوره قطع برق شبکه سراسری است. یک سیستم پشتیبانی فتوولتائیک کوچک تأمین کننده برق مورد نیاز تجهیزاتی همچون روشنایی، کامپیوتر، تلفن، رادیو، فاکس و ... می باشد و سیستم های بزرگ تر می توانند برق مورد نیاز تجهیزاتی همچون یخچال را در زمان قطع برق تأمین نمایند. شکل (۳-۵) نمونه از سیستم پشتیبانی فتوولتائیکی را نشان می دهد.



شکل ۳-۵ سیستم پشتیبان فتوولتائیکی

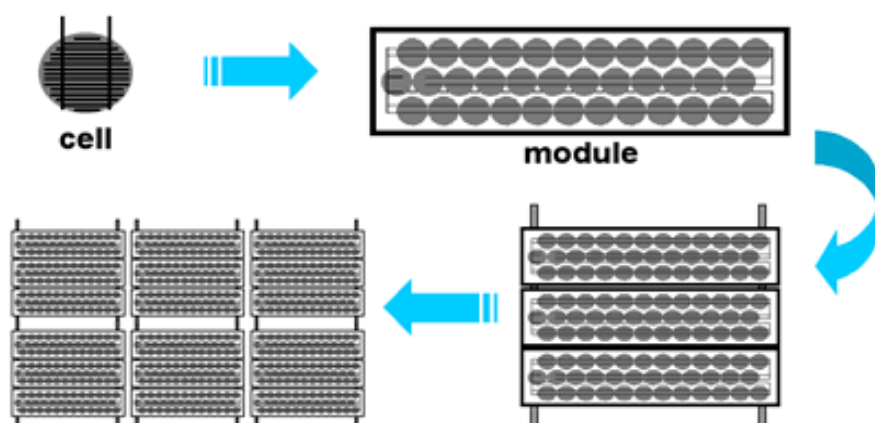
۳-۳-۱ اجزا کلی سیستم فتوولتائیک

اجزا کلی یک سیستم فتوولتائیک عبارتند از:

صفحه‌های (پنل‌های) خورشیدی، باتری‌های ذخیره، مبدل برق مستقیم به متناوب، دستگاه کنترل کننده، سازه فلزی یا ساختمانی و کابل‌های ارتباط.

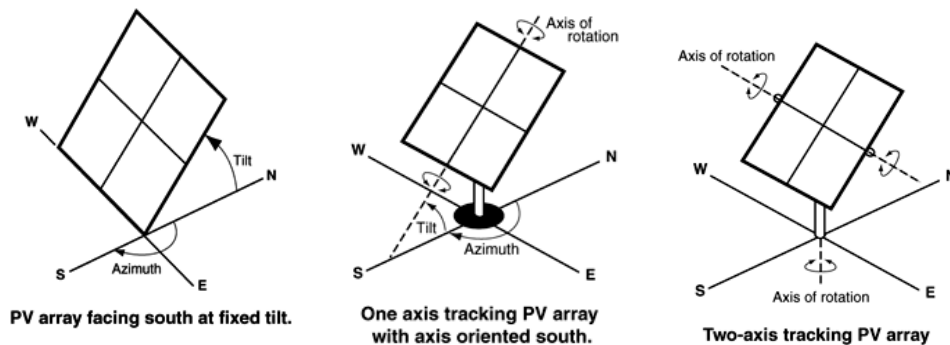
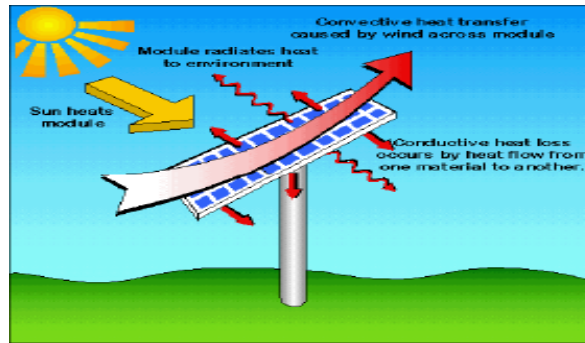
۳-۳-۱-۱ پنل‌های خورشیدی

پنل‌های خورشیدی عبارتند از تعدادی ماژول که به هم متصل شده‌اند و از اجتماع پنل‌ها آرایه‌ها به وجود می‌آیند. شکل (۳-۶) آرایش سلول‌ها را در آرایه‌های خورشیدی نشان می‌دهد.



شکل ۳-۶ نحوه اتصال سلول‌های خورشیدی در پنل

آرایه‌های فتوولتائیک به طور کلی به دو حالت سری یا موازی به هم متصل می‌شوند. این آرایه‌ها همانطور که در شکل (۳-۷) دیده می‌شود به حالت ثابت و یا ردیاب متحرک که روزانه یا بطور فصلی با زاویه تابش خورشید خود را تطبیق می‌دهند، نصب می‌شوند. ردیاب‌ها بر دو نوع هستند، ردیاب‌هایی که بر روی یک محور و یا بر روی دو محور دوران می‌کنند. ردیاب‌ها همواره پنل‌های خورشیدی را در جهت تابش خورشید نگاه داشته بنابراین موجب افزایش راندمان خروجی پنل‌ها می‌شوند [۵].



شکل ۳-۷ نحوه جهت گیری پنل های PV برای دریافت بیشترین تابش

۳-۲-۳- انواع سلول های فتوولتائیک

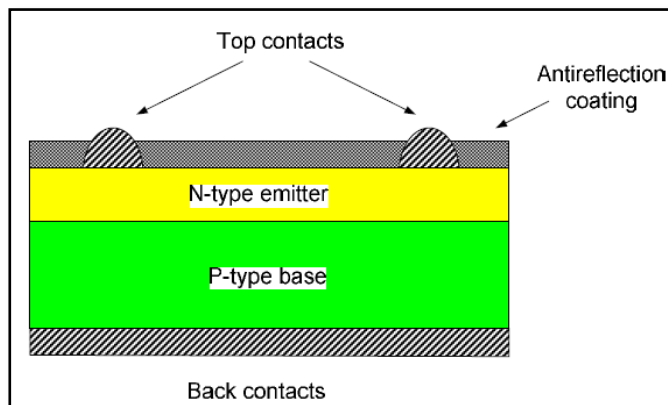
همانطوریکه بیان شد، سلول های خورشیدی تجهیزاتی هستند که می توانند نورخورشید را به برق تبدیل کنند. سلول های خورشیدی از مواد نیمه رسانا ساخته می شود و شبیه دیودهای الکترونیکی می باشند. در صنعت، سلول های خورشیدی با هم ترکیب شده و به صورت ماژول به کار می روند. با اتصال تعداد زیادی از سلول های خورشیدی به هم می توان ولتاژ و جریان مورد نظر را به دست آورد. سلول های خورشیدی مختلف زیادی در بازار وجود دارد، هم چنین مقدار بسیاری نیز در حال تحقیق و بررسی می باشند. بیشترین ماده نیمه هادی که برای ساخت سلول های خورشیدی به کار می رود سیلیکون می باشد. در میان سلول های خورشیدی سیلیکونی سه تکنولوژی کاربرد بیشتری دارد که عبارتند از: سیلیسیم تک بلوری^۱، سیلیسیم چند بلوری^۲ و سیلیسیم بی شکل^۳.

از میان این سه ساختار، نوع چند بلوری از همه کاربرد بیشتری دارد؛ چراکه ساخت این نوع از سلول ارزانتر از نوع تک بلوری بوده و همچنین بازده آن بیشتر از نوع بی شکل می باشد. شکل (۳-۸) ساختار اصلی سلول های سیلیکونی را نشان می دهد.

^۱Monocrystalline

^۲Polycrystalline

^۳Amorphous



شکل ۳-۸ ساختار اصلی سلول های سیلیکونی

۳-۳-۳- باتری

بانک باتری تعدادی باتری را شامل می شود و به صورت سری به هم متصل شده و ولتاژ مورد نیاز سیستم را تأمین می نمایند. در سیستم های منفصل از شبکه، انرژی ذخیره شده در باتری ها، در هنگام شب و یا مواقع ضروری دیگر به کار گرفته می شود. در سیستم های پشتیبانی در مواقع قطع برق شبکه سراسری از باتری استفاده می شود، سیستم های متصل به شبکه نیازی به باتری ندارند.

۳-۳-۴- دستگاه کنترل کننده شارژ باتری

دستگاه کنترل شارژ باتری در سیستم های فتوولتائیک منفصل از شبکه، به منظور جلوگیری از تخلیه کامل باتری ها و یا شارژ بیش از حد باتری ها به کار می رود. کلیه سیستم های استاندارد منفصل از شبکه خورشیدی خانگی دارای دستگاه کنترل شارژ باتری هستند.

۳-۳-۵- سازه های فلزی یا ساختمانی

سازه های فلزی یا ساختمانی از اجزاء اصلی سیستم های فتوولتائیک بوده و نگهدارنده ماژول ها در جهت و زاویه خاص به سمت نور خورشید هستند. جنس سازه های ساختمانی از فلز یا مواد مصنوعی مقاوم در برابر عواملی نظیر باد و بارندگی می باشد. سازه های ساختمانی متناسب با موقعیت استقرار سیستم های فتوولتائیک طراحی و انتخاب می گردند.

۳-۳-۶- کنترل دو طرفه

در سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه در زمان هایی که برق تولیدی از میزان تقاضا بالاتر باشد انرژی تولیدی پنل ها به شبکه وارد می شود، همچنین در مواقع شب و روزهای ابری سیستم از شبکه برق می گیرد، بنابراین جهت حسابرسی ماهانه یا سالیانه، مقدار

برق خریداری و فروخته شده به شبکه لازم می باشد، برای این کار از کنتور دو طرفه استفاده می شود.

۳-۳-۷- مبدل DC/AC (اینورتر)

برق تولیدی توسط پنل های خورشیدی به صورت DC بوده و با کمک مبدل ها به برق AC تبدیل می گردد. مبدل ها در انواع و ساینزهای مختلفی ساخته می شوند و برخی از آنها بازده بسیار بالایی دارند. اینورتر در هنگام عدم نیاز به برق، به طور خودکار انتقال نیرو را قطع می نماید. در کاربرد سیستم های فتوولتائیک به صورت شبکه ای، اینورتر این وظایف را برعهده دارد: تبدیل شکل موج جریان به حالت سینوسی، تبدیل جریان DC به جریان AC و بالا بردن ولتاژ آرایه های PV در صورتی که کمتر از ولتاژ شبکه باشند. سیستم فتوولتائیکی که به شبکه متصل می باشد نیاز به اینورتر متصل به شبکه دارد.

تعدادی از ساختارهای مختلف وجود دارد که اینورترها در هر کدام از آن ها اتصال های متفاوتی به سیستم فتوولتائیکی دارند. هر یک از این ساختارها معایب و مزایایی دارند که انتخاب هر کدام از آنها به کاربرد سیستم فتوولتائیک بستگی دارد. در طی دهه گذشته تکنولوژی اینورترهای PV پیشرفت چشمگیری داشتند. هزینه اینورتر در دو دهه گذشته حدود ۵۰ درصد کاهش یافته و در مقابل راندمان و قابلیت اطمینان آن افزایش قابل ملاحظه ای داشته است. به منظور کاهش نسبت هزینه بر ولتاژ سیستم های فتوولتائیک، طرح های جدیدی از اینورترها توسعه یافته است. دسته بندی کلی اینورترهای سیستم فتوولتائیک شبکه ای عبارتست از: اینورترهای مرکزی^۱، اینورترهای ردیفی^۲، اینورترهای متصل به ماژول^۳ و اینورترهای چندردیفی^۴ [۲۰].

۳-۴- مزایا و معایب سیستم های فتوولتائیک

۳-۴-۱- مزایای تکنولوژی فتوولتائیک

- ۱- تکنولوژی بکار رفته در ساخت ماژول های فتوولتائیک از مصالح بادوامی است. در گذشته دوام سیستم ها را حدود ۱۰ سال در نظر می گرفتند، اما با پیشرفت های انجام شده، متوسط عمر مفید این سیستم ها به ۲۵ سال رسیده است؛
- ۲- در سیستم منابع تجدید ناپذیر، هزینه های حمل و نقل مواد و نیروی کار بسیار بالا است. اما در سیستم های فتوولتائیک چنین هزینه هایی در چرخه تولید وجود ندارد. زیرا سیستم به بازرسی های دوره ای و نگهداری های گهگاهی با هزینه اندک نیاز دارد؛

^۱Central Inverters

^۲String Inverters

^۳Module Integrated Inverters

^۴Multi-String Inverters

۳- در سیستم‌های فتوولتائیک نیازی به منابع سوختی فسیلی و ... نمی باشد. بنابراین مضرات زیست محیطی ناشی از این منابع و هزینه های حمل و نقل و انبارداری آنها حذف می شود؛

۴- سیستم های فتوولتائیک بدون حرکت و کاملاً بی صدا بوده و آلودگی صوتی ندارند؛
۵- با توجه به ماژول‌های پیش ساخته در این سیستم ها می توان الکتریسیته را در مقیاس های مختلف تولید کرد، بطوریکه با سیستم های فتوولتائیک می توان از چند میلی وات تا چندین مگاوات انرژی تولید کرد. اگر این سیستم را بصورت ماژول های کوچک و منفرد استفاده کنیم، برای نیاز های بسیار ناچیز و اگر در مزرعه ای با مجموعه ای از آرایش های گسترده فتوولتائیک بکار بریم، نیروگاهی عظیم ایجاد کرده ایم؛

۶- در مواقعی که انتقال برق شهری امکانپذیر نباشد، می توان از این سیستم ها بهره گیری کرد. زیرا بصورت مستقل الکتریسیته تولید کرده و نیازی به نگهداری فراوان ندارند. در مناطق دور افتاده و صعب العبور، استفاده از این سیستم ها گزینه مناسبی خواهد بود؛

۷- سیستم های خورشیدی معمولاً دارای ضریب امنیتی بسیار بالایی می باشند،
۸- توان فتوولتائیک می تواند در هر نقطه از کره زمین به وسیله خورشید تولید شود. (مناطق گرم استوایی، مناطق با آب و هوای معتدل یا حتی سرد، شهرها و روستاها بخصوص مناطق دور افتاده از شبکه برق رسانی)؛

۹- حجم ماده به کار رفته در این سلول ها کم بوده و ساخت آنها نسبتاً آسان است؛
۱۰- سلول ها و ماژول‌های فتوولتائیک دارای هیچ قسمت متحرکی نیستند، پس هیچ گونه اتلافی در اثر اصطکاک در آنها وجود ندارد؛

۱۱- این سیستم ها هیچ گونه ضایعاتی را به وجود نمی آورند و ماده مورد استفاده در آنها بی خطر و غیر سمی می باشد و در ضمن هیچ تشعشعی از خود ساطع نمی کنند؛

۱۲- مانند سایر دستگاه هایی که در دمای نسبتاً بالا کار می کنند، احتیاج به آب خنک کننده ندارند؛

۱۳- این سلول ها نمای خارجی نامناسبی ندارند و حتی اگر با اندکی دقت طراحی شوند می توانند از نظر معماری به زیبایی نمای ساختمان هم کمک کنند [۳۳-۳۶].

۱-۴-۳- معایب تکنولوژی فتوولتائیک

۱- مهمترین ایرادی که به این سیستم ها وارد است، هزینه‌های بالای نصب و راه اندازی آنها است، در حالی که با نگاه کارشناسانه و دقیق، این سیستم ها در دراز مدت به صرفه خواهند بود؛

۲- با توجه به نیاز این سیستم ها به نور خورشید، تغییرات جوی بر مقدار انرژی تولید شده در این سیستم ها موثر است. پس لازم است که این موضوع را در طراحی سیستم های مورد توجه قرار داد؛

۳- در بیشتر مواقع لازم است از باتری ها به منظور ذخیره انرژی استفاده شود، که این موضوع سبب افزایش هزینه ها می شود؛

۴- با توجه به نو بودن کاربرد تکنولوژی فتوولتائیک در ساختمان، تنها بخشی از مردم با امکانات و ارزش های آن آشنا هستند و این موضوع در توسعه بازار آن تأثیر منفی دارد [۳۴].

