

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



موسسه آموزش عالی انرژی  
دانشکده انرژی

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

## عنوان :

مدلسازی و تحلیل اقتصادی سیستم ردیاب خورشیدی جهت یافتن زاویه بهینه  
در سیستم های فتوولتایک برای تولید توان ماکزیمم  
با استفاده از الگوریتم ژنتیک

استاد راهنما  
دکتر رضا علایی

استاد مشاور  
دکتر مجتبی میرزایی

نگارش  
حسین هراسی

پاییز ۱۳۹۷



کد فرم: RES-10-01

موسسه آموزش عالی انرژی

باسمه 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: حسین هراسی

تاریخ و امضاء:

## فرم تعهدنامه اصالت پایان نامه

اینجانب **حسین هراسی** دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته سیستم های انرژی که در تاریخ ۹۷/۰۸/۳۰ از پایان نامه خود با عنوان **مدلسازی و تحلیل اقتصادی سیستم ردیاب خورشیدی جهت یافتن زاویه بهینه در سیستم های فتوولتاییک برای تولید توان ماکزیمم با استفاده از الگوریتم ژنتیک** 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: حسین هراسی  
تاریخ و امضاء:

## مَنْ لَمْ يَشْكُرِ الْمَخْلُوقَ، لَمْ يَشْكُرِ الْخَالِقَ

### سپاسگزاری:

«مَنْتِ خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر و اندرش مزید نعمت» سپاس بی کران خداوند بخشنده و مهربان را که از سر لطف خویش، توفیق دانش اندوزی و انجام این تحقیق را به بنده مرحمت فرمود و بی شک بدون عنایت و الطاف کریمه اش حتی لحظه ای دوام نخواهیم داشت و رحمت واسعه ی او بر آنان که عمری را در درک معرفتش سرکردند و در نهایت خالصانه هر آنچه را داشته اند در طبق اخلاص نهادند. از تمام معلمین و اساتید عزیزی که از ابتدا مرا در شناخت و آگاهی به نور علم و ایمان راهنمایی کرده اند کمال سپاس گزاری و قدردانی را داشته و همواره توفیق و سعادت هر دو جهان ایشان را از خداوند مَنَّان مسئلت دارم. از پدر و مادر عزیزم که مشوّق های بنده بودند، همچنین از کمک های فکری و روحی آنان کمال تشکر را دارم از اساتید محترم جناب آقایان دکتر رضا علایی و دکتر مجتبی میرزایی که زحمت راهنمایی و مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشته و همواره یار و همراه بنده بودند، و از استاد محترم داور که برای این رشته و در یادگیری ما زحمت کشیده اند تشکر می کنم و نیز از مدیریت محترم پژوهش موسسه آموزش عالی انرژی دانشکده انرژی و مسئولین امور پایان نامه تشکر و قدردانی می شود.

در پایان از کلیه دوستان و همکاران محترم به خاطر راهنمایی ها و در اختیار گذاشتن تجربیاتشان که در انجام این پژوهش به بنده عنایت داشتند کمال تقدیر و تشکر را داشته و از خداوند متعال توفیق همگی ایشان را خواهانم.

با تقدیم ادب و احترام

حسین هراسی

تقديم به:

## پدر و مادرم

که مشوق اصلی ام برای ادامه تحصیل بود.

# مدلسازی و تحلیل اقتصادی سیستم ردیاب خورشیدی جهت یافتن زاویه بهینه در سیستم های فتوولتاییک برای تولید توان ماکزیمم با استفاده از الگوریتم ژنتیک

## چکیده

**مقدمه:** در این تحقیق، مدلسازی و تحلیل سیستم ردیاب خورشیدی جهت یافتن زاویه بهینه در سیستم های فتوولتاییک برای تولید توان ماکزیمم با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام گرفته شد.

**مواد و روشها:** بدین منظور، در گام اول مدلسازی سیستم فتوولتاییک انجام گرفت. سپس عوامل محیطی موثر بر این سیستم که شامل دما، زاویه تابش نور خورشید، سایه، جریان باد و برف مورد بررسی قرار گرفتند.

**یافته ها :** بعد از شناسایی عوامل تاثیر گذار، با در نظر گرفتن این پارامتر ها، بهینه سازی برای دستیابی به حداکثر توان تولیدی با دو حالت بدون ردیاب و با ردیاب مقادیر تعیین گردید. سپس، برای آنالیز اقتصادی سیستم فتوولتاییک برای تامین بار منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی در شهرستان عسلویه، شبیه سازی در محیط نرم افزار HOMER انجام گرفت.

**بحث:** میزان بازگشت سرمایه در این سیستم ۵/۲ سال و میزان کل توان تولیدی سالانه ۶۰۷۹۱ کیلو وات ساعت در سال بدست آمد.

**کلمات کلیدی:** سیستم فتوولتاییک، ردیاب خورشیدی، بهینه سازی، مدلسازی



## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
<b>فصل اول : کلیات تحقیق</b>	
۱-۱- مقدمه .....	۱
۱-۱-۱- وضعیت مصرف انرژی در جهان .....	۱
۱-۱-۲- منابع محدود انرژی‌های تجدید ناپذیر .....	۳
۱-۱-۳- مسایل زیست محیطی .....	۳
۱-۱-۴- ظرفیت بالای انرژی خورشیدی .....	۴
۱-۲- بیان مساله .....	۵
۱-۳- فرضیه های تحقیق .....	۶
۱-۴- خلاصه پروژه .....	۷
<b>فصل دوم : پیشینه تحقیق</b>	
۱-۲- مقدمه .....	۹
۱-۲-۲- تاریخچه سیستم های فتولتاییک .....	۹
<b>فصل سوم : روش شناسی تحقیق</b>	
۱-۳- مقدمه .....	۳۵
۱-۳-۲- انرژی خورشیدی .....	۱۹
۱-۳-۲-۱- ثابت خورشیدی .....	۲۰
۱-۳-۲-۲- تابش در روی سطح زمین .....	۲۰
۱-۳-۲-۳- تابش خورشیدی کلی، مستقیم و پخشی .....	۲۰
۱-۳-۳- سیستم های فتولتاییک .....	۲۱
۱-۳-۳-۱- طبقه بندی تیپ سیستم های فتولتاییک از لحاظ کاربری .....	۲۲
۱-۳-۳-۱-۱- سیستم های فتولتاییک متصل به شبکه .....	۲۲
۱-۳-۳-۲-۱- سیستم های مستقل از شبکه سراسری برق .....	۲۵
۱-۳-۳-۲- اجزای سیستم فتولتاییک .....	۲۶
۱-۳-۳-۲-۱- آرایه فتولتاییک .....	۲۷
۱-۳-۳-۳- سیستم های دنبال کننده تابش خورشید .....	۲۹
۱-۳-۳-۴- مدلسازی سلول فتولتائیک .....	۳۵

۳۶	..... ۳-۳-۴-۱- مشخصات جریان و ولتاژ در سلولهای فتوولتائیک
۴۴	..... ۳-۳-۴-۲- مدل پنل فتوولتائیک
۴۸	..... ۳-۳-۳- عوامل طبیعی موثر بر عملکرد سلولها
۵۰	..... ۳-۳-۴- محاسبه میزان انرژی روزانه مورد نیاز از آرایه های فتوولتائیک
۵۰	..... ۳-۳-۴-۱- خطای خروجی سازنده ( $f_{man}$ )
۵۰	..... ۳-۳-۴-۲- اثر آلودگیها و گرد و خاک
۵۰	..... ۳-۳-۴-۳- اثر دما
۵۳	..... ۳-۴-۱- الگوریتم بهینه سازی ژنتیک GA
۵۳	..... ۳-۴-۱- ساختار الگوریتم های ژنتیکی
۵۳	..... ۳-۴-۱-۱- کروموزوم
۵۴	..... ۳-۴-۱-۲- جمعیت
۵۴	..... ۳-۴-۱-۳- تابع برازندگی
۵۴	..... ۳-۴-۲- عملگرهای الگوریتم ژنتیک
۵۴	..... ۳-۴-۲-۱- عملگر انتخاب (Selection):
۵۵	..... ۳-۴-۲-۲- عملگر آمیزش (Crossover):
۵۷	..... ۳-۴-۲-۳- عملگر جهش (Mutation):
۵۷	..... ۳-۴-۳- روند کلی الگوریتم های ژنتیکی
۵۹	..... ۳-۴-۱- روند کلی بهینه سازی و حل مسائل در الگوریتم ژنتیک
۶۰	..... ۳-۵-۱- تجهیزات جانبی سیستم فتوولتائیک
۶۰	..... ۳-۵-۱- اینورتر یا مبدل الکترونیک قدرت AC/DC
۶۱	..... ۳-۵-۲- ذخیره ساز
۶۱	..... ۳-۵-۲-۱- واحد ذخیره سازی انرژی
۶۲	..... ۳-۵-۳- باتری
۶۲	..... ۳-۵-۳-۱- روشهای شارژ باتری
۶۳	..... ۳-۵-۴- انواع شارژرها
۶۳	..... ۳-۵-۴-۱- شارژرهای سریع
۶۴	..... ۳-۵-۴-۲- شارژرهای کند
۶۵	..... ۳-۵-۴-۳- عوامل موثر بر طول عمر باتری

۶۶	۶-۳- نرم افزار HOMER .....
۶۷	۶-۳-۱- مدل باتری در نرم افزار HOMER .....
۶۸	۶-۳-۲- مبدل توان در نرم افزار HOMER .....
۶۹	۶-۳-۳- اصول طراحی در نرم افزار HOMER .....
۶۹	۶-۳-۱- تابع هدف و قیود مساله .....
۷۰	۶-۳-۲- هزینه نگهداری .....
۷۱	۶-۳-۳- محاسبه زمان بازگشت سرمایه .....

#### فصل چهارم: نتایج و بحث و بررسی

۷۴	۴-۱- مقدمه .....
۷۹	۴-۲- بهینه سازی عملکرد سیستم فتوولتائیک خورشیدی .....
۷۹	۴-۲-۱- نتایج حاصل از بهینه سازی سیستم فتوولتائیک خورشیدی .....
۸۳	۴-۳- تحلیل اقتصادی با نرم افزار HOMER .....
۸۷	۴-۳-۱- محاسبه زمان بازگشت سرمایه برای سیستم نیروگاه خورشیدی .....

#### فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۸۹	۵-۱- نتیجه گیری .....
۹۱	۵-۲- پیشنهادات .....
۹۲	منابع .....

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳: بازده مازول های مختلف فتوولتاییک .....	۳۰
جدول ۲-۳: بازده پانل های فتوولتاییک برای حالت های نصب مختلف .....	۳۰
جدول ۱-۴: بهینه ترین تعداد وسایز اجزای سیستم خورشیدی .....	۸۴
جدول ۲-۴: متوسط تابش انرژی خورشیدی در طول سال شهرستان عسلویه .....	۸۶
جدول ۳-۴: جدول هزینه های سیستم .....	۸۷

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۱: نمودار سهم هر یک از منابع انرژی در تأمین انرژی اولیه در سراسر جهان ..... ۲
- شکل ۱-۲: نمودار سهم هر یک از منابع انرژی در تأمین انرژی الکتریکی در سراسر جهان .. ۲
- شکل ۱-۳: نمودار تغییرات دمای متوسط زمین نسبت به متوسط دما بین سالهای ۱۹۰۰-۱۸۶۱ میلادی ..... ۴
- شکل ۳-۱: طرحی از سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه برق بدون باتری ذخیره ساز ..... ۲۴
- شکل ۳-۲: طرحی از سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه برق دارای باتری ذخیره ..... ۲۵
- شکل ۳-۳: طرح کلی سیستم فتوولتاییک مستقل از شبکه ..... ۲۶
- شکل ۳-۴: طرح واره سلول، مازول، پانل و آرایه های فتوولتاییک ..... ۲۷
- شکل ۳-۵: انواع فناوری های سلول های خورشیدی ..... ۲۹
- شکل ۳-۶: منحنی توان - ولتاژ یک پانل خورشیدی ..... ۳۳
- شکل ۳-۷: شماتیک و منحنی عملکرد جریان - ولتاژ دیود p-n ..... ۳۶
- شکل ۳-۸: شماتیک اتصال سلول فتوولتاییک به بار و جریان فوتونها و الکترونها ..... ۳۷
- شکل ۳-۹: مدار معادل ساده سلول فتوولتاییک ..... ۳۷
- شکل ۳-۱۰: مدارهای نشان دهنده جریان اتصال کوتاه و ولتاژ مدار باز ..... ۳۷
- شکل ۳-۱۱: شاخص تغییر جریان با ولتاژ در تاریکی و روشنایی برای سیستم فتوولتاییک ... ۳۸
- شکل ۳-۱۲: مدار معادل ساده دو سلول فتوولتاییک نشان دهنده جریان  $I=0$  چنانچه یکی از سلولها در سایه قرار گیرد ..... ۳۹
- شکل ۳-۱۳: مدار معادل سلول فتوولتاییک با مقاومت موازی اضافه شده ..... ۳۹
- شکل ۳-۱۴: اعمال تغییر در مدار معادل ساده سلول فتوولتاییک با اضافه نمودن مقاومت موازی ..... ۴۰
- شکل ۳-۱۵: مدار معادل سلول فتوولتاییک با اضافه نمودن مقاومت سری ..... ۴۱
- شکل ۳-۱۶: اعمال تغییر در مدار معادل سلول فتوولتاییک با اضافه نمودن مقاومت سری ... ۴۱
- شکل ۳-۱۷: مدار معادل سلول فتوولتاییک که شامل مقاومت سری و موازی است ..... ۴۲
- شکل ۳-۱۸: اثر مقاومت های سری و موازی بر منحنی جریان - ولتاژ ..... ۴۲
- شکل ۳-۱۹: مشخصه ولتاژ - جریان یک سلول خورشیدی ..... ۴۴

شکل ۳-۲۰: دیاگرام ولتاژ جریان سلول خورشیدی با تابش متغیر (سمت راست) و دمای متغیر (سمت چپ).....	۴۴
شکل ۳-۲۱: نحوه ارزیابی شایستگی در چرخ رولت.....	۵۵
شکل ۳-۲۲: یک نمونه تلفیق (آمیزش).....	۵۶
شکل ۳-۲۳: یک کروموزوم قبل و بعد از اعمال عملگر جهش.....	۵۷
شکل ۳-۲۴: کد برنامه مجازی الگوریتم ژنتیک ساده و فلوچارت آن.....	۵۸
شکل ۳-۲۵: نحوه ارزیابی تابع شایستگی در چرخ رولت.....	۵۹
شکل ۳-۲۸: اتصال باتریها به طور سری.....	۶۵
شکل ۳-۲۹: اتصال باتریها به طور موازی.....	۶۵
شکل ۳-۳۵: نمایی از نرم افزار HOMER.....	۶۷
شکل ۴-۱: میانگین دمای شهر عسلویه در ماههای مختلف سال (هواشناسی بوشهر).....	۷۵
شکل ۴-۲: نمودار شدت تابش خورشیدی سالیانه شهر عسلویه.....	۷۵
شکل ۴-۳: میزان دریافت تابش خورشیدی توسط سیستم فتولتاییک در دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره برای روز ۲۰ دی ماه در شهر عسلویه.....	۷۶
شکل ۴-۴: میزان دریافت تابش خورشیدی توسط سیستم فتولتاییک در دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره برای روز ۲۰ خرداد ماه در شهر عسلویه.....	۷۶
شکل ۴-۵: منحنی I-V برای روز ۲۰ خرداد ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره.....	۷۷
شکل ۴-۶: منحنی P-V برای روز ۲۰ خرداد ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره.....	۷۷
شکل ۴-۷: منحنی I-V برای روز ۲۰ دی ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره.....	۷۸
شکل ۴-۸: منحنی P-V برای روز ۲۰ دی ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره.....	۷۸
شکل ۴-۹: روند همگرایی الگوریتم ژنتیک.....	۸۰
شکل ۴-۱۰: منحنی I-V برای روز ۲۰ خرداد ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای سیستم فتولتاییک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی.....	۸۱

- شکل ۴-۱۱: منحنی P-V برای روز ۲۰ خرداد ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای سیستم فتوولتاییک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی ..... ۸۲
- شکل ۴-۱۴: منحنی I-V برای روز ۲۰ دیماه ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای سیستم فتوولتاییک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی ..... ۸۲
- شکل ۴-۱۵: منحنی P-V برای روز ۲۰ دی ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای سیستم فتوولتاییک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی ..... ۸۳
- شکل ۴-۱۸: شماتیک سیستم نیروگاه خورشیدی ۵۰ کیلو وات متصل به شبکه HOMER . ۸۳
- شکل ۴-۱۹: مجموعه جوابها برای سیستم نیروگاه خورشیدی ۵۰ کیلو وات متصل به شبکه HOMER ..... ۸۴
- شکل ۴-۲۰: نمودار متوسط بار مصرفی ماهانه سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس ... ۸۵
- ( عسلویه ) HOMER ..... ۸۵
- شکل ۴-۲۱: نمودار میله ای بار مصرفی روزانه سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس (عسلویه ) HOMER ..... ۸۵
- شکل ۴-۲۲: متوسط مصرف روزانه سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس ( عسلویه ) در دوازده ماه سال (HOMER) ..... ۸۵
- شکل ۴-۲۲: نمودار میزان تابش انرژی خورشیدی در سال ۲۰۱۷ شهرستان عسلویه (HOMER) ..... ۸۶
- شکل ۴-۲۳: عوامل تاثیر گذار اقتصادی ..... ۸۷

## **فصل اول :**

### **کلیات تحقیق**



## ۱-۱-۱- مقدمه

امروزه به علت افزایش روز افزون جمعیت جهان، محدودیت منابع انرژی و اثرات سوء زیست محیطی حاصل از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی، توجه جهانیان متوجه استفاده از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر گردیده است. کاهش سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌هایی که این نوع از سوخت‌ها بوجود می‌آورد ضرورت استفاده از سیستم‌های تجدیدپذیر (RES)<sup>۱</sup> را پدید آورده است. از میان این نوع سیستم‌های تولید انرژی می‌توان سیستم فتوولتائیک را نام برد که در سراسر جهان، توسط بسیاری از کشورها مورد حمایت قرار گرفته است. سیستم فتوولتائیک جهت تامین برق شبکه از طریق انرژی بدست آمده از مدول‌های PV به کار می‌رود. براساس عرف بین المللی امروزه زمینه اصلی استفاده از سیستم فتوولتائیک شبکه‌ای در واحدهای انفرادی تولید برق در مناطقی که تولید برق از شبکه ضعیف است و یا اصلاً وجود ندارد می‌باشد. پتانسیل انرژی قابل توجه، تولیدات بدون آلاینده و قابلیت اطمینان بالا به همراه بازده مناسب این نوع از سیستم باعث توسعه و پیشرفت این صنعت شده است. در این فصل ضمن معرفی سیستم‌های فتوولتائیک به عنوان یک سیستم نوین انرژی، انواع سلول‌های فتوولتائیک و کاربردهای آن، مزایا و معایب استفاده از این سیستم‌ها و شرایط بهینه جهت نصب این سلول‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

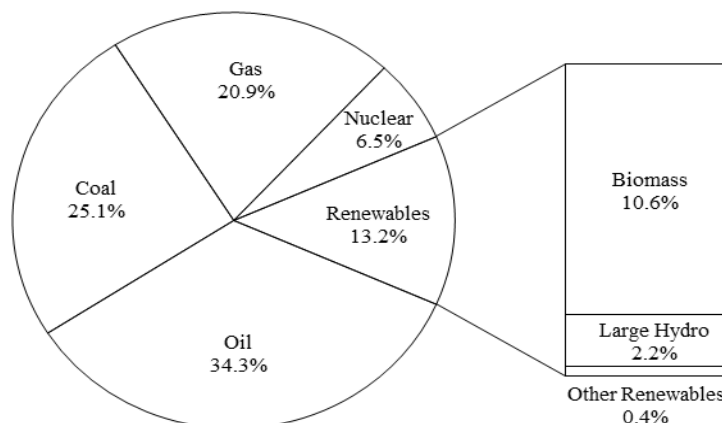
بر اساس نتایج به دست آمده، ترویج به کارگیری این سیستم‌ها به ویژه در مناطق دور از شبکه توزیع برق، ضمن کاهش مشکلات ناشی از توسعه شبکه و سوخت رسانی در این مناطق می‌تواند راهکاری برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی بوده و تاثیر بسزایی در تقلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشد و در آینده با افزایش تولید این سیستم‌ها و کاهش هزینه‌های ساخت، استفاده بیشتر از آنها امکان پذیر خواهد شد.

## ۱-۱-۱- وضعیت مصرف انرژی در جهان

مصرف سالانه‌ی انرژی اولیه در کل جهان در حال حاضر حدود  $500 \text{ EJ}$ <sup>۲</sup> است. این مقدار انرژی معادل  $16 \text{ TW}$  توان است. سهم هر یک از منابع انرژی در تأمین این مقدار در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

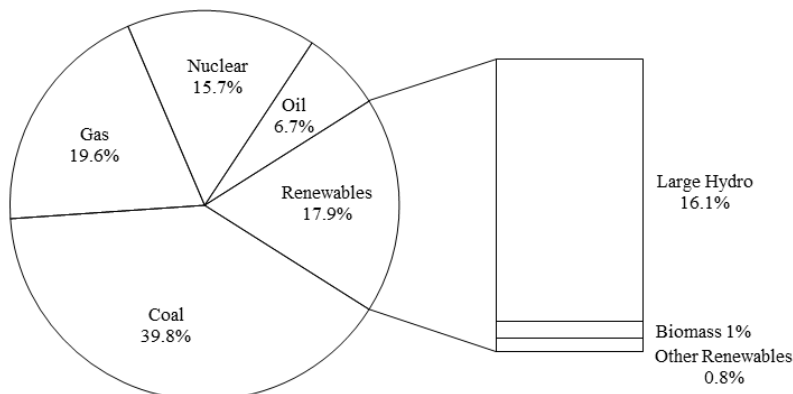
<sup>۱</sup> - Renewable Energy Systems

<sup>۲</sup> EJ = Exa Joule =  $10^{18} \text{ J}$



شکل ۱-۱: نمودار سهم هر یک از منابع انرژی در تأمین انرژی اولیه در سراسر جهان

همان‌طور که مشاهده می‌شود، ۳۴/۳٪ این انرژی توسط نفت، ۲۵/۱٪ توسط زغال، ۲۰/۹٪ توسط گاز طبیعی، ۱۳/۲٪ توسط انرژی‌های تجدید پذیر و ۶/۵٪ توسط انرژی هسته ای تأمین می‌شود. از ۱۳/۲٪ انرژی‌های تجدید پذیر، ۱۰/۶٪ توسط زیست توده، ۲/۲٪ توسط نیروگاه های برق- آبی بزرگ و فقط ۰/۴٪ توسط دیگر انرژی‌های تجدید پذیر مانند انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی امواج دریا و ... تأمین می‌شود، که انرژی خورشیدی سهمی حدود ۰/۰۴٪ دارد. مصرف سالانه‌ی الکتریسیته در جهان حدود ۱۸۰۰۰ TWh (۶۴/۸ EJ) است که معادل ۲ TW توان است. همان‌طور که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، این میزان الکتریسیته از منابع متنوعی تولید می‌شود که سهم هر یک به این صورت است: زغال ۳۹/۸٪، گاز طبیعی ۱۹/۶٪، انرژی‌های تجدید پذیر ۱۷/۹٪، انرژی هسته ای ۱۵/۷٪ و نفت ۶/۷٪. از منابع تجدید پذیر که ۱۷/۹٪ از کل تولید الکتریسیته را شامل می‌شوند، ۱۶/۱٪ مربوط به نیروگاه های برق- آبی بزرگ، ۱٪ مربوط به زیست توده و ۰/۸٪ مربوط به سایر انرژی‌های تجدید پذیر است. [۱]



شکل ۱-۲: نمودار سهم هر یک از منابع انرژی در تأمین انرژی الکتریکی در سراسر جهان

## ۱-۱-۲- منابع محدود انرژی‌های تجدید ناپذیر

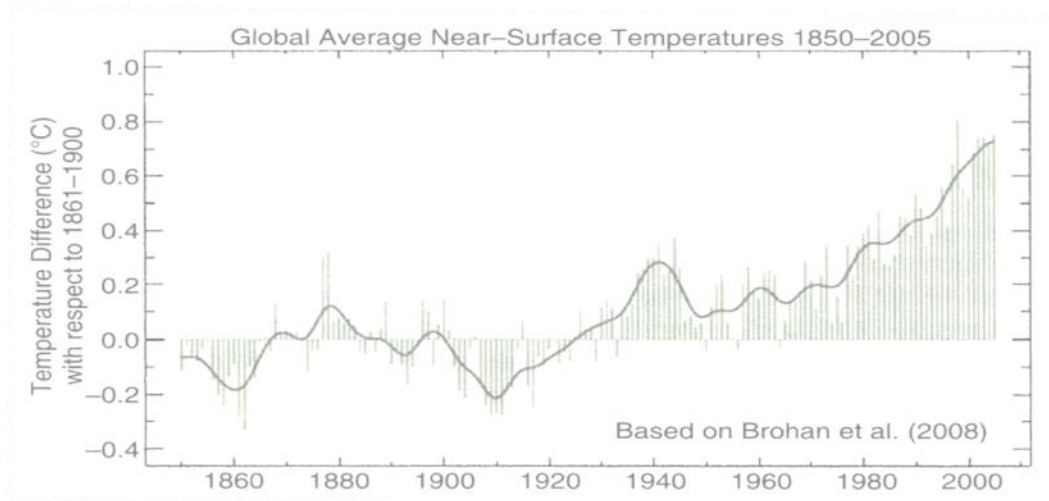
تعیین دقیق اینکه تا چه زمانی سوخت‌های فسیلی، در دسترس خواهند بود، خیلی مشکل است. به گفته شرکت‌های بزرگ نفت و گاز، منابع بزرگ نفت، در حال توسعه هستند و یا هنوز کشف نشده‌اند. یک برآورد مطمئن نشان می‌دهد که نفت منابع موجود برای تأمین نیاز فعلی تا حداقل ۳۰ سال دیگر کافی خواهد بود. آخرین گزارش‌ها نشان می‌دهند که منابع گاز برای تأمین نیاز فعلی تا ۶۰ سال دیگر کفایت خواهند کرد. خوشبختانه منابع زغال می‌توانند تا صدها سال دوام یابند. البته جنبه منفی زغال، مقدار زیاد کربن موجود در آن است. سوخت نیروگاه‌های هسته‌ای که اغلب با فرآیند شکافت هسته‌ای کار می‌کنند، نامحدود نیست و چند دهه قبل، این موضوع توجه‌ها را به سوی رآکتورهای تولید سریع که موجب افزایش عمر سوخت می‌شد، جلب کرد. با این حال خطرهای ذاتی سیاسی در چرخه تولید سریع به دلیل تولید پلوتونیوم قابل استفاده در تسلیحات هسته‌ای، توسعه آن را به چند نمونه رآکتور که دارای مشکلات کاربردی فراوانی بودند محدود کرده بود و در حال حاضر، این رآکتورها دیگر وجود ندارند. عمر منابع اورانیوم برای شکافت مرسوم با سرعت استفاده کنونی حدود ۵۰ سال تخمین زده شده است. [۲]

## ۱-۱-۳- مسایل زیست محیطی

همه سوخت‌های فسیلی، وقتی می‌سوزند، دی اکسید کربن تولید می‌کنند. آزاد شدن مقادیر زیاد این گاز در جو با ایجاد اثر گلخانه‌ای موجب گرم شدن زمین می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهند که میزان دی اکسید کربن موجود در جو در طی چند هزار سال گذشته و تا آغاز انقلاب صنعتی در اوایل قرن نوزده میلادی دارای مقدار تقریباً ثابت  $280 \text{ ppm}^3$  بوده است. میزان دی اکسید کربن جو در ابتدا به دلیل سوزاندن زغال به آهستگی افزایش یافت، اما پس از جنگ جهانی دوم با توجه به مصرف گسترده تر سوخت‌های فسیلی، میزان دی اکسید کربن جو شتاب گرفته است. این عدد در حال حاضر  $380 \text{ ppm}$  بوده و به سرعت در حال افزایش است. در نتیجه‌ی این تغییرات، زمین از حدود سال ۱۹۰۰ تا کنون به میزان  $0.7^\circ \text{C}$  گرم‌تر شده است که دمای زمین را به بیشترین مقدار در طی ۱۲۰۰۰ سال اخیر رسانده است. شکل ۱-۳ این موضوع را به وضوح نشان می‌دهد.

---

<sup>۳</sup> particle per million



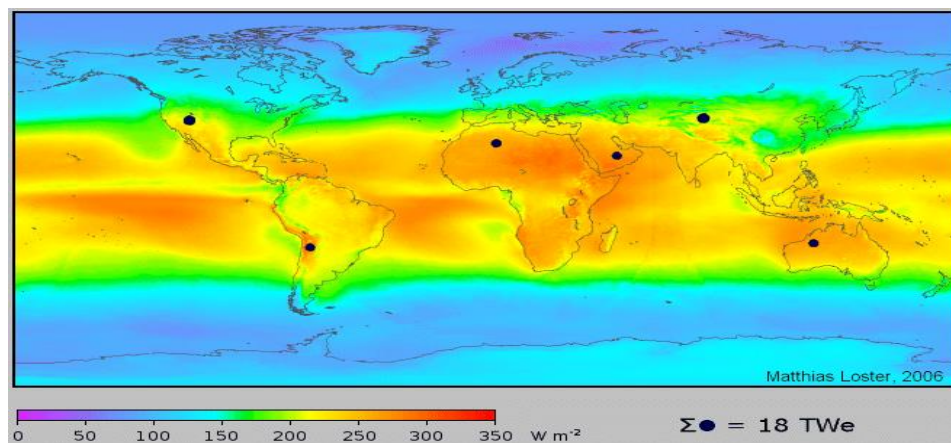
شکل ۱-۳: نمودار تغییرات دمای متوسط زمین نسبت به متوسط دما بین سال‌های ۱۸۶۱-۱۹۰۰ میلادی [۳]

اکثر مدل‌های هواشناسی نشان می‌دهند که دو برابر شدن گازهای گلخانه‌ای نسبت به دوره‌ی قبل از انقلاب صنعتی، موجب افزایش دمای متوسط زمین به میزان  $2-5^{\circ}\text{C}$  خواهد شد و این اتفاق میان سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۶۰ رخ خواهد داد. اگر اقدامی صورت نگیرد، غلظت دی اکسید کربن تا سال ۲۱۰۰ به بیش از سه برابر مقدار قبل از انقلاب صنعتی خواهد رسید که منجر به افزایش دما به میزان  $10-3^{\circ}\text{C}$  خواهد شد. دی اکسید کربن، تنها آلاینده‌ی ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی نیست. اکسیدهای نیتروژن ( $\text{NO}_x$ ) و اکسیدهای گوگرد ( $\text{SO}_x$ ) منجر به باران اسیدی می‌شوند. همچنین نیروگاه‌های هسته‌ای از نظر زیست محیطی، مشکلات متعددی دارند. زباله‌های رادیواکتیو، تشعشعات رادیواکتیو، زباله‌های اجزای راکتور در هنگام اتمام عمر نیروگاه، از مشکلات این نیروگاه‌ها به شمار می‌روند. همچنین گزارش‌هایی مبنی بر سهم قابل توجه این نیروگاه‌ها در انتشار دی اکسید کربن به جو وجود دارد. [۳]

### ۱-۱-۴- ظرفیت بالای انرژی خورشیدی

شکل ۱-۴ ظرفیت بالای انرژی خورشیدی را نشان می‌دهد. تابش خورشید بر روی زمین  $14000$  بار بیش‌تر از مصرف انرژی در جهان است. انرژی تابشی خورشید که فقط در طول یک سال به زمین می‌رسد، خیلی بیش‌تر از همه منابع سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای شناخته شده است.

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.



شکل ۱-۴: ظرفیت بالای انرژی خورشیدی ([www.energyfund.ir](http://www.energyfund.ir))

## 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 فتولتائیک با درجه حرارت، در معرض خورشید قرار گرفتن (زاویه تابش)، سایه و ساختار آرایه متناسب است. 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 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 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 فتولتائیک 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 آرایه‌های 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[۴].