۳-۵- شرایط مناسب جهت نصب و راه اندازی سیستم های فتوولتائیک

میزان راندمان پنل های فتوولتائیک بستگی به جهت یابی، مکان یابی و شرایط آب و هوایی دارد. یک پنل فتوولتائیک در تابستان ۵ برابر و در زمستان ۲ برابر قدرت اسمی خود انرژی تولید می کند. به عنوان مثال یک پانل ۵۰ وات در تابستان ۲۵۰ وات در ساعت و در زمستان ۱۰۰ وات در ساعت انرژی تولید می نماید. تعداد روزهای ابری، وزش باد و سرعت آن برای تعیین استحکام سازه فلزی یا ساختمانی، میزان بارندگی و ارتفاع برف برای تعیین ارتفاع صفحات خورشیدی از سطح زمین، میزان شرجی بودن و یا بخارآلود بودن هوا، میزان صاعقه و رعد و برق برای پیش بینی تجهیزات ایمنی مناسب، از جمله عواملی است که در هنگام نصب سیستم های فتوولتائیک باید مورد بررسی قرار گیرند. جهت نصب پنل های PV در ارائه بازده ماکزیمم، دارای اهمیت بسیار است. برای پنل های ثابت در مقایسه با پنل های ردیاب که ماکزیمم تشعشع خورشید را ردگیری می نمایند جهت جنوبی در نیم کره شمالی بهترین جهت به منظور جمع آوری تشعشعات خورشیدی است. ۱۵ درجه انحراف به غرب یا شرق تأثیر چندانی بر بازده پنل های خورشیدی نخواهد داشت. علاوه بر جهت، زاویه انحراف پنل نیز عامل مهمی در طراحی سیستم های خورشیدی است. زاویه انحراف، زاویه ای است که پنل های خورشیدی با سطح افق می سازند و میزان آن از صفر تا ۹۰ درجه متغیر است. به دلیل انحراف محور زمین، زاویه تابش خورشید در طول سال تغییر می کند، بنابراین زوایای انحراف در زمستان و تابستان با هم متفاوت می باشند. در تابستان زاویه انحراف معمولاً بین ۱۰ الی ۱۵ درجه کمتر از عرض جغرافیایی و در تمام فصول سال زاویه انحراف در حدود ۱۰ الی ۱۵ درجه بیشتر از عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر است. بارش برف نیز در مقدار زاویه بهینه انحراف مؤثر است. به منظور جلوگیری از تجمع برف بر روی پنل های خورشیدی معمولاً زاویه انحراف را حدود ۶۰ درجه در نظر می گیرند.

در بررسی موقعیت زمانی محل نصب و شرایط آن نسبت به حرکت خورشید، امکان وجود سایه ارتفاعات و کوه‌های اطراف و یا حتی سایه ساختمان‌ها و درختان و تعیین ساعاتی از روز که ممکن است وجود این سایه‌ها مانع از تابش مستقیم نور خورشید به صفحات خورشیدی باشد، بررسی می‌شود. بنابراین سعی بر این است که نه تنها پنل‌های خورشیدی بر یکدیگر، بلکه ساختمان‌ها و موانع طبیعی دیگر نیز بر روی پنل‌های خورشیدی سایه نیاندازند. وجود ۵۰٪ سایه بر روی آرایه‌های PV توان خروجی را به ۸۰٪ می‌رساند. برای منازلی با دودکش محل نصب آرایه‌ها تا حد امکان بایستی از سایه دودکش و همچنین ذرات دوده خروجی از دودکش دور باشد.

طول و عرض جغرافیایی و نیز ارتفاع محل نصب سیستم‌های خورشیدی فاکتورهای لازم برای محاسبه قدرت تابش نور خورشید می‌باشند. معمولاً ۸۰ الی ۸۵ درصد نور خورشید در روزهای آفتابی دریافت می‌شود و این میزان در ارتفاعات و مناطق بیابانی بیشتر است. بسته به سائز آرایه‌های PV در شرایط سایت، آرایه‌ها ممکن است بر روی پشت بام، زمین و یا دکل‌ها نصب شوند. طراحی آرایه‌های نصب شده بر روی ساختمان‌ها، به گونه‌ای است که در مقابل سرعت بادی معادل ۱۷۵ km/h مقاوم هستند. به منظور نصب پنل‌های PV بر روی زمین از پایه‌های بتونی برای ثابت نگاه داشتن آنها استفاده می‌شود. ارتفاع نصب آرایه از سطح زمین بایستی بالاتر از ارتفاع ماکزیمم بارش برف در منطقه باشد. در مورد سیستم‌های کوچک (۱) یا ۲ آرایه (PV) می‌توان پنل‌های خورشیدی را بر روی دکل‌هایی نصب کرد تا از منابع سایه ساز اطراف از جمله درختان و ساختمان‌ها به دور باشند [۲۰].

۳-۶- دنبال کننده های خورشیدی

دنبال کننده خورشیدی، یک سیستم مکانیکی است که مجموعه ماژول‌های فوتوولتائیک را در طول روز رو به خورشید نگه میدارد یا باعث می شود مجموعه‌ای آینه نور خورشید را همواره به نقطه مشخصی بازتابش کند. این دنبال کننده ها در مورد ماژول های فوتوولتائیک بازده سیستم را افزایش داده، از اندازه آن می کاهند و همچنین قیمت آنرا به ازای یک کیلو وات ساعت کاهش می دهند. دنبال کننده های خورشیدی به کمک سنسورهای خورشیدی و سیستم کنترل، به صورت خودکار خورشید را ردیابی می نمایند. پارامترها مهم توصیف کننده مشخصات فنی دنبال کننده های خورشیدی عبارتند از: نوع دنبال کننده از نظر محورها و جهت قرارگیری، توان ماژول، نوع و توان نامی موتور دنبال کننده خورشیدی، نوع کنترل دنبال کننده خورشیدی، محدوده ردیابی، حداکثر سرعت باد، ارتفاع پایه، زاویه ارتفاع، نوع سیستم حرکت

افقی، نوع سیستم حرکت عمودی، نوع پایه، کنترل کننده و سنسورهای اندازه گیری. فهرست این پارامترها در جدول (۳-۱) ارائه شده است.

همانطور که گفته شد استفاده از سیستم های ردیاب خورشید یکی از عوامل مهم در بهبود عملکرد و افزایش میزان انرژی تولیدی در سیستم های خورشیدی می باشد و تا به امروز هم فعالیت های زیادی در این عرصه صورت گرفته است. روش های مختلف الکترونیکی، کنترلی، کامپیوتری و نجومی در به دست آوردن موقعیت خورشید مطرح گردیده است و مکانیزم های متعددی هم در هدایت و تنظیم ساختار پنل خورشیدی به سمت پرتوهای خورشید طراحی گردیده است. با توجه به فعالیت های گسترده ای که در این خصوص و در بخش های مختلف آن صورت گرفته و به منظور تشریح بهتر انواع الگوریتم ها، روش ها و مکانیزم ها، لازم است انواع سیستم های ردیابی را طبقه بندی کرد [۵ و ۶].

جدول ۳-۱ مشخصات دنبال کننده های خورشیدی

عنوان	واحد محاسبه	توضیحات
نوع دنبال کننده	---	از نظر تعداد محورها و جهت قرارگیری
ظرفیت دنبال کننده	کیلو وات (DC)	بصورت ظرفیت مازول ها یا ظرفیت موتور بیان می شود.
نحوه کنترل	---	دستی یا اتوماتیک
آرایش بالها	---	مساحت کل مازول هایی که در هر بال می توانند قرار بگیرند.
تعداد ردیف ها	---	مساحت مازول های هر بال ضربدر تعداد ردیف ها مساحت کل را تشکیل می دهد.
محدوده ردیابی	درجه	---
سیستم پایش	---	وجود یا عدم وجود سیستم پایش و محل قرار گیری آن در صورت وجود
بیشترین سرعت باد	متر بر ثانیه	---
محرك دنبال کننده	---	نوع محرك و محل قرار گیری آن تعیین می شود
مشخصات منبع تغذیه	---	نوع منبع تغذیه و محدوده ولتاژ آن
محدوده درجه حرارت	درجه سانتیگراد	بیشترین و کمترین درجه حرارت مجاز
زاویه ارتفاع	درجه	---
ارتفاع پایه	متر	---
ولتاژ موتورهای حرکتی	ولت (DC)	---
نوع پایه	---	---
سنسور	---	نوع سنسور و چگونگی عملکرد آن
امکانات اضافی	---	در صورت وجود امکانات اضافی مانند پشتیبانی از سنسورهای حرارت و باد

هر سیستم ردیاب خورشیدی را می توان به دو بخش عمده تقسیم کرد که عبارتند از : بخش اول سیستم کنترلی و بخش دوم مکانیزم و ساختار. کلیه امور مربوط به ارسال، دریافت و پردازش اطلاعات و داده ها، انجام محاسبات لازم، تصمیم گیری و صدور دستورات عملیاتی و اموری از این دست در بخش اول هر سیستم ردیاب خورشیدی انجام می گیرد. برپا نگهداشتن پنل های خورشیدی، اجرای فرامین بخش کنترل در خصوص چرخش پنل ها به میزان مشخص و امور این چنینی بر عهده بخش دوم می باشد. لذا به منظور طبقه بندی سیستم های ردیاب خورشیدی می توان از این دو منظر به انواع سیستم های ردیاب خورشیدی نگاه کرد و آنها را مورد طبقه بندی قرار داد.

از این دو منظر چندین دسته بندی از سیستم های ردیاب ارائه گردیده است که در ادامه به ارائه و تعریف آنها پرداخته می شود. در یک دسته بندی انواع سیستم های ردیاب خورشیدی از نظر الگوریتم کنترلی به دو دسته الگوریتم کنترلی حلقه بسته و حلقه باز تقسیم شده اند. بر این اساس الگوریتم کنترلی حلقه بسته اینگونه است که این سیستم ها بر اساس دریافت فیدبک کنترلی کار می کنند. در این سیستم ها، سیگنال هایی از سنسورهایی که موقعیت خورشید را تعیین می کنند به یک کنترلر ارسال می گردد و پس از انجام پردازش های لازم خروجی مناسب صادر می گردد. سنسور در این سیستم ها می تواند از انواع سنسورهای نوری بوده و یا با ارائه ایده هایی از اثر سایه به اشکال مختلف و یا از گرماسنج خورشیدی استفاده شده باشد. سیستم هایی هم که بر اساس منطق فازی و یا بر اساس شبکه های عصبی طراحی می گردند در این دسته قرار می گیرند. الگوریتم حلقه باز به روش هایی اطلاق می گردد که در آنها ورودی سیستم توسط استفاده از فاکتورها و الگوریتم های خاصی محاسبه شده و بدون استفاده از فیدبک، هدف تعیین می گردد. در این سیستم ها که اغلب بر اساس محاسبات ریاضی و بدون مشاهده خورشید موقعیت آن به دست می آید، فاکتورهایی مانند مشخصات موقعیت جغرافیایی محل نصب دستگاه و زمان بارگذاری دستگاه از نظر روز و ساعت از مهم ترین مواردی است که به عنوان ورودی به این سیستم ها داده می شود. این سیستم ها ساده تر و ارزان تر از انواع حلقه بسته بوده و خروجی پردازش ها به منظور اعمال کنترل مشاهده نمی گردد. شکل (۳-۹) نمونه ای از دنباله های خورشیدی نصب شده را نشان می دهد.



شکل ۳- ۹ نمونه ای از دنباله های خورشیدی نصب شده

ساده ترین حالت نصب آرایه ها به صورت ثابت است. البته به دلیل تغییر زاویه خورشید در طول روز و همچنین جابجایی آن در فصول مختلف سال، میزان تابش خورشید به صفحات ثابت در طول روز و سال کاهش می یابد. برای بهبود بخشیدن این ضعف می توان از روش نصب ثابت فصلی استفاده نمود. در این حالت زاویه نصب آرایه های فتوولتاییک برای هر فصل متفاوت بوده و در هر فصل زاویه نصب باید تغییر یابد. حالت دیگر استفاده از ردیاب متحرک می باشد. ردیاب ها دارای دو نوع هستند، ردیاب هایی که بر روی یک محور و یا بر روی دو محور دوران می کنند و همواره پانل های (آرایه های) فتوولتاییک را در جهت تابش خورشید نگاه می دارند، بنابراین موجب افزایش بازده خروجی پانل ها (آرایه ها) می شوند. در پانل ها با پایه ثابت، پانل ها روی پایه هایی با شیب ثابت نصب شده و رو به خورشید قرار داده می شوند. برای مناطقی مانند ایران که در نیم کره شمالی هستند، پانل های فتوولتاییک باید به گونه ای نصب شوند که سطح جاذب نور به سمت جنوب باشد، زیرا خورشید در طول سال در وجه جنوبی رؤیت می گردد. اما برای اینکه میزان جذب سالانه انرژی توسط یک سیستم خورشیدی به حداکثر میزان خود برسد، بهتر است که زاویه شیب ثابت، تقریباً برابر با عرض جغرافیایی منطقه نصب باشد. مثلاً برای شهر تهران در صورتی که پانل ها با زاویه ۳۶ درجه به سمت جنوب نصب شوند، بالاترین دریافت انرژی را در طول سال خواهند داشت. البته این یک نظر قطعی نمی باشد و برای کسب بیشترین مقدار انرژی لازم است محاسبات به دقت انجام شود.

نکته مهمی که در اینجا باید به آن اشاره نمود این است که حداقل زاویه نصب بایستی از ۱۰ درجه کمتر نباشد. زیرا در زمان های بارانی بعد از بارش، اگر شیب ۱۰ وجود داشته باشد،

گرد و غبار نشسته بر صفحات خورشیدی شسته می شود و از آن خارج می شود. همچنین آب باران و یا برف زودتر از روی صفحات خورشیدی خارج می شود. برای اینکه یک سطح فرضی که در معرض تابش خورشید است، بالاترین میزان دریافت انرژی را داشته باشد، لازم است که این سطح عمود بر زاویه تابش قرار گیرد. هر چه زاویه تابش به سطح پانل عمودتر باشد، جذب انرژی بیشتر خواهد بود.

پانل هایی که به صورت ثابت نصب می شوند، در هنگام طلوع و غروب آفتاب، چون خورشید به صورت مایل به سطح پانل ها می تابد، تنها میزان بسیار اندکی از انرژی خورشید را جذب می کنند. در طول تابستان که خورشید در هنگام طلوع و غروب، تقریباً از پشت پانل ها تابیده می شود، پانل ها میزان بیشتری از انرژی قابل جذب را از دست می دهند. این سیستم ها تنها در میانه روز که تقریباً رو به خورشید هستند، می توانند دریافت قابل قبولی داشته باشند. به همین خاطر اگر بتوان با روش مناسبی، پانل ها را در تمام طول روز به صورت پیوسته رو به خورشید قرار داد، می توان گفت پانل ها تمام انرژی قابل دریافت را از خورشید تحویل می گیرند. برای این منظور می توان از ردیاب های تک محوره و یا دومحوره استفاده نمود. در دنبال کننده های تک محوره، پانل ها حول یک محور که در راستای شمال- جنوب و با زاویه مناسب رو به افق قرار گرفته اند، گردش می کنند. البته در این حالت نیز پانل ها دقیقاً رو به خورشید قرار نمی گیرند اما نسبت به پانل های ثابت دریافت انرژی بیشتری دارند. اما در دنبال کننده های دو محوره، پانل ها حول دو محور حرکت کرده و می توان گفت دائماً رو به خورشید قرار می گیرند. در ردیاب دو محوره صفحه خورشیدی قابلیت چرخش هم در راستای شرقی- غربی و هم چرخش در راستای شمالی و جنوبی را دارد. بنابراین بیشترین جذب انرژی در این روش اتفاق می افتد. در حالت تک محوره تنها قابلیت چرخش در راستای شمال- جنوبی را دارد که باعث حصول بازده کمتر نسبت به حالت دو محوره می شود.

۳-۶-۱- مزایای دنبال کننده های خورشیدی

دلیل اصلی استفاده از دنبال کننده خورشیدی کاهش هزینه مقدار انرژی است که می خواهیم بدست آوریم. یک دنبال کننده در زمان طولانی، انرژی بیشتری نسبت به ایستگاههای ثابت با تعداد ماژولهای یکسان تولید می نماید. این خروجی بیشتر بصورت درصدی اضافه نسبت به ماژول های ایستگاه ثابت بیان می شود. این مقدار انرژی بشدت وابسته به موقعیت جغرافیایی، آب و هوا و نوع دنبال کننده ای است که انتخاب میکنیم. همانطور که وابسته به جهت نصب ایستگاههای ثابت در موقعیت مشابه است.

مهمترین فاکتور، شرایط آب و هوایی می باشد. هرچه آفتاب بیشتر و ابر، رطوبت، مه، گرد و غبار و دود کمتر باشد بهره دنبال کننده ها بیشتر خواهد بود. در عرض های جغرافیایی بالاتر، این بهره افزایش خواهد یافت، زیرا این مناطق آفتاب بیشتری در طول تابستان خواهند داشت. در مناطق ابری و مه آلود بهره سالیانه تعقیب کننده ها زیر ۲۰ درصد ارزیابی می شود. در مناطقی با آب و هوای نسبتاً خوب مانند کشور ایران بهره متوسط سالیانه دنبال کننده ها بین ۳۰ تا ۴۰ درصد می باشد. این بهره در هر روز مشخص می تواند از صفر تا نزدیک ۱۰۰ درصد تغییر کند. در مرکز و جنوب ایران نرخ این بهره بین ۳۵ تا ۵۰ درصد در زمستان (آذر تا اسفند) و ۴۵ تا ۶۵ درصد در تابستان متغیر است. در واقع یک دنبال کننده بیشترین افزایش را در انرژی خروجی در خلال ساعاتی که ایستگاه های ثابت کمترین انرژی را تولید می کنند می دهد.