همچنین جهت بهینه سازی زاویه پنل ها از الگوریتمی بنام ژنتیک استفاده می گردد. این الگوریتم حالت خاصی از الگوریتم بهینه سازی جمعیت می باشد که در آن از عملگری به نام عملگر جهش کروموزوم استفاده می شود که این عملگر یک ژن از یک کروموزوم را به طور تصادفی انتخاب نموده و سپس محتوای آن ژن را تغییر می‌دهد. اگر ژن از جنس اعداد دودویی باشد، آن را به وارونش تبدیل می‌کند و چنانچه متعلق به یک مجموعه باشد، مقدار یا عنصر دیگری از آن مجموعه را به جای آن ژن قرار می‌دهد. پس از اتمام عمل جهش، کروموزوم‌های تولید شده به عنوان نسل جدید شناخته شده و برای دور بعد اجرای الگوریتم ارسال می‌شوند. قبل از این که یک الگوریتم ژنتیکی بتواند اجرا شود، ابتدا باید کدگذاری (یا نمایش) مناسبی برای مسئله مورد نظر پیدا شود. معمولی ترین شیوه نمایش کروموزومها در الگوریتم ژنتیک به شکل رشته های دودویی است. هر متغیر تصمیم گیری به صورت دودویی در آمده و سپس با کنار هم قرار گرفتن این متغیرها کروموزوم ایجاد می شود. گرچه این روش گسترده ترین شیوه کدگذاری است اما شیوه های دیگری مثل نمایش با اعداد حقیقی در حال گسترش هستند. همچنین یک تابع برازندگی نیز باید ابداع شود تا به هر راه حل کدگذاری شده ارزشی را نسبت دهد. در طی اجرا، والدین برای تولید مثل انتخاب می‌شوند و با استفاده از عملگرهای آمیزش و جهش با هم ترکیب می‌شوند تا فرزندان جدیدی تولید کنند. این فرآیند چندین بار تکرار می‌شود تا نسل بعدی جمعیت تولید شود. سپس این جمعیت بررسی می‌شود و در صورتی که ضوابط همگرایی رآورده شوند، فرآیند فوق خاتمه می‌یابد. [۵].

### ۳-۱- فرضیه های تحقیق

- ۱- سیستم فتوولتائیک را می توان در جهت دستیابی به خروجی بهینه مدلسازی نمود.
- ۲- تنظیم زاویه سیستم فتوولتائیک در دستیابی به حداکثر توان خروجی موثر است.
- ۳- الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در تعیین زاویه بهینه سیستم جهت رسیدن به حداکثر توان موثر است.

- ۴-جنس سلول خورشیدی کریستال سیلیکونی در نظر گرفته شده است.
- ۵-اشعه های خورشیدی را بطور موازی در نظر گرفته شده و از شکست تابش صرفنظر شده است.

#### **۱-۴- خلاصه پروژه**

با استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت یافتن زاویه بهینه در سیستم های فتوولتایک برای تولید توان ماکزیمم و تحلیل اقتصادی این روش برای نیروگاههای خورشیدی که از این تکنولوژی استفاده میکنند راهکار مناسبی ارایه شود.

بنابراین با توجه به مطالب گفته شده در این تحقیق تاثیر حرارت محیط و همچنین شدت نور خورشید بر عملکرد سلول های خورشیدی بررسی شده و میزان تغییرات پارامترهای الکتریکی بر حسب تغییرات محیط بدست می آید. لذا نتایج حاصل از این تحقیق ما را در استفاده بهینه از سلولهای خورشیدی رهنمون خواهد کرد.

## فصل دوم :

### پیشینه تحقیق



## ۲-۱- مقدمه

همانطوری که بیان شد انرژی های تجدید پذیر یا انرژی های نو در سالهای اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است که دلیل اصلی آن توان رقابت و به کارگیری این انرژی با هزینه انرژی های فسیلی از یک طرف و کاربردی تر شدن انرژی های نو از سوی دیگر است. ضمن آنکه اکثر قریب به اتفاق کشور ها به این انرژی لایزال خداوندی دسترسی دارند و توسعه به کار گیری این انرژی نیز به قطع وابستگی کشورها کمک می کند. رشد و توسعه انرژی های نو در سالهای اولیه قرن بیست و یکم بسیار سریع بوده و برنامه های آینده کشورها بخصوص کشورهای صنعتی و توسعه یافته و یا در حال توسعه نیز این رشد را نشان می دهد. در این بین توسعه کاربرد انرژی فتوولتائیک از سایر انواع انرژی های تجدید پذیر بیشتر بوده است و در این رابطه آمار های جهانی نشان دهنده این نکته است که در مقابل رشد ده برابری سایر انرژی های تجدید پذیر، انرژی فتوولتائیک تا سال ۲۰۲۰ میلادی رشدی ۱۰۰ برابر خواهد داشت.

انرژی خورشیدی آلودگی زیست محیطی ندارد و یکی از بزرگترین مزیت های آن علاوه بر در دسترس بودن و ارزان بودن و تجدیدپذیر بودن همین موضوع است، بنابراین به خودی خود توجهات هرچه بیشتر به این سمت کشیده می شود. علاوه بر آن به دلیل رشد جمعیت که طبق آمار مرکز تحقیقات اروپا در سال ۲۰۵۰ میلادی جمعیت جهان بالغ بر ۱۰ میلیارد نفر خواهد رسید می بایست جهت تامین انرژی سالانه بیش از ۲۰ TW انرژی تولید گردد و به عبارتی هر دو روز یک راکتور جهت تولید انرژی ساخته شود. ازاین رو کشور ایران نیز از این توسعه مستثنی نبوده و به سرعت در جهت توسعه و بکار گیری انرژی های نو حرکت می کند.

## ۲-۲- تاریخچه سیستم های فتولتائیک

شناخت انرژی خورشیدی و استفاده از آن برای منظوره های مختلف به زمان های ماقبل تاریخ باز می گردد. خورشید یک راکتور هسته ای طبیعی بسیار عظیم است که ماده در آنجا بر اثر همجوشی هسته ای به انرژی تبدیل می شود و هر روز حدود ۳۵۰ میلیارد تن از جرمش به تابش تبدیل می شود. دمای داخلی آن حدود ۱۵ میلیون درجه سانتیگراد است. انرژی که بدین ترتیب به شکل نور مرئی، فرو سرخ و فرابنفش به ما می رسد  $1 \text{ KW/m}^2$  است.

خورشید به توپ بزرگ آتشین شباهت دارد که صد بار بزرگتر از زمین است. یکی از کاربرد های مهم انرژی خورشیدی استفاده از سیستمهای فتولتائیک است. کاربرد انرژی خورشیدی به قرن هفتم قبل از میلاد مسیح باز می گردد. از انرژی خورشیدی برای گرمایش، پخت و پز، روشنایی و روشن نمودن آتش استفاده می کردند. یونانیان و رومیان باستان معماری هایی را برای استفاده از نور و گرمایش انرژی خورشیدی در داخل ساختمان خود داشته اند. در قرن هفتم قبل از میلاد مسیح مردمان باستان از ذره بین برای تمرکز نور خورشید جهت روشن نمودن آتش استفاده می کردند. در قرن سوم قبل از میلاد مسیح رومیان و یونانیان با استفاده از آینه مشعلهای خود را روشن می نمودند. ارشمیدس دانشمند یونانی در قرن دوم پیش از میلاد مسیح با استفاده از بازتابش نور خورشید از سپری برنزی و متمرکز نمودن نور خورشید توانست کشتی های چوبی دشمنان را آتش بزند. بیست سال بعد از میلاد مسیح مردمان چین از آینه برای روشن نمودن مشعلهای خود استفاده کردند. در طی قرن یک تا چهارم میلادی رومیان حمام های خانه های خود را به گونه ای طراحی نمودند که از نور خورشید برای گرم شدن آب بهره ببرند. اجداد پوئبلو در آمریکای شمالی در قرن سیزدهم میلادی خانه های صخره ای خود را رو به جنوب ساختند تا از گرمای خورشید در زمستان بیشتر بهره ببرند. دانشمندی سوئیسی اولین کلکتور خورشیدی را در سال ۱۷۶۷ میلادی ساخت. در سال ۱۸۱۶ میلادی رابرت استرلینگ وزیر اسکاتلندی اختراع خود را برای پیش گرمکن موتور حرارتی به ثبت رساند. بعدها از این اختراع او در تولید الکتریسیته بوسیله حرارت انرژی خورشیدی بهره گرفتند. در سال ۱۸۳۹ میلادی ادموند بکرل دانشمند فرانسوی اثر فتولتائیک را کشف نمود. او هنگام کار با پیل الکترولیز که با دو الکترود فلزی در محلول الکترولیت خود بود به این نتیجه رسید که وقتی در معرض نور خورشید قرار می گیرد میزان تولید برق افزایش می یابد. ریاضیدان فرانسوی August Mouchet در سال ۱۸۶۰ میلادی کار بر روی موتور بخار خورشیدی را آغاز کرد. بعد از ۲۰ سال او و دستیارش Abel Pifre موتورهایی را ساختند که نمونه های مدرن آن در حال حاضر در کلکتورهای سهموی خطی استفاده می گردد. در سال ۱۸۷۳ میلادی Willoughby Smith قابلیت هدایت نور سلیوم را کشف نمود. William Grylls Adams و Richard Evans Day در سال ۱۸۷۶ میلادی کشف کردند که وقتی سلیوم در مقابل نور خورشید قرار می گیرد برق تولید می کند. در سال ۱۸۸۰ میلادی Samuel P. Langley بولومتر را اختراع نمود که نور ستاره های دور دست را به خوبی اشعه های حرارتی خورشید اندازه گیری می نمود. در سال ۱۸۸۳ میلادی Charles Fritts آمریکایی به ایده

ساخت سلولهای خورشیدی از ویفر سلنیوم فکر کرد و در سال ۱۸۸۷ میلادی هاینریش هرتز کشف کرد که اشعه ماورا بنفش کمترین ولتاژ را برای جرقه زدن بین دو الکترود لازم دارد. اولین آب گرمکن خورشیدی در سال ۱۸۹۱ میلادی توسط کلارنس آمریکایی ثبت اختراع گردید. Wilhelm Hallwachs در سال ۱۹۰۴ میلادی کشف کرد که مس و اکسید مس در کنار یکدیگر حساسیتی نسبت به نور نشان می دهند. در سال ۱۹۰۵ میلادی آلبرت انیشتین همراه با تئوری نسبیت خود اثر فوتوالکتریک را مطرح نمود و در سال ۱۹۰۸ میلادی ویلیام جی بیلی یک کلکتور با سیم پیچ مسی و یک جعبه عایق ساخت. این طرح تقریباً شبیه همان طرحی است که امروزه برای کلکتورهای خورشیدی استفاده می شود. در سال ۱۹۱۶ میلادی دانشمندان اثر فوتوالکتریک را به صورت تجربی اثبات کردند. دانشمند لهستانی Jan Czochralski در سال ۱۹۱۸ میلادی کشف نمود که چگونه یک تک کریستال سیلیکون را رشد دهد. 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. اواسط دهه ۱۹۵۰ میلادی اولین ساختمان اداری تجاری در جهان که با آبگرمکن خورشیدی کار می کرد طراحی شد. 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 کرپ 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 روشنائی 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 سیستمهای تین فیلم راه اندازی گردید. [۶]

عبارت فتوولتاییک<sup>۴</sup> 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 فتوولتاییک و به هر سیستمی که از این پدیده استفاده کند سیستم فتوولتاییک می گویند. سیستم های فتوولتاییک یکی از پر مصرف ترین کاربردهای 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 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. بدین منظور لازم است تا عوامل مؤثر بر راندمان سیستم های فتوولتاییک مشخص گردند و شرایط لازم برای استفاده بهینه از آنها معرفی شوند. لذا در این تحقیق با بررسی عوامل محیطی بر راندمان عملکرد سیستم فتوولتاییک همانند میزان انرژی تابشی خورشیدی و دما سعی در افزایش راندمان این سیستمها داریم. [۷]

در ادامه به مرور برخی تحقیقات صورت گرفته در رابطه با این موضوع می پردازیم:

آقایان مهربگی، محمدابراهیم و آزاد ظریف لولویی تاثیرات تغییرات دمایی را بر خواص الکتریکی سلول خورشیدی مورد بررسی قرا داده اند. آنها اتصال p-n پولک سلسیومی نوع p با ضخامت ۳۳۰ میکرومتر که توسط آلایند فوسفور به نوع n با ضخامت ۵۰۰ نانومتر تبدیل شده است را مورد آزمایش قرار داده اند. سپس به بررسی تغییرات اختلاف پتانسیل، جریان و مقاومت با کاهش دما پرداخته اند و به این نتیجه رسیده اند که با کاهش دما رسانندگی، ولتاژ

<sup>۴</sup>Photovoltaic

مدار باز و جریان اتصال کوتاه کاهش می یابد. تغییر شیب در منحنی ها به تغییر در حامل های اکثریت در دما های مختلف نسبت داده می شود. در دماهای کمتر از ۱۳۳ درجه کلونین بازده کاهش فوق العاده ای دارد و مقاومت سلول خورشیدی به صورت کاملاً چشمگیری افزایش پیدا می کند. [۸]

آقای شیروودی و همکاران اثرات عوامل مداری - محیطی بر دریافت حداکثر توان از سلول های خورشیدی سیلیکانی در مدارهای مختلف را بررسی کرده اند. بررسی آنها شامل اثرات تشعشع، تابش و حرارت بر مشخصه های الکتریکی سلول در دو مدار GEO و LEO است. در سیستم های فتوولتائیک، هدف بالا بردن راندمان است که این کار با دستیابی به بیشترین توان خروجی آرایه های خورشیدی امکان پذیر است. برای نیل به این هدف ردیابی نقطه توان ماکزیمم آرایه خورشیدی، چه آرایه ثابت باشد و چه با حرکت خورشید هماهنگ و سنکرون باشد، ضروری است. بنابراین یک سیستم فتوولتائیک که قابلیت ردیابی خورشید و همچنین قابلیت انتقال سیستم به نقطه ماکزیمم توان را داشته باشد نیز طراحی و پیاده سازی شده است. [۹]

آقای فرحزاد ارشاد و همکاران به منظور مقایسه تولید انرژی از منابع خورشیدی و فسیلی، ابتدا نحوه فرآیند تولید انواع سلول های خورشیدی را مورد بررسی قرار داده اند ، سپس میزان انرژی مصرفی در تولید انواع سلول های خورشیدی و همچنین دیدگاه اقتصادی آن از سال ۱۹۷۷ تا سال ۲۰۱۳ مقایسه کرده اند. در پایان با بررسی دقیق و گسترده از تولید یک عدد ویفر تا نیروگاه خورشیدی، جنبه های اثرات محیط زیستی تولید یک کیلو وات برق از این منبع تجدیدپذیر و مقایسه آن با سوخت های فسیلی به این نتیجه رسیده اند که با توجه به اینکه تولید گازهای گلخانه ای با استفاده از این منابع کاهش یافته ولی با توجه به اثرات محیط زیستی تولید برق باید در نحوه تولید و مواد اولیه بکار رفته تغییراتی لحاظ گردد تا از جنبه های زیست محیطی مقرون به صرفه باشد. تاکید اصلی بر روی معیار آلاینده گی و بررسی اثرات محیط زیستی استفاده از سلولهای فتوولتائیک در تولید برق و مقایسه آن با سایر منابع انرژی فسیلی می باشد که می تواند در فرآیند تصمیم گیری، سرمایه گذاری و ارزیابی منابع انرژی راهگشا قرار گیرد. [۱۰]

آقای احمدی جنیدی و همکاران ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه مورد آزمایش قرار داده اند. و به این نتیجه رسیده اند که بیشترین تاثیر تغییرات دما بر روی ولتاژ می باشد که با افزایش دما کاهش می یابد و جریان نیز بطور مستقیم با افزایش دما بیشتر می شود. [۱۱]

آقای Sharma P و همکاران شدت نور  $550 \text{ W/m}^2$  با محدوده دمایی ۲۵ تا ۶۰ درجه سانتی گراد را بر روی سلول های خورشیدی سیلیکونب با اتصال سری و موازی مورد آزمایش قرار داده اند. و به این نتیجه رسیده اند که ولتاژ مدار باز، توان ماکزیمم و راندمان با افزایش دمای سلول کاهش می یابند. [۱۲]

آقای Ichida و همکاران اثرات زیست محیطی را بر روی عملکرد سلول های خورشیدی نوع a-Si|| $\mu$ c-Si بررسی کرده اند و مقایسه ای بین این نوع سلول خورشیدی و دیگر سلول های خورشیدی نوع سیلیکونی انجام داده اند. و به این نتیجه رسیده اند که مشخصات خروجی این نوع سلول خورشیدی تاثیر پذیر از سلول a-Si است. [۱۳]

آقای Lian L مسائل مربوط به بهبود عملکرد زیست محیطی رنگ حساس و نانو ذرات سلول های خورشیدی را بررسی کرده است و به این نتیجه رسیده است که اگر مواد انرژی بیشتر و بهتری را در ساخت نانو ذرات بکار برده شود میتوان با استفاده از تابش خورشیدی کمتری به انرژی بیشتری دست یافت و مشخصات زیست محیطی سلول های خورشیدی را بهبود بخشید. [۱۴]

آقای Murtaza A و همکاران پارامترهای شدت روشنایی و وابستگی دمایی سلول های خورشیدی را بررسی کرده اند. و به این نتیجه رسیده اند که شدت نور یک اثر غالب بر سایر پارامترها می باشد. جریان نوری، جریان اتصال کوتاه و حداکثر جریان با افزایش سطح شدت نور بطور خطی افزایش می یابند. [۱۵]

آقای Kheldoun و همکاران موضوع الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر قدرت برای سیستم های فتوولتائیک مبتنی بر روش طلایی را بررسی کرده اند. یکی از راه های بهبود بهره وری سیستم های انرژی خورشیدی به حداکثر رساندن مازول فتوولتائیک با استفاده از روش الگوریتم که میتوان نقطه توان ماکزیمم را جستجو کرد برای پیاده سازی روش دوم که باید سریع و دقیق برای مقابله با شرایط سری جوی و شرایط حرارتی جزئی انجام گیرد. این مقاله روش جدید جستجو نقطه توان ماکزیمم براساس روش بهینه سازی برای سیستم های فتوولتائیک ارائه میدهد. روش پیشنهادی نقطه ماکزیمم توان با کاهش فاصله : در ابتدا دو نقطه از فضای جستجو انتخاب شده و با ایجاد مرز یک نقطه جدید ایجاد شده با توجه به نتایج در تکرار الگوریتم هنگامیکه فاصله کاهش یافت سیستم فتوولتائیک با آخرین ولتاژ کار میکند و بدون در نظر گرفتن فاصله چرخه متوقف میشود و باعث میشود سیستم فتوولتائیک به سرعت به نقطه ماکزیمم توان بدون ولتاژ و یا نوسانات نیرو در اطراف نقطه ماکزیمم توان به دلیل

کمیود انرژی کاهش میابد نتیج مقایسه ایی به تازگی منتشر شده برای نشان دادن الگوریتم پیشنهادی تحت شرایط تغییر سریع وسایه جزیی است.[۱۶]

A´ngel-Antonio و همکاران روش جدید MPPT برای سیستم های PV با اندازه گیری تابش را بررسی کردند .

جستجو حداکثر نقطه توان (MPPT) در سیستم فتوولتاییک مورد نیاز است تا عملکرد تولید انرژی در نقطه ماکزیمم توان به بیشترین حد ممکن برسد همچنین افزایش انتقال به دلیل ساده بودن بطور گسترده مورد استفاده قرار میگیرد بسیاری از تکنیک های MPPT توسعه یافته با این حال کارایی تحت تاثیر تغییرات تابشی وسایه جزیی دچار مشکل میشوند. این مقاله روش جدید MPPT در مبدل های PV (فتوولتاییک) و کنترل های شارژی اجرا کرد از تکنولوژی جدید وجود دیوده های نوری بعنوان سنسور تابش با توجه به اندازه گیری تابش پیشنهاد شده الگوریتم برای جلوگیری از سوءعملکرد در این شرایط روش MPPT از لحاظ نظری مورد آنالیز قرار داده است. نتایج کارایی نشان داده شده در مقایسه با تکنیک های استاندارد بررسی میکند[۱۷]

J.Prasanth Ram و همکاران موضوع طراحی و بررسی تکنیک های جستجو حداکثر نقطه توان در باد و سیستم های فتوولتاییک خورشیدی را بررسی کردند . افزایش نسل استفاده از سیستم بادی و سیستم PV خورشیدی توزیع شده در اطراف شبکه میکرو مستلزمه استفاده از روش جستجو ماکزیمم نقطه توان برای باد و PV خورشیدی دارد وبا توجه به تغییر شرایط محیطی و غیر خطی بودن انواع گزارشات ارایه شده الگوریتم های مختلف MPPT برای سیستم های انرژی خورشیدی و بادی در حال حاضر مطرح شده است. معمولا تکنیک های MPPT در خورشید و باد برای تولید برق هیبریدی گزارش نشده است. در این مقاله تکنیک های متداول و تکنیک های هوشمند در پلنفرم تولید برق مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است تاریخچه MPPT اختلال در افزایش انتقال به شبکه فازی و عصبی و روش های تعیین شده MPPT بطور جامع در یک پلت فرم مشترک مقایسه میشود علاوه بر تکنیک های رایج، تکنولوژی انرژی خورشیدی از تکنیک هوشمند الهام گرفته و MPPT در سنسور باد تطبیق کمتری دارد در نهایت با آنالیز اقتصادی در روش MPPT به ترتیب زیر میباشد: [۱۸]

Mouna BEN SMIDA و همکاران موضوع الگوریتم مبتنی بر ژنتیک برای حداکثر

ردیابی نقطه قدرت (MPPT) برای شبکه های PV متصل شده سیستم های عامل در شرایط سایه دار جزئی را بررسی کردند.

قدرت تولید شده توسط پنل فتوولتائیک خورشیدی به شدت به شرایط جوی بستگی دارد. در واقع، یک سیستم متصل به شبکه پاسخ خوبی برای تغییرات در تابش خورشید و درجه حرارت دارد. خصوصیات PV array در شرایط ذاتا سایه دار از طریق حداکثرهای چندگانه در ویژگی های P-V و I-V پیچیده تر خواهد شد. در این مقاله، الگوریتم ردیابی حداکثر نقطه قدرت (MPPT) بر اساس الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده است. الگوریتم توسعه یافته اجازه می دهد غلبه بر، اشکال رایج روش های معمول MPPT. انرژی ارائه شده توسط پنل خورشیدی تحت سایه با استفاده از یک سیستم تبدیل دو مرحله ای، شامل یک مبدل تقویت DC-DC و یک مبدل DC-AC، به شبکه متصل می شود. یک روش شبیه سازی تحت Matlab / Sim power system، برای اثبات اثر روش پیشنهادی با مقایسه عملکرد آن در شرایط آب و هوایی دینامیک استفاده می شود. [۱۹]

Maissa Farhat و همکاران موضوع متد جدید نقطه توان ماکزیمم براساس روش جدید جابجایی برای حداکثر استفاده از انرژی خورشیدی را بررسی کردند.

سیستم فتوولتائیک PV با جستجویی ماکزیمم نقطه توان MPPT ارائه میدهد هدف از این مقاله به حداکثر رساندن نیروی خروجی از ژنراتور فتوولتائیک PVG است که با استفاده از یک کنترل جابجایی SMC که یک مبدل تقویت کننده بین PVG و بار متصل شده هدایت میکند این سیستم تحت مدل SIMULINK\MATLAB تست و آزمایش شده در شبیه سازی کنترل جابجایی همگام سازی سریع و دقیق را به ماکزیمم نیرو به نقطه عملیاتی ارائه میدهد که بسیار مناسبتر از روش مشاهده میباشد. عملکرد کنترل جابجایی در حالت پایدار در برابر تغییر بار وسایه جزیی و همچنین سایر اختلالات پنل مورد بررسی قرار گرفته است برای تایید نتایج اجرای عملی جستجوی نقطه ماکزیمم توان کنترل جابجایی به راه اندازی سخت افزار متکی است و کنترل دیجیتال پلت فرم dSPACE در زمان عملیات اجرا میشود بدست آوردن داده ها و سیستم کنترل در کل برد و محیط اطراف آن بدست میاید نتایج تجربی نشان داده شده با تایید طرح پیشنهادی روی سیستم فتوولتائیک مستقل و واقعی انجام شده است. [۲۰]



Makbul A.M. Ramli و همکاران روشهای حداکثر ردیابی نقطه قدرت (MPPT) سیستم PV را برای شرایط نرمال و جزئی سایه (PSC) مورد بحث بررسی قرار دادند. روش MPPT انتخاب شده به عنوان هوش مصنوعی، ترکیبی و دیگر روش های MPPT طبقه بندی شده است. مقایسه تحقیقات در مورد روش MPPT تحت شرایط عادی و PSC نشان می دهد که محققان از چند سال اخیر بیشتر به شرایط سایه متمرکز شده اند که عمدتاً به دلیل نیاز به توان خروجی و بهبود کارایی است. اعتقاد بر این است که اطلاعات موجود در این قطعه کار برای محققان در زمینه مورد بررسی بسیار مفید خواهد بود.

نتایج این مقاله بطور کلی با آسیب رساندن به سیستم و تخریب سلول خورشیدی در طول عملیات نیست بلکه برای ارزیابی عملکرد کلی سلول خورشید زمانیکه مبدل های الکترونیکی به MPPT متصل هستند آنالیز نظری با تایید آزمایشات تایید شده است. [۲۱]

S. Saravanan و همکاران موضوع بررسی الگوریتم پیگیری نقطه ماکزیمم توان برای سیستم فتوولتائیک را انجام داده اند.

این مقاله بررسی جامع در مورد الگوریتم های پیگیری ماکزیمم توان MPPT نقطه های مختلف براساس اختلال و مشاهدات، محاسبات نرم افزاری، انتقال و تکنیک های دیگر همراه با زمان دقیق اجرای سخت افزاری سیستم فتوولتائیک PV شرح میدهد در این بررسی روش کامل پیاده سازی و تاثیر خروجی PV برای هر الگوریتم مورد بحث و گفتگو است علاوه بر این الگوریتم MPPT برای سیستم های PV با شرایط سایه نسبی بررسی و گزارش شده است. [۲۲]

A. Rezaee Jordehi و همکاران موضوع ردیابی حداکثر نقطه قدرت در سیستم های فتوولتائیک (PV): بررسی رویکردهای مختلف را انجام داده اند. نفوذ فتوولتائیک در تولید برق بطور مستمر باعث افزایش پیگیری نقطه ماکزیمم توان در سیستم های PV دارای اهمیت فراوان است و نشان دهنده چالش مشکل برانگیزی میباشد در نقطه ماکزیمم توان وظیفه تبدیل DC-DC در چرخه کار حداکثر توان قابل دستیابی از سیستم PV استفاده میشود در این مقاله استراتژی های MPPT در دو طبقه دسته بندی میشود که استراتژی هر دسته بررسی میشود. [۲۳]

Deepak Verma و همکاران موضوع تکنیک های حداکثر ردیابی نقطه قدرت (MPPT): خلاصه سازی در سیستم های فتوولتائیک خورشیدی را بررسی کردند.

شکاف تقاضای انرژی طولانی مدت توسط منابع انرژی متعارف و رضایت گرم شدن کره زمین از بین رفته است، زیرا نتیجه آسیب پذیری آن منجر به جستجوی گزینه سازگار می شود. افزایش استفاده از انرژی خورشیدی، که طی سه دهه گذشته نشان داده شده، پاداش های ناهمگن خود را در سناریوی انرژی حاکم نشان می دهد. با این وجود سیستم PV خورشیدی به عنوان یک گزینه قابل قبول در دوران بحرانی قدرت سیستم انرژی کم بهره وری، تبدیل نیاز به یک سیستم تبدیل قدرت کارآمد است. غیر خطی بودن ویژگی I-V (ولتاژ جریان) و تغییر آن برای مقادیر مختلف تابش و دما می تواند تغییر در ولتاژ ترمینال را فعال کند. [۲۴]

این ممکن است نقطه حداکثر قدرت را که باعث می شود تا حداکثر تحویل توان به بار در دسترس باشد، منقضی کند. ادبیات این زمینه تأیید می کند که انزوا و انعطاف پذیری یکنواخت و شرایط سایه ای جزئی نیازمند نیاز غیرقابل انکار برای ردیابی نقطه ی حداکثر قدرت است. با این وجود از طریق تحقیق در این زمینه، امکان دسترسی به مجموعه ای از این تکنیک ها را فراهم می کند؛ هر کدام از آنها دارای جوانب مثبت و مخروطی است. این ویژگی همه جا حاضر از تکنیک های حداکثر نقطه ردیابی (MPPT) موجود، پیچیدگی در انتخاب دقیق آن را باز می کند. برای کاهش پیچیدگی این مقاله ارائه می دهد حالت هنر MPPT مختلف و تجزیه و تحلیل جامع و مقدماتی آن بر اساس مقاله های استاندارد تحقیقاتی. تمرکز این مقاله این است که ارائه بهتر شروع و ارائه اطلاعات ارزشمند برای محققان این زمینه است. [۲۵]

Mohamed A. Enany و همکاران مدل سازی و ارزیابی الگوریتم های ردیابی نقطه اصلی حداکثر قدرت برای سیستم های فتوولتائیک را بررسی کرده اند. این مقاله مدلسازی و ارزیابی الگوریتم های جستجو نقطه ماکزیمم توان را بطور گسترده مورد استفاده قرار می دهد الگوریتم ها در MATLAB\SIMULINK شبیه سازی شده اند، سیستم فتوولتائیک از نظر حسگرها سهولت در اجرا، کارایی و پاسخ دینامیکی به تغییرات دما و تابش خورشید مقایسه میشود. این شبیه سازی بر اساس ارزیابی میتواند در تعیین مناسب الگوریتم های MPPT برای کاربرد های مختلف سیستم فتوولتائیک PV مورد استفاده است و میتوان بعنوان یک مدل مرجع برای تحقیقات تولید برق فتوولتائیک PV در آینده استفاده کرد علاوه بر این تکنیک هوش مصنوعی جدید مبتنی بر تطبیق نتایج نوری- فازی است. پیش بینی میشود در این سیستم تابش خورشید و دمای سلولی که به چرخه وارد شده با استفاده از سویچ الکترونیکی

تبدیل به DC-DC میشود و قابل قبول میباشد. تکنیک پیشنهادی با دقت بالا، ردیابی الگوریتم بسیار سریع انجام میگردد.[۲۶]

Narottam Das و همکاران مدل سازی سلول های فتوولتائیک چند جانبه با استفاده از MATLAB / Simulink برای بهبود کارایی تبدیل را بررسی کردند.

این مقاله بر مدل سازی سلول های خورشیدی چند جانبه (MJSC) برای بهبود کارایی تبدیل با استفاده از نرم افزار MATLAB / SIMULINK تمرکز دارد. سلول چندگانه فتوولتائیک (PV) برای دستیابی به حداکثر عملکرد آن در مقایسه با سلول PV معمولی سیلیکون مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مدل MATLAB / Simulink نشان می دهد که سلول پشت سرهم می تواند تقریباً ۳ برابر حداکثر قدرت نسبت به سلول های PV معمولی را فراهم کند.

حداکثر ردیاب نقطه قدرت (MPPT) نیز برای بهبود کارایی تبدیل سیستم های PV انجام شده است. MPPT قادر به کمک به سلول های PV برای به دست آوردن قدرت بیشتر به طور موثر و عرضه برق به شبکه است. [۲۷]

### ۳-۲- 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 پلازما<sup>۵</sup> است. دمای درون خورشید بین  $40 \times 10^6 \text{ K}$  تا  $8 \times 10^6 \text{ K}$  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  $6000 \text{ K}$  و با شار  $63 \text{ MW/m}^2$  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<sup>۶</sup>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

<sup>5</sup> Plasma

<sup>2</sup> Photon

یک سلول خورشیدی PV می‌تابند، انرژی الکتریکی تولید می‌کنند. در حالی که در صورت تابش بر روی یک گیاه، انرژی آن‌ها در ترکیب با اکسیژن به انرژی شیمیایی گیاه تبدیل می‌شود (فرآیند فتوسنتز). همچنین انرژی خورشیدی با گرم کردن سطح زمین، موجب ایجاد جریان باد و با تبخیر آب‌های سطحی موجب بارش باران می‌شود. [۲۸]

### ۳-۲-۱- ثابت خورشیدی<sup>۷</sup>

مقدار تابش خورشیدی دریافتی توسط یک سیاره، به فاصله‌ی آن از خورشید بستگی دارد. فاصله‌ی زمین از خورشید  $149.6 \times 10^6 \text{ km} \pm 1/7\%$  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 فاصله‌ی تقریباً ثابت زمین از خورشید و وجود خلأ در مسیر پرتوها تا رسیدن به جو، مقداری ثابت و برابر  $1376 \text{ W/m}^2$  است. این مقدار توسط اندازه‌گیری‌های واقعی به دست آمده است. [۲۹]

### ۳-۲-۲- 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،  $\text{CO}_2$ ،  $\text{O}_2$ ، 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  $1105 \text{ W/m}^2$  خواهد بود. اگر پرتوها با محور عمود بر سطح زمین زاویه‌ی  $42^\circ$  بسازند، فاصله‌ی طی شده در عبور از جو  $1/5$  برابر حالت اولیه خواهد شد و شار تابشی به  $1000 \text{ W/m}^2$  کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین اگر این زاویه  $60^\circ$  باشد، مسافت،  $2$  برابر حالت اولیه بوده و شار تابشی به  $894 \text{ W/m}^2$  خواهد رسید. [۳۰]

### ۳-۲-۳- 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

<sup>7</sup> Solar Constant

گازی و سایر ذرات موجود در جو جذب می‌شود. به طور متوسط حدود ۲۰٪ تابش در جو جذب می‌شود.

تابش پخش<sup>۸</sup>: 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<sup>۹</sup>: پرتوهایی که بدون جذب یا پراکنده شدن در جو به صورت مستقیم به سطح زمین می‌رسند، به عنوان تابش مستقیم شناخته می‌شوند.

تابش کلی<sup>۱۰</sup>: 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 ۱۵٪ تا ۲۰٪ تابش کلی دارد. در روزهای ابری این مقدار افزایش می‌یابد. [۳۱]

### ۳-۳- سیستم‌های فتوولتایک

تبدیل مستقیم انرژی خورشید به الکتریسیته معمولاً به وسیله سلول‌های فتوولتایک صورت می‌گیرد که از اثر فتوولتایک استفاده می‌کنند. اثر فتوولتایک بر اساس اثر متقابل فوتونهای با انرژی برابر یا بیش از انرژی باند ممنوعه مواد فتوولتایک است. ماژول‌های فتوولتایک انرژی خورشید را بدون آلودگی و سر و صدا و نوسانات به الکتریسیته تبدیل میکنند. انرژی خورشید چگالی انرژی کمی دارد و بنابراین ماژول‌های فتوولتایک باید سطح زیادی داشته باشند تا بتوانند انرژی کمی تولید کنند. سیستم‌های فتوولتایک در شبکه‌های قدرت به هم پیوسته از مبدل استفاده می‌کنند تا جریان DC تولید شده به وسیله آرایه‌های فتوولتایک به جریان AC متناسب با ولتاژ و فرکانس مورد نیاز در شبکه برق تبدیل شود.

انرژی الکتریکی خورشیدی منبع اصلی انرژی برای سفینه‌های فضایی از زمان شروع برنامه‌های فضایی است. همچنین، حدوداً از سه دهه پیش از آن برای تأمین انرژی در مصارف شهری و کشاورزی استفاده می‌شود. در یک دهه گذشته، از انرژی خورشیدی برای تأمین انرژی خانه‌ها و ساختمانهای شهری به طور گسترده استفاده شده که نتیجه پیشرفت در تکنولوژی خورشیدی به همراه تغییرات در ساختار صنعت الکترونیک است. اگرچه انواع مختلف سیستمهای فتوولتایک وجود دارد، اما همه آنها متشکل از سه جزء اصلی هستند: ماژول که انرژی خورشید را به الکتریسیته تبدیل میکند؛ مبدل که الکتریسیته را به جریان متناوب تبدیل

<sup>8</sup> Diffuse Radiation

<sup>9</sup> Direct Radiation

<sup>10</sup> Global Radiation

میکند تا از آن بتوان در مصارف مختلف خانگی استفاده کرد؛ و احتمالاً باتری که انرژی الکتریسته اضافی تولید شده در سیستم را ذخیره میکند. دیگر اجزای جانبی سیستم عبارتند از: سیمها، سوئیچ برای قطع جریان، سازه های پشتیبانی و غیره. برای استفاده مناسب از سیستم های فتوولتائیک باید ساختار و کاربرد این سیستم ها بطور دقیق شناسایی شود. [۳۲]

### **۳-۳-۱- طبقه بندی تپ سیستم های فتوولتائیک از لحاظ کاربری**

بطور کلی سیستم های فتوولتائیک با توجه کاربریشان به دو گروه دسته بندی می

شوند:

➤ واحدهای فتوولتائیک متصل به شبکه

➤ واحدهای فتوولتائیک مجزا از شبکه

لازم به ذکر است که کاربری دیگر سیستمهای فتوولتائیک به صورت چندگانه میباشد که در این حالت سیستم فتوولتائیک در کنار منابع دیگر مانند توربین باد یا دیزل، تغذیه بار را انجام می دهند. [۳۳]

### **۳-۳-۱-۱- سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه**

به منظور تقویت شبکه سراسری برق و جلوگیری از فشار الکتریکی وارده بر نیروگاه ها در طی روز، استفاده از سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه سراسری برق به صورت متمرکز و یا غیرمتمرکز از جمله راه حل های این مشکل می باشد. امروزه سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه در بسیاری از کشورهای جهان در واحدهای کوچک از ۱ کیلووات الی ۵ کیلووات در بام منازل مسکونی و در واحدهای بزرگ تر به صورت نیروگاه های فتوولتائیک نصب و راه اندازی شده است. از مزایای این سیستم می توان به موارد زیر اشاره کرد :

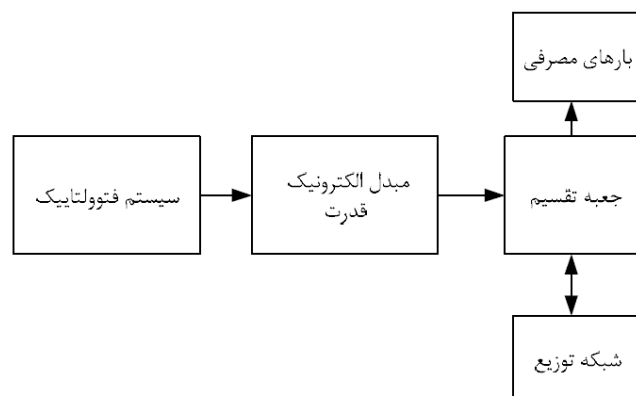
▪ نصب و راه اندازی آسان

▪ بازده بالا و عدم نیاز به تجهیزات جانبی پیچیده

▪ عدم نیاز به باتری جهت ذخیره انرژی الکتریکی

طراحی سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه، به گونه ای است که هم زمان و به طور موازی با شبکه برق سراسری توان تولید می نمایند. یکی از اجزاء اصلی سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه، مبدل الکترونیک قدرت است که برق DC تولیدی توسط آرایه های فتوولتائیک را متناسب با ولتاژ و فرکانس شبکه به برق AC تبدیل نموده و در صورت عدم نیاز، به طور خودکار انتقال نیرو را قطع می نماید. به طور کلی ارتباطی دو جانبه میان سیستم های فتوولتائیک و شبکه برق وجود دارد، به نحوی که اگر برق DC تولیدی توسط سیستم های فتوولتائیک بیش

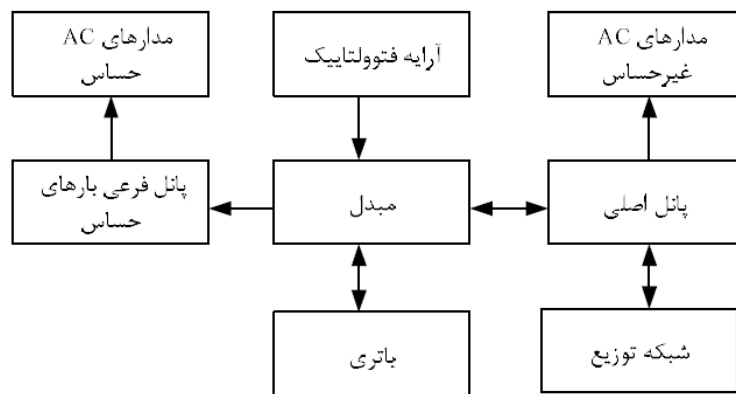
از نیاز بار مصرفی محلی باشد مازاد آن به شبکه برق سراسری تغذیه می گردد و در هنگام شب و مواقعی که به دلایل اقلیمی امکان استفاده از نور خورشید وجود ندارد، بار الکتریکی مورد نیاز سایت توسط شبکه برق سراسری تأمین می گردد. همچنین در کاربردهای متصل به شبکه در صورتی که سیستم فتوولتائیک به دلیل تعمیرات از مدار خارج گردد، برق مورد نیاز مصرف محلی از طریق شبکه برق سراسری تأمین خواهد شد. نکته مهمی که در این واحدها باید رعایت شود این است که اگر به هر دلیلی شبکه سراسری قدرت قطع شود، واحد خورشیدی نیز باید تولید را متوقف سازد و بارهای مصرفی قطع شوند. شکل (۳-۱) طرحی از سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه برق بدون باتری ذخیره ساز را نشان می دهد. همانگونه که در شکل مشاهده می شود، جهت شارش توان بین شبکه سراسری و واحد خورشیدی به صورت دو طرفه می باشد. این دو طرفه بودن تبادل توان به این معنی است که در صورت بیش از حد بودن توان تولیدی واحد خورشیدی، بخشی از آن صرف بار می شود و باقیمانده آن به شبکه سراسری تزریق می شود و در صورت کمبود توان و یا عدم تولید توان توسط واحد خورشیدی، نیاز بار از طریق شبکه برطرف می شود. همانگونه که توضیح داده شد اگر به هر دلیل شبکه بی برق شود، واحد خورشیدی نیز باید تولید توان و تزریق آنرا متوقف سازد. در برخی موارد برای افزایش قابلیت اعتماد سیستم، از سیستم های ذخیره کننده انرژی که عمدتاً باتری هستند، استفاده می شود. بنابراین سیستم های متصل به شبکه سراسری برق را می توان به دو گروه دارای سیستم ذخیره و بدون سیستم ذخیره طبقه بندی کرد. سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه برق مجهز به سیستم ذخیره به خصوص برای خانه های مسکونی و محل های تجاری کوچک بسیار مناسب هستند، زیرا در این سیستم ها از انرژی ذخیره شده برای بارهای حساس مانند یخچال، روشنایی، آسانسور، پمپ های آبرسانی و غیره استفاده می شود. در شرایط معمولی که شبکه سراسری برق دار است، سیستم فتوولتائیک برای شارژ باتری و تغذیه بار محلی انرژی تولید می نماید و در صورتیکه اضافه تولید داشته باشد به شبکه سراسری توان تزریق می نماید و در صورت کمبود تولید، توان مورد نیاز را از شبکه سراسری دریافت می نماید. در هر صورت باتری و یا دیگر ذخیره سازهای انرژی در حالت شارژ کامل به سر می برند.



شکل ۳-۱: طرحی از سیستم فتولتاییک متصل به شبکه برق بدون باتری ذخیره ساز

شکل (۳-۲) طرحی از سیستم فتولتاییک متصل به شبکه برق دارای باتری ذخیره را نشان می دهد. همانگونه که در این شکل مشخص شده است، مبدل الکترونیک قدرت توسط آرایه خورشیدی تغذیه می شود که خروجی آن به باتری به عنوان ذخیره ساز انرژی بار محلی و بار حساس متصل است. رابطه ی بین شبکه ی اصلی و واسط واحد خورشیدی (پانل اصلی) از نظر شارش توان به صورت دو طرفه مشخص شده است که همانگونه توضیح داده شد کمبود و بیشبود توان از این طریق جبران می شود. همچنین رابطه تبادل توان بین واسط واحد خورشیدی و مبدل الکترونیک قدرت واحد خورشیدی نیز به صورت دو طرفه می باشد زیرا در صورتیکه شبکه سراسری برق دار باشد، باتری باید در شارژ کامل باشد اما ممکن است در این حالت به هر دلیل واحد خورشیدی هیچ تولیدی نداشته باشد. بنابراین برای شارژ کردن باتری می توان از شبکه اصلی کمک گرفت. برای مثال در روزهای بارانی که تولید توان واحد خورشیدی کم و یا صفر است برای شارژ باتری از شبکه قدرت استفاده می شود. در زمانی که شبکه قدرت برق دار باشد مبدل الکترونیک قدرت، باتری را شارژ می نماید و در صورتیکه شبکه بی برق باشد این مبدل از باتری به عنوان منبع انرژی استفاده می نماید. مبدل در صورت قطع شبکه اصلی، کلید بین خود و واسط واحد خورشیدی را باز و کلید بین خود و بار حساس را در صورتیکه توانایی عملکرد مستقل از شبکه برای تولید فرکانس مناسب را داشته باشد، می بندد. [۳۴ و ۳۵]





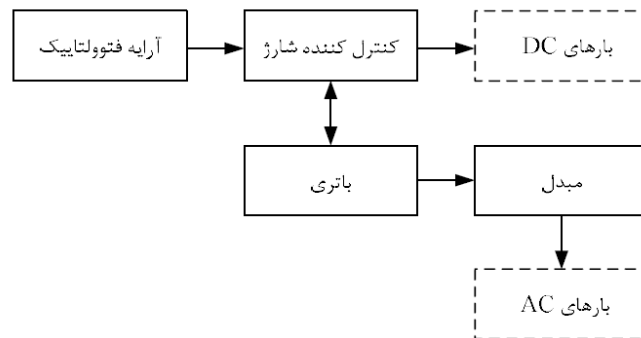
شکل ۳-۲: طرحی از سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه برق دارای باتری ذخیره [۳۴ و ۳۵]

### ۳-۳-۱-۲- سیستم های مستقل از شبکه سراسری برق

طراحی سیستم های فتوولتاییک مستقل از شبکه به گونه ای است که باید مستقل از شبکه برق سراسری عمل نموده و قابلیت تغذیه بارهای مستقیم (DC) و متناوب را دارا باشد. این واحدها مستقیماً به بار متصل می شوند و تمام بار را بر خلاف سیستم های متصل به شبکه تامین می نمایند. بنابراین برای طراحی اینگونه واحدها، بایستی مدل بار و کل توان مورد نیاز بار در یک دوره شبانه روزی محاسبه شود و ظرفیت واحد و تعداد آرایه های فتوولتاییک بر این اساس محاسبه گردد. همچنین به دلیل عدم وجود شبکه برق سراسری، تمامی توان می بایستی از طریق سیستم فتوولتاییک تامین شود. از آنجایی که سیستم فتوولتاییک قابلیت تولید پیوسته توان را ندارد (شب هنگام) و میزان تولید توان آن کاملاً به شرایط جوی وابسته می باشد (کاهش تولید در روزهای ابری و بارانی)، برای تغذیه مناسب و مطمئن بار باید واحد فتوولتاییک به سیستم ذخیره ساز انرژی مجهز شود. ظرفیت ذخیره ساز انرژی به میزان مصرف بار در ساعت هایی که تولید وجود ندارد، بستگی دارد. همچنین برای افزایش حاشیه امنیت، باید سیستم ذخیره ساز انرژی قابلیت تغذیه کل بار سیستم را بدون استفاده از انرژی سیستم فتوولتاییک برای چند روز داشته باشد. زیرا در صورتیکه چند روز متوالی شرایط جوی مناسب نباشد (چند روز ابری متوالی)، می بایست بارهای محلی را تغذیه نماید. شکل (۳-۳) طرح کلی یک سیستم فتوولتاییک مستقل از شبکه را نشان می دهد. همانگونه که دیده می شود، سیستم فتوولتاییک مجهز به باتری برای ذخیره انرژی است و قابلیت تغذیه بارهای DC و متناوب را دارا می باشد. در این حالت، سیستم فتوولتاییک باید مجهز به مکانیزمی برای تولید فرکانس و ولتاژ مناسب

برای تغذیه بار مصرفی باشد از جمله مزایایی که در رشد و توسعه سیستم های فتوولتائیک مجزا از شبکه نقش عمده ای دارد، می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- عدم نیاز به شبکه سراسری، سیستم انتقال شبکه و تعمیر و نگهداری آن
- عدم نیاز به سوخت و رفع مشکلات سوخت رسانی به ویژه در مناطق صعب العبور
- عدم نیاز به تعمیر و نگهداری مداوم و طول عمر مناسب



شکل ۳-۳: طرح کلی سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه

کاربرد اصلی اینگونه واحدها در مکان هایی است که شبکه اصلی قدرت در دسترس نبوده و یا برای اتصال به شبکه قدرت هزینه زیادی لازم است. برای مثال در سایت های مخابراتی که در کوهستان ایجاد شده اند، برای تأمین برق خانه های مسکونی، کلبه های روستایی، پمپ های آبرسانی، روشنایی و به طور کلی رفع نیاز الکتریکی مناطقی که دارای شبکه سراسری برق نمی باشند، می توان از سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه استفاده کرد. در این سیستم ها از آرایه های نصب شده بر بام ها و یا بر زمین، یک کنترل کننده شارژ باتری و یک مبدل برای تأمین برق استفاده می شود. [۳۶]

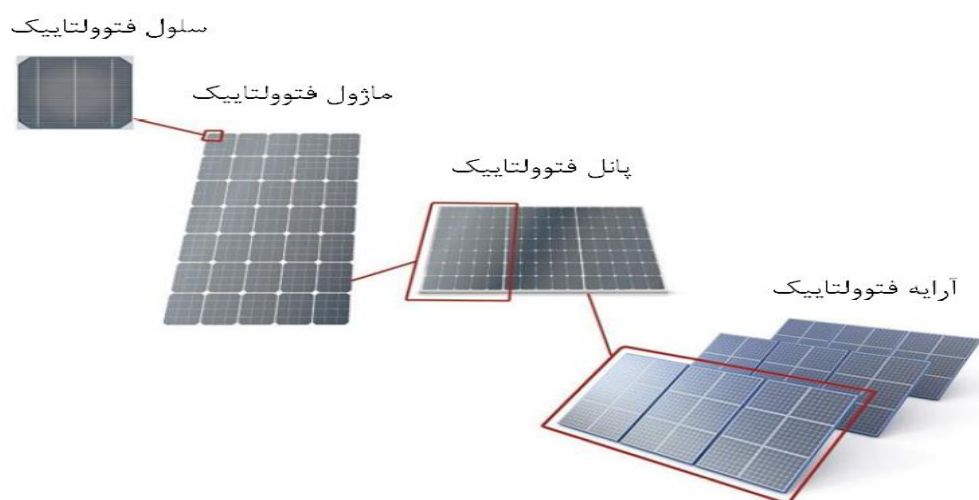
### ۳-۳-۲- اجزای سیستم فتوولتائیک [۳۷]

تجهیزات مورد نیاز برای تولید برق از انرژی خورشیدی عبارتند از :

- آرایه ی فتوولتائیک
- سیستم های دنبال کننده تابش خورشید
- اینورتر یا مبدل الکترونیک قدرت AC/DC
- ذخیره ساز
- دنبال کننده حداکثر توان
- سایر تجهیزات

### ۳-۲-۱- آرایه فتوولتاییک

آرایه فتوولتاییک با اجتماع پانل های فتوولتاییک تشکیل می شود که پانل ها با ماژول های فتوولتاییک ساخته می شوند، ماژول های فتوولتاییک نیز متشکل از سلول های فتوولتاییک است که انرژی خورشید را به برق تبدیل می کنند. شکل (۳-۴) طرح واره ای از سلول، ماژول، پانل و آرایه های فتوولتاییک را نشان می دهد. چهار نوع اصلی سلول های فتوولتاییک عبارتند از: تک کریستال، پلی کریستال، سلول های آمورف و سلول های نانو فتوولتاییک که جدیدترین سلول خورشیدی معرفی شده می باشند. در ادامه هر نوع از سلول ها به اختصار توضیح داده شده است و مزایا و معایب آن اشاره شده است.



شکل ۳-۴: طرح واره سلول، ماژول، پانل و آرایه های فتوولتاییک

**سلول تک کریستال:** این نوع از سلول ها از تک کریستال خالص تشکیل شده اند. در این سلول ها، سیلیکون از یک شبکه بلوری پیوسته بدون ناخالصی تشکیل شده است. از مزایای اینگونه سلول ها بازده بالای آنرا می توان نام برد که در حدود ۱۵٪ است. از معایب آن می توان به پیچیدگی ساخت این سیلیکون اشاره کرد که این سختی منجر به افزایش قیمت آن می شود. طبق تحقیقات صورت گرفته و اخبار منتشر شده، در حال حاضر آرایه هایی با بازده حدوداً ۱۸٪ هم تولید شده و روانه بازار شده اند.

**سلول پلی کریستال:** اینگونه سلول ها از بهم پیوستن چندین تک کریستال سیلیکون تشکیل شده اند. فرآیند ساخت بدین گونه است که پلی کریستال سیلیکون مذاب به صورت شمش قالب گیری می شود و بعد از آن، به صورت قرص های نازک بریده شده و برای سلول های خورشیدی آماده می شود. اینگونه از سلول ها نسبت به حالت قبلی، فرایند ساخت

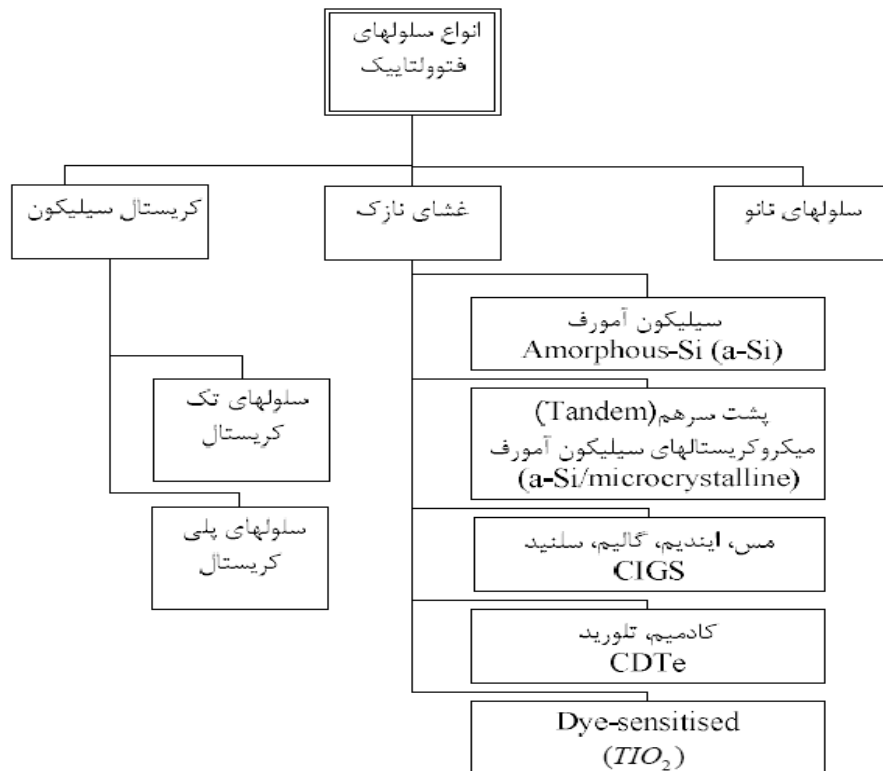
راحتتری دارند و در نتیجه قیمت آن ها پایین تر است. در عین حال بازده این دسته از سلول های خورشیدی کمتر از حالت قبل بوده و چیزی در حدود ۱۲٪ تخمین زده می شود.

**سلول های بی نظم (آمورف):** در حالت کلی تفاوت عمده این دسته از سلول های خورشیدی نسبت به دو دسته قبلی این است که در این دسته از سلول ها به جای استفاده از ساختار کریستالی، از سلول های بی نظم اتم های سیلیکون که در لایه های یکدست نازک قرار می گیرد، استفاده شده است. این نوع از سلول ها را می توان هم بر روی بستر خشک و هم انعطاف پذیر نصب نمود که یکی از مزایای منحصر به فرد آن ها است. از معایب این دسته از سلول ها باید به بازده پایین آنها اشاره کرد که در حدود ۶٪ تخمین زده می شود. امروزه از این سلول ها پانل های مختلف از نظر شکل و ظرفیت ساخته شده است. در حال حاضر آرایه هایی با بازده حدوداً ۹٪ هم تولید شده و روانه بازار شده اند.

علاوه بر انواع مطرح شده، امروزه مواد دیگری مانند cadmium telluride (CdTe) و copper indium diselenide (CUIuSe<sub>2</sub>) برای تولید سلول های خورشیدی استفاده می شود. ایده اصلی استفاده از این مواد، تولید انرژی سریعتر و ارزانتر نسبت به سلول های سیلیکونی است. البته بازده پایین تر نسبت به انواع دیگر از مشکلات این دسته از سلول ها می باشد. همچنین مشکلات طول عمر مفید و پایداری این دسته از سلول ها همچنان پابرجاست.

دسته دیگر سلول های خورشیدی، سلول های با فناوری نانو هستند. انتظار می رود نسل سوم سلول های خورشیدی (سلول های نانو) در سال های آینده به بازار عرضه شود و قیمت بالای سلول های خورشیدی نسل اول و دوم را به شدت کاهش دهد. در یک نگاه کلی انواع فناوری های استفاده شده در سلول های خورشیدی در نمودار شکل (۳-۵) ارائه شده است.

سلول های خورشیدی اغلب از سیلیکون، مس، کادمیم سولفید و آرسنید گالیم تولید می شوند که سیلیکون به دلیل خواص نوری از موقعیت بهتری در بین این مواد برخوردار است. برای تولید توان مناسب، آرایه های فتوولتاییک را در حالت های مختلف می توان به هم وصل نمود. برای رسیدن به ولتاژ بالاتر، آرایه ها با یکدیگر سری و برای رسیدن به جریان بیشتر با یکدیگر موازی می شوند و یا حتی می توان به صورت موازی - سری آنها را به یکدیگر متصل نمود. [۳۸]



شکل ۳-۵: انواع فناوری های سلول های خورشیدی (۳۸)

### ۳-۳-۳- سیستم های دنبال کننده تابش خورشید

آرایه های فتوولتاییک به حالت ثابت و یا ردیاب متحرک که بنابر فصل با زاویه تابش خورشید خود را تطبیق می دهند، نصب می شوند. البته در برخی موارد آرایه ها به حالت ثابت فصلی نصب می شوند. در نصب آرایه های فتوولتاییک مهمترین نکته، زاویه نصب آنها می باشد. زاویه تابش خورشید به صفحات خورشیدی تاثیر بسیار زیادی در تولید انرژی الکتریکی دارد. 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 جدول (۲-۳) بازده جذب انرژی برای حالت های نصب مختلف ارائه شده است. 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.

جدول ۳-۱: بازده مازول های مختلف فتوولتاییک

ماژول	بازده (%)
تک کریستال سیلیکون	۱۵-۱۲/۵
پلی کریستال سیلیکون	۱۴-۱۱
(CIGS)مس ایندیم گالیم سلنید	۱۳-۱۰
(CdTe)کادمیم تلورید	۱۲-۹
سیلیکون آمورف	۷-۵

جدول ۳-۲: بازده پانل های فتوولتاییک برای حالت های نصب مختلف

نوع نصب	ثابت	ثابت دو	ثابت چهار	ردیاب دو
	ثابت	فصلی	فصلی	محوره
% نسبت به حالت بهینه	۷۱/۱%	۷۵/۲%	۷۵/۷%	۱۰۰%

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 دو محوره 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.

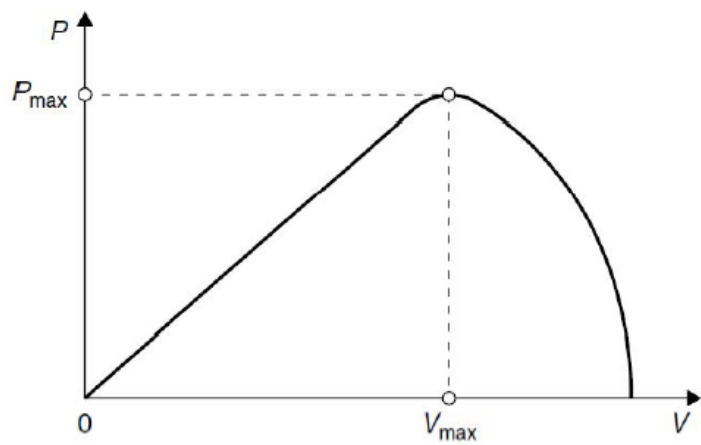
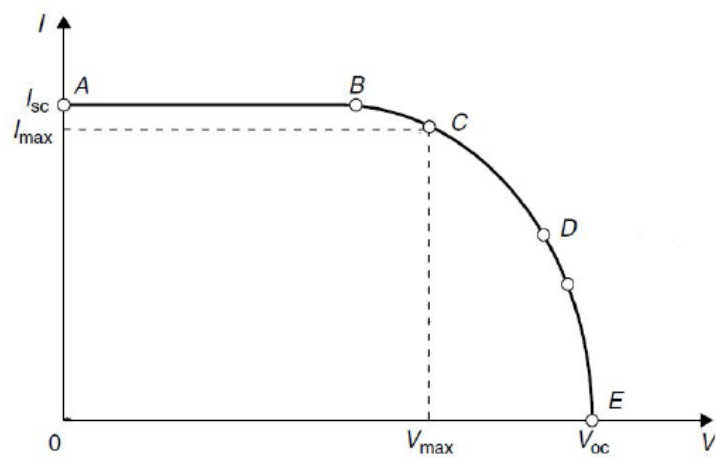
#### ■ پانل های فرعی مجزا برای مدارهای بار بحرانی

در مجموعه باتری، ذخیره انرژی در قالب باتری صورت میگیرد و در صورت وجود بخشهای فرعی مربوط به مدار بحرانی، در هنگام قطع برق، مدارهای مربوط به بار بحرانی در محل مصرف کار می کنند. در این صورت، وقتی شبکه سراسری بی برق می شود، واحد خورشیدی از شبکه اصلی جدا شده و تنها بار های حساس که از قبل مشخص شده اند توسط واحد تغذیه می شوند. مدارات بار حساس، از یک پانل فرعی سیم کشی می شوند که از بقیه مدارات الکتریکی مجزا است. اگر قطع برق در طول ساعات روز اتفاق بیفتد، آرایه فتوولتاییک قادر است با کمک باتری، برق مورد نیاز را تأمین کند. اگر قطع برق در شب اتفاق بیفتد، باتری بار مورد نیاز را تأمین می کند. امروزه با تری های سرب اسید، نیکل - کادمیوم، هیدروکسید نیکل و لیتیوم در دسترس می باشند که باتری های سرب اسید مصرف بیشتری دارند. مهمترین فاکتور در انتخاب باتری برای سیستم های فتوولتاییک قابلیت تخلیه شدن و شارژ شدن شدید در

دفعات مختلف بدون ایجاد هرگونه خسارت و آسیب برای باتری است. برای دستیابی به ظرفیت های بالاتر می توان باتری ها را با یکدیگر سری و یا موازی نمود.