در کشورهای صنعتی بهره دنبال کننده ها در روزهای طولانی تابستان بسیار بیشتر از روزهای زمستانی است. زیرا از ساعت ۱۲ تا ۶ بعد از ظهر که زمان اوج مصرف در صنایع عمومی آن کشورها می باشد، آفتابی قوی وجود دارد. اگر سیستم به شبکه متصل و قوانین جاری و قرار داد با شرکت برق از نوعی باشد که بتواند هزینه اضافه ای در ساعات اوج مصرف در تابستان پرداخت نماید، توانایی دنبال کننده جهت جمع آوری انرژی در ساعات بعد از ظهر، دقیقاً به معنای ایجاد ارزش افزوده بیشتر توسط دنبال کننده خواهد بود.

یک دنبال کننده باید بصورت دائم کار کند تا توجیه اقتصادی داشته باشد. اگرچه ردیاب های ابتدایی مشکلاتی از بابت قابلیت اطمینان داشته اند ولی واقعیت اینست که در حال حاضر هیچ دلیل قانع کننده ای مبنی بر غیر قابل اعتماد بودن آنها وجود ندارد. موتورها فقط چند دقیقه در روز کار می کنند و اصول الکترونیکی آنها نیز بسیار ساده است. بصورت عملی نسبت افزایش میزان خرابی به میزان افزایش توان در ردیاب ها آنقدر اندک است که بخوبی می توان از آن صرف نظر کرد [۵].

۳-۷- مدل سازی سیستم مورد مطالعه

میزان دریافت انرژی خورشیدی در نقاط مختلف بر اساس تفاوت عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، پدیده های جوی و غیره متفاوت است. بنابراین، برای کسب اطلاعات مربوط به تابش، باید عرض و ارتفاع جغرافیایی آن مکان مشخص شود، تا بتوان میانگین ماهیانه و سالانه تابش دریافتی از خورشید را در سطح افق و تمامی سطوح با جهت ها و شیب های مختلف، برای مکان مورد نظر تعیین کرد.

در تعیین زاویه بهینه ماژول ها برای دریافت بیشترین انرژی خورشیدی، دانستن موقعیت خورشید در زمان های مختلف روز می تواند مفید باشد. زاویه تابش خورشید ساعت به ساعت تغییر کرده و موجب تغییر مقدار تابش بر روی یک منطقه می شود. برای اطمینان حاصل کردن از اینکه مقدار تابش خورشید بر روی ماژول ها دارای بیشترین مقدار است، نیاز به دانستن موقعیت لحظه به لحظه خورشید در آسمان است. در فناوری سلول های خورشیدی کاهش هزینه و افزایش بازده توجه عمده محققان را به خود اختصاص داده است. این کار به توانایی آن ها در استفاده هرچه بیشتر از نور فرودی بستگی دارد. در سیستم فتوولتائیک با ردیاب می توان از انرژی تابشی خورشید نسبت به حالت ثابت بهره بیشتری برد.

تابش مستقیم خورشید در یک محل با رابطه زیر محاسبه می گردد [۲۱]:

$$I_B = A e^{-km} \quad (۱-۳)$$

که در آن A انرژی حاصل از تابش خورشید در جو می باشد و از رابطه زیر محاسبه می شود، n شماره روز است.

$$A = 1160 + 75 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 275) \right] \quad (\text{W/m}^2) \quad (۲-۳)$$

در رابطه (۱-۳) k عمق تابش در جو می باشد و از رابطه زیر بدست می آید [۳۳]:

$$k = 0.174 + 0.035 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (۳-۳)$$

M نیز در رابطه (۱-۳) نسبت جرمی می باشد و از رابطه زیر محاسبه می شود [۲۷]:

$$m = \frac{1}{\sin \beta} \quad (۴-۳)$$

β زاویه تابش خورشید است و بصورت زیر تعیین می گردد [۵]:

$$\sin \beta = (\cos L \times \cos \delta \times \cos H) + (\sin L \times \sin \delta) \quad (۵-۳)$$

L نشان دهنده عرض جغرافیایی محل مورد نظر می باشد. انرژی که پیل از تابش مستقیم خورشید جذب می کند، از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$I_{BC} = I_B \cos \theta \quad (۶-۳)$$

در این رابطه θ زاویه بین بردار عمود بر صفحه پیل و تابش مستقیم خورشید است که از رابطه زیر بدست می آید [۴۷]:

$$\cos \theta = \cos \beta \cdot \cos(\phi_s - \phi_c) \cdot \sin \gamma + \sin \beta \cdot \cos \delta \quad (۷-۳)$$

که در آن ϕ_s زاویه خورشید نسبت به جنوب و همچنین ϕ_c زاویه پیل نسبت به جنوب و δ زاویه شیب پیل با افق می باشند و با روابط زیر بدست می آیند [۱]:

$$\sin \phi_s = \frac{\cos \delta \times \sin H}{\cos \beta} \quad (۸-۳)$$

$$\delta = 23.45 \times \sin \left[\frac{360}{365} (n - 81) \right] \quad (۹-۳)$$

در روابط فوق H بیانگر زاویه ساعتی می باشد. زاویه ساعتی بر حسب درجه با رابطه زیر تعریف می شود:

$$H = 15(ST - 12) \quad (۱۰-۳)$$

ST: زمان محلی خورشیدی

زمان محلی خورشیدی (ST) با زمان استاندارد متفاوت است. بنابراین باید زمان ساعت محلی به زمان خورشیدی تبدیل شود. این تبدیل به طول جغرافیایی، نصف النهار استاندارد محلی و روز سال بستگی دارد و توسط رابطه زیر تعیین می شود [۵۰]:

$$L_{st} - L_{loc} + 4(L_{st} - L_{loc}) + E = \text{زمان استاندارد} - \text{زمان خورشیدی} \quad (۱۱-۳)$$

L_{st} : نصف النهار استاندارد زمان محلی

L_{loc} : طول جغرافیایی

E بعنوان معادله زمان (بر حسب دقیقه) تعریف می شود و با رابطه زیر بدست می آید [۱]:

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \sin B - 0.014615 \cos 2B - 0.04089 \sin 2B) \quad (۱۲-۳)$$

که در آن داریم:

$$B = (n - 1) \times \frac{360}{365} \quad (۱۳-۳)$$

به همین ترتیب تابش پراکندگی خورشید (I_{DH}) که به سطح زمین می رسد از رابطه زیر بدست می آید:

$$I_{DH} = C \cdot I_B \quad (۱۴-۳)$$

C در رابطه بالا ضریب پراکندگی جو است که از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$C = 0.095 + 0.04 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 100) \right] \quad (۱۵-۳)$$

با توجه به رابطه (۱۴-۳) انرژی ای که پنل از تابش پراکندگی خورشید بدست می آورد از رابطه (۱۶-۳) بدست می آید [۴]:

$$I_{DC} = I_{DH} \left(\frac{1 + \cos \delta}{2} \right) = I_B C \left(\frac{1 + \cos \delta}{2} \right) \quad (۱۶-۳)$$

با توجه به روابط گفته شده، انرژی ای که پنل از تابش انعکاسی خورشید بدست می آورد

(I_{RC}) از رابطه زیر قابل محاسبه است [۴]:

$$I_{RC} = \rho I_B (\sin \beta + C) \cdot \left(\frac{1 - \cos \delta}{2} \right) \quad (۱۷-۳)$$

ρ در این رابطه ضریب انعکاسی می باشد. به این ترتیب انرژی که پنل از کل تابش خورشید بدست می آورد از رابطه (۱۸-۳) قابل محاسبه می باشد:

$$G = I_{BC} + I_{DC} + I_{RC} \quad (۱۸-۳)$$

در آرایه با ردیاب تک محوره زاویه شیب پنل با افق از شرق در صبح تا غرب در شب به طوریکه حرکت خورشید در آسمان را دنبال کند، میچرخد و زاویه پنل نسبت به جنوب ثابت فرض می شود. اگر از پنل با ردیاب تک محوره استفاده گردد، رابطه های (۱۶-۳)، (۱۷-۳) و (۱۷-۳) به شکل زیر در می آیند [۵]:

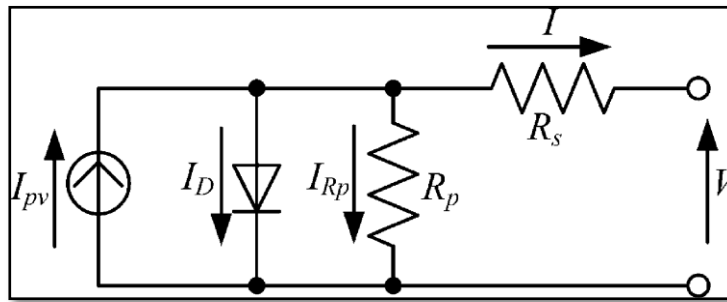
$$I_{BC} = I_B \cos \delta \quad (۱۹-۳)$$

$$I_{DC} = CI_B \left[\frac{1 + \cos(90^\circ - \beta + \delta)}{2} \right] \quad (۲۰-۳)$$

$$I_{RC} = \rho(I_{BH} + I_{DH}) \left[\frac{1 - \cos(90^\circ - \beta + \delta)}{2} \right] \quad (۲۱-۳)$$

۳-۸- آنالیز انرژی سیستم ردیاب خورشیدی

برای مقایسه سیستم فتوولتائیک در میزان توان تولیدی برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره بعد از مشخص کردن نوع ماژول خورشیدی و مبدل الکتریکی به مدلسازی سیستم فتوولتائیک می پردازیم. در این تحقیق، برای اینکار از مدل تک دیودی PV استفاده شده است. شکل (۱۰-۳) مدل الکتریکی ماژول PV را نشان می دهد.



شکل ۱۰-۳ مدل الکتریکی ماژول PV

باتوجه به شکل فوق، جریان خروجی (I) ماژول PV را می توان بصورت زیر محاسبه

کرد [۴۵]:

$$I = I_{pv} - I_o \times \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{\alpha \times N_s \times V_t}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (۲۲-۳)$$

که در آن، I_0 جریان اشباع دیود، α ضریب ایده آل و N_s نیز تعداد سلول های سری می باشند. همچنین V_t ولتاژ حرارتی می باشد و بصورت زیر بدست می آید [۴۵]:

$$V_t = \frac{K \times T}{q} \quad (23-3)$$

در این رابطه، T دمای مازول PV بر حسب کلوین، q بار الکترون ($q = 1.60217646 \times 10^{-19} \text{ C}$) و K ثابت بولتزمن ($K = 1.3806503 \times 10^{-23} \text{ J/K}$) می باشند. برای بررسی مدل تک دیودی مازول فتوولتاییک دو حالت زیر را می توان در نظر گرفت [۴۵]:

۱- برای شرایط اتصال کوتاه در دمای T یعنی ($I = I_{sc}(T)$, $V = 0$)، می توان نوشت:

$$I_{sc}(T) = \frac{R_p}{R_s + R_p} \times \left[I_{pv} - I_0 \left(\exp\left(\frac{I_{sc}(T) \times R_s}{\alpha \times N_s \times V_t(T)}\right) - 1 \right) \right] \quad (24-3)$$

۲- برای شرایط مدار باز یعنی ($I = 0$, $V = V_{oc}(T)$)، می توان نوشت:

$$V_{oc}(T) = R_p \times \left[I_{pv} - I_0 \left(\exp\left(\frac{V_{oc}(T)}{\alpha \times N_s \times V_t(T)}\right) - 1 \right) \right] \quad (25-3)$$

با جایگذاری $I = I_{mp}(T)$ و $V = V_{mp}(T)$ در رابطه (۱-۴)، توان ماکزیمم برای دمای مشخص T را می توان بصورت زیر محاسبه نمود:

$$P_{mp}(T) = \frac{R_p \times V_{mp}(T)}{R_s + R_p} \times \left[I_{pv} - I_0 \left(\exp\left(\frac{V_{mp}(T) + I_{mp}(T)R_s}{\alpha \times N_s \times V_t(T)}\right) - 1 \right) - \frac{V_{mp}(T)}{R_p} \right] \quad (26-3)$$

رابطه تاثیر شدت تابش خورشیدی (G) و دمای عملیاتی (T) بر روی I_{pv} را می توان بصورت زیر بیان نمود:

$$I_{pv}(G, T) = \frac{G}{G_n} \times (I_{pv,n} + K_{I_{sc}} \Delta T) \quad (27-3)$$

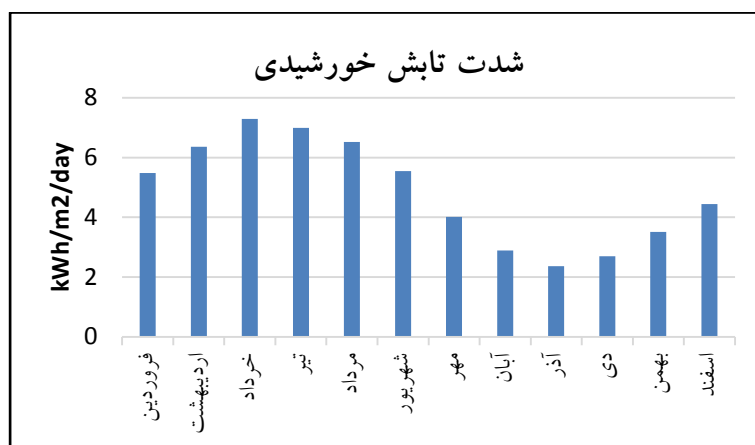
که در آن، $I_{pv,n}$ و G_n بترتیب جریان و شدت تابش خورشیدی در شرایط آزمون استاندارد (STC^1) می باشند. مقدار G نیز از رابطه (۱۸-۳) بدست می آید. همچنین $K_{I_{sc}}$ ضریب دمای جریان اتصال کوتاه ($mA/^{\circ}C$) و $\Delta T = T - T_n$ اختلاف دمای بین شرایط موجود و STC می باشند.

¹Standard test condition

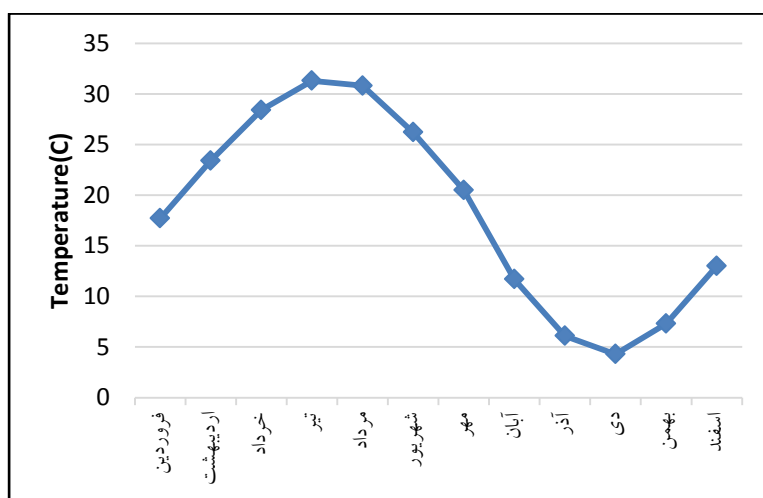
۳-۹- پارامترهای مساله

۳-۹-۱- شرایط آب و هوایی

با توجه به اینکه شهرهای مرکزی ایران از شدت تابش خورشیدی بالایی ($4.5-5.2 \text{ KWh/m}^2/\text{day}$) برخوردار هستند، و استفاده از این سیستم ها توجیه بهتری دارد، در این تحقیق شهر تهران بعنوان مطالعه موردی مورد بررسی قرار گرفته است. شهر تهران دارای عرض جغرافیایی $35/68$ درجه، طول جغرافیایی $51/2$ درجه، ارتفاع از سطح دریاهای آزاد 1990 متر و میانگین دمای 18 درجه سانتیگراد است. همچنین میانگین سرعت وزش باد در شهر تهران $2/7 \text{ m/s}$ می باشد. به عنوان ورودی مساله به اطلاعات جغرافیایی دقیقی از جمله میزان تابش خورشید و میانگین دما در ماه های مختلف سال نیاز داریم. شکل (۳-۱۱) نمودار شدت تابش خورشیدی سالیانه شهر تهران و شکل (۳-۱۲) نیز میانگین دمای شهر تهران را در ماههای مختلف سال نشان می دهند.