باتری هم در سیستم های مجزا از شبکه و هم متصل به شبکه کاربرد دارد و در زمانی که تولید سیستم فتوولتاییک بیشتر از بار است، مازاد انرژی را ذخیره می سازد. زمانی که نور خورشید در دسترس نباشد و یا مقدار تولید انرژی سیستم خورشیدی کمتر دنبال کننده حداکثر توان منحنی جریان - ولتاژ یک پانل خورشیدی نمونه در شکل (۳-۶) نشان داده شده است. همانگونه که دیده می شود به ازای هر نقطه روی منحنی یک ولتاژ و یک جریان متناظر با آن وجود دارد که لزوماً حداکثر جریان و یا حداکثر ولتاژ نمی باشد. برای مثال در نقطه E ولتاژ حداکثر ولی جریان متناظر با صفر می باشد و یا برای نقطه B جریان حداکثر است ولی ولتاژ متناظر با آن حداکثر نمی باشد. برای استفاده بهینه از انرژی تولید شده توسط پانل فتوولتاییک باید نقطه ای انتخاب شود که بیشترین جریان و ولتاژ را داشته باشد. بدست آوردن نقطه بهینه توسط دنبال کننده حداکثر توان انجام می شود. برای مثال در شکل (۳-۶) نقطه C نقطه ای است که در آن بیشترین ولتاژ و جریان ممکن ایجاد می شود. در شکل (۳-۷) توان خروجی بر حسب ولتاژ برای یک پانل فتوولتاییک ارائه شده است. با مقایسه شکل های (۳-۶) و (۳-۷) ملاحظه می شود در نقطه C حداکثر توان حاصل شده است که همان نقطه بهینه است. دنبال کننده حداکثر توان در واقع یک مبدل DC-DC با بازده بالاست که برای بدست آوردن حداکثر توان، ولتاژ خروجی خود را در یک مقدار بهینه تنظیم می نماید. دنبال کننده حداکثر توان در روزهای ابری، سرد و یا در حالتی که از باتری استفاده می شود می تواند نقش بسیار موثری ایفا نماید. البته در انتخاب دنبال کننده حداکثر توان باید هزینه و پیچیدگی ناشی از آن را در نظر گرفت. در مواردی که واحدهای فتوولتاییک مجهز به دنبال کننده حداکثر توان هستند خروجی سیستم فتوولتاییک مستقیماً به مبدل و دنبال کننده حداکثر توان مربوط می شود. [۳۸-۳۹]





شکل ۳-۶: منحنی توان - ولتاژ یک پانل خورشیدی

**فصل سوم :**  
**روش شناسی تحقیق**

### ۳-۱- مقدمه

با توجه به تقاضای رو به رشد مصرف کنندگان در سطح جهانی، نیاز به تولید برق افزایش یافته است. در عین حال، افزایش بهای سوخت های فسیلی و تأکید مقررات بر محدود کردن انتشار گازهای گلخانه ای، هزینه تولید برق با استفاده از سوخت های فسیلی را افزایش داده است. به همین دلیل، رویکرد به استفاده از سایر منابع انرژی برای تولید برق، از جمله تولید برق خورشیدی با استفاده از سیستم های فتوولتائیک، افزایش یافته است. سیستم های فتوولتائیک به علت مزایای زیادی که دارند، کاربرد فراوان دارند. اولین نوع آنها در اقمار مصنوعی آزمایش و کارایی خود را به نحو احسن انجام دادند. عمر طولانی (حدود ۲۰ سال)، قابلیت نصب و راه اندازی در شرایط جغرافیایی ویژه مانند مناطق صعبالعبور و کوهستانی، قابلیت استفاده در سیستم های متحرک، نگهداری آسان، عدم وابستگی به شبکه در نقاط دور دست و قابلیت استفاده به صورت متصل به شبکه همه مزایایی هستند که آینده درخشانی را برای استفاده از سیستم های فتوولتائیک ترسیم می کنند. میزان تولید برق از طریق سیستم های فتوولتائیک در جهان در هر پنج سال دو برابر می شود. پیشرفتهای صنعتی و تکامل فناوریهای مورد استفاده در تولید سلولهای فتوولتائیک، بهره وری بالاتر و استفاده وسیع تر از این سیستم ها را در پی دارد. بطوریکه در طول دو دهه گذشته، هزینه ساخت و نصب یک سیستم فتوولتائیک در حدود ۲۰ درصد کاهش یافته و توان تولیدی هر واحد نصب شده دو برابر شده است.

### ۳-۳-۴- مدلسازی سلول فتوولتائیک

شبیه سازی یک سلول خورشیدی با استفاده از یک مدار معادل یک دیودی یک سیستم PV به طور مستقیم نور خورشید را به برق تبدیل می کند. دستگاه اصلی سیستم PV یک سلول خورشیدی است. سلول ها می توانند به شکل پانل ها یا آرایه ها گروه بندی شوند. مبدل های برق الکترونیک قدرت معمولاً برای پردازش برق از دستگاه PV مورد نیاز است. این مبدل ها می توانند برای تنظیم ولتاژ و جریان در بار، برای کنترل جریان برق در سیستم های متصل به شبکه و برای حداکثر ردیابی نقطه قدرت (MPPT) دستگاه استفاده شوند. سلول خورشیدی اساساً یک دیود نیمه هادی است که در معرض نور قرار دارد.

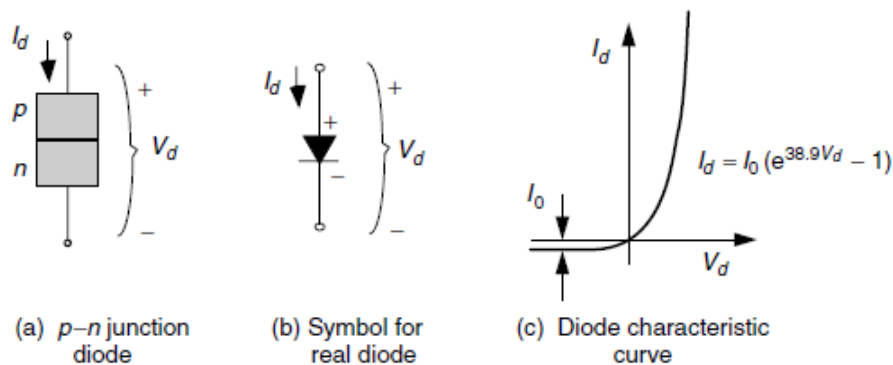
سلول های خورشیدی از چند نوع نیمه هادی استفاده می شود که از فرایندهای تولید متفاوت استفاده می کنند. انرژی الکتریکی که توسط یک سلول خورشیدی تولید می شود در هر لحظه بستگی به خواص ذاتی آن و تابش خورشیدی دارد. [۴۰]

تابش خورشید از فوتون های انرژی های مختلف تشکیل شده و برخی از آنها در اتصالات p-n جذب می شوند. فوتون هایی با انرژی کمتر از زاویه ی سلول خورشیدی بی فایده هستند و ولتاژ یا جریان الکتریکی تولید نمی کنند. فوتون هایی که انرژی بیشتری نسبت به شکاف باند دارند تولید برق می کنند، اما تنها انرژی مربوط به شکاف باند استفاده می شود. باقی مانده از انرژی به عنوان گرما در بدن سلول خورشیدی است.

مدل سلول PV یک دیود در این مقاله در نظر گرفته شده است، از جمله اثر مقاومت سری. مقاله با استفاده از مدار معادل یک سلول خورشیدی با پارامترهای آن به عنوان یک ابزار برای شبیه سازی به منظور در نظر گرفتن تغییرات تابش و درجه حرارت، ویژگی های I-V سلول PV. [۴۱]

### ۳-۴-۱- مشخصات جریان و ولتاژ در سلول های فتوولتائیک

در محل اتصال پیوند P-N یک دیود به وجود می آید که اگر ولتاژ  $V_d$  به دو سر دیود اعمال گردد، جریان  $I_d$  از سمت لایه p به سمت لایه n مشاهده خواهد شد. کاهش ولتاژ بسیار کم و در حدود دهم ولت می باشد. در جهت معکوس، جریان  $I_0$  تقریباً برابر صرف  $I_0$  ( $10^{-12} A/cm^2$ ) است.



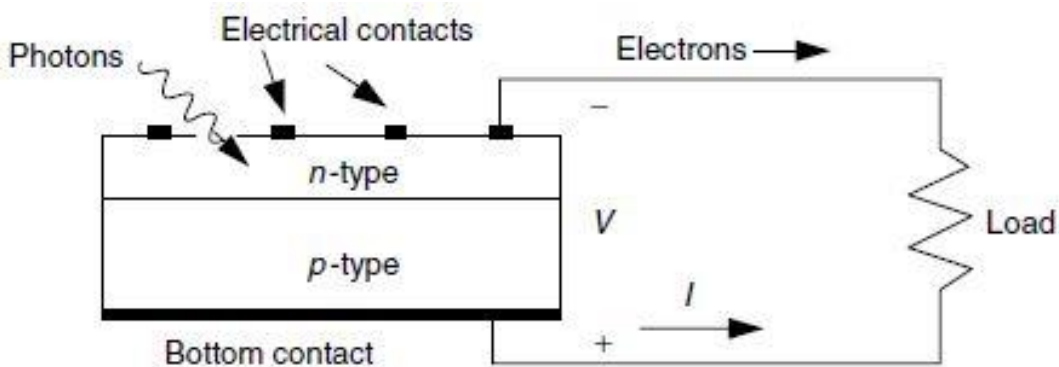
شکل ۳-۷: شماتیک و منحنی عملکرد جریان - ولتاژ دیود p-n

معادله جریان به وجود آمده در رابطه (۱-۱) می باشد:

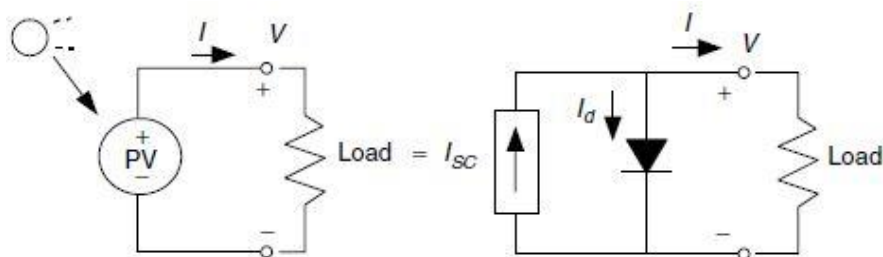
$$I = I_o \left[ \exp\left(\frac{QV_d}{KT}\right) - 1 \right] \quad (1-1)$$

که در آن  $I$  جریان خارجی،  $I_o$  جریان معکوس در حالت اشباع،  $Q$  مقدار بار الکترون برابر با  $1.602 \times 10^{-19}$  کولمب،  $V_d$  ولتاژ اعمال شده به دو سر دیود،  $K$  ثابت بولتزمن و  $T$  دمای مطلق است. در مقابل ولتاژهای بزرگ (بایاس معکوس) ترم نمایی در مقایسه با ۱ ناچیز است و مقدار  $I$  تقریباً  $(-I_o)$  است. یک سلول فتوولتائیک می‌تواند به صورت یک دیود ایده آل موازی با یک منبع جریان ایده آل در نظر گرفته شود. جریان ایجاد شده در مدار توسط این منبع متناسب با مقدار انرژی خورشیدی دریافت شده توسط سلول فتوولتائیک است. در نتیجه مشخصه ولتاژ و جریان به صورت رابطه (۲-۱) تصحیح می‌شود: [۴۲]

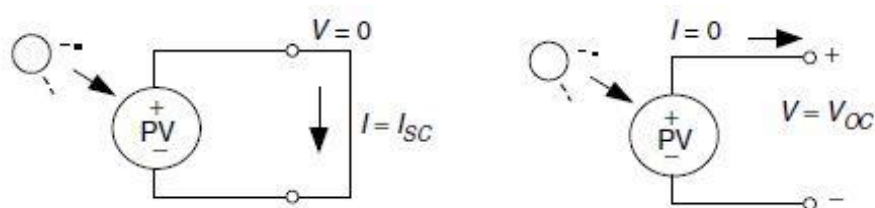
$$I = I_{sc} - I_o \left[ \exp\left(\frac{QV}{KT}\right) - 1 \right] \quad (2-1)$$



شکل ۳-۸: شماتیک اتصال سلول فتوولتائیک به بار و جریان فوتونها و الکترونها



شکل ۳-۹: مدار معادل ساده سلول فتوولتائیک

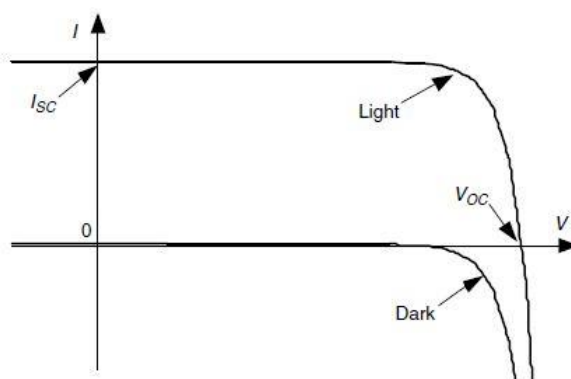


شکل ۳-۱۰: مدارهای نشان دهنده جریان اتصال کوتاه و ولتاژ مدار باز

هنگامی که اتصال سلول فتوولتاییک برقرار نباشد جریان برابر صفر است و می‌توان ولتاژ مدار باز را بدست آورد: [۱۰]

$$V_{OC} = \frac{KT}{Q} \ln \left( \frac{I_{SC}}{I_0} + 1 \right) \quad (۳-۱)$$

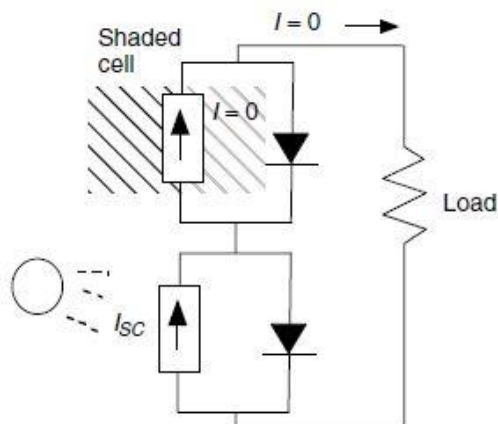
در رابطه فوق جریان  $I_{SC}$  در رابطه مستقیم با انرژی خورشیدی تابیده شده می‌باشد و بنابراین می‌توان منحنی‌های جریان - ولتاژ مختلفی برای سلول فتوولتاییک با تابش خورشید تحت شرایط متغیر بدست آورد. همچنین در بعضی از موارد مشخصات عملکرد سلول‌های فتوولتاییک در آزمایشگاه‌ها به ازای واحد سطح و یا سانتیمتر مربع ارائه می‌گردد.



شکل ۳-۱۱: شاخص تغییر جریان با ولتاژ در تاریکی و روشنایی برای سیستم فتوولتاییک

همان‌طور که از منحنی مشخص است منحنی تاریکی دقیقاً معکوس منحنی دیود است و منحنی روشنایی حاصل جمع منحنی تاریکی و جریان اتصال کوتاه می‌باشد. از آنجا که معمولاً بیش از یک سلول در یک سیستم فتوولتاییک وجود دارد، مدلسازی و بررسی نقش دقیق عملکرد سیستم در حالی که چند سلول در کنار یکدیگر باشد اغلب ضروری واقع می‌گردد. برای مثال هنگامی که دو سلول در کنار یکدیگر قرار دارند و یکی از آنها در سایه قرار می‌گیرد، منعکس کننده شرایط واقعی است که می‌بایستی بتوان آن را تحلیل نمود. بر اساس مدل ساده مدار معادل اگر یک سلول در سایه قرار گرفته باشد جریان تولید شده توسط آن (منبع) برابر صفر است و دیود آن نیز اجازه عبور به جریان نمی‌دهد که در نتیجه جریانی که به بار می‌رسد برابر با صفر خواهد بود. بنابراین توان محاسبه شده مبتنی بر مدل ساده مدار معادل هم برابر با صفر خواهد بود یک سلول در مدار در سایه قرار گیرد. در حالی که این موضوع حقیقت دارد که سلول‌های فتوولتاییک نسبت به سایه بسیار حساس هستند اما نتایج تجربی

نشان می‌دهد که موضوع در این حد نیست و مدل بهتری از عملکرد سیستم فتوولتاییک باید توسعه داد. [۴۳].

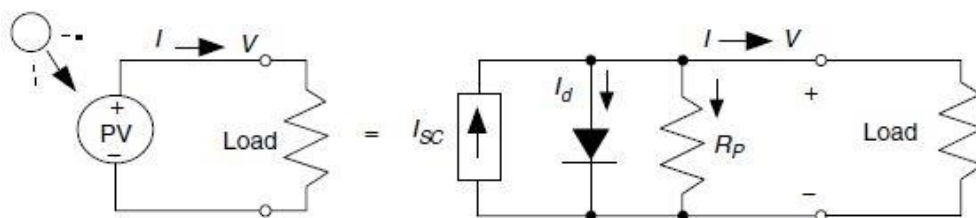


شکل ۳-۱۲: مدار معادل ساده دو سلول فتوولتاییک نشان دهنده جریان  $I=0$  چنانچه یکی از سلول‌ها در سایه قرار گیرد.

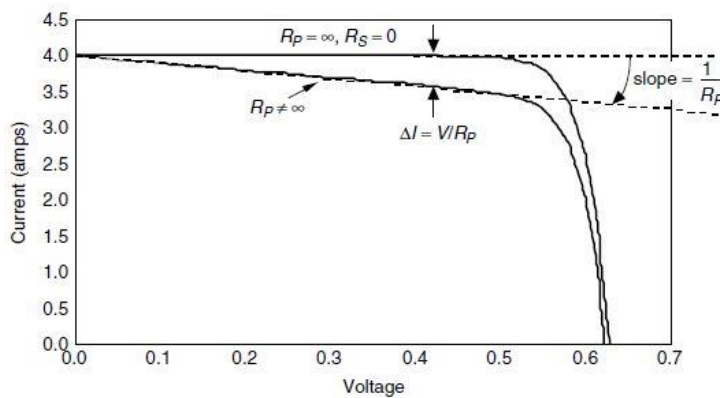
مدار معادل یک سلول فتوولتاییک را که شامل یک مقاومت  $R_p$  به صورت موازی می‌شود در شکل زیر نشان داده شده است. منبع جریان ایده‌آل  $I_{sc}$  تغذیه جریان دیود و مقاومت موازی و بار را عهده دار می‌باشد.

$$I = (I_{sc} - I_d) - V / R_p \quad (۴-۱)$$

عبارت داخل پرانتز همان مقدار جریانی است که برای مدل ساده وجود داشت. بنابراین آنچه که در این رابطه (۴-۱) مطرح می‌شود این است که به ازای هر ولتاژ داده شده، مقاومت موازی موجب می‌شود که جریان عبور کننده از بار به مقدار  $\frac{V}{R_p}$  کاهش یابد. [۴۳]



شکل ۳-۱۳: مدار معادل سلول فتوولتاییک با مقاومت موازی اضافه شده



شکل ۳-۱۴: اعمال تغییر در مدار معادل ساده سلول فتوولتاییک با اضافه نمودن مقاومت موازی

برای هر سلولی که تلفات آن به علت مقاومت موازی باید کمتر از ۱٪ باشد، ضروری است که :

$$R_p > \frac{100V_{OC}}{I_{SC}} \quad (5-1)$$

برای سلول بزرگتر، مقدار جریان  $I_{SC}$  می‌تواند در حدود  $7A$  و ولتاژ  $V_{OC}$  می‌تواند در حدود  $0.6V$  باشد که در اینصورت مقاومت موازی آن برابر و یا بیشتر از ۹ اهم است. یک مدار معادل بهتر برای سلول فتوولتاییک می‌بایستی یک مقاومت به صورت سری نیز اضافه بر مقاومت موازی داشته باشد. قبل از آنکه به توسعه یک چنین مدلی پرداخته شود بهتر است مدلی در نظر گرفته شود که تنها از یک مقاومت سری  $R_s$  برخوردار است. این نوع مقاومت می‌تواند به علل مختلفی از قبیل مقاومت در اتصال بین سیم‌ها و سلول و یا مقاومت موجود در خود نیمه‌هادی وجود داشته باشد.

$$I = I_{sc} - I_o \left[ \exp\left(\frac{QV}{KT}\right) - 1 \right] \quad (6-1)$$

و سپس اثر مقاومت سری مطرح می‌گردد :

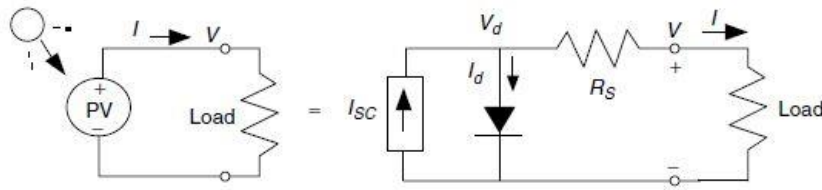
$$V_d = V + I.R_s \quad (7-1)$$

که نتیجه آن به صورت زیر است :

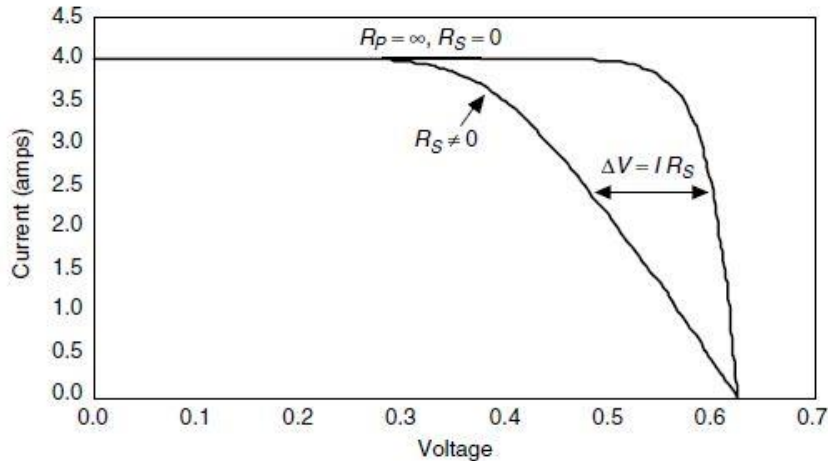
$$I = I_{sc} - I_o \left[ \exp\left(\frac{Q(V + I.R_s)}{KT}\right) - 1 \right] \quad (8-1)$$

این رابطه منحنی اصلی جریان - ولتاژ سلول فتوولتاییک را ارائه می‌دهد با این تفاوت که ولتاژ به ازای هر مقدار جریان به اندازه  $\Delta V = I.R_s$  به سمت چپ، شیفت پیدا کرده است [۴۳].





شکل ۳-۱۵: مدار معادل سلول فتوولتاییک با اضافه نمودن مقاومت سری



شکل ۳-۱۶: اعمال تغییر در مدار معادل سلول فتوولتاییک با اضافه نمودن مقاومت سری

برای هر سلولی که تلفات آن به علت مقاومت سری باید کمتر از ۱٪ باشد ضروری است که

$$R_s < \frac{0.01 V_{oc}}{I_{sc}} \quad (9-1)$$

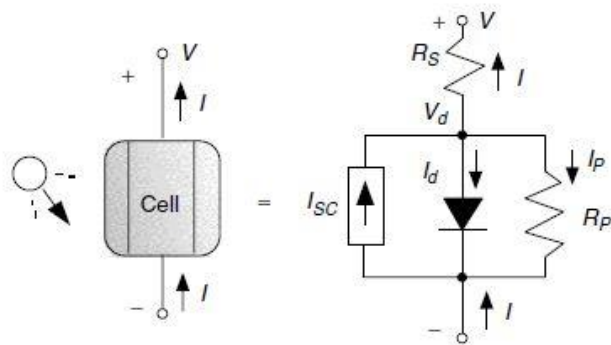
و این مقدار مقاومت سری برای سلول بزرگ با جریان  $I_{sc}$  برابر با ۷ A و ولتاژ  $V_{oc}$  برابر با ۰/۶ V کمتر از  $0.0009 \Omega$  است.

در نهایت، ارائه مدار معادل سلول فتوولتاییک به صورت عمومی در حالی که هر دو مقاومت‌های سری و موازی لحاظ شده باشند ضروری است. رابطه بین جریان و ولتاژ به صورت زیر مطرح می‌گردد:

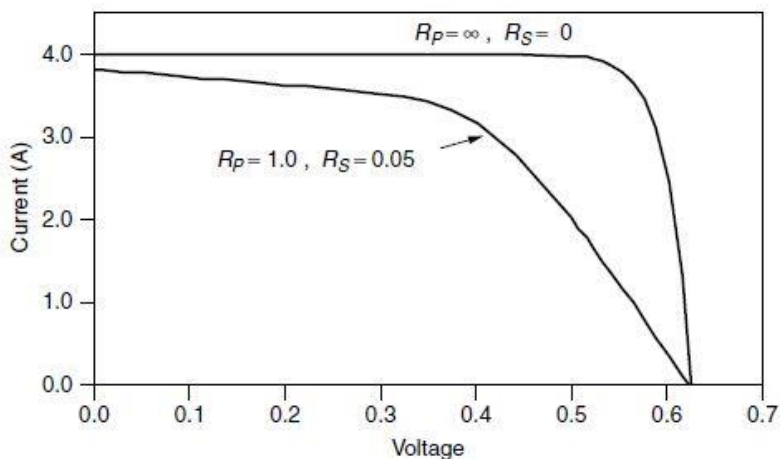
$$I = I_{sc} - I_o \left[ \exp \left( \frac{q(V + I.R_s)}{KT} \right) - 1 \right] - \left( \frac{V + I.R_s}{R_p} \right) \quad (10-1)$$

منحنی جریان - ولتاژ برای یک مدار معادل با  $R_p = 1 \Omega$ ،  $R_s = 0.05 \Omega$  در شکل زیر

نشان داده شده است [۴۴]



شکل ۳-۱۷: مدار معادل سلول فتوولتاییک که شامل مقاومت سری و موازی است



شکل ۳-۱۸: اثر مقاومت‌های سری و موازی بر منحنی جریان - ولتاژ

همان طور که مشاهده می‌شود مقاومت‌های سری و موازی در مدار معادل برای سلول فتوولتاییک موجب کاهش جریان و ولتاژ می‌شود. برای افزایش کارایی سلول افزایش در مدار  $R_P$  و کاهش در مقدار  $R_S$  ضروری است.

از آنجا که یک سلول در حد  $0.5\text{ V}$  تولید می‌کند، معمولاً تعدادی از سلول‌ها بایستی در یک ماژول جمع آوری شوند. یک ماژول متشکل است از تعدادی سلول که از قبل در زمان ساخت سیم کشی شده‌اند و در یک پوسته جهت محافظت از تغییرات آب و هوا بسته بندی گردیده‌اند. معمولاً ظرفیت یک ماژول که حاوی ۳۶ عدد سلول است و به صورت سری به یکدیگر اتصال دارند توسط سازندگان ۱۲۷ اعلام می‌شود و این درحالی است که ظرفیت یک ماژول به مراتب بیشتر است. برخی از ماژول‌های ۱۲۷ که برای سیستم‌های شارژ باتری استفاده می‌شوند دارای ۳۳ سلول هستند. بعضی از ماژول‌های بزرگتر با ظرفیت ۲۴۷ دارای ۷۲ سلول هستند. چندین ماژول می‌توانند در عمل برای افزایش جریان به صورت موازی یا برای افزایش ولتاژ به صورت سری به یکدیگر متصل شوند. یکی از پارامترهای مهم در طراحی سیستم‌های

فتوولتاییک تعیین تعداد سلول‌های سری و موازی برای تامین توان مورد نیاز می باشد. هنگامی که سلول‌ها به صورت سری به یکدیگر اتصال دارند جریان برای همه یکسان است و به ازای هر مقدار از جریان، ولتاژ یک ماژول به صورت زیر تعیین می گردد :

$$V_{module} = n(V_d - I.R_S) \quad (11-1)$$

توان بدست آمده از مقادیر  $V_{oc}$  و  $I_{sc}$ ، توان ایده آل سلول نامیده می شود. توان مفید سلول ماکزیمم مساحت بزرگترین مستطیلی است که می توان زیر منحنی  $I-V$  ساخت. ولتاژ و جریان مربوط به این حالت را با  $I_R$  و  $V_R$  نشان می دهیم. ماکزیمم توان مفید برابر  $I_R.V_R$  خواهد بود. نسبت توان مفید ماکزیمم به توان ایده آل ضریب پرکنندگی ( $FILL FACTOR$ ) نامیده می شود.

$$F.F = \frac{I_R.V_R}{V_{oc}I_{sc}} \quad (12-1)$$

برای سلول‌های سیلیکونی مقادیر متداول پارامترهای ولتاژ مدار باز ۴۵۰ تا ۶۰۰ میلی ولت و جریان اتصال کوتاه ۳۰ تا ۵۰ میلی آمپر بر سانتیمتر مربع و ضریب پرکنندگی ۰/۶۵ تا ۰/۸ است. با توجه به مقادیر نمونه‌های یک سلول به مساحت  $100 \text{ cm}^2$  قادر به ایجاد توانی در حدود ۶۱ وات خواهد بود. راندمان کلی در یک سلول فتوولتاییک به صورت نسبت توان تولید شده به توان ورودی کل تعریف می شود :

$$\eta = \frac{I_R.V_R}{P_m} \quad (13-1)$$

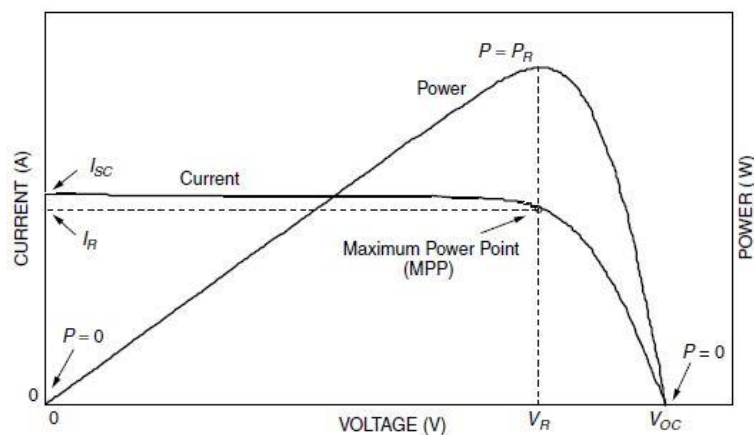
$I_R$ ،  $V_R$ ، جریان و ولتاژ در نقطه توان ماکزیمم هستند. توان ورودی برابر است با :

$$P_m = A \int_0^{\infty} F(\lambda) \left( \frac{hc}{\lambda} \right) d\lambda \quad (14-1)$$

که  $A$  سطح مقطع سلول،  $F(\lambda)$  تعداد فوتونهایی است که در یک سانتیمتر مکعب در یک ثانیه در واحد پهنای باند در طول موج  $\lambda$  به سلول برخورد می کنند.  $E = \left[ \frac{hc}{\lambda} \right]$  انرژی هر فوتون،  $h$  ثابت پلانک ( $6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ )،  $c$  سرعت نور ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ )،  $\lambda$  طول موج بر حسب متر و  $E$  بر حسب ژول است. توان خروجی برابر است با :

$$P_{out} = I_R.V_R = FF.V_{oc}.I_{sc} \quad (15-1)$$

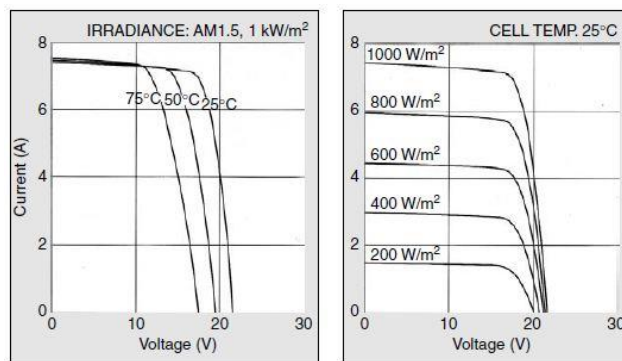
لازم به ذکر است که در یک ولتاژ ثابت، جریان با توجه به میزان تابش خورشید متفاوت خواهد بود و در نتیجه راندمان نیز با توجه به این مساله متغیر خواهد بود.



شکل ۳-۱۹: مشخصه ولتاژ - جریان یک سلول خورشیدی

همانطور که در شکل فوق واضح است، مشخصه ولتاژ - جریان سلول‌های خورشیدی، شدیداً غیر خطی می‌باشد، نقطه‌ای که در آن حاصل ضرب ولتاژ و جریان بیشترین مقدار خود را داشته باشد، نقطه توان حداکثر *MPP* (*Maximum Power Point*) سلول نامیده می‌شود. این نقطه در شکل با  $P_R$  و ولتاژ و جریان متناظر با آن به ترتیب با  $V_R$  و  $I_R$  نمایش داده شده‌اند.