شکل ۳-۱۱ نمودار شدت تابش خورشیدی سالیانه شهر تهران

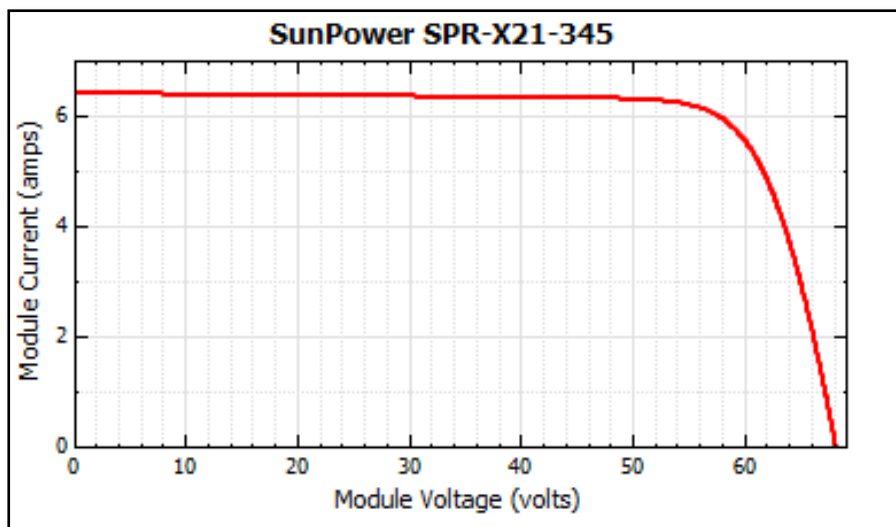


شکل ۳-۱۲ میانگین دمای شهر تهران در ماههای مختلف سال

همانگونه که از شکل (۳-۱۲) بر می آید، شهر تهران دارای حداکثر و حداقل میانگین دما به ترتیب برابر $31/3$ و $4/3$ درجه سانتی گراد می باشد که به ترتیب مربوط به ماههای تیر و دی می باشد. شکل (۳-۱۱) نیز نشان می دهد که، شهر تهران دارای میانگین شدت تابش سالانه $4/84 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ می باشد.

۳-۹-۲- مشخصات اجزای سیستم فتوولتائیک

در مرحله بعد به تعیین مشخصات سیستم فتوولتائیک می پردازیم. برای مقایسه تولید الکتریسیته در سیستم فتوولتائیک با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره، ابتدا به تعیین نوع مشخصی از ماژول و سپس مبدل DC به AC و سپس نوع آرایش آرایه می پردازیم. ماژول خورشیدی مورد مطالعه در این تحقیق از نوع Sunpower Spr-X21-345 می باشد که نمودار ولتاژ - جریان مربوط به آن در شکل (۳-۱۳) آمده است. همچنین جدول (۳-۲) مشخصات ماژول شامل بازده ماژول، حداکثر قدرت ماژول، حداکثر ولتاژ و جریان، ولتاژ مدار باز و همچنین جریان اتصال کوتاه ماژول و تعداد سلولهای ماژول و مساحت ماژول را بیان می کند.



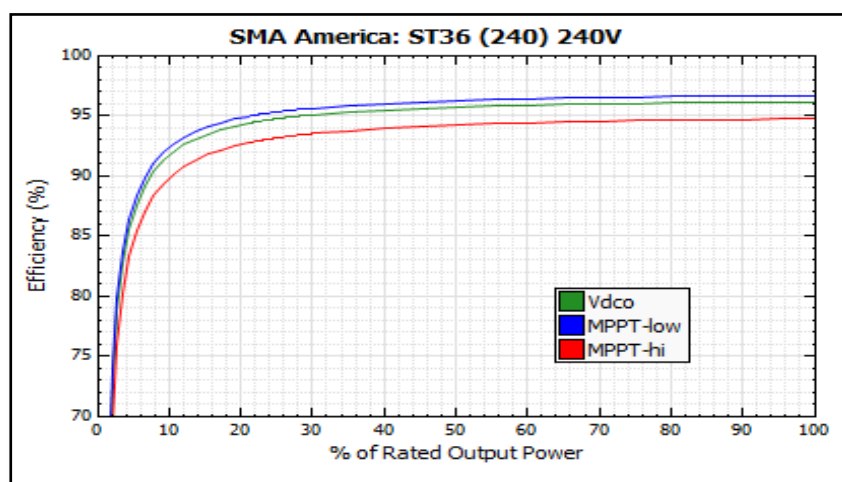
شکل ۳-۱۳ نمودار ولتاژ - جریان ماژول انتخابی سیستم فتوولتائیک

در شکل (۳-۱۴) منحنی بازده مبدل انتخاب شده که از نوع SMA America:ST36-240V (240) می باشد، آمده است. جدول (۳-۲) نیز مشخصات مبدل که شامل پارامترهای مبدل نظیر، حداکثر قدرت خروجی AC در شرایط مرجع و حداکثر ورودی DC به مبدل، قدرت DC مورد نیاز برای شروع به کار تبدیل برق DC به AC، مصرف قدرت AC بوسیله

مبدل در شب، ولتاژ AC خروجی از مبدل، حداکثر ولتاژ ورودی DC، حداکثر جریان DC ورودی، حداقل و حداکثر میانگین ولتاژ عامل است، را بیان میکند.

جدول ۳-۲ مشخصات ماژول انتخابی سیستم فتوولتائیک

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
راندمان	۲۱/۱۵ %	ولتاژ مدار باز	۶۸/۲ Vdc
حداکثر توان	۳۴۴/۹۴ Wdc	جریان اتصال کوتاه	۶/۳۹ Adc
حداکثر ولتاژ	۵۷/۳ Vdc	تعداد سلول ها	۹۶
حداکثر جریان	۶/۰۲ Adc	مساحت ماژول	۱/۶۳۱ m2



شکل ۳-۱۴ منحنی بازده مبدل انتخابی سیستم فتوولتائیک

جدول ۳-۳ مشخصات مبدل انتخابی سیستم فتوولتائیک

پارامتر	واحد	مقدار
حداکثر توان خروجی AC	Wac	۳۶۰۰۰
حداکثر ورودی DC به مبدل	Wdc	۳۷۴۵۳/۹
توان DC مورد نیاز برای شروع به کار تبدیل برق DC	Wdc	۱۹۴/۹۶
مصرف قدرت AC بوسیله مبدل در شب	Wac	۰/۶
ولتاژ AC خروجی از مبدل	Vac	۲۴۰
حداکثر ولتاژ ورودی DC	Vdc	۶۰۰
حداکثر جریان DC ورودی	Adc	۱۵۰
حداقل ولتاژ عامل	Vdc	۲۵۰
میانگین ولتاژ عامل	Vdc	۳۰۹/۹۱۷
حداکثر ولتاژ عامل	Vdc	۴۸۰

۳-۱۰- الگوریتم بهینه سازی توده ذرات چند هدفه (MOPSO)

الگوریتم بهینه سازی توده ذرات چند هدفه (MOPSO) حالت خاصی از الگوریتم PSO^۱ می باشد. الگوریتم PSO یک الگوریتم جستجوی اجتماعی است که از روی رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان مدل شده است. در ابتدا این الگوریتم به منظور کشف الگوهای حاکم بر پرواز همزمان پرندگان و تغییر ناگهانی مسیر آنها و تغییر شکل بهینه‌ی دسته به کار گرفته شد. در PSO، ذرات^۲ در فضای جستجو جاری می‌شوند. تغییر مکان ذرات در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش خودشان و همسایگانشان است. بنابراین موقعیت دیگر توده^۳ ذرات روی چگونگی جستجوی یک ذره اثر می‌گذارد. نتیجه مدلسازی این رفتار اجتماعی فرآیند جستجویی است که ذرات به سمت نواحی موفق میل می‌کنند. ذرات از یکدیگر می‌آموزند و بر مبنای دانش بدست آمده به سمت بهترین همسایگان خود می‌روند. اساس کار PSO بر این اصل استوار است که در هر لحظه هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته است و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد، تنظیم می‌کند [۱۵].

بسیاری از مسائل واقعی دنیا دو یا چند هدفه می باشند. در این مسائل، ممکن است اهداف در تعارض با یکدیگر باشند و با یک تعامل بین راه حل های ممکن به نقطه بهینه برسند. الگوریتم PSO یک بهینه ساز تک هدفه یکپارچه است، در حالیکه در مسائل چندهدفه اغلب نقطه بهینه جهانی مطلوب وجود ندارد. بنابراین، برای ایجاد الگوریتم PSO که قادر به حل مسائل بهینه سازی چند هدفه باشد نیاز به برخی اصلاحات می باشد. بهترین عملکرد انفرادی هر ذره (pbest) با پاسخ جدید جایگزین می شود، اگر و فقط اگر به تشکیل pbest بهتر منجر شود. همچنین در روند به روزرسانی بهترین عملکرد جهانی (gbest) دو مسئله مهم باید در نظر گرفته شود [۱۵]:

۱- تخصیص و انتخاب مناسب باید صورت بگیرد، بطوریکه یک جستجو می تواند به سمت مجموعه نقاط بهینه پارتو^۴ حرکت کند؛

۲- برای جلوگیری از یک همگرایی زود هنگام و بدست آوردن نقاط بهینه پارتو توزیع شده باید تنوع ذرات حفظ شود.

روش PSO یک تکنیک بهینه سازی مبتنی بر قوانین احتمال است که از رفتار اجتماعی

^۱Particle Swarm Optimization

^۲ Particle

^۳ Swarm

^۴Pareto

پرنندگان در حین جستجوی غذا برای هدایت جمعیت به منطقه امیدبخش در فضای جستجو استفاده می کند که برای حل مسائل پیچیده مناسب بوده و از سرعت قابل ملاحظه ای برخوردار است. این روش توسط Eberhart و Kennedy بعنوان روش جایگزین برای الگوریتم ژنتیک ارائه شد. استفاده گسترده از این روش در سال های اخیر به دلیل مزایای بیشتری که در مقایسه با سایر روش های بهینه سازی دارد، قابل توجه است. یکی از مزایای این است که این روش نیاز به محاسبه مشتقات ندارد. بطوریکه اطلاعات مربوط به راه حل مناسب در تمام اجزاء نگهداشته می شود و اجزا اطلاعات را بین یکدیگر به اشتراک می گذارند. علاوه بر این نسبت به خود تابع هدف حساسیت کمتری دارد، بنابراین می تواند برای توابع هدف تصادفی مورد استفاده قرار گیرد. از لحاظ پیاده سازی، PSO به راحتی قابل برنامه ریزی است، پارامترهای کمتری باید ترکیب شوند و تعیین مقدار بهینه از راه حل اولیه مستقل می باشد. در PSO روش حل، ذرات نامیده می شود و حرکت آنها در فضای جستجو مطابق دستور العمل حاصله از گروه جدید صورت می گیرد. الگوریتم PSO اصلی برای محاسبه موقعیت بعدی هر ذره به صورت زیر است [۱۵]:

$$V_{i+1}(j) = V_i(j) + c_1 \cdot r_{1,i}(j) \cdot (pbest(j) - x_i(j)) + c_2 \cdot r_{2,i}(j) \cdot (gbest(j) - X_i(j)) \quad (28-3)$$

$$X_{i+1}(j) = V_{i+1}(j) + X_i(j) \quad (29-3)$$

i تعداد تکرار و j متغیر بردار بهینه سازی می باشند. $X_i(j)$ عبارتست از مقدار متغیر j در تکرار iام و $V_i(j)$ برابر است با سرعت متغیر j در تکرار iام. $r_{1,i}$, $r_{2,i}$ متغیرهای تصادفی هستند که در بازه [۰،۱] می باشند، pbest(j) برابر است با مقدار متغیر j ای که از بهترین راه حل ذره مخصوص تا تکرار iام بدست آمده و gbest(j) برابر است با مقدار متغیر j ای که از بهترین راه حل جمعی بدست آمده است.

سرعت هر یک از ذره ها باید در محدوده $[-V_{max}, V_{max}]$ باشد تا احتمال خارج شدن ذره از فضای مساله را کاهش دهد. به منظور تعادل بین شناسایی و استخراج در الگوریتم PSO ، بکار بردن یک وزنه جبری (w) بصورت زیر پیشنهاد شده است [۱۵]:

$$(30-3)$$

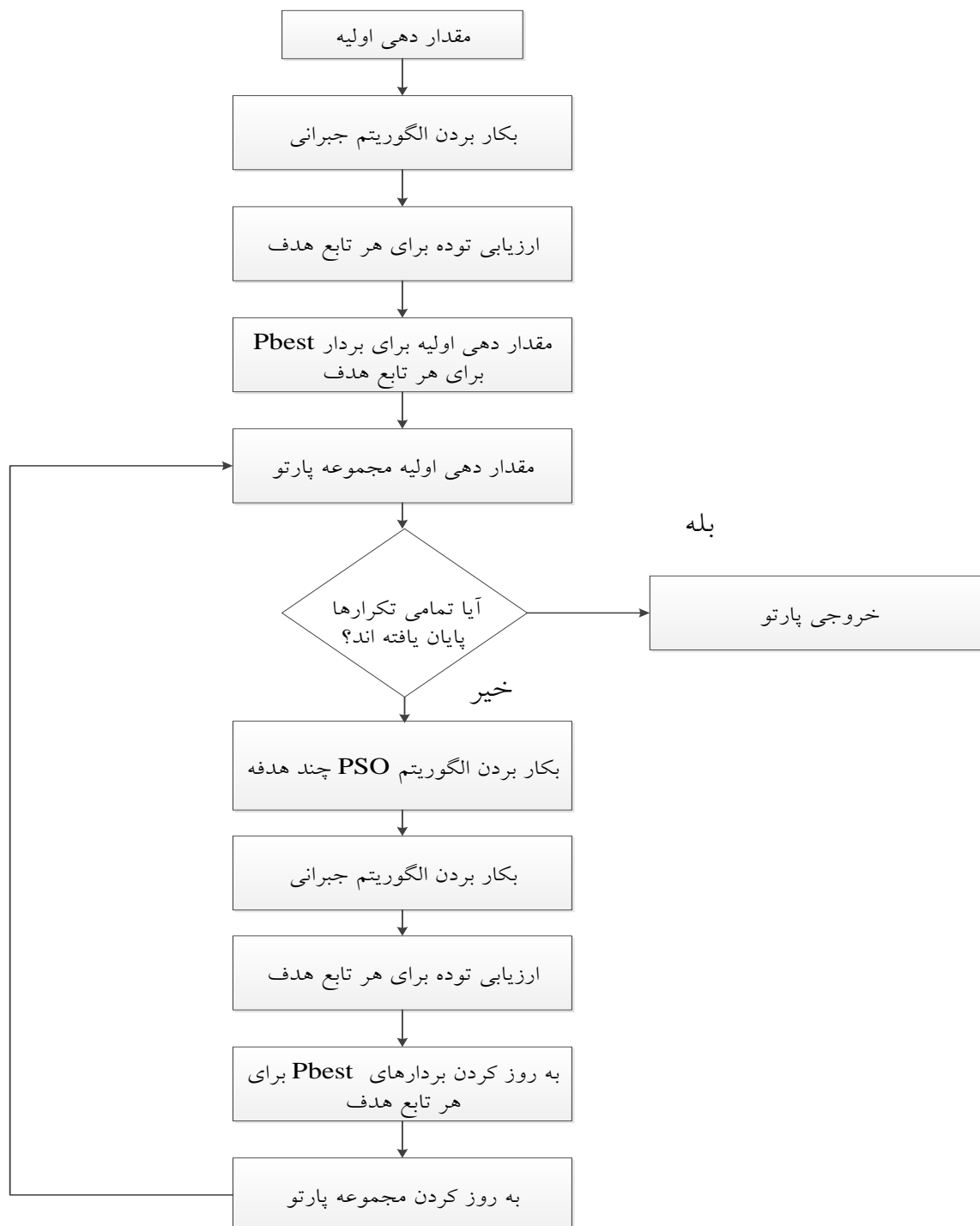
$$v_{i+1}(j) = w \cdot v_i(j) + c_1 \cdot r_{1,i}(j) \cdot (pbest(j) - x_i(j)) + c_2 \cdot r_{2,i}(j) \cdot (gbest(j) - x_i(j))$$

که مقدار w در ابتدا برابر ۰/۹ گرفته می شود و به صورت خطی تا ۰/۴ در طی تکرارهای بهینه سازی کاهش می یابد.

الگوریتم MOPSO نیز نوعی الگوریتم PSO می باشد که در آن بجای یک تابع هدف دو و یا چند تابع هدف وجود دارد. فلوچارت الگوریتم MOPSO در شکل (۳-۱۴) نشان داده شده است. پارامترهای مورد استفاده برای الگوریتم بهینه سازی نیز در جدول (۴-۱) آورده شده اند [۳۵].

جدول ۳-۴ پارامترهای مورد استفاده برای الگوریتم بهینه سازی

پارامتر	مقدار
تعداد جمعیت	۱۰۰
بیشترین تکرار	۱۶۰
c_1	۲
c_2	۲



شکل ۳- ۱۵ فلوجارت الگوریتم MOPSO [۲۱]

فصل چهارم :
نتایج و بحث و بررسی

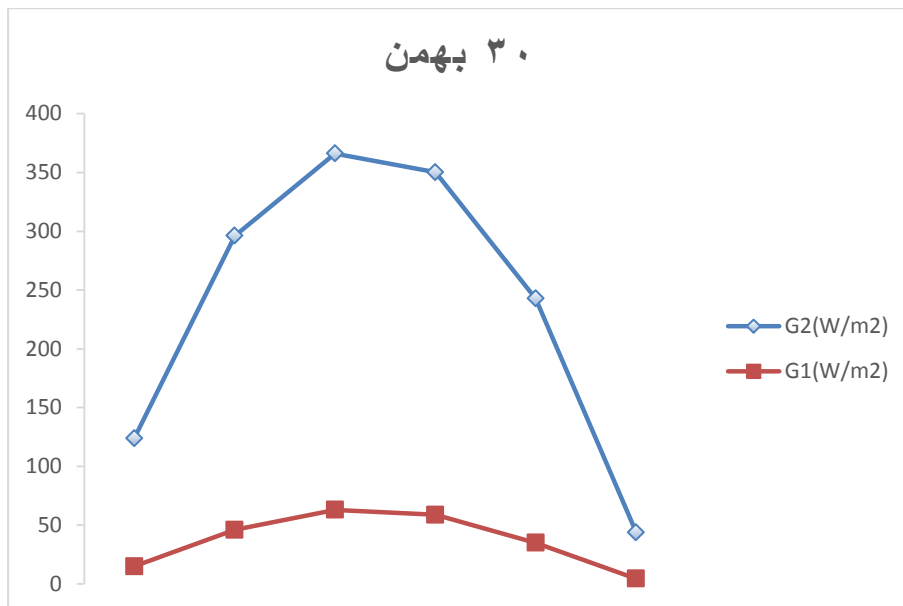
۴-۱- مقدمه

همانطوریکه بیان شد، از سیستم های فتولتائیک خورشیدی برای تولید انرژی الکتریکی استفاده می گردد، اما با توجه به اینکه این سیستم ها راندمان پایینی دارند، می توان از سیستم های ردیاب خورشیدی برای افزایش خروجی آنها بهره برد. سیستم ردیاب خورشیدی به آرایه های خورشیدی این امکان را می دهد که حرکت خورشید را دنبال کرده و به وابسته این حرکت زاویه پنل ها نسبت به خورشید بهینه شده و موجب افزایش تابش دریافتی و به تبع آن تولید توان گردد. در این تحقیق از سیستم های با ردیاب تک محوره استفاده شده است. سیستم های فتولتائیک با ردیاب خورشید در طول روز به طور مستمر خورشید را دنبال می کنند. ظرفیت تولید الکتریسیته توسط پنل های فتولتائیک بستگی به تابش خورشید دارد که سیستم- های ردیاب این امر را مهیا می کنند. ساختار ردیاب باید به نحوی باشد که قادر به دنبال کردن خورشید در تمام روز باشد. سیستم ردیاب تک محوره با چرخش در یک زاویه حرکت خورشید را دنبال میکند. این سیستمها خورشید را در طول روز از شرق تا غرب و یا از شمال تا جنوب دنبال می کنند. برای اینکار در این مطالعه از نرم افزار MATLAB استفاده شده است و عملکرد سیستم در دو حالت بدون استفاده از ردیاب و با استفاده از ردیاب مقایسه شده است. در ادامه برای تعیین زاویه بهینه چرخش ردیاب خورشیدی، از الگوریتم MOPSO استفاده شده است.

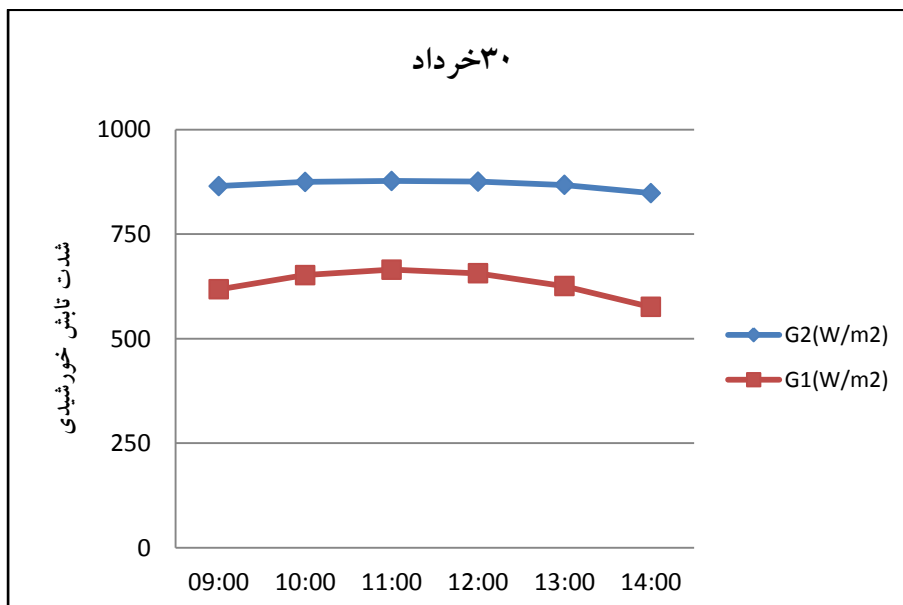
۴-۲- آنالیز انرژی سیستم ردیاب خورشیدی

برای بررسی عملکرد سیستم فتولتائیک ابتدا به تعیین میزان تابش کل خورشیدی می پردازیم. برای اینکار، با توجه به روابط گفته شده در فصل سوم تابش کل خورشیدی را برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره محاسبه می کنیم. دو عامل تاثیرگذار در جذب انرژی خورشیدی توسط آرایه، زاویه آرایه نسبت به جنوب (ϕ_c) و زاویه شیب آرایه با افق (δ) می باشد، که با تعیین کردن بهینه این دو زاویه می توان انرژی سالیانه بیشتری ذخیره کرد. به عنوان قاعده کلی طراحان زاویه شیب آرایه را برابر عرض جغرافیایی منطقه و زاویه آرایه نسبت به جنوب را برابر ۱۸۰ درجه و یا رو به خط استوا در نظر میگیرند. این محاسبات را برای

دو روز از سال یعنی ۳۰ خرداد ماه ($n=171$) و ۳۰ بهمن ماه ($n=50$) انجام می دهیم. نتایج این محاسبات بترتیب برای روزهای تعیین شده در شکل های (۱-۴) و (۲-۴) مشاهده می شوند. در این شکل ها G_1 و G_2 بترتیب نشان دهنده میزان شدت تابش خورشیدی در حالت آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره می باشند.

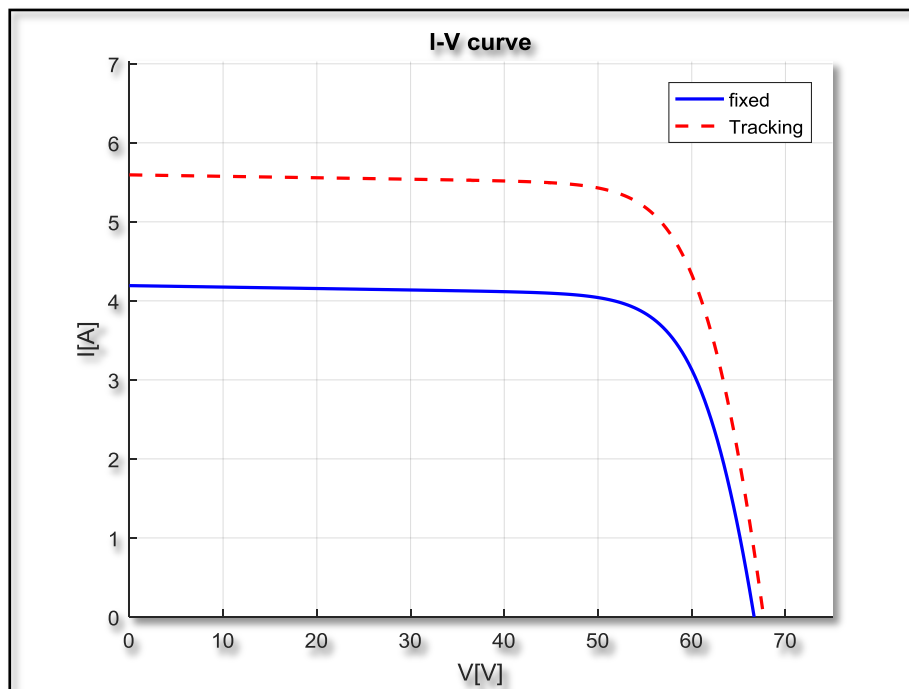


شکل ۱-۴ میزان دریافت تابش خورشیدی توسط سیستم فتولتائیک در دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره برای روز ۳۰ بهمن ماه در شهر تهران

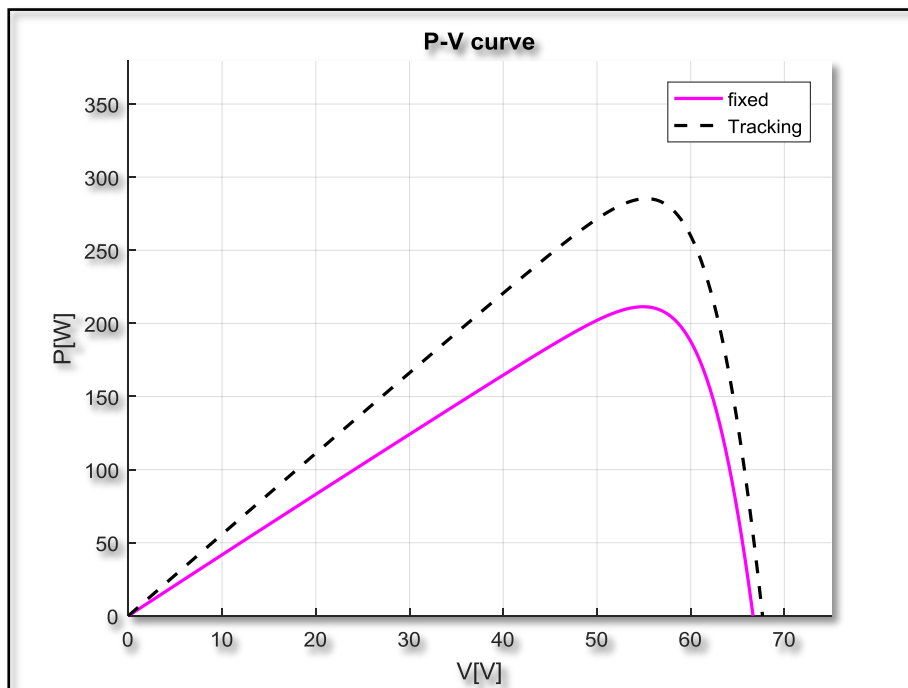


شکل ۲-۴ میزان دریافت تابش خورشیدی توسط سیستم فتولتائیک در دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره برای روز ۳۰ خرداد ماه در شهر تهران

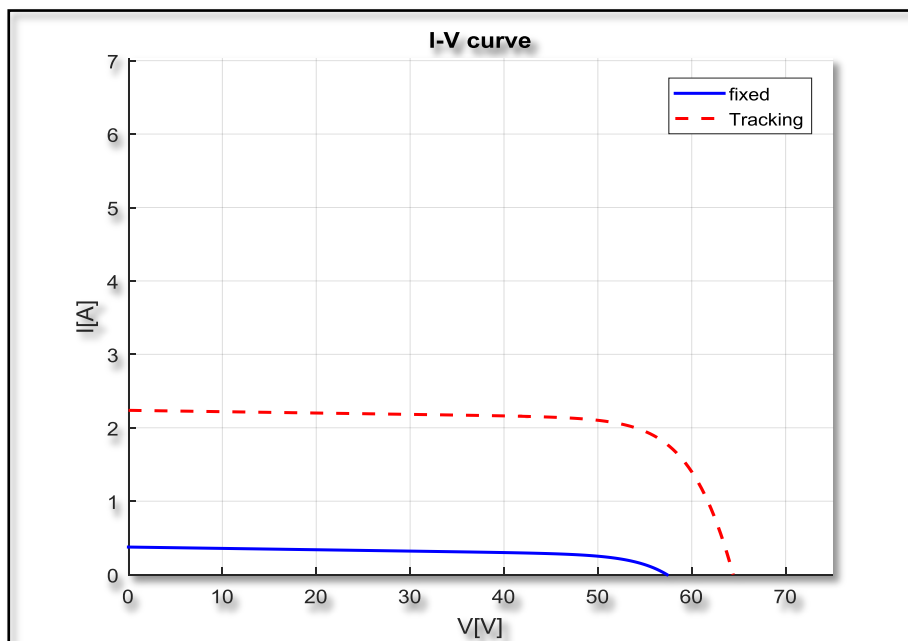
در مرحله بعد برای بررسی عملکرد سیستم فتولتاییک با استفاده از آنالیز حساسیت به تعیین منحنی های جریان - ولتاژ و توان - ولتاژ سیستم خورشیدی در دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره می پردازیم. شکل های (۳-۴) و (۴-۴) بترتیب منحنی های $I-V$ و $P-V$ را برای روز ۳۰ خرداد ماه و در ساعت ۱۲ ظهر نشان می دهند. این منحنی ها برای روز ۳۰ بهمن ماه (ساعت ۱۲ ظهر) بترتیب در شکل های (۵-۴) و (۶-۴) آورده شده اند.



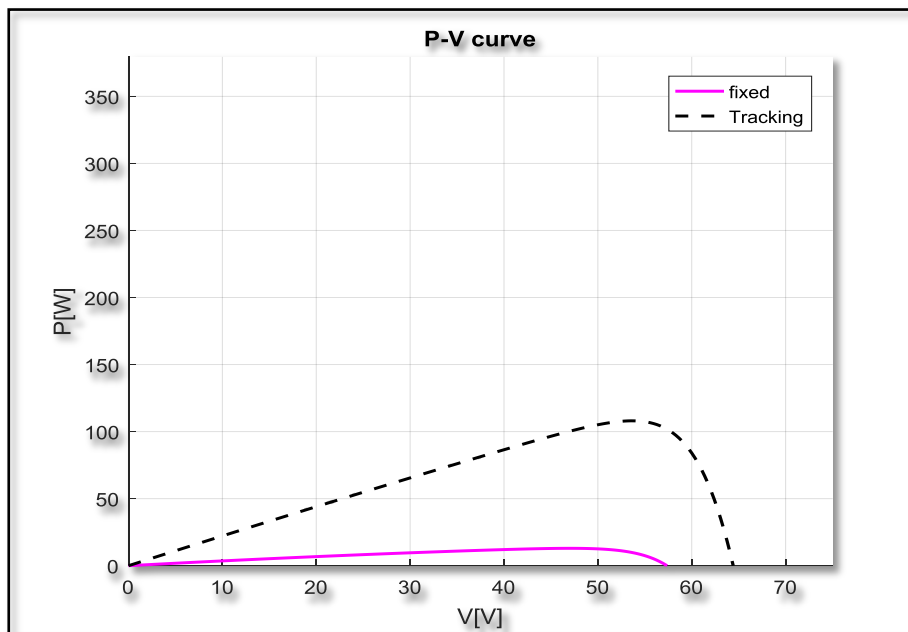
شکل ۴-۳ منحنی $I-V$ برای روز ۳۰ خرداد ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره



شکل ۴-۴ منحنی P-V برای روز ۳۰ خرداد ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره



شکل ۴-۵ منحنی I-V برای روز ۳۰ بهمن ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره

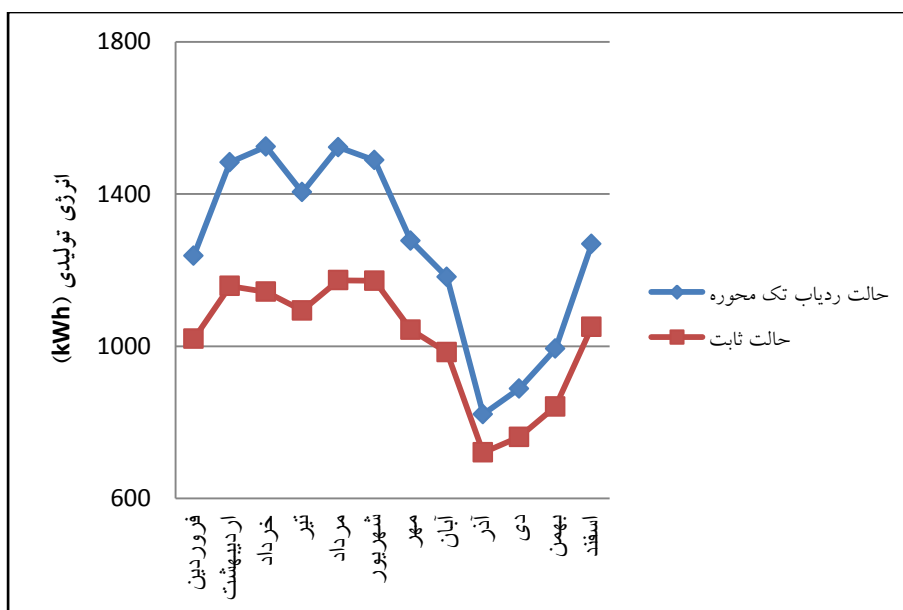


شکل ۴-۶ منحنی P-V برای روز ۳۰ بهمن ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره

با بررسی منحنی های فوق می توان گفت که در صورت استفاده از سیستم فتوولتاییک با ردیاب تک محوره جریان خروجی سیستم PV افزایش می یابد که به تبع آن توان خروجی سیستم بیشتر می شود. با بررسی بیشتر و بکار بردن آنالیز حساسیت، مشخص می شود که برای روز ۳۰ خرداد ماه بیشتر توان خروجی سیستم فتوولتاییک با آرایه ثابت برابر $211/41 \text{ W}$ و با آرایه با ردیاب تک محوره برابر $285/36 \text{ W}$ می باشد. یعنی در صورت استفاده از آرایه با ردیاب تک محوره، توان خروجی سیستم فتوولتاییک نسبت به آرایه ثابت به اندازه 35% افزایش می یابد. مقدار این افزایش برای روز ۳۰ بهمن ماه حدود ۸ برابر می باشد. چراکه در این روز، ماکزیمم توان خروجی سیستم فتوولتاییک با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره بترتیب برابر $12/96 \text{ W}$ و $108/03 \text{ W}$ می باشد.