منحنی مشخصه ولتاژ - جریان، همزمان با دو فاکتور میزان تابش خورشیدی و دمای محیط تغییر می‌کند. افزایش دما، اثرات نامطلوبی بر عملکرد سلول‌ها دارد و به طور کلی بازدهی آنها را کاهش می‌دهد. میزان افت ولتاژ مدار باز سلول‌ها حدود ۰/۳ تا ۰/۴ درصد برای هر درجه افزایش دمای محیط می‌باشد، در حالی که افزایش جریان اتصال کوتاه تنها حدود ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۷۵ درصد برای هر درجه افزایش دما است، و نتیجه کلی کاهش بازدهی سلول به اندازه ۰/۵ درصد به ازای هر درجه سانتیگراد افزایش دمای محیط می‌باشد. [۴۴]



شکل ۳-۲۰: دیاگرام ولتاژ جریان سلول خورشیدی با تابش متغیر (سمت راست) و دمای متغیر (سمت چپ)

### ۳-۳-۲- مدل پنل فتوولتائیک

برای مدل سازی پنل های فتوولتائیک از مدل های متداول زیر استفاده می شود:

• مدل ۱

عملکرد پنل فتولتاییک با شرایط آب و هوایی مخصوصاً تابش خورشیدی و دمای پنل فتولتاییک بسیار تحت تاثیر قرار می گیرد. پنج پارامتر  $(\alpha, R_s, n_{mpp}, \beta, \gamma)$  برای رسیدن به یک مقدار برای همه تاثیرات غیر خطی فاکتورهای زیست محیطی بر روی عملکرد پنل فتولتاییک تعریف می شوند. با استفاده از تعریف فاکتور پر کننده، توان خروجی ماکزیمم تحویلی توسط پنل فتولتاییک می تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$P_{module} = \frac{\frac{V_{oc}}{n_{mpp} \frac{KT}{q}} - \ln\left(\frac{V_{oc}}{n_{mpp} \frac{KT}{q}} + 0.72\right)}{\left(1 - \frac{R_s}{V_{oc}/I_{sc}}\right) I_{sco} \left(\frac{G}{G_o}\right)^\alpha \cdot \frac{V_{oco}}{1 + \beta \ln \frac{G_o}{G}} \cdot \left(\frac{T_o}{T}\right)^\gamma} \quad (1-4)$$

که  $n_{mpp}$  فاکتور ایده آل در نقطه توان ماکزیمم است به خاطر این که سیستم های فتولتاییک معمولاً به یک ردیاب نقطه توان ماکزیمم برای ماکزیمم کردن توان خروجی مجهز می شوند.  $K$  ثابت بولتزمن است  $T (J/K) = 1.38 \times 10^{-23}$  دمای پنل فتولتاییک است  $K$  بزرگی مقدار الکترون است  $(C) = 1.6 \times 10^{-19}$ .  $R_s$  مقاومت سری است  $ohm$ .  $\alpha$  فاکتوری برای نشان دادن همه تاثیرات غیر خطی است که جریان فوتون به آن بستگی دارد.  $\beta$  یک ضریب بدون دیمانسیون مربوط به خصوصیات تکنولوژی پنل فتولتاییک است و  $\gamma$  فاکتور در نظر گرفته شده برای همه تاثیرات دما - ولتاژ غیر خطی است. توان خروجی ماکزیمم در یک سیستم فتولتاییک می تواند از طریق فرمول زیر محاسبه شود. [۴۵]

$$P_{PV} = N_p \cdot N_s \cdot P_{module} \cdot \eta_{MPPT} \cdot \eta_{oth} \quad (2-4)$$

که  $\eta_{MPPT}$  راندمان ردیابی نقطه توان ماکزیمم است اگر چه که آن بر اساس شرایط کارکرد متفاوت، متفاوت است. ولی معمولاً یک مقدار ثابت ۹۵٪ برای یکسان سازی محاسبات فرض می شود.  $\eta_{oth}$  فاکتوری است که تلفات دیگر از قبیل تلفاتی که باعث می شوند توسط مقاومت کابل و گرد و غبار و... راندمان می دهد.

### تابش خورشیدی بر روی سطح پنل فتولتاییک

پنل فتولتاییک می تواند در هر جهت و با هر شیبی قرار داده شود. اما بیشتر رصد خانه - های محلی فقط دیتاهای تابش خورشیدی را بر روی یک سطح افق تهیه می کنند. بنابراین یک تخمین از برخورد تابش کل خورشیدی بر روی سطح پنل فتولتاییک نیاز می شود. به طور کلی تابش خورشیدی کل بر روی سطح مایل توسط اضافه کردن شدت تابش خورشیدی مستقیم و پراکنده و انعکاسی بر روی سطح مایل محاسبه می شود [۴۶].

$$G_{tt} = G_{bt} + G_{dt} + G_{rt} \quad (3-4)$$

که  $G_{tt}$  تابش خورشیدی کل بر روی سطح مایل و  $G_{bt}$ ،  $G_{dt}$  و  $G_{rt}$  تابش مستقیم، پراکنده و انعکاسی بر روی سطح مایل، هستند قسمت انعکاسی در محاسبات زیر حذف شده‌اند.

a- تابش مستقیم

قسمت مستقیم می‌تواند با استفاده از فرمول زیر شبیه‌سازی شود:

$$G_{bt} = G_{bh} \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (4-4)$$

که  $\theta$  زاویه برخورد می‌باشد و می‌تواند توسط رابطه زیر محاسبه شود:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta' - \sin \delta \cos \phi \sin \beta' \cos \gamma' \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta' \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta' \\ & \times \cos \gamma' \cos \omega' + \cos \delta \sin \beta' \sin \gamma' \sin \omega' \end{aligned} \quad (5-4)$$

$\theta_z$  زاویه برخورد برای سطوح افقی است:

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \quad (6-4)$$

که  $\delta$  شیب (میل) خورشید است  $-23.45 \leq \delta \leq 23.45$ ،  $\phi$  عرض جغرافیایی موقعیت محلی است،  $\beta'$  زاویه شیب پنل فتوولتائیک است،  $\gamma'$  زاویه سمت سطح است و  $\omega$  زاویه ساعت است [۴۶].

ب- تابش پراکنده

تابش پراکنده خورشید بر روی سطح مایل می‌تواند تخمین زده شود توسط:

$$G_{td} = G_{dh} \cdot \cos^2 \left( \frac{\beta'}{2} \right) \cdot (1 - F_1) + G_{dh} \cdot F_1 \cdot \left( \frac{a}{c} \right) + G_{dh} \cdot F_2 \cdot \sin \beta' \quad (7-4)$$

ضریب تاریکی  $F_1$  و  $F_2$  تابعی از ناصافی آسمان  $\varepsilon$  و پارامتر تاریکی آسمان هستند [۴۶].

• مدل ۲

توان خروجی پنل‌های فتوولتائیک را با استفاده از روابط زیر می‌توان محاسبه کرد که این مدل شامل تاثیرات تابشی خورشید و دمای پنل بر روی توان خروجی آن است. این روابط در نقطه بیشینه توان خروجی بصورت زیر است:

$$P_{PV} = V_{mpp} \cdot I_{mpp} \quad (8-4)$$

$$V_{mpp} = V_{mpp,ref} + \mu_{V,OC} (T_C - T_{C,ref}) \quad (9-4)$$

$$I_{mpp} = I_{mpp,ref} + I_{SC,ref} (G_T / G_{ref}) + \mu_{I,SC} (T_C - T_{C,ref}) \quad (10-4)$$

که  $P_{PV}$  توان پنل،  $V_{mpp}$  ولتاژ در نقطه بیشینه توان،  $V_{mpp,ref}$  همان  $V_{mpp}$  در شرایط عملکرد استاندارد ( $V$ )،  $I_{mpp}$  جریان پنل و  $I_{SC,ref}$  جریان اتصال کوتاه در شرایط عملکرد استاندارد است،  $GT$  میانگین روزانه تابش خورشید ( $w/m2$ ) و  $G_{ref}$  معادل  $1000 w/m2$  برای عملکرد در شرایط استاندارد در نظر گرفته می شود.  $\mu_{V,OC}$  و  $\mu_{I,SC}$  به ترتیب ضرایب دمایی برای ولتاژ مدار باز ( $V/^\circ C$ ) و جریان اتصال کوتاه ( $A/^\circ C$ ) هستند.  $T_{C,ref}$  دمای پنل فتوولتائیک در شرایط عملکرد استاندارد است که  $25^\circ C$  در نظر گرفته می شود و  $T_C$  دمای عملکرد پنل فتوولتائیک است که بصورت زیر محاسبه می شود.

$$T_C(t) = T_a(t) + \frac{NOCT - 20}{800} \cdot G_T \quad (11-4)$$

در اینجا  $T_a(t)$  دمای محیط ( $^\circ C$ )،  $NOCT$  (دمای سلول در عملکرد نرمال) که برای عملکرد پنل تحت تابش  $1000 w/m2$  و دمای  $25^\circ C$  تعریف شده و معمولا بین  $40^\circ C$  تا  $46^\circ C$  در نظر گرفته می شود.

### • مدل ۳

این مدل شامل تاثیرات مراحل تابش و دمای پنل در قدرت خروجی است که بصورت زیر است.

$$I_{mpp} = I_{SC} \left\{ 1 - C_1 \left[ \exp \left( \frac{V_{max}}{C_2 \cdot V_{OC}} \right) - 1 \right] \right\} + \Delta I \quad (1-4)$$

$\mu_{V,OC}$ : ضریب دما برای ولتاژ مدار باز

$$V_{mpp} = V_{max} + \mu_{V,OC} \cdot \Delta T \quad (13-4)$$

$$P_{mpp} = V_{mpp} \cdot I_{mpp} \quad (14-4)$$

که

$$C_1 = \left( \frac{V_{max}}{V_{OC}} - 1 \right) \cdot \exp \left( - \frac{V_{max}}{C_2 \cdot V_{OC}} \right) \quad (15-4)$$

$$C_2 = \left( \frac{V_{max}}{V_{OC}} - 1 \right) \left[ \ln \left( 1 - \frac{I_{max}}{I_{SC}} \right) \right]^{-1} \quad (16-4)$$

$\mu_{I,SC}$ : ضریب دما برای جریان اتصال کوتاه

$$\Delta I = I_{SC} \cdot \left( \frac{G_T}{G_{ref}} - 1 \right) + \mu_{I,SC} \cdot \Delta T \quad (17-4)$$

$$\Delta T = T_C - T_{C,ref} \quad (18-4)$$

که  $T_C$  می تواند بصورت مقابل محاسبه شود.

$$T_C = T_a + \frac{N_{OCT} - 20}{800} \cdot G_T \quad (19-4)$$

$NOCT$ : دماعی عملکرد نرمال سلول

دماعی عملکرد سلول وقتی که پنل تحت شرایط شدت تابش  $800 \text{ W/m}^2$  با دمای محیط  $20^\circ\text{C}$  است که معمولاً بین  $42^\circ\text{C}$  تا  $46^\circ\text{C}$  در نظر گرفته می شود.

با توجه به روابط مدل ۳ و نیز لحاظ کردن اثر دما در عملکرد پنل از این مدل برای مدلسازی رفتار پنل ها در این پایان نامه استفاده شده است. [۴۷]

### تنظیم کننده نقطه توان حداکثر *Maximum Power Point*

هنگامی که یک آرایه خورشیدی در معرض خورشید قرار می گیرد و باری را تغذیه می نماید، لزوماً نقطه بارگیری بر نقطه توان حداکثر منطبق نمی باشد. لذا با توجه به قیمت زیاد آرایه های خورشیدی، ضروری است که همواره نقطه کار آن در نقطه توان حداکثر قرار گیرد تا بیشترین توان ممکن از آرایه جذب شود. این عمل در بخش تنظیم کننده نقطه توان حداکثر  $MPPT$  انجام می گیرد. سیستم  $MPPT$  با تنظیم جریان آرایه و یا ولتاژ آن، نقطه کار را به سمت  $MPP$  هدایت می کند [۴۸].

### ۳-۳-۳- عوامل طبیعی موثر بر عملکرد سلولها

به طور کلی عوامل محیطی متعددی بر عملکرد ماژول فتوولتائیک تاثیر گذار هستند که می توان به تابش خورشید، دمای محیط، گرد و غبار و سایه جزئی اشاره نمود. یکی از چالشهای اساسی در استفاده از سیستم های فتوولتائیک مشخصه غیرخطی آنها می باشد، که باعث بوجود آمدن یک نقطه بیشینه توان در مشخصه توان ولتاژ ماژول می شود. از آنجا که این مشخصه به عوامل محیطی وابسته است، نقطه بیشینه توان نیز نسبت به زمان دائماً تغییر می کند، لذا همین امر مانع استفاده از بیشینه توان خروجی ماژول می گردد. در سیستم های فتوولتائیک جهت دریافت بیشینه توان در دسترس ماژول، صرف نظر از شرایط دما، تابش و ویژگی های الکتریکی بار از سیستم های ردیابی نقطه بیشینه توان استفاده می شود. در ادامه به توضیح اجمالی این عوامل می پردازیم:

۱- نور خورشید: زمین با خورشید ۱۵۱ میلیون کیلومتر فاصله دارد. تابش خورشیدی بر روی زمین قبل از عبور از اتمسفر برابر  $1367 \text{ W/m}^2$  می باشد که تحت عنوان جرم هوای صفر نامیده می شود. این تابش پس از عبور از اتمسفر به دلیل انعکاس توسط ذراتی مانند دی اکسید کربن و بخار آب و ازن کاهش می یابد و مقدار آن پس از کاهش یافتن حدوداً برابر



$1000 \text{ W/m}^2$  است، که این مقادیر در ظهر خورشیدی محاسبه شده‌اند. تابع جرم هوا بدون ابر و هنگام ظهر که خورشید درست بالای سر قرار دارد برابر ۱ است. حال اگر هوا ابری و یا آلوده باشد ذرات معلق در هوا بیشتر شده و مقدار تشعشع کاهش می‌یابد یعنی مقدار بیشتری توسط ذرات معلق در هوا و بخار آب منعکس می‌شود، در نتیجه مقدار الکتریسیته تولید شده کاهش می‌یابد. مدول‌ها می‌توانند هنگامی که تابش مستقیم خورشید وجود ندارد الکتریسیته تولید کنند. تابش آسمان ابری حدود ۵۰ درصد پیک خورشید است و در یک آسمان ابری همراه با باران حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد پیک خورشید خواهد بود (پیک خورشید ماکزیمم تابش خورشید در طول روز است و ساعات پیک خورشید ساعاتی از روز هستند که مقدار تابش بزرگتر یا مساوی پیک خورشید - معمولاً  $1000$  وات بر متر مربع باشد).

**۲- سایه:** سایه نیز عامل بسیار مهمی در پایین آمدن کارایی سیستم می‌باشد. آرایه‌های نباید در جایی که سایه درختان و یا ساختمانها وجود دارد نصب شوند. مهم است که بدانیم حتی اگر ۱ سلول در سایه قرار گیرد، خروجی کل مدول تحت تاثیر قرار می‌گیرد و به میزان چشم‌گیری کاهش می‌یابد. تنها راه حل این است که از تک مدول‌ها (سیلیکون آمورف و کادیم تلوراید) استفاده کنیم. که سایه در قسمتی از آنها بر کل بازده تاثیر زیادی ندارد. بهتر است تا حد امکان از قرار دادن سیستم در سایه اجتناب کرد. تحت شرایط سایه جزئی چندین نقطه بیشینه توان محلی و یک نقطه بیشینه توان کلی در مشخصه توان ولتاژ ماژول بوجود می‌آید.

**۳- دما:** تصویر نادرست رایجی که وجود دارد این است که برای تولید الکتریسیته توسط یک سلول خورشیدی، گرما لازم است. در حالی که افزایش دما، باعث افزایش مقاومت و کاهش ولتاژ در سلولهای سیلیسیمی و همچنین کاهش قدرت جذب سلول و در نتیجه کاهش جریان تولید و در نهایت کاهش بازده می‌شود. آب و هوای گرم نسبت به آب و هوای سرد به مدولهای سلولهای فتوولتائیک با ولتاژ ماکزیمم بالاتری نیاز دارند. در آب و هوای سرد مقاومت کاهش یافته و ولتاژ افزایش می‌یابد.

**۴- جریان باد:** تمام پایه‌های مدولهای سلولهای خورشیدی باید به نحوی باشند که جریان هوا در اطراف مدولها وجود داشته باشد. گردش هوا و جریان باد باعث خنک شدن مدول بصورت طبیعی و در نتیجه عمل کردن مدول در دمای پایین‌تر و افزایش کارایی خواهد شد. اگر منطقه مورد نظر دارای موقعیتی است که بادهای شدید در آن می‌وزند باید توجه شود که پشت مدول بصورت بدون پوشش نباشد. اگر مدولها به فاصله چند اینچ از یکدیگر نصب شوند آسیبهای احتمالی ناشی از باد می‌تواند تا مقدار زیادی کاهش یابد.

۵- برف: در مناطقی که برف شدیدی می بارد سلولها باید جایی نصب شوند که برف بتوانند به آسانی از روی آنها پارو شود. در سیستم‌هایی با شیب زیاد، برف به راحتی پارو شده و به پایین می لغزد ولی در سیستم‌هایی با زوایه ۴۵ درجه و یا بیشتر، تنها ۲ یا ۳ روز آفتابی کافی است تا برف آب شود. [۴۹]

### ۳-۳-۴- محاسبه میزان انرژی روزانه مورد نیاز از آرایه های فتوولتاییک

لازم است به این نکته توجه شود که بخاطر بازده مبدل و تلفات، میزان انرژی روزانه دریافتی از آرایه فتوولتاییک باید بیش از میانگین بار روزانه باشد. بازده مبدل را می توان از کارخانه سازنده دریافت کرد، معمولاً مبدل ها بازده بین ۹۰ تا ۹۶ درصد دارند. در ادامه باید عوامل مهمی را که علاوه بر بند ۳-۲-۵ بر روی خروجی سیستم فتوولتاییک تاثیر می گذارند مورد بررسی قرار داد و تاثیر آنها را لحاظ نمود. این عوامل عبارتند از:

#### ۳-۳-۴-۱- خطای خروجی سازنده ( $f_{man}$ )

توان خروجی ماژول های فتوولتاییک برحسب وات با خطایی تقریباً برابر  $\pm 5\%$  بیان میشود که بر اساس دمای ۲۵ درجه سانتیگراد برای سلولها است. بعنوان مثال برای ماژول فتوولتاییک ۲۶۵ واتی، بیشترین میزان کاهش در توان خروجی، حدود ۱۳/۲۵ وات است.

#### ۳-۳-۴-۲- اثر آلودگیها و گرد و خاک

میزان توان خروجی یک ماژول فتوولتاییک ممکن است به دلیل آلودگی های موجود بر سطح ماژول، کاهش یابد و این کاهش با فاکتور کاهش در اثر آلودگی هوا محاسبه می شود. میزان کاهش در توان ماژول ها در اثر آلودگی، بستگی به اقلیم محل نصب آرایه ها دارد که در بعضی از مکانها، به دلیل آلودگی هوا (مانند کلان شهرها) زیاد است به عنوان مثال، با فرض این که میزان کاهش به دلیل آلودگی در حدود ۵٪ است، با توجه به اینکه میزان عملکرد ماژول ۲۶۵ واتی ذکر شده به خاطر ترانس به ۲۵۱/۷۵ وات کاهش یافته بود، اکنون مقدار آن در اثر آلودگی حدوداً به ۲۳۹/۲ وات می رسد.

#### ۳-۳-۴-۳- اثر دما

بر اساس استاندارد AS4059.2 میانگین دمای سلول داخل ماژول فتوولتاییک را می توان بر اساس فرمول زیر تخمین زد:

$$T_{Cell-eff} = T_{a.day} + 25 \quad (1-3)$$

که در آن  $T_{cell,eff}$  میانگین دمای روزانه مؤثر سلول به درجه سانتیگراد و  $T_{a.day}$  میانگین دما در طول روز (در ماه مورد نظر) به درجه سانتیگراد می باشند. ضریب دمای انرژی کمیتی

است که نشان می دهد به ازای هر یک درجه افزایش دما بالای ۲۵ درجه سانتیگراد، توان تولیدی ماژول فتوولتاییک چقدر افزایش می یابد. هم اکنون، سه نوع متفاوت ماژول فتوولتاییک در بازار موجود است که دارای ضرایب دمایی مختلف هستند:

▪ ماژولهای تک کریستال که اغلب دارای ضریب دمایی  $^{\circ}\text{C} / -0.45\%$  هستند (یعنی به ازای هر یک درجه افزایش دما بالای ۲۵ درجه سانتیگراد، توان خروجی  $0.45\%$  کاهش میابد).

▪ ماژولهای پلی کریستال که اغلب دارای ضریب دمایی  $^{\circ}\text{C} / -0.5\%$  هستند.

▪ ماژولهای آمورف که دارای مشخصه دمایی متفاوتی می باشند که موجب کاهش ضریب دمایی می گردد و ضریب دمایی آنها  $^{\circ}\text{C} / -0.2\%$  است. البته، بعضی از ماژولهای آمورف دارای ضریب دمایی صفر هستند که لازم است این مورد با مراجعه به شرکت سازنده تأیید شود.

بنابراین کاهش میزان خروجی آرایه فتوولتاییک در اثر دما به جنس ماژول بکار رفته در آرایه و مقدار متوسط بیشترین دمای محیط در محل نصب سیستم فتوولتاییک بستگی دارد. میزان کاهش توان بر اثر دما را می توان به صورت زیر محاسبه کرد :

$$f_{temp} = 1 - (\gamma \times (T_{Cell,eff} - T_{STC})) \quad (2-3)$$

که در آن  $f_{temp}$  ضریب کاهش توان بر اثر دما،  $\gamma$  مقدار مطلق ضریب دمای انرژی به ازای هر درجه افزایش از ۲۵ درجه سانتیگراد و  $T_{STC}$  دمای سلول در شرایط استاندارد آزمون (STC) به درجه سانتیگراد می باشند.

تعداد ماژول های مورد نیاز در آرایه فتوولتاییک از تقسیم پیک توان مورد نیاز بر میزان توان تولیدی هر ماژول بدست می آید. آرایه باید با محدوده مجاز ولتاژ مبدل تطابق داشته باشد و بنابراین، آرایش نهایی آرایه به مبدل انتخابی و محدوده مجاز ولتاژ عملکرد آن بستگی دارد. بسیاری از مبدل های موجود دارای محدوده مجاز ولتاژ کاری هستند. اگر ولتاژ آرایه فتوولتاییک خارج از این محدوده مجاز باشد، مبدل کار نخواهد کرد و در شرایطی که ولتاژ آرایه بیش از مقدار مشخص شده باشد، ممکن است مبدل آسیب ببیند. بیشترین و کمترین ولتاژ ورودی توسط سازنده مشخص می شوند. بیشترین ولتاژ، ولتاژی است که در بیش از آن، مبدل آسیب می بیند. لازم است که ولتاژ خروجی آرایه های خورشیدی با ولتاژ کاری مبدل تطابق داشته باشد و هرگز به بیشترین ولتاژ مبدل نرسند. ولتاژ خروجی ماژول مشابه توان خروجی، تحت تأثیر تغییرات دمایی سلول است. سازندگان ماژول های فتوولتاییک، ضریب دمایی ولتاژ را ارائه می کنند که غالباً به صورت ولت یا میلی ولت بر درجه سانتی گراد بیان می شود، همچنین می

توان آن را به صورت درصدی از ولتاژ مدار باز ( $V_{oc}$ )<sup>۱</sup> نیز بیان کرد. برای اطمینان از این که ولتاژ خروجی آرایه، خارج از محدوده ولتاژ داخلی DC مبدل نیست، بیشترین و کمترین دمای شبانه روز برای مکان مورد نظر مورد نیاز است. وقتی که دما حداکثر است، بیشترین ولتاژ خروجی ( $V_{mp}$ )<sup>۲</sup> آرایه نباید هرگز کمتر از کمترین ولتاژ کاری مبدل باشد. لازم به ذکر است که ولتاژ واقعی در ورودی مبدل فقط  $V_{mp}$  آرایه نیست بلکه افت ولتاژ در کابل DC نیز باید در نظر گرفته شود. مشابه رابطه (۳-۱) می توان برای کاهش ولتاژ در اثر درجه حرارت نیز رابطه (۳-۲) را نوشت :

$$V_{mp-Cell-eff} = V_{mp-STC} - [\gamma_V \times (T_{Cell-eff} - T_{STC})] \quad (3-2)$$

که در آن  $V_{mp-cell-eff}$  بیشترین ولتاژ خروجی در دمای مؤثر سلول بر حسب ولت،  $V_{mp-STC}$  بیشترین ولتاژ خروجی در شرایط STC بر حسب ولت و  $\gamma_V$  ضریب دمایی ولتاژ بر حسب ولت به ازای درجه سانتیگراد می باشند.

با توجه به دمای مؤثر سلول فتوولتاییک که محاسبه آن در رابطه (۳-۱) آمده است، لازم است که ولتاژ آرایه هرگز کمتر از کمترین مقدار مشخص مبدل نباشد. همچنین در سردترین دمای ممکن، ولتاژ مدار باز آرایه نباید هرگز بیش از بیشترین ولتاژ مجاز ورودی مبدل باشد. در اینجا از ولتاژ مدار باز ( $V_{oc}$ ) استفاده میشود چون این ولتاژ از ولتاژ  $TMPP$  بیشتر است. در روشنایی های اولیه صبح، دمای سلول به دمای محیط بسیار نزدیک است، زیرا خورشید زمان کافی برای گرم کردن ماژول را ندارد. بنابراین از کمترین دمای ساعات روز برای تعیین بیشترین  $V_{oc}$  باید استفاده کرد که با رابطه زیر مشخص می شود :

$$V_{Max-OC} = V_{OC-STC} - [\gamma_V \times (T_{Min} - T_{STC})] \quad (3-4)$$

که در آن  $V_{Max-OC}$  ولتاژ مدار باز در کمترین دمای سلول بر حسب ولت،  $V_{OC-STC}$  ولتاژ مدار باز در شرایط STC،  $\gamma_V$  ضریب دمایی ولتاژ و  $T_{Min}$  کمترین دمای روزانه مورد انتظار می باشند.

میزان متوسط انرژی خروجی که به صورت روزانه از سیستم فتوولتاییک بدست می آید را می توان با استفاده از فرمول زیر محاسبه کرد :

$$E_{array} = P_{STC} \times f_{man} \times f_{temp} \times f_{dirt} \times H_{tilt} \times N \quad (3-5)$$

که در آن  $E_{array}$  میزان متوسط انرژی خروجی از آرایه فتوولتاییک بر حسب وات ساعت،  $P_{STC}$  میزان توان خروجی ماژول در شرایط STC بر حسب وات،  $f_{temp}$  فاکتور کاهش

<sup>1</sup> Open Circuit Voltage

<sup>2</sup> Maximum Power Point Voltage

در اثر دما،  $f_{man}$  فاکتور کاهش در اثر تدرانس سازنده،  $f_{dirt}$  فاکتور کاهش در اثر آلودگی،  $H_{tilt}$  تابش در ساعات اوج خورشید برای جهت گیری و زاویه برخورد خاص و  $N$  تعداد ماژول می باشند.

برای محاسبه انرژی که توسط آرایه فتوولتاییک به شبکه تحویل می شود باید اثر بازده مبدل و تلفات را لحاظ نمود، برای این منظور از رابطه زیر استفاده می شود :

$$E_{system} = E_{array} \times \eta_{inv} \times L_s \quad (3-6)$$

که در آن  $E_{system}$  میزان متوسط روزانه انرژی خروجی از سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه برق،  $E_{array}$  متوسط انرژی خروجی به صورت روزانه از آرایه فتوولتاییک (وات ساعت)،  $\eta_{inv}$  بازده مبدل و  $L_s$  ضریب تلفات در کابل های سیستم می باشند. [۵۰]

### ۳-۴- الگوریتم بهینه سازی ژنتیک GA

محدوده کاری الگوریتم ژنتیک بسیار وسیع می باشد و هر روز با پیشرفت روزافزون علوم و تکنولوژی استفاده از این روش در بهینه سازی و حل مسائل بسیار گسترش یافته است. الگوریتم ژنتیک یکی از زیر مجموعه های محاسبات تکامل یافته می باشد که رابطه مستقیمی با مبحث هوش مصنوعی دارد در واقع الگوریتم ژنتیک یکی از زیر مجموعه های هوش مصنوعی می باشد. الگوریتم ژنتیک را می توان یک روش جستجوی کلی نامید که از قوانین تکامل بیولوژیک طبیعی تقلید می کند. الگوریتم ژنتیک بر روی یکسری از جواب های مساله به امید بدست آوردن جواب های بهتر قانون بقای بهترین را اعمال می کند. در هر نسل به کمک فرآیند انتخابی متناسب با ارزش جواب ها و تولید مثل جواب های انتخاب شده به کمک عملگرهایی که از ژنتیک طبیعی تقلید شده اند، تقریب های بهتری از جواب نهایی بدست می آید. این فرایند باعث می شود که نسل های جدید با شرایط مساله سازگارتر باشد.

### ۳-۴-۱- ساختار الگوریتم های ژنتیکی

به طور کلی، الگوریتم های ژنتیکی از اجزاء زیر تشکیل می شوند:

#### ۳-۴-۱-۱- کروموزوم<sup>۱</sup>

در الگوریتم های ژنتیکی، هر کروموزوم نشان دهنده یک نقطه در فضای جستجو و یک راه حل ممکن برای مسئله مورد نظر است. خود کروموزوم ها (راه حل ها) از تعداد ثابتی ژن<sup>۲</sup> (متغیر) تشکیل می شوند. برای نمایش کروموزوم ها، معمولاً از کدگذاری های دودویی (رشته های بیتی) استفاده می شود.

<sup>1</sup> Chromosome

<sup>2</sup> Gene

### ۳-۴-۱-۲- جمعیت<sup>۱</sup>

مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها یک جمعیت را تشکیل می‌دهند. با تاثیر عملگرهای ژنتیکی بر روی هر جمعیت، جمعیت جدیدی با همان تعداد کروموزوم تشکیل می‌شود.

### ۳-۴-۱-۳- تابع برازندگی<sup>۲</sup>

به منظور حل هر مسئله با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیکی، ابتدا باید یک تابع برازندگی برای آن مسئله ابداع شود. برای هر کروموزوم، این تابع عددی غیر منفی را برمی‌گرداند که نشان دهنده شایستگی یا توانایی فردی آن کروموزوم است.

### ۳-۴-۲- عملگرهای الگوریتم ژنتیک

در الگوریتم‌های ژنتیکی، در طی مرحله تولید مثل<sup>۳</sup> از عملگرهای ژنتیکی استفاده می‌شود. با تاثیر این عملگرها بر روی یک جمعیت، نسل<sup>۴</sup> بعدی آن جمعیت تولید می‌شود. عملگرهای انتخاب<sup>۵</sup>، آمیزش<sup>۶</sup> و جهش<sup>۷</sup> معمولاً بیشترین کاربرد را در الگوریتم‌های ژنتیکی دارند.

### ۳-۴-۲-۱- عملگر انتخاب (Selection):

این عملگر از بین کروموزوم‌های موجود در یک جمعیت، تعدادی کروموزوم را برای تولید مثل انتخاب می‌کند. کروموزوم‌های برانده‌تر شانس بیشتری دارند تا برای تولید مثل انتخاب شوند.

روش های انتخاب :

#### • Elitist Selection : (انتخاب نخبگان)

○ مناسب‌ترین عضو هر اجتماع انتخاب می‌شود. با توجه به مقدار شایستگی که از تابع ارزیاب دریافت کرده است.

#### • نمونه‌برداری به روش چرخ رولت

در این روش، به هر فرد قطعه‌ای از یک چرخ رولت مدور اختصاص داده می‌شود. اندازه این قطعه متناسب با برازندگی آن فرد است. چرخ N بار چرخانده می‌شود که N تعداد افراد در جمعیت است. در هر چرخش، فرد زیر نشانگر چرخ انتخاب می‌شود و در مخزن والدین نسل بعد قرار می‌گیرد. این روش می‌تواند به صورت زیر پیاده‌سازی شود:

<sup>1</sup> Population

<sup>2</sup> Fitness Function

<sup>3</sup> Reproduction

<sup>4</sup> Generation

<sup>5</sup> Selection

<sup>6</sup> Crossover

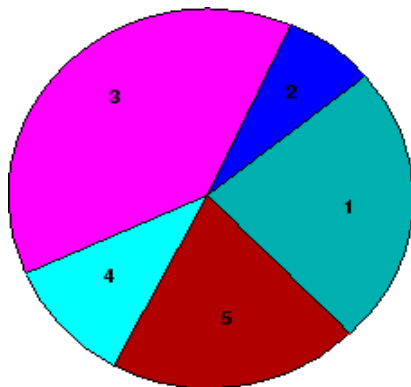
<sup>7</sup> Mutation

۱- نرخ انتظار کل افراد جمعیت را جمع کنید و حاصل آن را  $T$  بنامید.

۲- مراحل زیر را  $N$  بار تکرار کنید:

یک عدد تصادفی  $r$  بین ۰ و  $T$  انتخاب کنید.

در میان افراد جمعیت بگردید و نرخ‌های انتظار (مقدار شایستگی) آنها را با هم جمع کنید تا این که مجموع بزرگتر یا مساوی  $r$  شود. فردی که نرخ انتظارش باعث بیشتر شدن جمع از این حد می‌شود، به عنوان فرد برگزیده انتخاب می‌شود.