برای تحلیل بیشتر سیستم فتوولتاییک موردنظر در طول کل سال می توان با در نظر گرفتن ۲۰ ماژول (۱۰ سطر و ۲ ستون) عملکرد سالیانه آن را در دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره مورد بررسی قرار داد. در این حالت مساحت کل ماژول برابر $32/62 \text{ m}^2$ می باشد. شکل (۷-۴) میزان انرژی ماهیانه تولیدی توسط سیستم فتوولتاییک را برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره را نشان می دهد. در حالت ردیابی سیستم فتوولتاییک خورشیدی با زاویه 45° درجه می چرخد. با بررسی شکل مشخص می شود که، میزان انرژی سالیانه کل بدست آمده برای سیستم فتوولتاییک برای حالت با آرایه ثابت و آرایه

با ردیاب تک محوره به ترتیب برابر 12161 kWh و 15090 kWh می باشد، یعنی در حالت ردیابی به اندازه 24% به تولید انرژی سالیانه افزوده می شود.



شکل ۴-۷ میزان انرژی ماهیانه تولیدی توسط سیستم فتوولتائیک در شهر تهران برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره

۴-۳- بهینه سازی عملکرد سیستم فتوولتائیک خورشیدی

در این بخش جهت بهبود عملکرد سیستم فتوولتائیک خورشیدی جهت افزایش تولید توان خروجی به بهینه سازی سیستم موردنظر با استفاده از الگوریتم MOPSO می پردازیم. در ابتدا الگوریتم بهینه سازی موردنظر معرفی شده و سپس تابع هدف به همراه محدودیت های موردنیاز تعریف می گردد. در آخر با اجرای الگوریتم بهینه سازی در محیط نرم افزار MATLAB نقاط بهینه موردنظر یافت می شوند.

۴-۳-۱- تعریف توابع هدف

برای بهینه سازی عملکرد سیستم فتوولتائیک خورشیدی مورد مطالعه در این تحقیق می توان دو تابع هدف زیر را تعریف کرد:

تابع هدف ۱:

Object Function 1: $Max(G_1(Z, \phi_c))$

Subject to: $\begin{cases} Z_{\min} < Z < Z_{\max} \\ \phi_{c,\min} < \phi_c < \phi_{c,\max} \end{cases}$

که در آن Z_{\min} و Z_{\max} حد بالا و پایین Z می باشند که در این تحقیق به ترتیب برابر 0° و 90° می باشند. همچنین $\phi_{c,\min}$ و $\phi_{c,\max}$ حد بالا و پایین ϕ_c می باشند که در این تحقیق به ترتیب برابر 0° و 360° می باشند.

تابع هدف ۲:

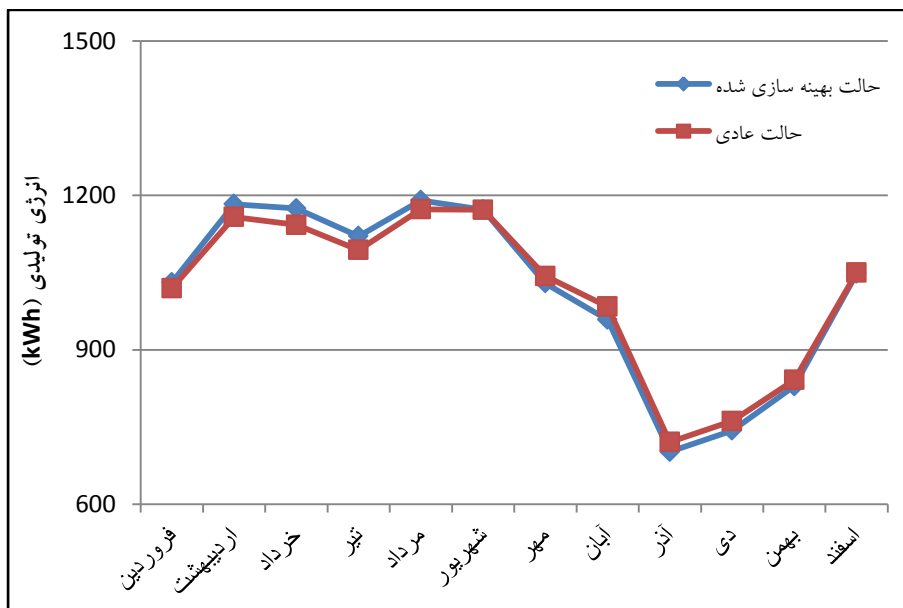
Object Function 2: $Max(G_2(\gamma))$

Subject to: $\gamma_{\min} < \gamma < \gamma_{\max}$

که در آن γ_{\min} و γ_{\max} حد بالا و پایین γ می باشند که در این تحقیق به ترتیب برابر 0° و 90° هستند. γ زاویه چرخش پنل در حالت سیستم فتوولتاییک با آرایه ردیاب تک محوره می باشد.

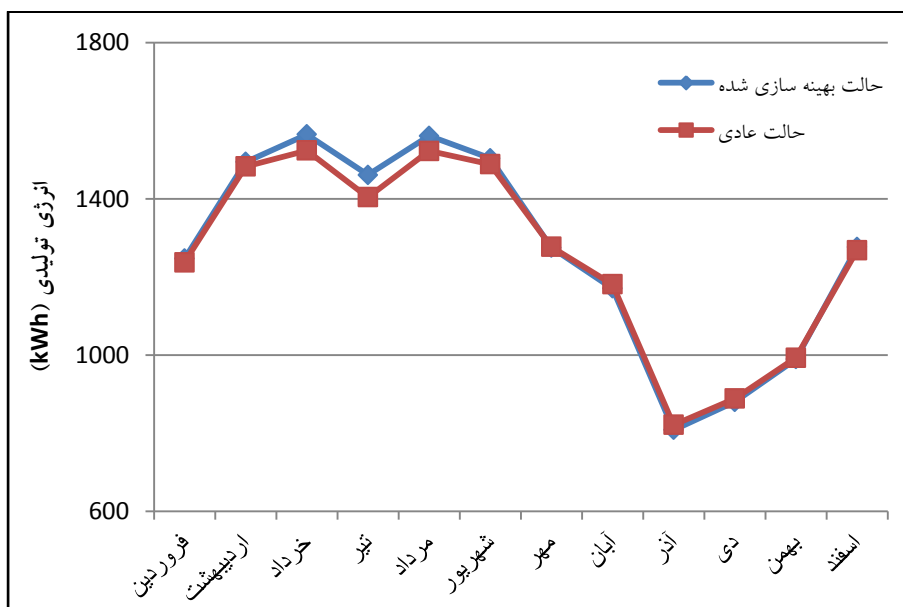
۴-۳-۲- نتایج حاصل از بهینه سازی سیستم فتوولتاییک خورشیدی

با تعریف توابع هدف و محدودیت های موردنظر و اجرای الگوریتم بهینه سازی در محیط نرم افزار MATLAB مقادیر بهینه زوایای مدنظر بدست می آیند. با جایگذاری این زوایای بهینه در معادلات مدلسازی سیستم فتوولتاییک خورشیدی نتایج جدید برای منحنی های تابش و همچنین انرژی سالیانه بدست آمده از سیستم فتوولتاییک خورشیدی بدست می آیند. با توجه به نتایج بدست آمده از الگوریتم بهینه سازی مشخص شد که بهینه ترین زاویه شیب پنل، زاویه آزیموس پنل و زاویه چرخش آرایه در حالت آرایه با ردیاب تک محوره به ترتیب برابر $31/8^\circ$ ، $178/2^\circ$ و $85/1^\circ$ می باشند. شکل های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) به ترتیب مقدار انرژی سالیانه بدست آمده را برای سیستم فتوولتاییک با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره را نشان می دهند که در آنها تاثیر بهینه سازی شده زوایای مورد نظر قابل مشاهده می باشد.



شکل ۸-۴ مقایسه انرژی سالیانه تولید شده توسط سیستم فتوولتائیک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی

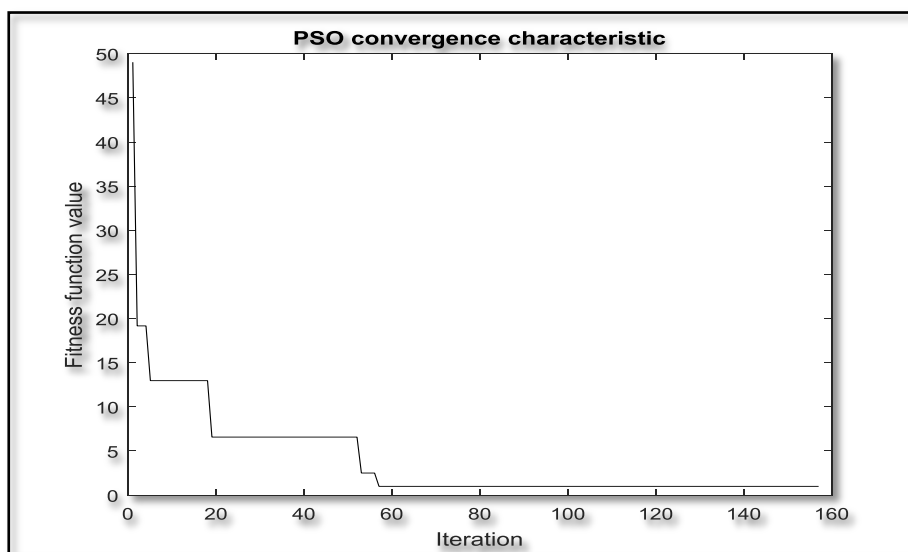
باتوجه به شکل (۸-۴) می توان گفت که، انرژی سالیانه تولیدی توسط سیستم فتوولتائیک با آرایه ثابت بعد از بهینه سازی زوایای شیب و آزیموس پنل به اندازه ۰/۱۷٪ افزایش پیدا می کند. همچنین شکل (۹-۴) حاکی از آن است که، انرژی سالیانه تولیدی توسط سیستم فتوولتائیک با آرایه ردیابی تک محوره بعد از بهینه سازی به اندازه ۰/۹۴٪ بیشتر می گردد.



شکل ۹-۴ مقایسه انرژی سالیانه تولید شده توسط سیستم فتوولتائیک برای آرایه با ردیاب تک محوره قبل و بعد از بهینه سازی

شکل (۴-۱۰) روند همگرایی الگوریتم MOPSO را نشان می دهد. همچنین شکل های (۴-۱۱) تا (۴-۱۸) منحنی های I-V و P-V را برای روزهای ۳۰ خرداد ماه و ۳۰ بهمن ماه ساعت ۱۲ ظهر در دو حالت سیستم فتوولتاییک با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره قبل و بعد از بهینه سازی نشان می دهند.

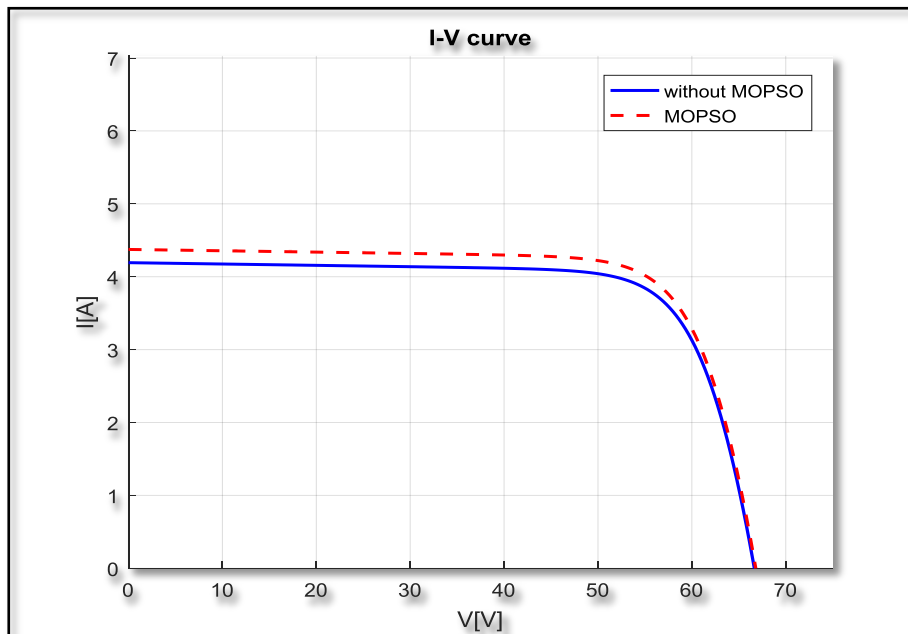
با توجه به شکل ها می توان گفت که، با بهینه سازی زوایای سیستم فتوولتاییک توان خروجی سیستم برای هر دو حالت آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره بیشتر می شود. بررسی بیشتر و بکار بردن آنالیز حساسیت، نشان داد که برای روز ۳۰ خرداد ماه در حالت آرایه ثابت، بیشترین توان خروجی سیستم فتوولتاییک قبل و بعد از بهینه سازی به ترتیب برابر $211/41$ W و $221/01$ W می باشد، یعنی در صورت بهینه سازی توان خروجی سیستم فتوولتاییک در حالت آرایه ثابت به اندازه $4/5\%$ افزایش می یابد. همچنین برای آرایه با ردیاب تک محوره بیشترین توان خروجی سیستم فتوولتاییک قبل و بعد از بهینه سازی به ترتیب برابر $285/36$ W و $296/07$ W می باشد، یعنی در صورت بهینه سازی توان خروجی سیستم فتوولتاییک در حالت آرایه با ردیاب تک محوره به اندازه $3/7\%$ افزایش می یابد.



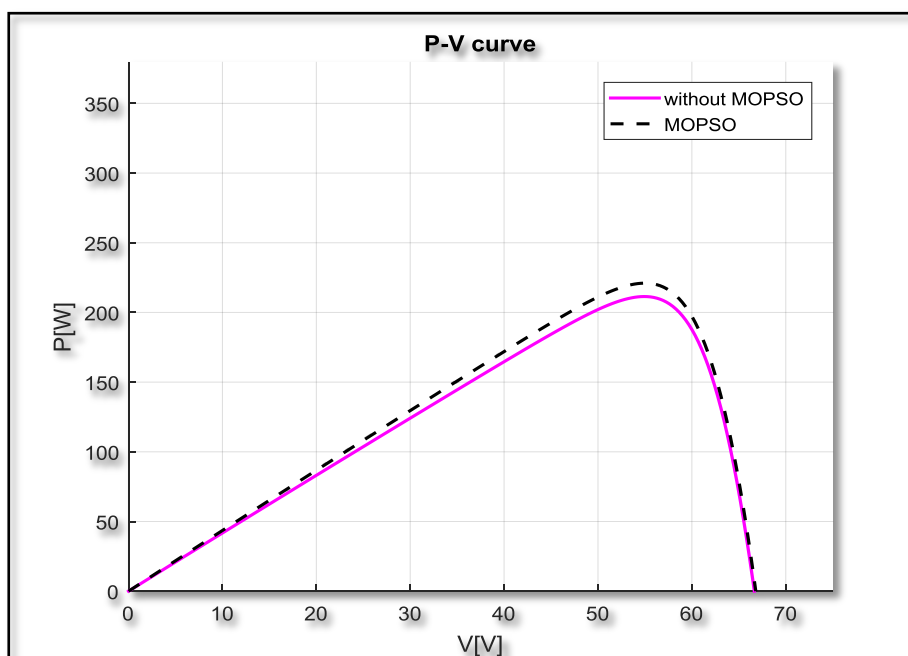
شکل ۴-۱۰ روند همگرایی الگوریتم MOPSO

همچنین برای روز ۳۰ بهمن ماه در حالت آرایه ثابت، بیشترین توان خروجی سیستم فتوولتاییک قبل و بعد از بهینه سازی به ترتیب برابر $12/96$ W و $15/54$ W می باشد، یعنی در صورت بهینه سازی توان خروجی سیستم فتوولتاییک در حالت آرایه ثابت به اندازه $19/91\%$ افزایش می یابد. همچنین برای آرایه با ردیاب تک محوره بیشترین توان خروجی سیستم

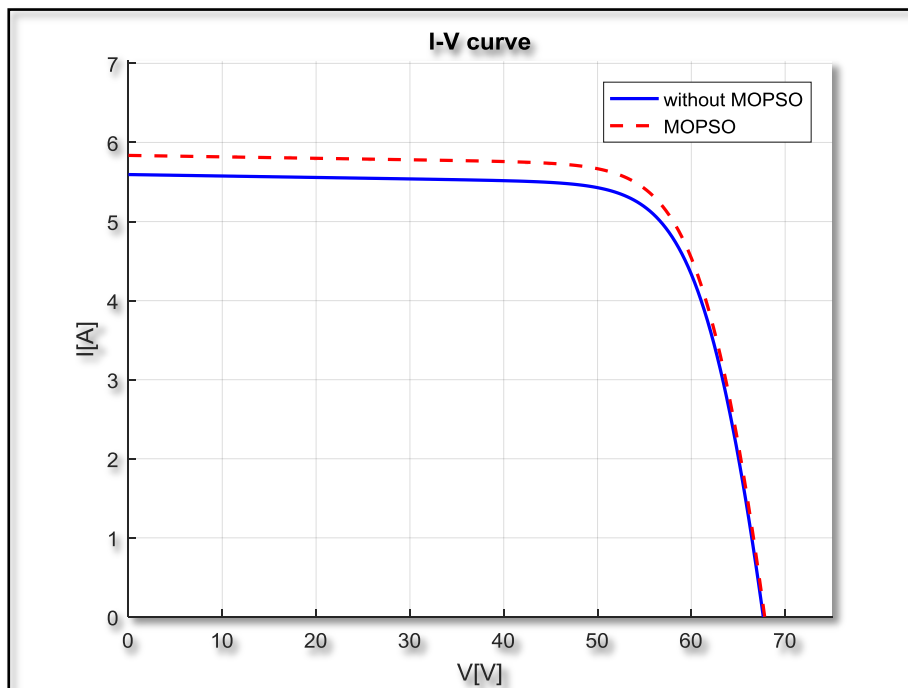
فتوولتاییک قبل و بعد از بهینه سازی به ترتیب برابر $108/037 \text{ W}$ و $125/17 \text{ W}$ می باشد، یعنی در صورت بهینه سازی توان خروجی سیستم فتوولتاییک در حالت آرایه با ردیاب تک محوره به اندازه $15/85\%$ بیشتر می شود.