Population	Fitness
1	25.0
2	5.0
3	40.0
4	10.0
5	20.0

شکل ۳-۲۱: نحوه ارزیابی شایستگی در چرخ رولت

#### • Tournament Selection (انتخاب تورنومنت):

یک زیر مجموعه از صفات یک جامعه انتخاب می‌شوند و اعضای آن مجموعه با هم رقابت می‌کنند و سرانجام فقط یک صفت از هر زیرگروه برای تولید انتخاب می‌شوند.

#### ۳-۲-۲- عملگر آمیزش (Crossover):

در جریان عمل تلفیق به صورت اتفاقی بخشهایی از کروموزوم‌ها با یکدیگر تعویض می‌شوند. این موضوع باعث می‌شود که فرزندان ترکیبی از خصوصیات والدین خود را به همراه داشته باشند و دقیقاً مشابه یکی از والدین نباشند.

هدف تولید فرزند جدید می‌باشد به این امید که خصوصیات خوب دو موجود در فرزندشان جمع شده و یک موجود بهتری را تولید کند.

روش کار به صورت زیر است:

بصورت تصادفی یک نقطه از کروموزوم را انتخاب می‌کنیم

ژن‌های مابعد آن نقطه از کروموزوم‌ها را جابجا می‌کنیم

#### • تلفیق تک نقطه ای (Single Point Crossover)

اگر عملیات تلفیق را در یک نقطه انجام دهیم به آن تلفیق تک نقطه ای می گویند. تلفیق بدین صورت انجام می گیرد که حاصل ترکیب کروموزومهای پدر و مادر می باشد. روش تولید مثل نیز بدین صورت است که ابتدا بصورت تصادفی، نقطه ای که قرار است تولید مثل از آنجا آغاز گردد، انتخاب می گردد. سپس اعداد بعد از آن به ترتیب از بیت های کروموزومهای پدر و مادر قرار می گیرد که در شکل زیر نیز نشان داده شده است.

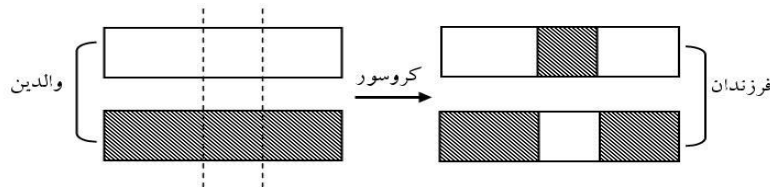
Chromosome 1	11011   00100110110
Chromosome 2	11011   11000011110
Offspring 1	11011   11000011110
Offspring 2	11011   00100110110

شکل ۳-۲۲: یک نمونه تلفیق (آمیزش)

در شکل بالا کروموزومهای ۱ و ۲ در نقش والدین هستند. و حاصل تولید مثل آنها در رشته هائی بنام Offspring ذخیره شده است. دقت شود که علامت "|" مربوط به نقطه شروع تولید مثل می باشد و در رشته های Offspring اعدادی که بعد از نقطه شروع تولید مثل قرار می گیرند مربوط به کروموزومهای مربوط به خود می باشند. بطوریکه اعداد بعد از نقطه شروع مربوط به Offspring 1 مربوط به اعداد بعد از نقطه شروع مربوط به کروموزوم ۱ و اعداد بعد از نقطه شروع تولید مثل مربوط به Offspring 2 مربوط به اعداد بعد از نقطه شروع تولید مثل مربوط به کروموزوم ۲ می باشند

#### • روش ادغام دو نقطه ای (Two-point Crossover):

در این روش دو مکان را به صورت تصادفی انتخاب کرده و مقادیر بین این دو نقطه را جابجا می کنیم.



#### • تلفیق نقطه ای (Multipoint Crossover):

می توانیم این عملیات را در چند نقطه انجام دهیم، که به آن باز ترکیبی چند نقطه ای می گویند

#### • تلفیق جامع (Uniform Crossover):

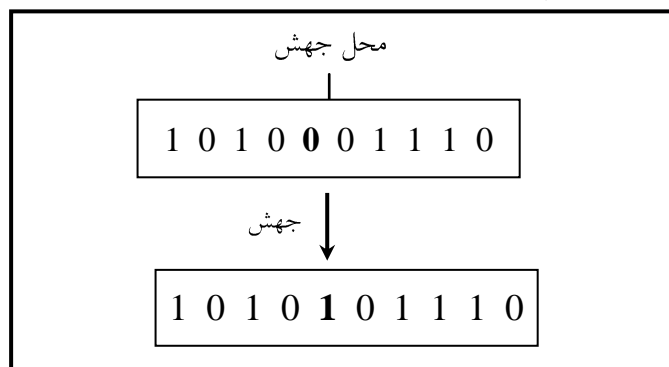


اگر تمام نقاط کروموزوم را بعنوان نقاط بازترکیبی انتخاب کنیم به آن بازترکیبی جامع می گوئیم. مثال)



### ۳-۲-۴-۳- عملگر جهش (Mutation):

پس از اتمام عمل آمیزش، عملگر جهش بر روی کروموزومها اثر داده می‌شود. این عملگر یک ژن از یک کروموزوم را به طور تصادفی انتخاب نموده و سپس محتوای آن ژن را تغییر می‌دهد. اگر ژن از جنس اعداد دودویی باشد، آن را به وارونش تبدیل می‌کند و چنانچه متعلق به یک مجموعه باشد، مقدار یا عنصر دیگری از آن مجموعه را به جای آن ژن قرار می‌دهد. در شکل ۲ چگونگی جهش یافتن پنجمین ژن یک کروموزوم نشان داده شده است. پس از اتمام عمل جهش، کروموزومهای تولید شده به عنوان نسل جدید شناخته شده و برای دور بعد اجرای الگوریتم ارسال می‌شوند.



شکل ۳-۲۳: یک کروموزوم قبل و بعد از اعمال عملگر جهش

### ۳-۴-۳- روند کلی الگوریتمهای ژنتیکی

قبل از این که یک الگوریتم ژنتیکی بتواند اجرا شود، ابتدا باید کدگذاری (یا نمایش) مناسبی برای مسئله مورد نظر پیدا شود. معمولی ترین شیوه نمایش کروموزومها در الگوریتم ژنتیک به شکل رشته های دودویی است. هر متغیر تصمیم گیری به صورت دودویی در آمده و سپس با کنار هم قرار گرفتن این متغیرها کروموزوم ایجاد می‌شود. گرچه این روش گسترده ترین شیوه کدگذاری است اما شیوه های دیگری مثل نمایش با اعداد حقیقی در حال گسترش هستند. همچنین یک تابع برازندگی نیز باید ابداع شود تا به هر راه حل کدگذاری شده ارزشی را نسبت دهد. در طی اجرا، والدین برای تولید مثل انتخاب می‌شوند و با استفاده از عملگرهای آمیزش و جهش با هم ترکیب می‌شوند تا فرزندان جدیدی تولید کنند. این فرآیند چندین بار

تکرار می‌شود تا نسل بعدی جمعیت تولید شود. سپس این جمعیت بررسی می‌شود و در صورتی که ضوابط همگرایی آورده شوند، فرآیند فوق خاتمه می‌یابد.

```

BEGIN
    t=0;
    Initialize P(t);           {جمعیت اولیه ایجاد می‌شود}
    Evaluate P(t);             {عناصر P(0) توسط مقادیر برازندگی نشاندار می‌شوند}

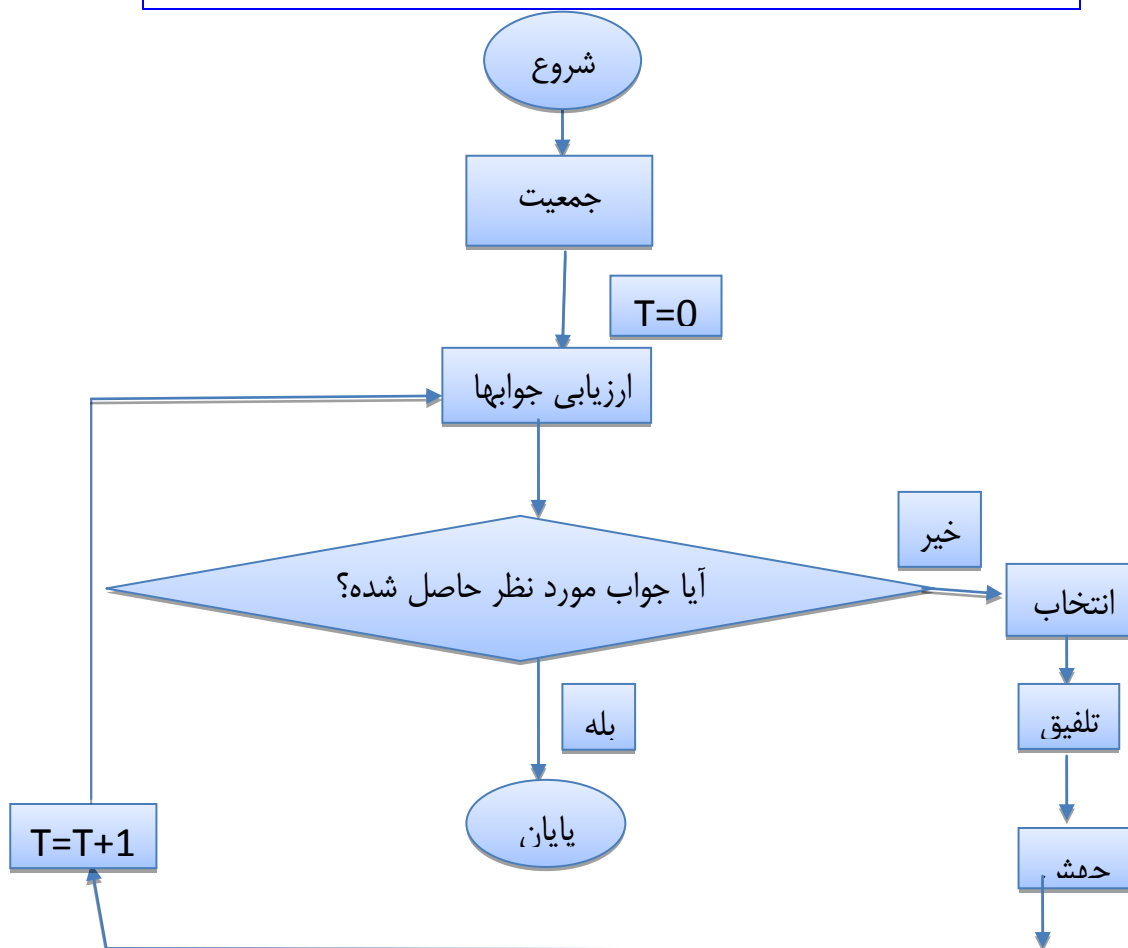
    WHILE شرایط خاتمه ارضا نشده DO

        BEGIN
            t=t+1;
            Select P(t) from P(t-1); {اجرای عملگر انتخاب و لیست والدین فراهم می‌شود}
            Crossover P(t);           {اجرای عملگر کراسور و لیست فرزندان فراهم می‌شود}
            Mutation P(t);            {اجرای عملگر جهش و لیست جمعیت جدید حاصل می‌شود}
            Evaluate P(t);            {عناصر P(t) توسط مقادیر برازندگی نشاندار می‌شوند}

        END

    END.

```



شکل ۳-۲۴: کد برنامه مجازی الگوریتم ژنتیک ساده و فلوچارت آن

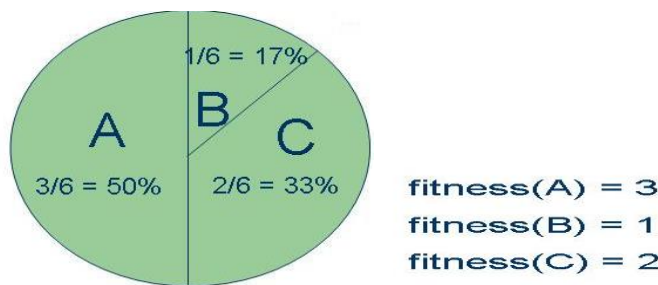
### ۳-۴-۱- روند کلی بهینه سازی و حل مسائل در الگوریتم ژنتیک

۱ شروع (Start): تولید تصادفی یک جمعیت (Population) که شامل تعداد زیادی

کروموزم (روشهای حل مسئله است) می باشد.

۲-صحت و درستی (Fitness): ارزیابی صحت برای تابع  $f(x)$  به ازای هر کروموزوم  $x$

در جمعیت.



شکل ۳-۲۵: نحوه ارزیابی تابع شایستگی در چرخ رولت

۳-ایجاد یک جمعیت جدید (New Population): تولید یک جمعیت جدید با انجام

تمامی زیر گروههای زیر تا آنکه یک جمعیت جدید ایجاد گردد.

۳-۱: انتخاب (Selection): انتخاب کروموزومهای پدر و مادر از جمعیت قبلی با توجه

به صحت و درستی آن (Fitness). بطوریکه هر چه Fitness بهتر باشد (دقت جواب در

همگرایی بیشتر باشد) شانس بیشتری برای انتخاب دارد.

۳-۲: تولید مثل (Crossover): انجام زادو ولد و ایجاد یک نسل جدید.

۳-۳: جهش (Mutation): مشخص شدن مکان فرزند تولید شده در کروموزوم

۳-۴: پذیرش (Accepting): جا دادن فرزند جدید در داخل جمعیت.

۴-جایگزینی (Replace): جایگزینی جمعیت جدید به جای جمعیت قبلی و مورد

استفاده قرار دادن جمعیت جدید در مراحل بعدی الگوریتم

۵-امتحان (Test): اگر شرایط مطلوب در حل مسئله ارضا شد اعلام میکنیم که به

بهترین جواب رسیده ایم و از الگوریتم خارج می شویم در غیر این صورت به مرحله ۲ یعنی

Fitness میرویم و دوباره همین روند را تکرار می کنیم.

۶- شرط پایان الگوریتم

چون که الگوریتم های ژنتیک بر پایه تولید و تست می باشند، جواب مساله مشخص

نیست و نمی دانیم که کدامیک از جواب های تولید شده جواب بهینه است تا شرط خاتمه را

پیدا شدن جواب در جمعیت تعریف کنیم. به همین دلیل، معیارهای دیگری را برای شرط خاتمه در نظر می گیریم:

۱. تعداد مشخصی نسل: می توانیم شرط خاتمه را مثلاً ۱۰۰ دور چرخش حلقه اصلی برنامه قرار دهیم.

۲. عدم بهبود در بهترین شایستگی جمعیت در طی چند نسل متوالی

۳. بهترین شایستگی جمعیت تا یک زمان خاصی تغییری نکند.

شرایط دیگری نیز می توانیم تعریف کنیم و همچنین می توانیم ترکیبی از موارد فوق را به عنوان شرط خاتمه به کار ببندیم. [۵۱]

### ۳-۵- تجهیزات جانبی سیستم فتوولتایک

#### ۳-۵-۱- اینورتر یا مبدل الکترونیک قدرت AC/DC

اگر خروجی AC برای مبدل مورد نظر باشد، به عنوان مثال در صورتی که انرژی تولیدی مبدل فتوولتایک به شبکه قدرت تزریق شود، لازم است که ولتاژ خروجی DC تولید شده مبدل، توسط یک مدار الکترونیکی، به ولتاژ متناوب تبدیل شود که بسته به نوع کاربرد می تواند تک فاز یا سه فاز باشد. مدار الکترونیکی مورد استفاده در تبدیل ولتاژ DC به AC، اینورتر نامیده می شود. ولتاژ DC ورودی به اینورتر در یک نیروگاه فتوولتایک می تواند از خروجی آرایه های خورشیدی و یا خروجی باتری مورد استفاده در سیستم فتوولتایک، به وجود آمده باشد.

ولتاژ فاز به زمین ( $V_{ph}$ ) خروجی اینورتر در فرکانس پایه (۶۰ یا ۵۰ هرتز) مطابق رابطه زیر با ولتاژ DC ورودی به اینورتر ( $V_d$ ) در ارتباط می باشد :

$$V_{ph} = \left( \frac{2.8}{\pi} \right) \cos\left( \frac{\pi}{6} \right) \cdot V_d \quad (16-1)$$

ولتاژ خط به خط AC خروجی اینورتر برابر  $V_{ph} \sqrt{3}$  است. در حالت پایدار، مقدار توان DC ورودی به اینورتر ( $P_{DC}$ ) برابر با مجموع تلفات و توان AC خروجی اینورتر ( $P_{AC}$ ) می باشد.

$$P_{DC} = \frac{P_{AC}}{\eta} \quad (17-1)$$

در رابطه فوق  $\eta$  معرف بازده اینورتر می باشد.

از مزایای نیروگاه‌های فتوولتاییک آن است که آنها به بازرسی‌های دوره‌ای با هزینه اندک نیاز دارند، بدون حرکت و کاملاً بی صدا بوده و آلودگی صوتی ندارد، با توجه به مدل‌های پیش ساخته در این سیستم‌ها می‌توان الکتریسیته را در مقیاس‌های مختلف تولید کرد. با سیستم‌های فتوولتاییک می‌توان از چند میلی وات تا چند مگاوات انرژی بدست آورد (امکان تولید متمرکز یا پراکنده با این سیستم‌ها وجود دارد)، در مناطق دور افتاده و صعب العبور، استفاده از این سیستم‌ها گزینه مناسبی برای تولید الکتریسیته خواهد بود، سلول‌ها و ماژول‌های فتوولتاییک دارای هیچ قسمت متحرکی نیستند پس هیچ گونه اتلافی در اثر اصطکاک در آنها وجود ندارد و دیگر آنکه هیچ گونه ضایعاتی را به وجود نمی‌آورند و ماده مورد استفاده در آنها بی خطر و غیر سمی می‌باشد و در ضمن هیچ تشعشعی از خود صادر نمی‌کنند. اما این نیروگاه‌ها دارای معایبی نظیر هزینه‌های نصب و راه اندازی بالا، محدودیت ساعت کارکرد با تمام ظرفیت در طول سال، نیاز به سیستم پشتیبان و زمین زیاد هستند [۵۲].

### **۳-۵-۲- ذخیره ساز**

#### **۳-۵-۲-۱- واحد ذخیره سازی انرژی**

به خاطر وجود تغییر در میزان شدت تابش پرتوهای خورشیدی در طول روز و در فصول مختلف، یک باتری به منظور ذخیره سازی انرژی الکتریکی تولیدی توسط آرایه‌های فتوولتاییک و به عنوان یک عامل واسطه بین آرایه‌های خورشیدی و مصرف کننده انرژی الکتریکی برای بهره‌وری بیشتر مورد نیاز می‌باشد. یک سیستم فتوولتاییک، در طول روز که تابش خورشید وجود دارد، انرژی خورشیدی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند، ولی زمانی که انرژی خورشیدی در حد ماکزیمم خود است، بندرت اتفاق می‌افتد که دقیقاً منطبق با لحظه ماکزیمم مصرف باشد. ابرها در آسمان نیز برای سیستم‌های فتوولتاییک مشکل ایجاد می‌کند و چنانچه ابری بودن آسمان چندین روز به درازا بکشد، انرژی الکتریکی در مقایسه با روزهای آفتابی که خورشید شدت تابش بالایی دارد، میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا خواهد کرد. واضح است در چنین روزهایی می‌توان از انرژی ذخیره شده در روزهای آفتابی استفاده کرد. اضافه کردن تجهیزات ذخیره سازی در سیستم‌های فتوولتاییک می‌تواند موجب افزایش قابلیت اطمینان سیستم برای تأمین مستمر انرژی الکتریکی گردد. معمولاً برای ذخیره سازی برق تولیدی در سیستم‌های فتوولتاییک با ظرفیت ۳ کیلووات به بالا از باتری استفاده می‌گردد. در مواردی که سیستم به شبکه متصل باشد، الزاماً نیازی به ذخیره سازی انرژی تولیدی سیستم نمی‌باشد. [۵۳].

### ۳-۵-۳- باتری

یک باتری عبارت است از سیستمی برای ذخیره توان  $DC$  که علاوه بر ذخیره، به واسطه وجود تبدیلات شیمیایی داخلی، انرژی الکتریکی نیز تولید می‌کند و شامل یک یا چند سلول الکتروشیمیایی می‌باشد. هر باتری با چهار ویژگی اصلی مشخص می‌شود که عبارتند از ولتاژ، ظرفیت، عمق دشارژ و سطح شارژ.

لازم به ذکر است که ولتاژ یک سلول باتری توسط مواد استفاده شده در ساخت آن مشخص می‌شود. ولتاژ سلول‌های نیکل کادمیوم حدود  $1/2$  ولت، ولتاژ سلول‌های سرب اسید حدود  $2$  ولت و ولتاژ سلول‌های لیتیوم حدود  $4$  ولت می‌باشد. برای بدست آوردن ولتاژ بالاتر کافی است سلول‌ها را به تعداد مورد نظر به طور سری به هم وصل کنیم و به این ترتیب ولتاژ آنها با هم جمع می‌شود. اما ظرفیت یک سلول به میزان بار سلول بستگی دارد و عبارت است از مقدار جریانی که می‌توان از الکترون‌ها یا مواد فعال یک سلول گرفت. به عبارت دیگر مقدار جریانی که باتری می‌تواند تأمین کند تا ولتاژ آن به ولتاژ نهایی برسد. در طول مدتی که ولتاژ یک سلول به واسطه ترکیب شیمیایی آن ثابت می‌ماند، ظرفیت سلول بسته به میزان مواد موجود در آن تغییر می‌کند. نکته بسیار مهم آن است که هرگز سلول‌هایی با مواد تشکیل دهنده متفاوت و ظرفیت‌های مختلف را با هم سری یا موازی نکنیم. زیرا هر سلول باتری دارای مقاومت داخلی مخصوص به خود می‌باشد و در زمان شارژ و دشارژ، مقاومت داخلی باتری تأثیر بسزایی در شارژ و دشارژ خواهد داشت. شارژ باتری به معنای ذخیره انرژی الکتریکی در آن است و یا به عبارت دیگر تبدیل انرژی الکتریکی به شیمیایی است که فقط با استفاده از جریان مستقیم صورت می‌گیرد. ولی دشارژ یک باتری به معنای مصرف کردن انرژی الکتریکی ذخیره شده در باتری است و یا به عبارت دیگر تبدیل انرژی شیمیایی موجود در باتری به انرژی الکتریکی می‌باشد که این امر با معکوس کردن جریان در مدار خارجی صورت می‌گیرد [۴۹].

### ۳-۵-۳-۱- روش‌های شارژ باتری

یکی از نکات مهم و اساسی در استفاده از باتری روش شارژ کردن آن است که در کارایی، عمر باتری و سرویس دهی آن اثر مستقیم دارد. برای شارژ یک باتری روش‌های مختلفی وجود دارد که از جمله می‌توان به شارژ با ولتاژ ثابت، شارژ با جریان ثابت و شارژ شیب‌دار اشاره کرد. در تمام این روش‌ها لازم است دمای باتری در طول شارژ، کنترل شده و هنگامی که باتری به مرحله شارژ کامل رسید، شارژ باتری قطع شود.

در روش شارژ با ولتاژ ثابت که مناسب‌ترین و مرسوم‌ترین روش به کار رفته برای شارژ باتری‌های مورد استفاده تجاری می‌باشد و اغلب کارخانه‌های باتری سازی این روش را توصیه می‌کنند زیرا میزان گازدهی باتری در این روش کمترین مقدار است. از آنجا که ولتاژ شارژ نباید از ولتاژ تجزیه الکترولیت تجاوز کند این باتری‌ها با ولتاژ کنترل شده شارژ می‌شوند که این ولتاژ باید بیشتر از ولتاژ مدار باز و کمتر از ولتاژ گازدهی باشد. به علاوه در این روش به شرط این که شارژ با ولتاژ پایین انجام شود باتری به طور موازی با بار در مدار قرار می‌گیرد. در روش شارژ با جریان ثابت که غالباً برای باتری‌های خشک سرب اسیدی سازگار نیست و توصیه نمی‌شود اما روش موثری برای شارژ همزمان تعداد مختلفی باتری یا شارژ یکسان برای تصحیح ظرفیت‌های متنوع باتری‌ها در یک گروه به کار می‌رود. در زمان شارژ باتری با جریان ثابت باید توجه نمود که شارژ کردن بیش از حد ادامه پیدا نکند، زیرا بعد از آنکه باتری به مرحله شارژ کامل رسید با ادامه شارژ، به واسطه افزایش سریع حرارت داخلی باتری، گازدهی بیش از حد و در نتیجه کاهش آب باتری خسارت سنگینی به آن وارد می‌شود [۴۹].

در روش شارژ با جریان شیب‌دار با افزایش ولتاژ دو سر باتری، جریان شارژ کاهش می‌یابد و هنگامی که ولتاژ دو سر باتری به ولتاژ گازدهی برسد، این جریان به نصف مقدار اولیه خود تقلیل یافته است. بزرگترین ایراد این روش این است که تغییرات ولتاژ بر جریان شارژ تأثیر می‌گذارد و در نتیجه زمان شارژ نیز متغیر است. بنابراین در این نوع روش احتمال شارژ اضافه و از دست دادن آب باتری زیاد است که این موضوع باعث کوتاهی عمر آن می‌شود و برای شارژ باتری‌های خشک توصیه نمی‌شود [۴۹].

### **۳-۵-۴- انواع شارژرها**

#### **۳-۵-۴-۱- شارژرهای سریع**

با یک دستگاه شارژر سریع، یک باتری را می‌توان در مدت یک ساعت یا کمتر از آن شارژ کرد. این شارژرها معمولاً دارای پتانسیل لختی هستند که با ولتاژ گازدهی محدود می‌شود. ظرفیت آنها بالا است و می‌توانند جریانی به شدت ۸۰ الی ۱۰۰ آمپر تولید کنند. اما شدت جریان شارژ باید طوری تنظیم شود که از افزایش بیش از حد ولتاژ روی باتری‌های مورد نظر جلوگیری شود. این نوع شارژر برای باتری‌های کم ظرفیت قابل استفاده است اما برای باتری‌های پر ظرفیت به واسطه لزوم کنترل جریان، بسیار حساس و خطرناک است

و عموماً به کار نمی‌رود. یکی دیگر از معایب این شارژرها این است که عمر باتری را کوتاه می‌کنند [۴۰].

### ۳-۵-۴-۲- شارژهای کند

از این شارژرها برای شارژ کردن باتری‌ها با کاربری شناوری استفاده می‌شود. این دستگاه‌ها، باتری‌ها را با شدت جریان کم، شارژ می‌کنند به طوری که از تولید گاز بیش از حد مجاز جلوگیری شود و در عین حال این جریان به اندازه‌ای است که تخلیه داخلی باتری را جبران می‌کنند.

در طراحی یک سیستم انرژی ترکیبی باید این نکته را مد نظر داشت که علاوه بر پریودهای عادی تاریکی در شبانه روز، تغییرات جوی نیز می‌تواند انرژی خورشیدی را محدود کند و یا وزش باد ممکن است برای چندین روز قطع شود و برای مدت طولانی دسترسی به سیستم‌ها را غیر ممکن سازد. بنابراین این باتری‌ها ممکن است حتی برای ۵ تا ۱۰ روز بدون شارژ بمانند. در نتیجه هنگام انتخاب باتری برای سیستم‌های ترکیبی باید باتری را بر اساس شرایط بیشینه بار و بیشینه پریود زمانی که سیستم شارژ نخواهد شد، در نظر گرفت. در بسیاری از موارد ظرفیت باتری حتی ۱۰ تا ۵۰ بار بیشتر از میزان بیشینه خروجی سیستم، انتخاب می‌شود. در به کارگیری باتری‌ها در سیستم‌های ترکیبی، مسائلی مانند عمر باتری (حداکثر تعداد دفعات شارژ و دشارژ باتری)، زمان شارژ و دشارژ، دمای مناسب، میزان تلفات انرژی هنگام شارژ و دشارژ و میزان دشارژ خود به خودی باتری باید در نظر گرفته شود. معمولاً یک شارژ که متناسب با مشخصه‌های باتری، عمل شارژ و دشارژ را انجام می‌دهد برای باتری‌ها در نظر گرفته می‌شود. باتری باید از نظر میزان شارژ و دشارژ بیش از حد نیز محافظت شوند. زیرا شارژ و دشارژ بیش از حد باعث از بین رفتن الکترولیت و یا آسیب به صفحات باتری می‌شود. در دوره‌های طولانی دشارژ که در آنها باتری با جریان‌های کم دشارژ می‌شود تفاوتی در باتری‌ها دیده نمی‌شود زیرا باتری‌ها پس از دوره طولانی دشارژ به ظرفیت نامی خود می‌رسند اما در دوره‌های کوتاه‌تر دشارژ یعنی وقتی که بخواهیم در مدت زمان کوتاه و با جریان زیاد، باتری را تخلیه کنیم، ملاحظه می‌شود هر چه مقاومت داخلی باتری کمتر باشد، در کوتاه مدت جریان بیشتری از باتری می‌توان گرفت. مقاومت داخلی باتری‌های خشک در حالت شارژ کامل کمترین مقدار است و به طور آهسته در طول دشارژ بالا می‌رود اما در مرحله انتهایی دشارژ به سرعت افزایش می‌یابد. [۴۰].



### ۳-۵-۴-۳- عوامل موثر بر طول عمر باتری

- عمق دشارژ

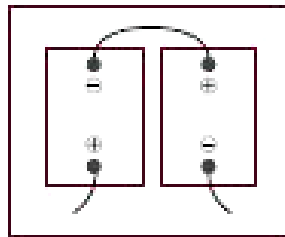
- سرعت دشارژ

- روش شارژ مجدد

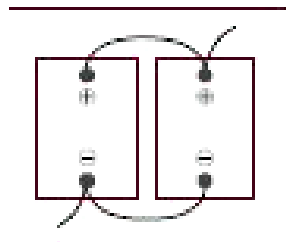
- دمای محیط

لازم به ذکر است که باتری‌ها از روی ولتاژ و ظرفیتی که دارند طبقه‌بندی می‌شوند. با در دست داشتن آمپر ساعت و ولتاژ باتری، می‌توان وات ساعت یعنی انرژی این باتری را با ضرب کردن این دو عامل در هم بدست آورد. بنابراین از این طریق می‌توان با در دست داشتن انرژی مورد نیاز، تعداد باتری‌های لازم را بدست آورد.

نکته‌ای که باید به آن توجه کنیم این است که اتصال باتری‌ها به صورت سری سبب جمع شدن ولت مجموعه باتری‌ها می‌شود و آمپر ساعت آن برابر آمپر ساعت هر یک از باتری‌ها ثابت باقی می‌ماند. در مورد باتری‌ها به طور موازی، ولت مجموعه برابر ولت هر یک از باتری‌ها ثابت باقی می‌ماند ولی آمپر ساعت ذخیره شده برابر مجموع آمپر ساعت هر یک از باتری خواهد بود [۴۰].



شکل ۳-۲۸: اتصال باتری‌ها به طور سری



شکل ۳-۲۹: اتصال باتری‌ها به طور موازی

#### ■ کنترل کننده شارژ باتری

دستگاه کنترل شارژ باتری در سیستم‌های فتوولتائیک مستقل از شبکه، به منظور جلوگیری از تخلیه کامل باتری‌ها و یا شارژ بیش از حد آن به کار می‌رود، به طوری که از معیار حداکثر عمر مفید آن‌ها استفاده می‌گردد. بخش شارژ، وضعیت شارژ باتری‌ها را از نظر جریان

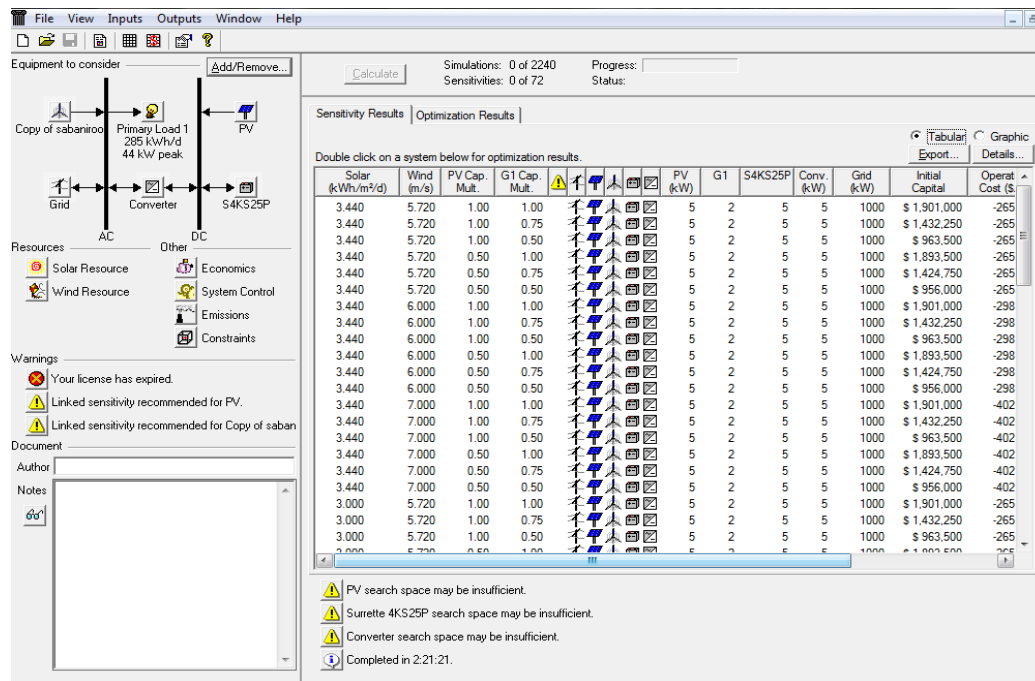
و ولتاژ ورودی، دمای محیط، غلظت الکترولیت و غیره کنترل کرده و در مواقع لزوم، طبق طراحی های انجام شده عملکرد لازم را متناسب با شرایط و وضعیت باتری ها بر سیستم اعمال می کند، به گونه ای که طول عمر مفید را افزایش داده و امکان استفاده از بیشترین ظرفیت قابل دسترس باتری ها را نیز در اختیار مصرف کننده قرار دهد. به طور خلاصه وظیفه این دستگاه عبارت است از :

- اندازه گیری ولتاژ خروجی پانل ها
- اندازه گیری جریان خروجی پانل ها
- اندازه گیری ولتاژ خروجی باتری ها
- اندازه گیری جریان خروجی باتری ها
- اندازه گیری دمای محیط
- اندازه گیری غلظت الکترولیت باتری ها
- تصمیم گیری قطع یا وصل ولتاژ و جریان خروجی پانل ها جهت شارژ باتری ها
- تصمیم گیری قطع یا وصل ولتاژ و جریان خروجی پانل ها جهت مصرف کننده [۳۹]

### ۳-۶- نرم افزار HOMER

در این پایان نامه سیستم پیشنهادی توسط نرم افزار HOMER نیز شبیه سازی شده است. این نرم افزار توسط سازمان بین المللی انرژی های تجدید پذیر تولید و گسترش داده شده است. این می تواند برای اندازه یابی سیستم های ترکیبی که بر اساس هزینه های خالص فعلی می باشند، مورد استفاده قرار گیرد. همچنین این نرم افزار قادر است تا آنالیز حساسیت را روی متغیرهایی با مقدار غیر قطعی انجام دهد. در واقع نرم افزار HOMER این امکان را به ما می دهد تا تاثیر تغییر یک متغیر را بر کل سیستم بررسی کنیم. این نرم افزار برای آنالیز، نیاز به داده های منابع انرژی مانند نوع اجزاء سیستم، تعداد اجزاء، هزینه ها، بازده، طول عمر، قیود اقتصادی و روش های کنترلی دارد. هدف از انجام این مطالعه، تحلیل اقتصادی و مقایسه آنها با یکدیگر و نهایتاً انتخاب اقتصادی ترین حالت برای پالایشگاههای شهرستان عسلویه می باشد. مطالعات حساسیت با استفاده از داده های تابش خورشید و هزینه های پنلها انجام شده و پارامترهای خروجی به عنوان توابعی از این متغیرها بیان می شوند. تعیین سیستم بهینه برای هر منطقه ای که پرو فایل تابش خورشید آن مشخص باشد، امکانپذیر خواهد بود. برای گسترش فضای جستجو برای هر کدام از اجزاء سیستم چندین مقدار در نظر گرفته شده تا در نهایت

سیستم بهینه انتخاب گردد. شماتیک نرم افزار HOMer در شکل 4-13 نشان داده شده است. [۵۴]



شکل ۳-۳۵: نمایی از نرم افزار HOMER

### ۳-۶-۱- مدل باتری در نرم افزار HOMER

بانک باتری که معمولاً از نوع سرب-اسید است برای ذخیره سازی انرژی الکتریکی اضافی برای تنظیم کردن ولتاژسیستم و برای عرضه توان به بار در مواقع بدون تابش خورشید که توان تولیدی کمتر از تقاضا میباشد به کار برده میشود. باتریهای سرب-اسید که در سیستمهای نیروگاه های خورشیدی مورد استفاده قرار میگیرند تحت شرایط خاصی عمل می کنند. بنابراین پیش بینی زمانی که انرژی از باتری استخراج خواهد شد یا به باتری عرضه خواهد شد مشکل است. انرژی هنگامیکه توان تولید شده توسط پنل های خورشیدی بیشتر از بار باشد در باتری ذخیره می شود، هنگامیکه توان تولیدی نتواند نیازهای بار را تامین کند انرژی از باتری استخراج می شود و هنگامیکه تولید توان توسط پنل های خورشیدی ناکافی است ذخیره نیز تمام شده است بار قطع می شود. [۵۴]

مدلسازی انرژی باتری در روز  $i$  و ساعت  $t$  از طریق فرمول زیر محاسبه میشود؛

$$E_{bat}(i,t) = V_{bat} \cdot C_{bat} \cdot (Soc(i,t-1) - Soc(i,t)) \quad ۶-۴$$

که  $V_{bat}$  ولتاژ نامی باتری بر حسب (V)،  $C_{bat}$  ظرفیت نامی باتری بر حسب (Ah) و  $Soc$  سطح شارژ باتری می باشند که سطح شارژ باتری را میتوان با فرمول ۴-۳۱ بدست آورد؛

$$Soc(i,t) = Soc(i,t-1).(1-\sigma) - \frac{I_{bat}(i,t).\Delta t.(\eta_{ch})^k}{C_{bat}} \quad ۷-۴$$

که در معادله بالا  $\sigma$  ضریب خوددشارژی باتری،  $\eta_{ch}$  راندمان باتری و  $k$  متغیر وضعیت شارژ باتری می باشد، متغیر وضعیت شارژ باتری برای حالت شارژ اوبرای حالت دشارژ باتری برابر صفر است.

جریان شارژ و دشارژ باتری از طریق فرمول زیر قابل محاسبه است؛

$$I_{bat}(i,t) = \frac{P_l(i,t)/\eta_{inv}}{V_{bat}} - \frac{P_w(i,t)}{V_{bat}} \quad ۸-۴$$

$Soc$  باتری به عنوان متغیر طرح برای کنترل حفاظت های اضافه شده شارژ و دشارژ باتری به کار برده میشود. حالت اضافه شارژ ممکن است هنگامیکه توان بیشتری توسط پنل خورشیدی تولید شده و یا هنگامیکه تقاضای بار کم باشد اتفاق بیفتد، در چنین مواردی هنگامیکه  $Soc_{max} = 1$  باتری به مقدار می رسد سیستم مداخله می کند و فرآیند شارژ را متوقف می کند به عبارت دیگر حالت شارژ به یک سطح مینم کاهش می یابد  $Soc_{min} = 1 - DOD$ ، سیستم کنترل، بار را قطع می کند. زیرا این مسئله که از کوتاهترین طول عمر باتریها یا حتی ویرانگری شان پیشگیری شود، بسیار مهم است. لازم به ذکر است که  $DOD$  عمق دشارژ باتری می باشد. [ ۵۴ ]

به منظور مقایسه ی توانایی ذخیره ی انرژی، بانک باتری متداول نیز در سیستم لحاظ شده است. انواع مدل های باتری موجود در بازار از جمله  $surretee - 12cs25p$  -  $12V83.4Ah$  در  $Homer$  قابل بررسی است. در این مطالعه، هزینه ی باتری مورد استفاده  $۱۳۵۰۰۰۰۰$  ریال با هزینه تعمیر و نگهداری  $۱۴۰۰۰۰۰$  ریال فرض شده است. [ ۵۵ ]

### ۳-۶-۲- مبدل توان در نرم افزار HOMER

در آرایش نوعی، جهت برقراری ارتباط بین اجزای  $Ac$  و  $Dc$  مبدل الکترونیک قدرت لازم است. برای سیستم  $1kw$  هزینه ی نصب و تعویض به ترتیب  $۱۸۰۰۰۰۰۰$  ریال و  $۲۰۰۰۰۰۰$  ریال در نظر گرفته شده است و طول عمر سیستم را  $۲۰$  سال و راندمان مبدل را  $۹۰\%$  در نظر گرفته ایم.

[ ۲۲ ]

### ۳-۶-۳- اصول طراحی در نرم افزار HOMER

#### ۳-۶-۳-۱- تابع هدف و قیود مساله

تابع هدف هزینه خالص فعلی  $NPC(x)$ <sup>۱</sup> بر حسب دلار است که معادل جمع هزینه سرمایه گذاری کل  $(C_T(x))$ ، هزینه تعمیر و نگهداری  $(C_M(x))$  هزینه جایگذاری  $(C_R(x))$  در طی طول عمر سیستم که ۲۰ سال فرض شده اند. تابع هدف برای کمینه سازی بصورت زیر بیان می شود [۵۵]:

$$NPC(x) = N \times \{ [CC + RC \times K(ir, L, y)] \times CRF(ir, R) + C_M \} \quad 9-4$$

که  $N$  تعداد یا ظرفیت تجهیز،  $C_T$  هزینه سرمایه گذاری اولیه،  $C_R$  هزینه هر بار جایگذاری و  $C_M$  هزینه تعمیر و نگهداری سالیانه تجهیز می باشد.  $R$  طول عمر پروژه ( در این پایان نامه ۲۰ سال) بوده و  $i_r$  نرخ سود بانکی ( در این پایان نامه ۲۵ درصد) بوده که بر حسب بهره نامی  $(i_{r,nominal})$  و نرخ تورم سالیانه  $(f_r)$  طبق رابطه زیر قابل محاسبه است. [۵۵]

$$i_r = \frac{(i_{r,nominal} - f_r)}{1 + f_r} \quad 10-4$$

$CRF$  و  $K$  نیز به ترتیب فاکتور ارزش فعلی پرداخت‌های سالیانه و ثابت بوده که بصورت زیر تعریف می شوند [۹]

$$CRF(i_r, R) = \frac{(1+i_r)^R - 1}{(1+i_r)^R i_r} \quad 11-4$$

$$K_i = \sum_{n=1}^{y_i} \frac{1}{(1+i_r)^R} \quad 12-4$$

$y$  و  $L$  به ترتیب تعداد جایگذاری‌ها و طول عمر مفید تجهیز مربوطه می باشد. می توان از مدل زیر نیز به عنوان تابع هدف برای طراحی استفاده نمود، در این مدل نیز هزینه سالیانه سیستم از هزینه سرمایه گذاری سالیانه  $C_{acap}$ ، هزینه جایگزینی سالیانه  $C_{arep}$  و هزینه نگهداری سالیانه  $C_{amain}$  ترکیب می شود. کنترل کننده اینورتر و یکسوساز (برای هنگامی که پنل فتوولتاییک برای داشتن خروجی  $AC$  طراحی شده باشد) می باشد. سپس  $ACS$  می تواند بیان شود توسط [۵۵]:

$$ACS = C_{acap}(PV) + C_{arep}(Bat) + C_{amain}(PV) + Tower + Others \quad 13-4$$

1. Net percent cost

هزینه سرمایه گذاری سالیانه هر ( پنل فتوولتاییک) به عنوان هزینه نصب (شامل پایه پنل فتوولتاییک و کابل ها و...) در نظر گرفته می شود و آنها محاسبه نمی شوند توسط

$$C_{acap} = C_{cap} CRF(i - Y_{proj}) \quad 14-4$$

که  $C_{cap}$  هزینه سرمایه گذاری هم ترکیب می باشد.  $Y_{proj}$  طول عمر ترکیب (سال)  $CRF$  فاکتور بازگشت سرمایه گذاری است که یک نرخ برای محاسبه کردن ارزش حال حاضر یک سال (یک سری از جریان های نقدی سالیانه معادل) می باشد، معادله برای فاکتور بازگشت سرمایه گذاری به صورت زیر است.

$$CRF / (i \cdot Y_{proj}) = \frac{i \cdot (I + i) Y_{proj}}{(L + i)^{Y_{proj}-1}} \quad 15-4$$

که نرخ بهره واقعی سالیانه  $i$  مربوط می شود به نرخ بهره اسمی  $i'$  (نرخ که شما می - توانید وام بگیرید) و نرخ تورم سالیانه  $f$  توسط معادله زیر داده می شود [۱۲].

$$i = \frac{i' - f}{I + f} \quad 16-4$$

هزینه جایگزینی سالیانه یک ترکیب، مقدار سالیانه همه هزینه های جایگزینی است که در طول عمر پروژه اتفاق می افتند.

$$C_{arep} = C_{rep} \cdot SFF(i, Y_{rep}) \quad 17-4$$

که  $C_{rep}$  هزینه جایگزینی ترکیب (باتری) است  $Y_{rep}$  طول عمر ترکیب (باتری) (سال) است.  $SFF$  فاکتور نشت است. که یک نرخ برای محاسبه ارزش آینده یک سری از جریان های نقدی سالیانه معادل می باشد معادله فاکتور نشت:

$$SFF(i, Y_{rep}) = \frac{i}{(I + i)^{Y_{rep}} - 1} \quad 18-4$$

### ۳-۶-۲- هزینه نگهداری

هزینه نگهداری سیستم با احتساب نرخ تورم داده شده بدست می آید به عنوان:

$$C_{amain}(a) = C_{amain}(1 + f)^n \quad 19-4$$

که  $C_{amain}(n)$  هزینه نگهداری سال  $n$  ام است. ترکیب با کمترین هزینه سالیانه است (ACS) به عنوان یکی از ترکیب های بهینه که می تواند قابلیت اطمینان عرضه توان مورد نیاز را تضمین کند در نظر گرفته می شود [۵۵].

در نهایت تابع هدف مساله به صورت زیر تعریف می شود

$$STC(x) = \min \{ \sum_i NPC_i + C_{fuel} \} \quad 20-4$$

که  $i$  نشانگر تجهیز مورد نظر و  $x$  بردار متغیرهای بهینه سازی می باشد. کمینه سازی تابع هدف با توجه به قیود اصلی زیر، انجام می شود.

$$\begin{cases} P_p \leq P_l \\ SOC_{\min} \leq SOC \leq SOC_{\max} \end{cases} \quad 21-4$$

که  $P_p$  توان تولیدی توسط سیستم به صورت زیر محاسبه می شود.

$$P_p = P_{RE} + P_D - P_B \quad 22-4$$

$P_{RE}$  توان تولید شده توسط منابع تجدید پذیر است و بصورت زیر محاسبه می شود.

$$P_{RE} = N_{PV} \cdot P_{mpp} + N_{WT} \cdot P_{WT} \quad 23-4$$

که  $P_{WT}$ ،  $P_{mpp}$  به ترتیب توان در  $mpp$  پنل فتوولتائیک بر حسب  $(w)$  هستند.  $N_{PV}$  تعداد کل پنل های فتوولتائیک هستند و  $N_{PV} = N_{PV,P} \times N_{PV,S}$  تعداد کل پنل های فتوولتائیک است.

$P_B$  توان ورودی / خروجی بانک باتری است. در طی پروسه شارژ  $P_B > 0$ ، و در فرایند دشارژ  $P_B < 0$  می گردد و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\Delta P(t) = P_{re}(t) - P_l(t) \quad 24-4$$

که

$$P_l(t) = \frac{P_{Load}(t)}{\eta_i} \quad 25-4$$

و  $P_{load}$  توان بار و  $\eta_i$  بازده مبدل  $DC/AC$  است

بنابراین مدل طراحی بهینه سیستم خورشیدی بصورت زیر بیان می شود:

$$STC(x) = \min \{ \sum_i NPC_i \} \quad 26-4$$

$$where \ x = \{ N_{PV,P}, N_{Bat,P} \} \quad 27-4$$

$$P_p(t) \leq P_l(t) \quad 28-4$$

$$SOC_{\min}(t) \leq SOC(t) \leq SOC_{\max}(t) \quad 29-4$$

$$0 \leq N_{PV,P} \leq N_{PV,P_{\max}} \quad 30-4$$

### ۳-۳-۶-۳- محاسبه زمان بازگشت سرمایه

$$PBT = \frac{NPC}{INCOME} \quad 33-4$$

محاسبه زمان بازگشت سرمایه به عوامل اقتصادی نظیر درآمد و هزینه بستگی خواهد داشت. درآمد حاصل از این پروژه نیز به میزان فروش انرژی الکتریکی به شبکه سراسری اطلاق می شود. بر اساس اظهارات مقامات شرکت توانیر در حال حاضر هر کیلو وات ساعت انرژی تولیدی از طریق منابع تجدید پذیر ۴۵۰ تومان خریداری می شود. [۵۵]



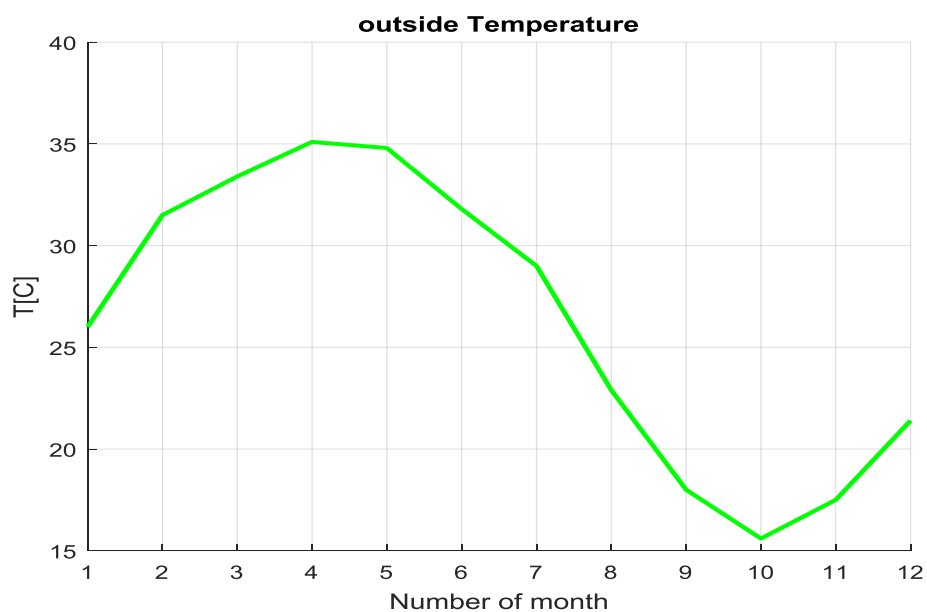
**فصل چهارم:**  
**نتایج و بحث و بررسی**

## ۴-۱- مقدمه

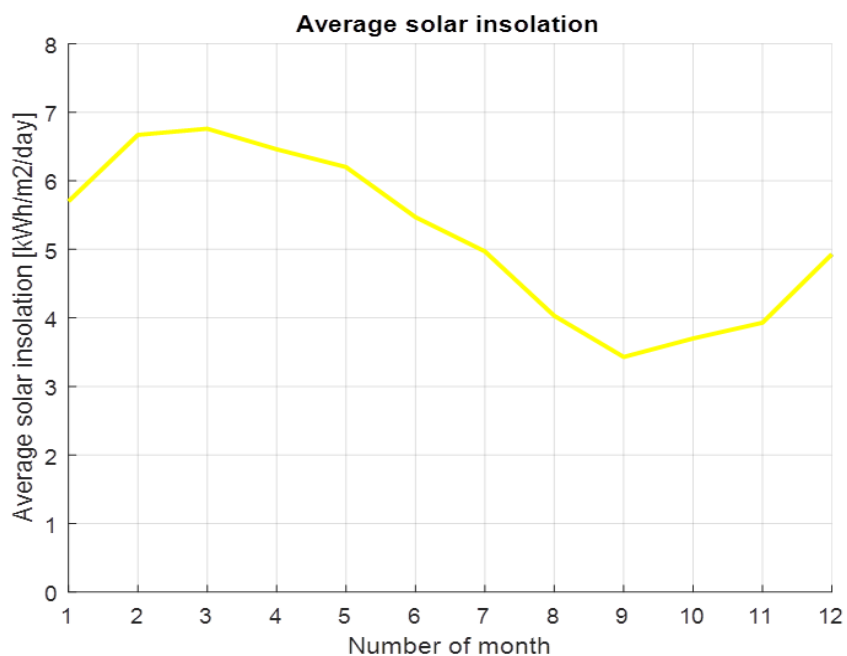
همانطوریکه بیان شد، از سیستم های فتولتائیک خورشیدی برای تولید انرژی الکتریکی استفاده می گردد، اما با توجه به اینکه این سیستم ها راندمان پایینی دارند، می توان از سیستم های ردیاب خورشیدی برای افزایش خروجی آنها بهره برد. سیستم ردیاب خورشیدی به آرایه های خورشیدی این امکان را می دهد که حرکت خورشید را دنبال 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 ژنتیک استفاده شده است.

حال 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 ( $\phi_c$ ) و زاویه شیب آرایه با افق ( $\delta$ ) 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  $180^\circ$  درجه و یا رو به خط استوا در نظر میگیرند. این محاسبات را برای دو روز از سال یعنی ۲۰ خرداد ماه ( $n=160$ ) و ۲۰ دیماه ماه ( $n=9$ ) انجام می دهیم. نتایج این محاسبات بترتیب برای روزهای تعیین شده در شکل های (۴-۳) و (۴-۴) مشاهده می شوند. در این شکل ها  $G_1$  و  $G_2$  بترتیب نشان دهنده میزان شدت تابش خورشیدی در حالت

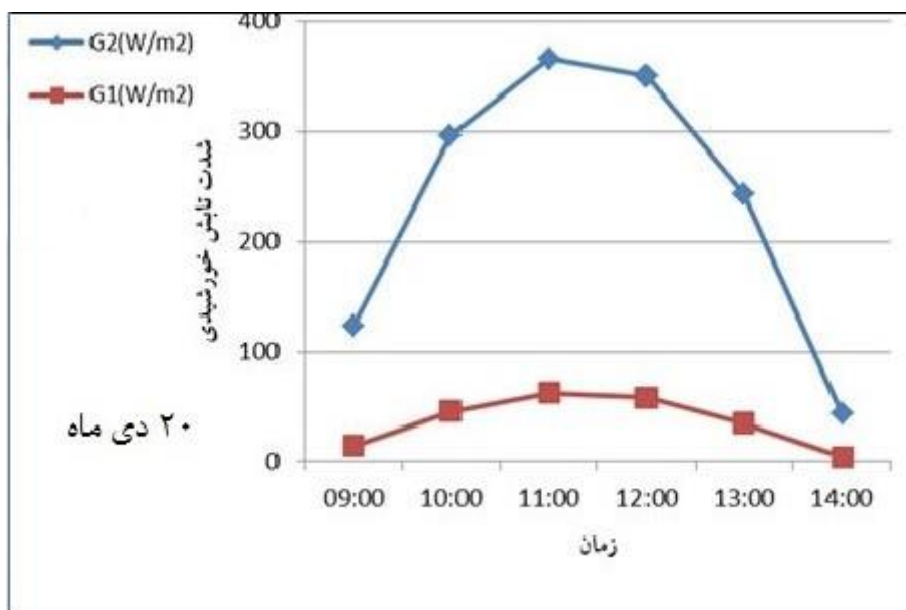
آرایه ثابت و آرایه باردیاب تک محوره می باشند.



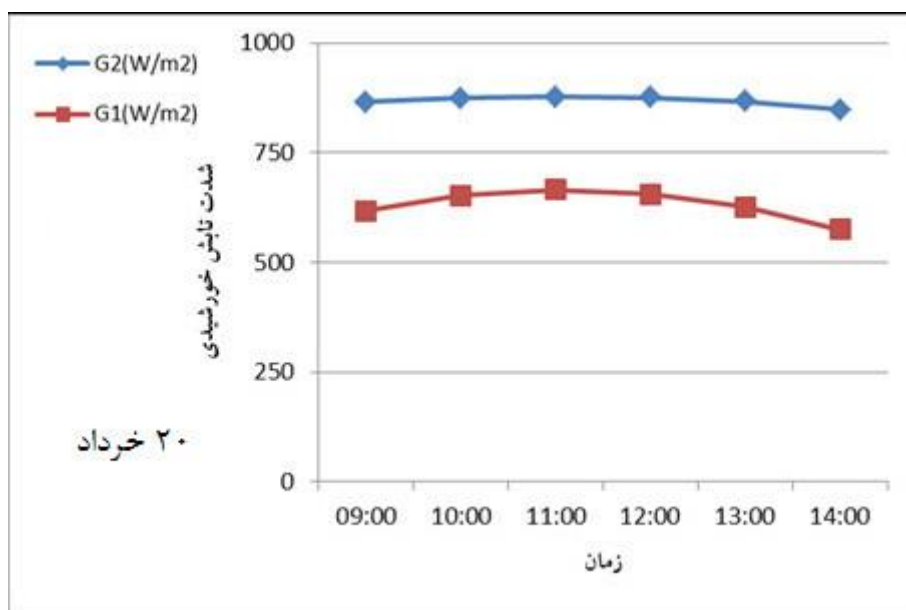
شکل ۴-۱ میانگین دمای شهر عسلویه در ماههای مختلف سال (هواشناسی بوشهر)



شکل ۴-۲ نمودار شدت تابش خورشیدی سالیانه شهر عسلویه  
(NASA Surface meteorology and Solar Energy database)

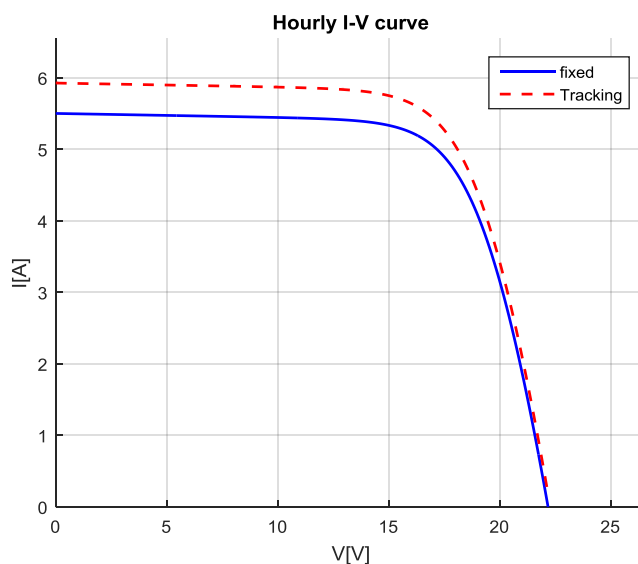


شکل ۴-۳: میزان دریافت تابش خورشیدی توسط سیستم فتولتاییک در دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره برای روز ۲۰ دی ماه در شهر عسلویه

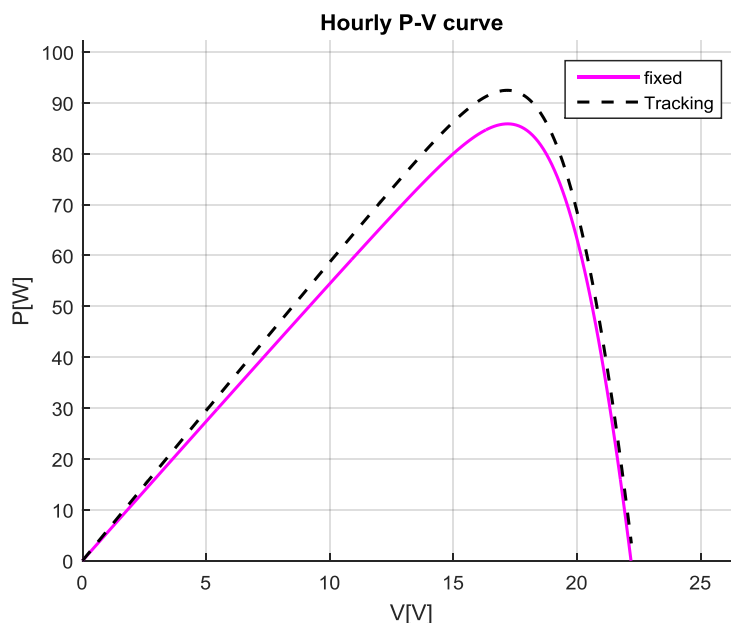


شکل ۴-۴: میزان دریافت تابش خورشیدی توسط سیستم فتولتاییک در دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره برای روز ۲۰ خرداد ماه در شهر عسلویه

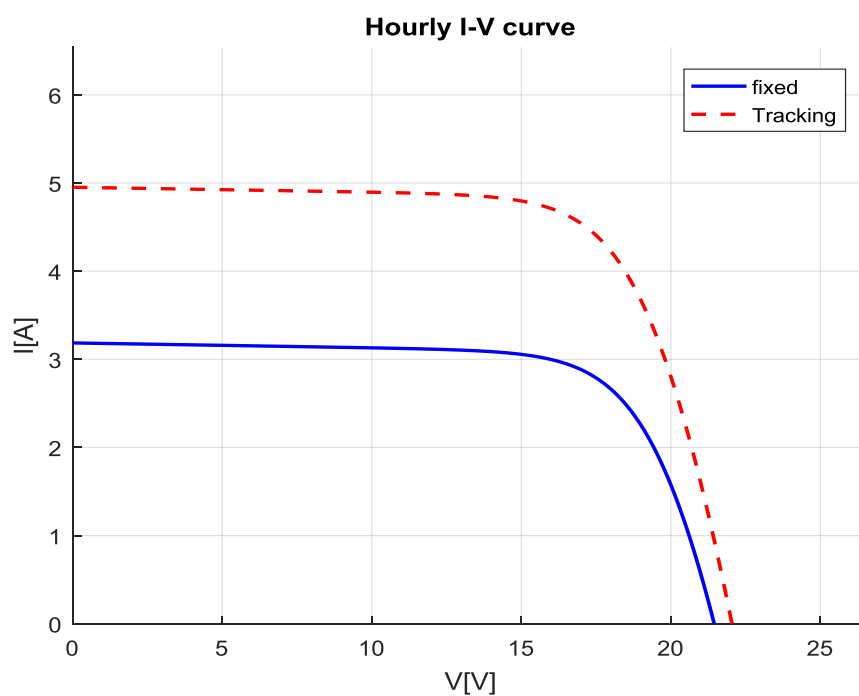
در مرحله بعد برای بررسی عملکرد سیستم فتولتائیک با استفاده از آنالیز حساسیت به تعیین منحنی های جریان - ولتاژ و توان - ولتاژ سیستم خورشیدی در دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره می پردازیم. شکل های (۴-۵) و (۴-۶) بترتیب منحنی های  $I-V$  و  $P-V$  را برای روز ۲۰ خرداد ماه و در ساعت ۱۱ ظهر نشان می دهند. این منحنی ها برای روز ۲۰ دی ماه (ساعت ۱۱ ظهر) بترتیب در شکل های (۴-۷) و (۴-۸) آورده شده اند.



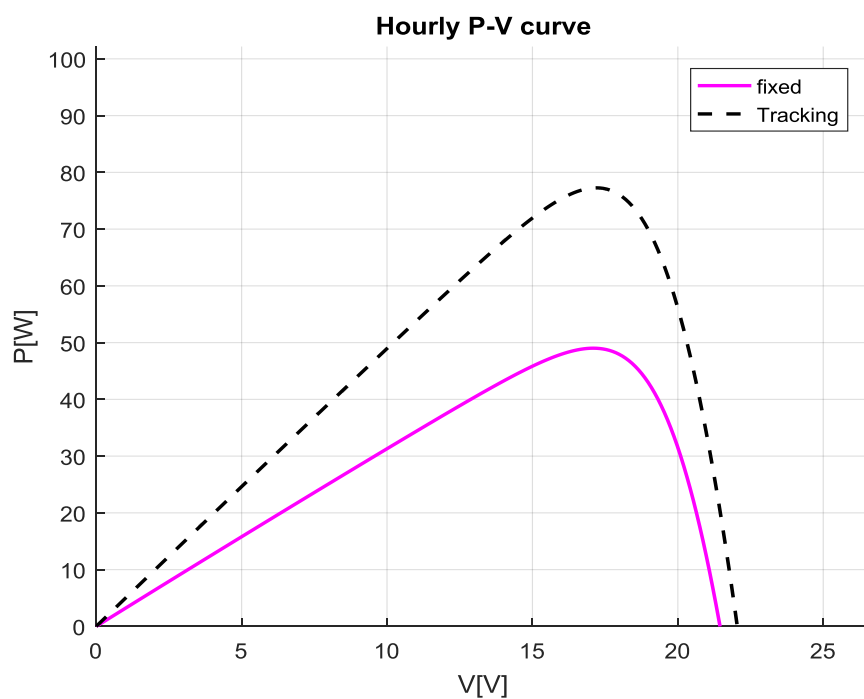
شکل ۴-۵: منحنی  $I-V$  برای روز ۲۰ خرداد ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره



شکل ۴-۶: منحنی  $P-V$  برای روز ۲۰ خرداد ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره



شکل ۷-۴: منحنی  $I-V$  برای روز ۲۰ دی ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره



شکل ۸-۴: منحنی  $P-V$  برای روز ۲۰ دی ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه 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 ۲۰ خرداد ماه بیشتر توان خروجی سیستم فتوولتاییک با آرایه ثابت برابر ۸۷ W و با آرایه با ردیاب تک محوره برابر ۹۳ W می باشد. یعنی در صورت استفاده از آرایه با ردیاب تک محوره، توان خروجی سیستم فتوولتاییک نسبت به آرایه ثابت به اندازه ۳۵٪ افزایش می یابد. مقدار این افزایش برای روز ۲۰ دی 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 W ۵۰ و W ۷۸ می باشد.