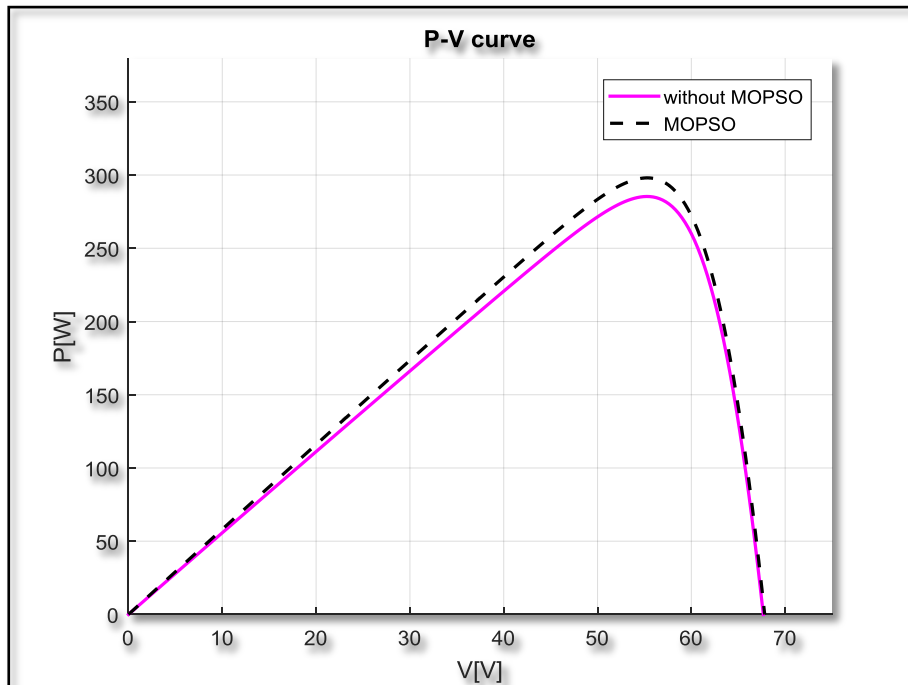
شکل ۴- ۱ منحنی $I-V$ برای روز ۳۰ خرداد ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتاییک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی



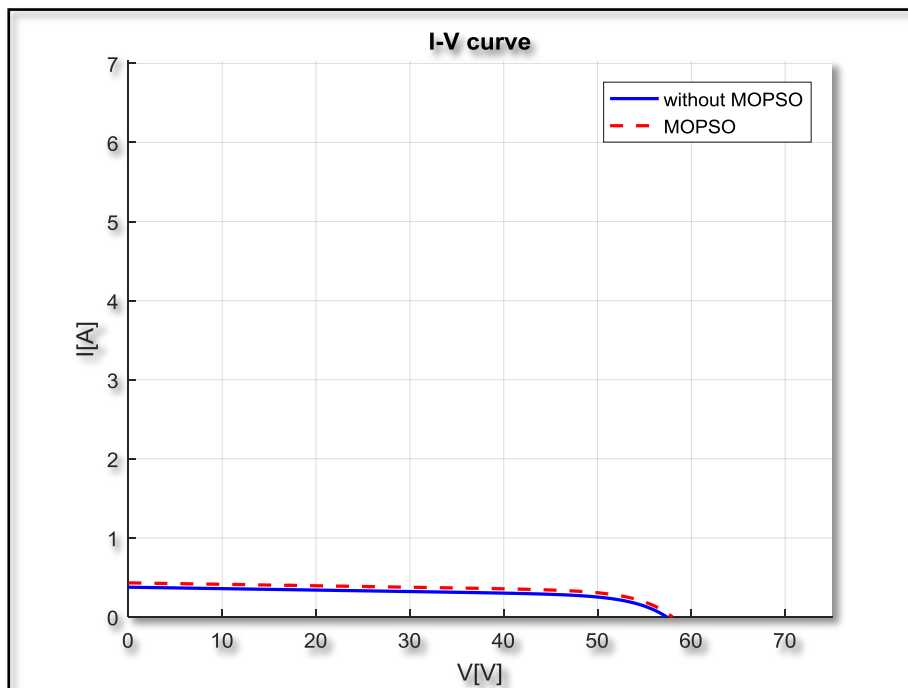
شکل ۴- ۲ منحنی $P-V$ برای روز ۳۰ خرداد ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتاییک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی



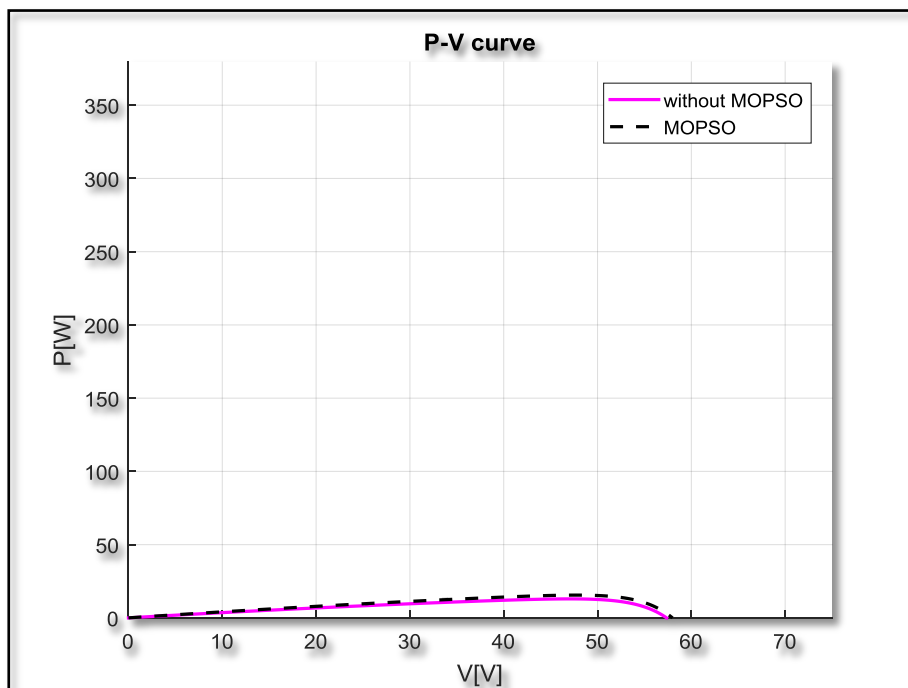
شکل ۴-۳ منحنی I - V برای روز ۳۰ خرداد ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ردیاب تک محوره قبل و بعد از بهینه سازی



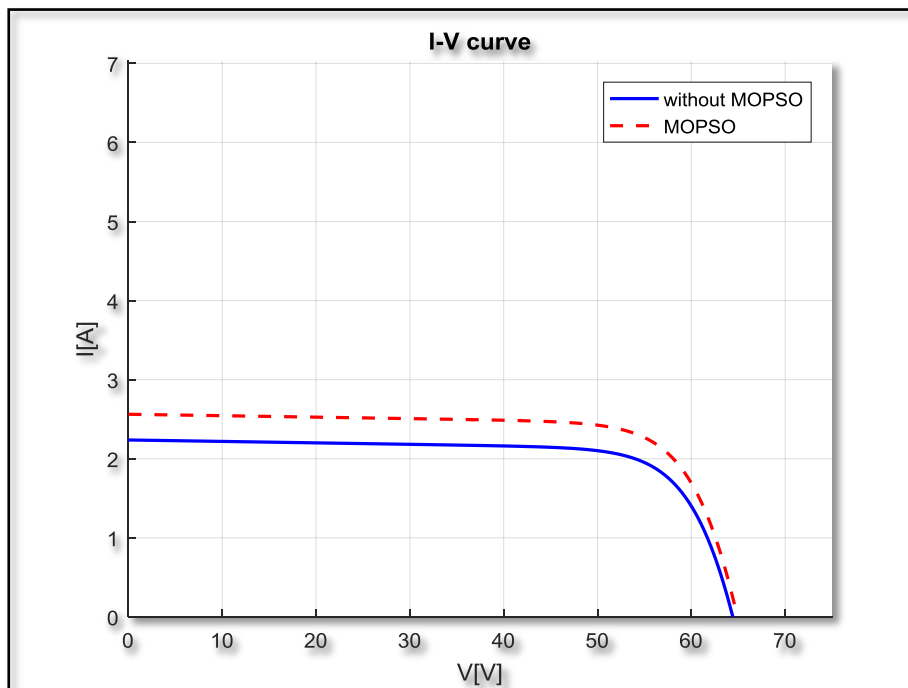
شکل ۴-۴ منحنی P - V برای روز ۳۰ خرداد ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ردیاب تک محوره قبل و بعد از بهینه سازی



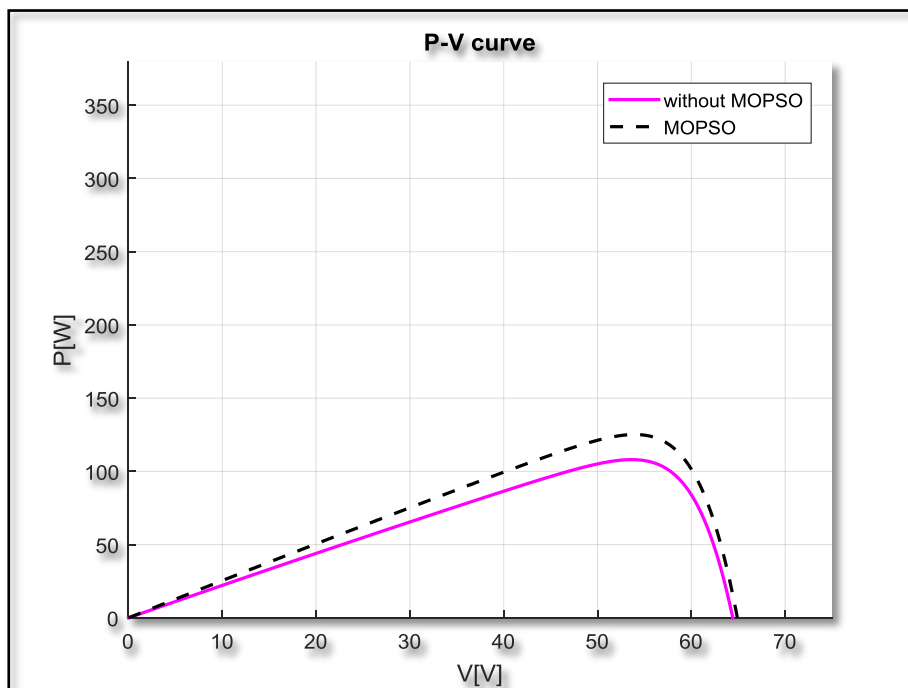
شکل ۴-۱۵ منحنی $I-V$ برای روز ۳۰ بهمن ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی



شکل ۴-۱۶ منحنی $P-V$ برای روز ۳۰ بهمن ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی



شکل ۴-۱۷ منحنی $I-V$ برای روز ۳۰ بهمن ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتایک با آرایه ردیاب تک محوره قبل و بعد از بهینه سازی



شکل ۴-۱۸ منحنی $P-V$ برای روز ۳۰ بهمن ماه ساعت ۱۲ ظهر در شهر تهران برای سیستم فتوولتایک با آرایه ردیاب تک محوره قبل و بعد از بهینه سازی

فصل پنجم:
نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری

امروزه یافتن منابع انرژی پاک برای آینده یکی از دغدغه های مهم جوامع بشری به حساب می آید و انرژی خورشیدی می تواند پاسخ مناسبی برای این موضوع به شمار آید. پاک، فراوانی، تجدیدپذیری، پایداری و در دسترس بودن از بارزترین ویژگی های انرژی خورشیدی می باشد. بر همین اساس در سالیان اخیر طراحی، ساخت و استفاده از انواع سیستم ها و دستگاه هایی مبتنی بر استفاده از انرژی خورشیدی پدیدار گردیده است. امروزه سیستم های خورشیدی به شکل گسترده ای در مصارف گوناگون صنعتی، خانگی، کشاورزی و . . . مورد استفاده قرار می گیرند.

سیستم های فتوولتائیک یا برق خورشیدی متشکل از تعدادی پنل خورشیدی می باشند که نور خورشید را جذب کرده و آن را مستقیماً به الکتریسیته تبدیل می کنند. الکتریسیته تولیدی توسط این پنل ها از نوع DC یا مستقیم است و برای مصارف عمومی توسط اینورتر تبدیل به برق AC می شود. در بسیاری از کاربردها انرژی تولید شده برای مصارف بعدی یا استفاده در شب هنگام، می بایستی ذخیره گردد که برای این عمل نیاز به شارژ کنترلر و باتری های مناسب می باشد. به دلیل بالا بودن قیمت الکتریسیته تولیدی از این سیستم ها، بهتر است که تمامی اجزاء تشکیل دهنده سیستم دارای راندمان بالا باشند تا تلفات به حداقل میزان ممکن برسد. مهمترین بخش و گرانیقیمت ترین جزء این سیستم ها، پنل های خورشیدی هستند. نحوه استقرار و جهت نصب و میزان تابش دریافتی این پنل ها، نقش کلیدی در میزان دریافت انرژی از خورشید و به تبع آن میزان تولید انرژی توسط سیستم ایفا می کند.

با توجه به وابستگی شدید سیستم های خورشیدی به نور خورشید و همچنین تغییر وضعیت تابش خورشید در طول روز، ماه و سال، طراحی و ساخت سیستم هایی که بتواند متناسب با این تغییرات، حداکثر بهره را از نور خورشید به دست آورند باید مورد بررسی قرار گیرد و تا به امروز مطالعات، مقالات و کارهای فراوانی در این خصوص صورت گرفته و نتایج خوبی هم حاصل شده است. یکی از مهمترین موضوعاتی که در این خصوص مطرح می باشد طراحی و استفاده از سیستم ردیاب خورشیدی می باشد. سیستم های ردیاب خورشیدی در واقع با استفاده از روش های مختلف، مسیر حرکت نور خورشید را محاسبه یا مشاهده و

ردیابی می کنند و توسط مکانیزم های مختلف پنل خورشیدی را به گونه ای که حداکثر بهره برداری از نور خورشید صورت گیرد، تنظیم می کنند.

لذا در این تحقیق آنالیز انرژی سیستم های فتولتایک خورشیدی جهت تولید انرژی الکتریکی مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به این که این سیستم ها راندمان پایینی دارند از سیستم های ردیاب خورشیدی برای افزایش خروجی آنها استفاده گردید. آنالیز سیستم فتولتایک مورد نظر برای آب و هوای شهر تهران صورت گرفت. همچنین جهت بهینه سازی زاویه پنل ها از الگوریتم MOPSO استفاده گردید.

برای بررسی عملکرد سیستم فتولتایک ابتدا میزان تابش کل خورشیدی برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره محاسبه گردید. سپس با توجه به اینکه طراحان زاویه شیب آرایه را برابر عرض جغرافیایی منطقه و زاویه آرایه نسبت به جنوب را برابر 180° درجه و یا رو به خط استوا در نظر میگیرند، محاسبات را برای دو روز از سال یعنی ۳۰ خرداد ماه ($n=171$) و ۳۰ بهمن ماه ($n=50$) انجام داده شد. با تجزیه و تحلیل آنالیز انرژی سیستم فتولتایک موردنظر مشخص شد که، در صورت استفاده از سیستم فتولتایک با ردیاب تک محوره جریان خروجی سیستم PV افزایش می یابد که به تبع آن توان خروجی سیستم بیشتر می شود. برای روز ۳۰ خرداد ماه در صورت استفاده از آرایه با ردیاب تک محوره، توان خروجی سیستم فتولتایک نسبت به آرایه ثابت به اندازه ۳۵٪ افزایش می یابد. مقدار این افزایش برای روز ۳۰ بهمن ماه حدود ۸ برابر می باشد. همچنین با در نظر گرفتن ۲۰ ماژول با مساحت کل ماژول برابر $32/62 \text{ m}^2$ مشخص گردید که در حالت ردیابی به اندازه ۲۴٪ به تولید انرژی سالیانه افزوده می شود.

در مرحله بعدی با تعریف توابع هدف و محدودیت های موردنظر و اجرای الگوریتم بهینه سازی در محیط نرم افزار MATLAB مشخص شد که بهینه ترین زاویه شیب پنل، زاویه آزیموس پنل و زاویه چرخش آرایه در حالت آرایه با ردیاب تک محوره به ترتیب برابر $31/8^\circ$ ، $178/2^\circ$ و $85/1^\circ$ می باشند. همچنین انرژی سالیانه تولیدی توسط سیستم فتولتایک با آرایه ثابت بعد از بهینه سازی زوایای شیب و آزیموس پنل به اندازه ۱۷٪ افزایش پیدا می کند، و انرژی سالیانه تولیدی توسط سیستم فتولتایک با آرایه ردیابی تک محوره بعد از بهینه سازی به اندازه ۹۴٪ بیشتر می گردد.

بنابراین به عنوان یک نتیجه گیری کلی می توان گفت که، با توجه به اینکه سیستم فتولتایک با ردیاب هزینه بالاتری نسبت به سیستم فتولتایک در وضعیت ثابت دارد اما دارای

بازده بسیار بالاتری می باشد لذا میتواند بیشتر مورد توجه کارشناسان قرار گیرد.

۵-۲- پیشنهادات ادامه کار

برای ادامه کار پیشنهاداتی بصورت زیر ارائه می شود :

✓ بررسی و تعمیم نتایج حاصل از تحقیق به دیگر مناطق کشور و شرایط آب و هوایی متفاوت؛

✓ استفاده از دیگر انواع پنل های خورشیدی برای تولید انرژی الکتریکی مورد نیاز و مقایسه آن با نتایج حاصل از این تحقیق؛

✓ بررسی آنالیز اقتصادی سیستم فتوولتائیک مورد مطالعه و انجام مقایسه ای بین نتایج بدست آمده با نتایج کارهای مشابه موجود در مناطق دیگر و ارائه راهکارهای اساسی در جهت بهینه سازی فنی و اقتصادی سیستم مورد نظر؛

✓ بررسی سیستم فتوولتائیک خورشیدی در مقیاس بزرگتر که قابلیت اتصال به شبکه را داشته باشد.

منابع

- ۱- شامل، علی، علایی، رضا و معرفتی، محمد، مبانی سیستم های انرژی خورشیدی، انتشارات یاوریان، ۱۳۹۵
- ۲- افسری بجستانی، صبا و کریم پور، علی، ردیابی نقطه حداکثر توان آرایه فتوولتاییک در شرایط سایه جزئی با تخمین منحنی توان - ولتاژ، اولین کنفرانس بین المللی انرژی خورشیدی، اردیبهشت ۱۳۹۳
- ۳- رضوی طوسی، سید سلمان و شیرین زاده، حاجی، بررسی تاثیرات کاهش دما بر خواص الکتریکی سلول خورشیدی، مقاله نامه کنفرانس فیزیک ایران، ۱۳۸۵
- ۴- لایقتر، هادی، بررسی سیستم ردیاب خورشیدی جهت یافتن زاویه بهینه در سیستم های فتوولتاییک برای تولید انرژی الکتریکی (مورد مطالعاتی شهر تبریز)، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملکان، ۱۳۹۵
- ۵- شیخعلیزاده، صبا و بدلی، نادر، بررسی فنی استفاده از ردیاب خورشیدی جهت افزایش توان خروجی سیستم های فتوولتاییک خورشیدی، پنجمین همایش منطقه ای بهره برداری و دیسپاچینگ شرکت های توزیع، ۱۳۹۵
- ۶- ویسی، امیررضا، طراحی و بهینه سازی CHP خورشیدی با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان بالا، پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی دانشستان ساوه، ۱۳۹۶
- ۷- دربندسری، میلاد، بررسی فنی و اقتصادی از انرژی های تجدید پذیر در تهویه مطبوع خورشیدی یک ساختمان مسکونی نمونه در تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب، ۱۳۹۶
- ۸- طاهربانه، م، فاسونیه چی، ع، کرباسیان، ش و امجدی فرد، ر، بررسی اثرات دما، تابش و تشعشع بر مشخصه های الکتریکی سلول خورشیدی و دریافت حداکثر توان از یک پانل خورشیدی با استفاده از سیستم ردیاب نقطه ماکزیمم توان، فصلنامه علوم و فناوری فضایی، جلد ۱، شماره ۱، پاییز ۱۳۸۷، ۸۰-۶۷
- ۹- نورپور، علیرضا، ذاکرالحسینی، زهرا، و جزینیان، سمیرا، ارزیابی اثرات محیط زیستی استفاده از سلول های فتوولتاییک در تولید برق و مقایسه آن با منابع انرژی فسیلی، اولین کنفرانس و نمایشگاه بین المللی انرژی خورشیدی، ۱۳۹۳
- ۱۰- پیغامی آخوله، سعید و ذوالقدری، محمدرضا، ارائه روشی جدید برای مدل سازی اثر

دما در توان و انرژی تولیدی پنل های خورشیدی، چهارمین کنفرانس نیروگاههای برق، تهران، ۱۳۹۰

۱۱- ملتس، رحیم و عظیمی، میلاد، مدل مداری تک دیودی سلول های خورشیدی و بررسی پارامترهای مختلف بر عملکرد سلول ها در نرم افزار متلب، اولین کنگره بین المللی علوم مهندسی، شیراز، ۱۳۹۶

۱۲- ایجاد، حسن و حاجی زاده، امین، ردیابی حداکثر توان در سیستم تولید توان خورشیدی بر پایه تقریبگر فازی تابع ولتاژ نقطه کار با شدت تابش، مجله سیستم های هوشمند در مهندسی برق، سال سوم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱

۱۳- کوثریان، عبدالنبی و شکیب، مریم، ارائه روشی نوین جهت تخمین نقطه توان بهینه آرایه سلول خورشیدی سیلیکن آمورف، بیست و سومین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۴

۱۴- ناظریان، وحدت و اله قلی، میلاد، مدل سازی صفحات خورشیدی فتوولتاییک با استفاده از مدار معادل چند دیودی خطی-تکه ای، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی برق و کامپیوتر، تهران، ۱۳۹۵

۱۵- آیتی، موسی و تجلی، علیرضا، استخراج نقطه توانبیشینه سلول خورشیدی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات تطبیقی بهبود یافته (MAPSO)، نهمین سمپوزیوم پیشرفت های علوم و تکنولوژی، مشهد ۱۳۹۳

۱۶- نعیمی، محمدرضا و قنبری، محمود، ردیابی نقطه توان ماکزیمم سیستم فتوولتاییک در شرایط سایه جزئی با مبدل باک بوست با استفاده از الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان، نهمین کنفرانس بین المللی مهندسی برق با محوریت انرژی های نو، ۱۳۹۵

۱۷- شهبازی، حمیدرضا، زنگنه، علی و کربلایی، فرید، روشی سریع در تعیین بهینه MPPT آرایه های خورشیدی در شرایط سایه جزئی با استفاده از سیستم فازی - عصبی تطبیقی، سی امین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۹۴

۱۸- حسینی جزه، رضا و حمید رضا اکبری، آنالیز دقیق الگوریتم های P&O و IC در ردیابی نقطه توان ماکزیمم سلول های خورشیدی، چهارمین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق، اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، ۱۳۹۴

۱۹- بهرامی، حمیدرضا، پیاده سازی کنترل منطق فازی جهت ردیابی نقطه ماکزیمم توان سیستم خورشیدی در شرایط سایه جزئی، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی

ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، ۱۳۹۵

۲۰- همدم، مهدی، بررسی تاثیر عوامل محیطی مختلف بر عملکرد سلول های خورشیدی،

پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد اردبیل، ۱۳۹۵

- 21- Hanieh Borhanazad, Saad Mekhilef , Velappa Gounder Ganapathy, Mostafa Modiri-Delshad , Ali Mirtaheri, Optimization of micro-grid system using MOPSO, Renewable Energy 71 (2014) 295-306
- 22- Nur Atharah Kamarzaman, Chee Wei Tan, A comprehensive review of maximum power point tracking algorithms for photovoltaic systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews 37 (2014) 585–598
- 23- Hochbaum, I.Allon, Yang, Peidong, “Semiconductor Nanowires for Energy Conversion” Chem. Rev. (2010), 110, 527–546
- 24- Gilbert.M.Masters, Renewable and efficient electric power systems, (2004), pp 431-442
- 25- C.W. Tan, T.C. Green, C.A. Hernandez, An improved maximum powerpoint tracking algorithm with current-mode control for photovoltaic applications,in: Proceedings of 1991 IEEE International Conference on PowerElectronics and Drive Systems, Kuala Lumpur, Malaysia, November28–December 1, 1991.
- 26- D. Poponi, Analysis of diffusion paths for Photovoltiac technology basedon experience curves, Sol. Energy 1.74 331–349.(2003)
- 27- Ibrahim, H. E.-S. A. and Houssiny, F. F., “Microcomputer Controlled Buck Regulator for Maximum Power Point Tracker for DC Pumping System Operates from Photovoltaic System,” Proceedings of the IEEE International Fuzzy Systems Conference, August 22-25, Vol. 1, pp. 406-411 (1999)
- 28- Midya, P., Kerin, P. T., Turnbull, R. J., Reppa, R. andKimball, J., “Dynamic Maximum Power Point Trackerfor Photovoltaic Applications,” Proceedings of theIEEE Power Electronics Specialists Conference, PESC,Vol. 2, pp. 17101716 (1996).
- 29- Joe-Air Jiang, Tsong-Liang Huang, Ying-Tung Hsiaoand Chia-Hong Chen., “Maximum Power Tracking for Photovoltaic PowerSystems,” *Tamkang Journal of Science and Engineering*, Vol. 8, No 2, pp. 147153 (2005)
- 30- D. Rekioua, A.Y.Achour, T. Rekioua., “Tracking power photovoltaic system with sliding mode control strategy,” *Energy Procedia* 36 219 – 230(2013)
- 31- Gomez –Gil Fj, wang X, Barnet A, Energy production of photovoltaic systems:fixed, tracking, andconcentrating. Renewable and sustainable energy reviews:16(1):306-13.(2012)
- 32- Amir Gheibi, S.M.A.Mohammadi, M.maghfoori, Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Generation Based on the Type 2 Fuzzy Logic Control Method, *Energy Procedia* 12 538 – 546(2011)
- 33- Marefati, M., M. Mehrpooya, and M.B. Shafii, Optical and thermal analysis of a parabolic trough solar collector for production of thermal energy in different climates in Iran with comparison between the conventional nanofluids. *Journal of Cleaner Production*, 2018. 175: p. 294-313
- 34- Fraas, Lewis, Partain, Larry, Solar Cells and Their Applications, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., (2010)

- 35- C.Saravanan and, M.A.Panneerselvam, A Comprehensive Analysis for Extracting Single Diode PV Model Parameters by Hybrid GA-PSO Algorithm, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887, Volume 78 – No.8, September 2013
- 36- Marcio Carvalho and Teresa B. Ludermir, an Analysis of PSO Hybrid Algorithms for Feed-Forward Neural Networks Training, Proceedings of the Ninth Brazilian Symposium on Neural Networks (SBRN'06), 2006 IEEE
- 37- D. Mostafa Tobnaghi, R. Madatov and D. naderi, “The Effect of Temperature on Electrical Parameters of Solar Cells” IJAREEIE, vol. 2, no. 12, 2013, 6404-6407
- 38- Subhash Chander, A. Purohit, Anshu Sharma, S.P. Nehra, M.S. Dhaka, Impact of temperature on performance of series and parallel connected mono-crystalline silicon solar cells, Energy Reports, Volume 1, November 2015, 175–180
- 39- Kyoko Ichida, Shunichi Fukushige, Akihiko Nakajima, Takashi Minemoto, Impact of environment factors on solar cell parameters of a-Si μ c-Si photovoltaic modules, Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 93, Issues 6–7, June 2009, 879–883
- 40- L. Reijnders, Design issues for improved environmental performance of dye-sensitized and organic nanoparticulate solar cells, Journal of Cleaner Production, Volume 18, Issue 4, March 2010, 307–312
- 41- M. Derick, C. Rani, M. Rajesh, M.E. Farrag, Y. Wang, K. Busawon. An improved optimization technique for estimation of solar photovoltaic parameters. Solar Energy 157 (2017) 116–124
- 42- J. Prasanth Ram, T. Sudhakar Babu, Tomislav Dragicevic, N. Rajasekar. A new hybrid bee pollinator flower pollination algorithm for solar PV parameter estimation. Energy Conversion and Management 135 (2017) 463–476
- 43- Jieming Ma, Ziqiang Bi, Tiew on Ting, Shiyuan Hao, Wanjun Hao. Comparative performance on photovoltaic model parameter identification via bio-inspired algorithms. Solar Energy 132 (2016) 606–616
- 44- Xu Chen, Kunjie Yu, Wenli Du, Wenxiang Zhao, Guohai Liu. Parameters identification of solar cell models using generalized oppositional teaching learning based optimization. Energy 99 (2016) 170-180
- 45- Jing Jun Soon and Kay-Soon Low, Photovoltaic Model Identification Using Particle
- 46- Swarm Optimization with Inverse Barrier Constraint, IEEE Transactions on power electronics, VOL. 27, NO. 9, SEPTEMBER 2012
- 47- Francisco M. González-Longatt, Model of Photovoltaic Module in Matlab, 2th congreso iberoamericano de estudiantes de ingeniería eléctrica, electrónicaly computación (2005)
- 48- Gilbert M. Masters, Renewable and Efficient Electric Power Systems, John Wiley & Sons, 2004
- 49- Van den Bergh. F, An analysis of particle swarm optimizers (PhD thesis). University of Pretoria, Faculty of Natural and Agricultural Science, 2001

- 50- Ujjwala Rai, Modeling of Solar PV system under Partial Shading using Particle Swarm Optimization based MPPT, International Research Journal of Engineering and Technology, Volume: 04 Issue: 02 | Feb -2017
- 51- Dorota Chwieduk, Solar Energy in Buildings Thermal Balance for Efficient heating and cooling, Elsevier, 2014

Abstract

Modeling and Energytic of the Solar Tracking System to Find the Optimal Angle of PV System For Maximum Power Generation With MOPSO Method

Introduction:Energy is one of the primary human needs Today, and human dependence on fossil fuels has been much higher than in the past, with more than 90% of the world's energy consumed from fossil fuels. Energy is considered as one of the most important factors of production and its optimal use is one of the factors affecting the growth and growth of countries. In the meantime, supplying the energy needed by human societies and worrying about the continuity of its supply is of particular importance.

Matrial and methods: With the world's industrial development and the growing demand for energy on the one hand, and the need to preserve the resources of fossil fuels for future generations and to prevent the environmental damage caused by their use, on the other hand, there is no alternative to switching to the use of renewable energy It does not remain like solar energy.

Results:On the other hand, placing Iran on its solar belt in terms of sunlight, with its power and desirable power, has become one of the most prone areas for exploiting this energy.

Discussion: Therefore, the thesis attempts to use solar photovoltaic systems to produce electrical energy, but since these systems have low efficiency, solar system tracking systems can be used to increase their output. The solar tracking system allows the solar arrays to follow the movement of the sun and, as a result of this, move the pitch of the panels to the sun and optimize the production. An algorithm called MOPSO is also used to optimize the angle of panels

Keywords: MOPSO Method Energytic, Solar Tracking, PV System



Energy Institute For Higher Education
Faculty of Engineering
Department of Energy System- Engineering- Energy Systems
Thesis For
Degree of Master of Science (M.Sc)

Title:
**Modeling and Energetic of the Solar
Tracking System to Find the Optimal Angle
of PV System For Maximum Power
Generation With MOPSO Method**

Supervisor:
Dr. Reza Alaei

Advisor:
Dr. Mojtaba Mirzaei

BY:
Hamed Pourderogar

Autumn 97