## ۴-۲- بهینه سازی عملکرد سیستم فتوولتاییک خورشیدی

در این بخش جهت بهبود عملکرد سیستم فتوولتاییک خورشیدی جهت افزایش تولید توان خروجی به بهینه سازی سیستم موردنظر با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته خواهد شد. 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 شود.

**تعریف توابع هدف:** برای بهینه سازی عملکرد سیستم فتوولتاییک خورشیدی مورد

مطالعه در این تحقیق می توان دو تابع هدف زیر را تعریف کرد:

**تابع هدف :**

$$\text{Object Function 1: } \quad \text{Max}(G_1(Z, \phi_c))$$

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

که در آن  $Z_{\min}$  و  $Z_{\max}$  حد بالا و پایین  $Z$  می باشند که در این تحقیق به ترتیب

برابر  $0^\circ$  و  $90^\circ$  می باشند. همچنین  $\phi_{c,\min}$  و  $\phi_{c,\max}$  حد بالا و پایین  $\phi_c$  می باشند که در

این تحقیق به ترتیب برابر  $0^\circ$  و  $360^\circ$  می باشند.

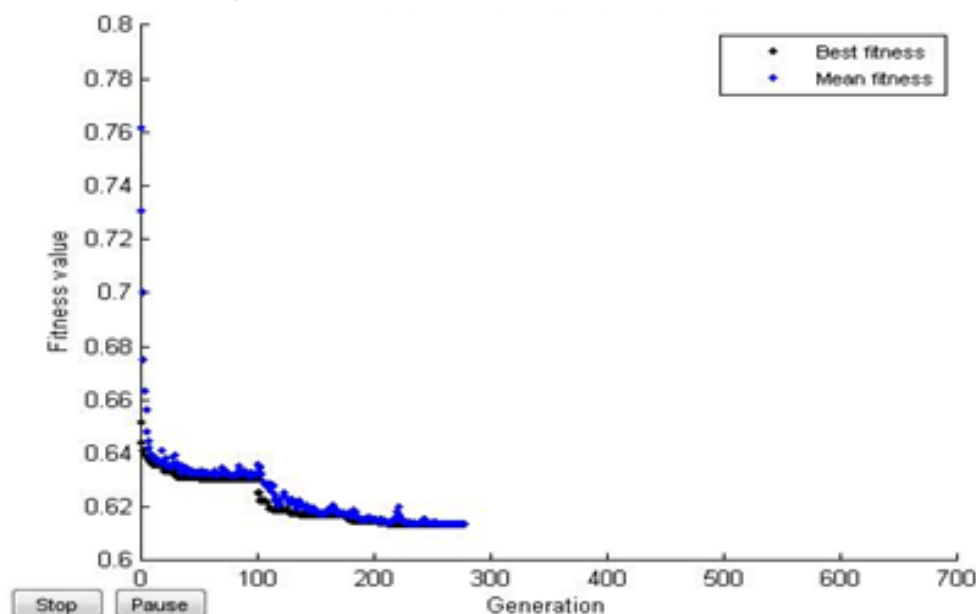
## ۴-۲-۱- نتایج حاصل از بهینه سازی سیستم فتوولتاییک خورشیدی

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 فتوولتائیک خورشیدی بدست می آیند. با توجه به نتایج بدست آمده از الگوریتم بهینه سازی مشخص شد که بهینه ترین زاویه شیب پنل و زاویه چرخش آرایه در حالت آرایه با ردیاب تک محوره به ترتیب برابر  $37/52^\circ$  و  $85/76^\circ$  می باشند.

شکل (۹-۴) روند همگرایی الگوریتم ژنتیک را نشان می دهد. همچنین شکل های (۴-۱۰) تا (۴-۱۷) منحنی های I-V و P-V را برای روزهای ۲۰ خرداد ماه و ۲۰ دی ماه ساعت ۱۱ ظهر در دو حالت سیستم فتوولتائیک با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره قبل و بعد از بهینه سازی نشان می دهند.

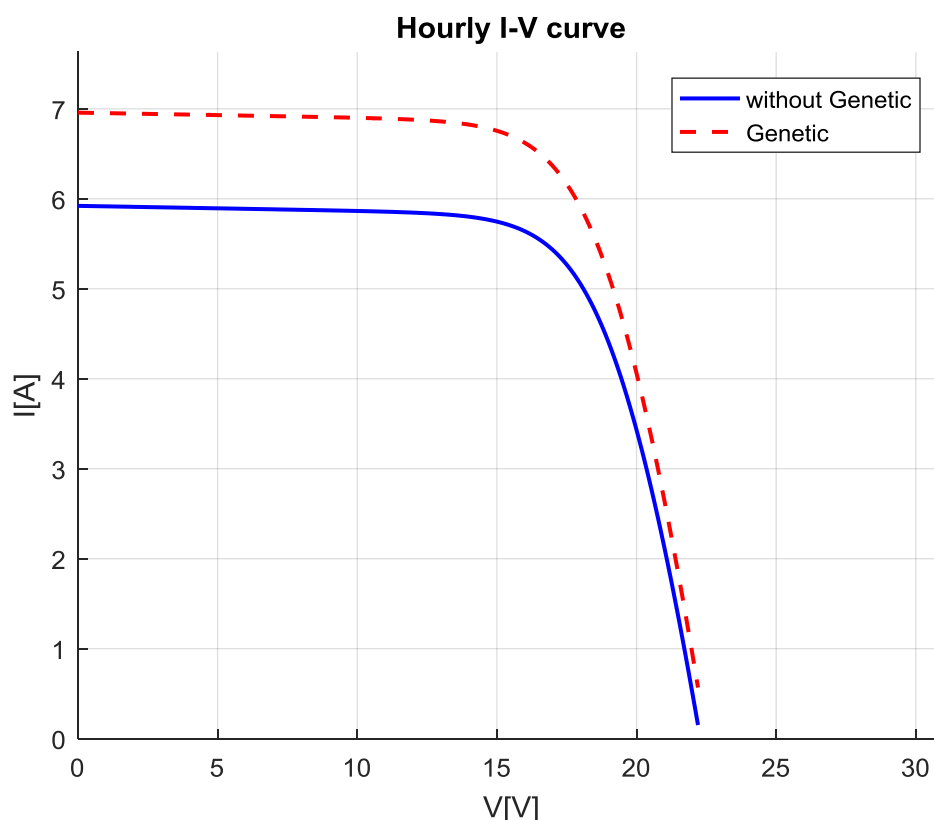
با توجه به شکل ها می توان گفت که، با بهینه سازی زوایای سیستم فتوولتائیک توان خروجی سیستم برای هر دو حالت آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره بیشتر می شود. بررسی بیشتر و بکار بردن آنالیز حساسیت، نشان داد که برای روز ۲۰ خرداد ماه در حالت آرایه ثابت، بیشترین توان خروجی سیستم فتوولتائیک قبل و بعد از بهینه سازی به ترتیب برابر  $211/41\text{ W}$  و  $221/01\text{ W}$  می باشد، یعنی در صورت بهینه سازی توان خروجی سیستم فتوولتائیک در حالت آرایه ثابت به اندازه  $4/5\%$  افزایش می یابد. همچنین برای آرایه با ردیاب تک محوره بیشترین توان خروجی سیستم فتوولتائیک قبل و بعد از بهینه سازی به ترتیب برابر  $285/36\text{ W}$  و  $296/07\text{ W}$  می باشد، یعنی در صورت بهینه سازی توان خروجی سیستم فتوولتائیک در حالت آرایه با ردیاب تک محوره به اندازه  $3/7\%$  افزایش می یابد.



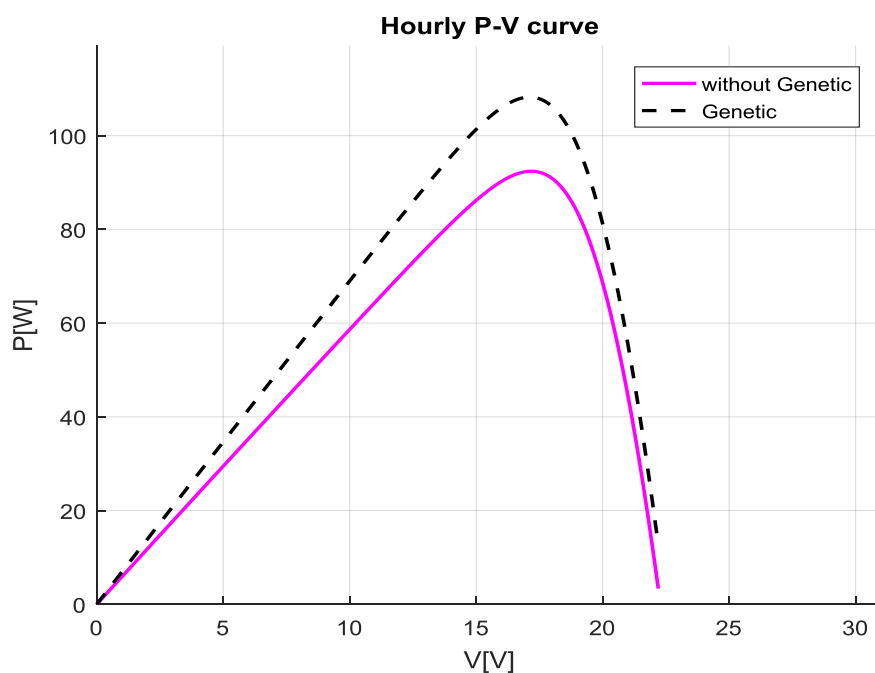
شکل ۹-۴: روند همگرایی الگوریتم ژنتیک



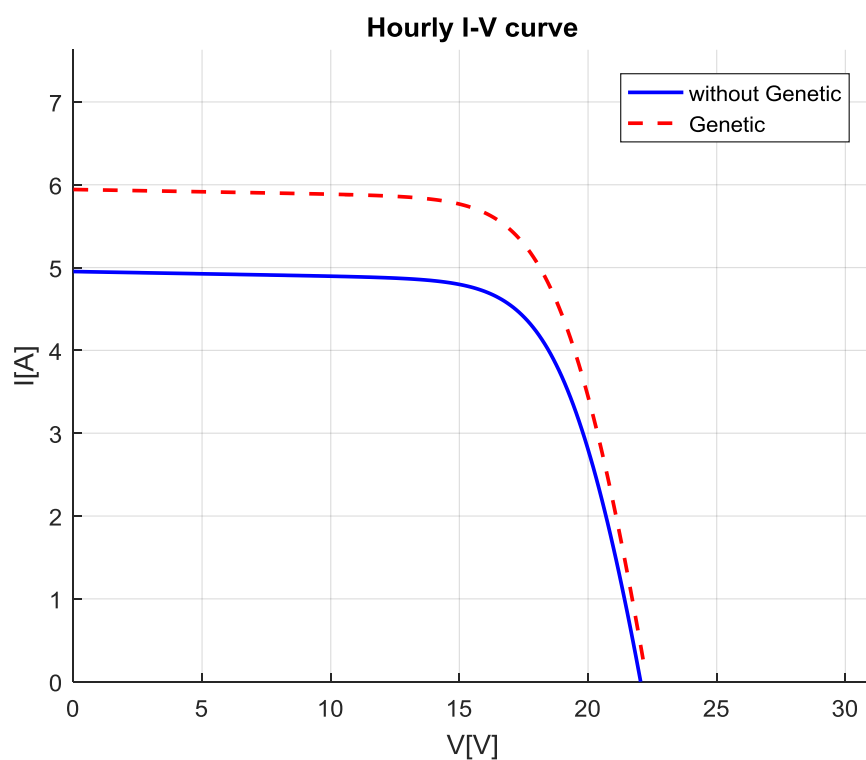
همچنین برای روز ۲۰ دی ماه در حالت آرایه ثابت، بیشترین توان خروجی سیستم فتوولتاییک قبل و بعد از بهینه سازی به ترتیب برابر  $12/96\text{ W}$  و  $15/54\text{ W}$  می باشد، یعنی در صورت بهینه سازی توان خروجی سیستم فتوولتاییک در حالت آرایه ثابت به اندازه  $19/91\%$  افزایش می یابد. همچنین برای آرایه با ردیاب تک محوره بیشترین توان خروجی سیستم فتوولتاییک قبل و بعد از بهینه سازی به ترتیب برابر  $10/8/037\text{ W}$  و  $12/5/17\text{ W}$  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.



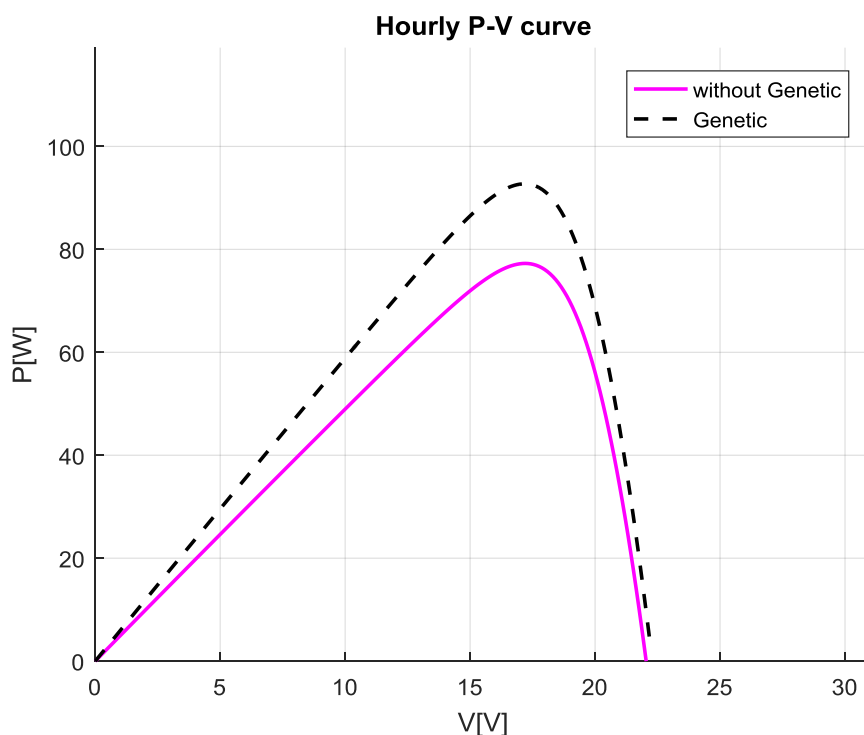
شکل ۴-۱۰: منحنی  $I-V$  برای روز ۲۰ خرداد ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای سیستم فتوولتاییک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی



شکل ۴-۱۱: منحنی  $P$ - $V$  برای روز ۲۰ خرداد ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی



شکل ۴-۱۲: منحنی  $I$ - $V$  برای روز ۲۰ دیماه ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی

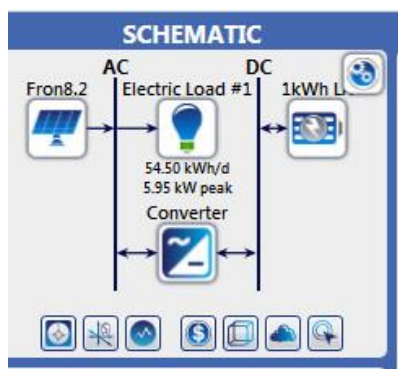


شکل ۴-۱۵: منحنی  $P-V$  برای روز ۲۰ دی ماه ساعت ۱۱ ظهر در شهر عسلویه برای سیستم فتوولتائیک با آرایه ثابت قبل و بعد از بهینه سازی

## ۴-۳- تحلیل اقتصادی با نرم افزار HOMER

\* بهره برداری سیستم نیروگاه خورشیدی

شماتیک سیستم مورد مطالعه در حالت اول بصورت شکل ۴-۱۸ می باشد.



شکل ۴-۱۸: شماتیک سیستم نیروگاه خورشیدی ۵۰ کیلو وات متصل به شبکه HOMER

که میزان بار روزانه برابر 50Kwh/d است که بعد از اجرای برنامه homer نتایج زیر بدست آمد، که در شکل ۴-۱۹ قابل مشاهده است. در این شکل مجموعه جوابهایی برای سیستم مذکور قابل رویت می باشد.

Optimization Results														
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.														
Architecture					Cost					System				
Front8.2 (kW)	1kWh LA	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$/kWh)	NPC (\$/kWh)	Operating cost (\$/kWh)	Initial capital (\$/kWh)	Fuel cost (\$/kWh)	Oil (\$/kWh)	Ren. Frac. (%)	Capital Cost (\$/kWh)	Production (kWh/yr)	Autonomy (hr)	1kWh LA Annual Throughput (kWh/yr)
23.8	120	12.9	LF	25.228	2.04E+09	2.23E+08	3.16E+09	2.23E+08	2.23E+08	100	1.311,224,832	60,791	34.6	7,456
23.8	120	12.9	CC	25.228	2.04E+09	2.23E+08	3.16E+09	2.23E+08	2.23E+08	100	1.311,224,832	60,791	34.6	7,456
23.9	120	13.0	LF	25.261	2.04E+09	2.23E+08	3.16E+09	2.23E+08	2.23E+08	100	1.313,039,488	60,875	34.6	7,455
23.9	120	13.0	CC	25.261	2.04E+09	2.23E+08	3.16E+09	2.23E+08	2.23E+08	100	1.313,039,488	60,875	34.6	7,455
24.1	119	12.8	LF	25.224	2.04E+09	2.23E+08	3.16E+09	2.23E+08	2.23E+08	100	1.324,765,184	61,419	34.3	7,449
24.1	119	12.8	CC	25.224	2.04E+09	2.23E+08	3.16E+09	2.23E+08	2.23E+08	100	1.324,765,184	61,419	34.3	7,449
23.9	120	13.1	LF	25.261	2.04E+09	2.23E+08	3.16E+09	2.23E+08	2.23E+08	100	1.313,120,256	60,879	34.6	7,455
23.9	120	13.1	CC	25.261	2.04E+09	2.23E+08	3.16E+09	2.23E+08	2.23E+08	100	1.313,120,256	60,879	34.6	7,455
23.5	122	13.1	LF	25.261	2.04E+09	2.23E+08	3.16E+09	2.23E+08	2.23E+08	100	1.294,460,160	60,014	35.2	7,466
23.5	122	13.1	CC	25.261	2.04E+09	2.23E+08	3.16E+09	2.23E+08	2.23E+08	100	1.294,460,160	60,014	35.2	7,466
24.4	118	12.6	LF	25.241	2.04E+09	2.23E+08	3.16E+09	2.23E+08	2.23E+08	100	1.340,455,296	62,146	34.0	7,440

Architecture /Front8.2 (kW)	Architecture /1kWh LA	Architecture /Converter (kW)	Architecture /Dispatch	Cost/COE	Cost/NPC	Cost/Operating cost	Cost/Initial capital
23.84045	120	12.85088	LF	25629.43	6.04E+09	2.23E+08	3.16E+09
23.84045	120	12.85088	CC	25629.43	6.04E+09	2.23E+08	3.16E+09
23.87344	120	12.96511	LF	25658.35	6.05E+09	2.23E+08	3.17E+09
23.87344	120	12.96511	CC	25658.35	6.05E+09	2.23E+08	3.17E+09
24.08664	119	12.84057	LF	25663.75	6.05E+09	2.23E+08	3.16E+09
24.08664	119	12.84057	CC	25663.75	6.05E+09	2.23E+08	3.16E+09
23.87491	120	13.09926	LF	25672.54	6.05E+09	2.23E+08	3.17E+09
23.87491	120	13.09926	CC	25672.54	6.05E+09	2.23E+08	3.17E+09
23.53564	122	13.06805	LF	25679.89	6.06E+09	2.23E+08	3.18E+09
23.53564	122	13.06805	CC	25679.89	6.06E+09	2.23E+08	3.18E+09
24.37192	118	12.55553	LF	25691.33	6.06E+09	2.24E+08	3.16E+09
24.37192	118	12.55553	CC	25691.33	6.06E+09	2.24E+08	3.16E+09
23.80504	121	12.74348	LF	25695.09	6.06E+09	2.23E+08	3.17E+09
23.80504	121	12.74348	CC	25695.09	6.06E+09	2.23E+08	3.17E+09

شکل ۴-۱۹: مجموعه جوابها برای سیستم نیروگاه خورشیدی ۵۰ کیلو وات متصل به شبکه HOMER

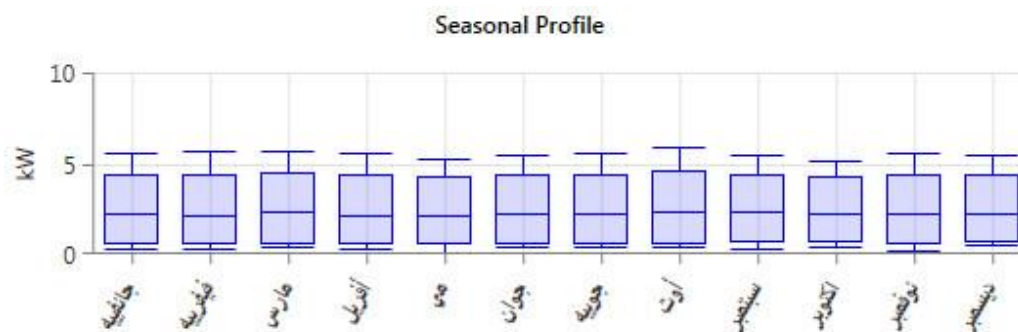
همانطور که در شکل ۴-۱۹ مشاهده می شود بهینه ترین حالت از لحاظ اقتصادی برای سیستم مد نظر اولین گزینه نشان داده شده درمجموعه جوابها می باشد که تعداد وسایز اجزای سیستم نیروگاه خورشیدی درجدول ۴-۱ آورده شده است.

جدول ۴-۱: بهینه ترین تعداد وسایز اجزای سیستم خورشیدی

اجزای سیستم	پنل خورشیدی (kw)	باتری $s4ks25p$ (VAh)	Converter (kw)
تعداد	۲۳,۸	۱۲۰	۱۲,۹

### \* توان الکتریکی

بار مصرفی در سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس ( عسلویه ) به این صورت است که برای قسمت روشنایی محوطه , ساختمان اداری و قسمت ساختمان حمل و نقل در نظر گرفته شده است . که در نمودارهای شکل ۴-۲۰ و ۴-۲۱ و قابل مشاهده می باشد. که بیشترین مصرف از ساعت ۰۷ صبح تا ۲۰ است و کمترین بار از ساعت ۲۱ تا ۰۶ می باشد. مشخصات ماهانه بار مصرفی سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس (عسلویه)



شکل ۴-۲۰: نمودار متوسط بار مصرفی ماهانه سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس

( عسلویه ) HOMER

مشخصات بار مصرفی روزانه سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس ( عسلویه )

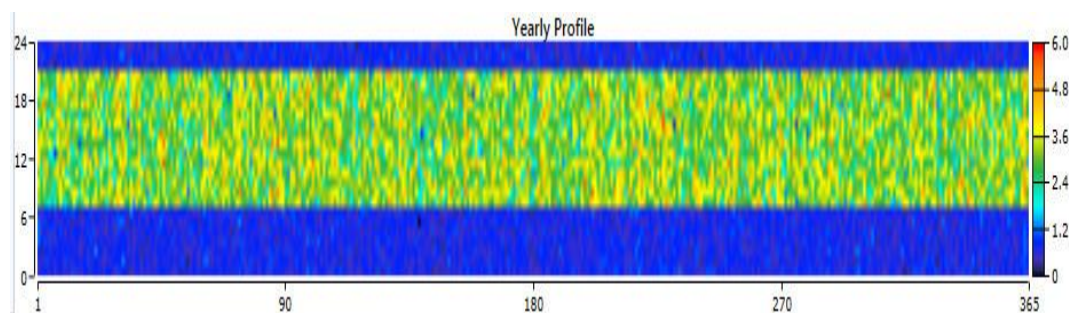


شکل ۴-۲۱: نمودار میله ای بار مصرفی روزانه سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس ( عسلویه )

HOMER

مشخصات سالانه مصرف انرژی الکتریکی در سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس

( عسلویه )



شکل ۴-۲۲: متوسط مصرف روزانه سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس ( عسلویه ) در دوازده ماه

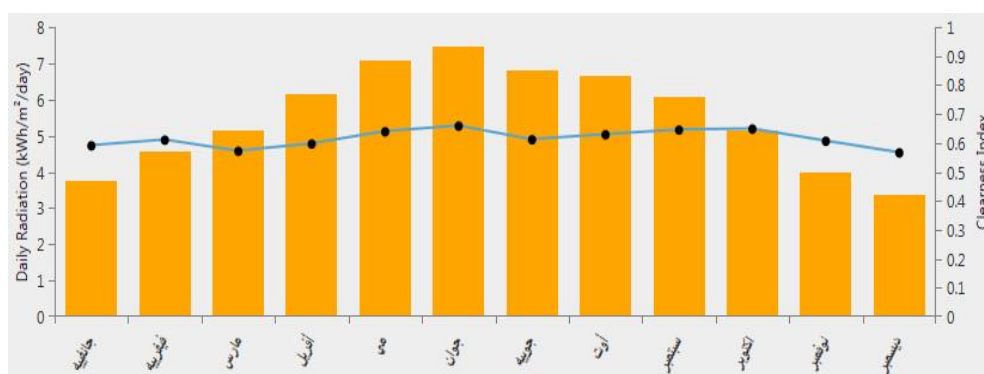
سال (HOMER)

### \* شدت تابش انرژی خورشیدی در شهر عسلویه:

شدت تابش خورشید , با توجه به اینکه یکی از مهمترین ورودی های سیستم خورشیدی میزان منبع تابش میباشد. در این تحقیق منطقه مورد مطالعه شهر عسلویه در نظر گرفته شده است. که میزان شدت تابش را در جدول ۲-۴ و نمودار شکل ۴-۲۲ قابل مشاهده است..

جدول ۲-۴: متوسط تابش انرژی خورشیدی در طول سال شهرستان عسلویه

ماه	شاخص روشنایی	تابش روزانه (kWh/m <sup>2</sup> /Day)
ژانویه	۰,۵۹۰	۳,۷۳۰
فوریه	۰,۶۰۹	۴,۵۷۰
مارس	۰,۵۷۰	۵,۱۴۰
آوریل	۰,۵۹۶	۶,۱۵۰
مه	۰,۶۳۸	۷,۰۷۰
ژوئن	۰,۶۵۷	۷,۴۵۰
ژوئیه	۰,۶۱۰	۶,۸۲۰
اوت	۰,۶۲۸	۶,۶۳۰
سپتامبر	۰,۶۴۴	۶,۰۷۰
اکتبر	۰,۶۴۷	۵,۱۳۰
نوامبر	۰,۶۰۵	۳,۹۸۰
دسامبر	۰,۵۶۵	۳,۳۶۰



شکل ۴-۲۲: نمودار میزان تابش انرژی خورشیدی در سال ۲۰۱۷ شهرستان عسلویه (HOMER)

### ۴-۳-۱- محاسبه زمان بازگشت سرمایه برای سیستم نیروگاه خورشیدی

بر اساس تحلیل هایی که با استفاده از نرم افزار HOMER انجام شد میزان تولید انرژی الکتریکی این سیستم در طول یکسال ۶۰۷۹۱ کیلو وات ساعت در سال خواهد بود که ۱۰۰٪ درصد آن از طریق پنل های خورشیدی تولید می شود . با توجه به اینکه کل سرمایه گذاری این طرح ۶۰۴۲۷۶۲۰۰۰ ریال می باشد، جدول ۴-۳، زمان بازگشت سرمایه ۵٫۲ سال خواهد بود . که عوامل تاثیر گذار اقتصادی دیگر را در شکل ۴-۲۳ قابل مشاهده میباشد.

جدول ۴-۳ جدول هزینه های سیستم

Total NPC:	ریال ۶۰۴۲۷۶۲۰۰۰/۰۰
Levelized COE:	ریال ۲۵٫۶۲۹/۴۳
Operating Cost:	ریال ۲۲۲۷۹۷۰۰۰/۰۰

۶۰۴۲۷۶۲۰۰ ریال	Total NPC مجموع هزینه خالص فعلی
۲۵۶۲۹۴۳ ریال	Levelized coe هزینه تقسیم انرژی
۲۲۲۷۹۷۷۰۰ ریال	operationg cost هزینه نگهداری

که برای تحلیل اقتصادی هرچه بیشتر تعیین قسمت های هزینه بر الزامی است. که در جدول ۴-۲۳ قابل مشاهده میباشد .



شکل ۴-۲۳ عوامل تاثیر گذار اقتصادی

**فصل پنجم:**  
**نتیجه گیری و پیشنهادات**



## ۵-۱- نتیجه گیری

امروزه نگرانی از افزایش گازهای گلخانه‌ای و همچنین هزینه بالای سوخت های فسیلی باعث استفاده از منابع تجدید پذیر در طراحی و ساخت سیستم تولید انرژی شده است. سیستم فتوولتائیک یکی از این موارد می باشد که کاربرد زیادی در سراسر دنیا دارد. با توجه به هزینه نسبتا بالای این منبع انرژی در مقایسه با سایر موارد در این تحقیق روشی برای اندازه یابی بهینه سیستم فتوولتائیک شبکه ای برای سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس ( عسلویه ) واقع در شهر عسلویه ارائه شد .

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.

در سال های اخیر و به منظور بهینه سازی، ارتقا و افزایش کارایی سیستم های خورشیدی، علومى همچون الکترونیک، کنترل، کامپیوتر، نجوم، فیزیک و شیمی به کار گرفته شدند و هرکدام به سهم خود در این امر دخیل و موثر بوده اند. همگام با پیشرفت های تکنولوژی، انواع روش های الکترونیکی و کنترلی و کامپیوتری در طول چند دهه اخیر برای طراحی، محاسبات و شبیه سازی، اجرا و عملیاتی کردن ایده های مختلف و . . . در این عرصه مطرح گردیده است. ساختارها، سیستم های مکانیکی و مکانیزم های مختلفی در کاربری های مختلفی برای این امر ارائه شده است و الگوریتم ها و روش های مناسبی هم در مورد هندسه زمین و خورشید که امکان محاسبه دقیق موقعیت خورشید را در زمان ها و مکان ها مختلف می دهند، معرفی گردیده است.

لذا در این تحقیق آنالیز سیستم های فتولتاییک 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 فتولتاییک مورد نظر برای آب و هوای شهر عسلویه صورت گرفت. همچنین جهت بهینه سازی زاویه پنل ها از الگوریتم ژنتیک استفاده گردید.

برای بررسی عملکرد سیستم فتولتاییک ابتدا میزان تابش کل خورشیدی برای دو حالت با آرایه ثابت و آرایه با ردیاب تک محوره محاسبه گردید. سپس باتوجه به اینکه طراحان زاویه شیب آرایه را برابر عرض جغرافیایی منطقه و زاویه آرایه نسبت به جنوب را برابر  $180^\circ$  درجه و یا رو به خط استوا در نظر میگیرند، محاسبات را برای دو روز از سال یعنی ۲۰ خرداد ماه ( $n=160$ ) و ۲۰ دی ماه ( $n=9$ ) انجام دادیم. با تجزیه و تحلیل سیستم فتولتاییک موردنظر مشخص شد که، در صورت استفاده از سیستم فتولتاییک با ردیاب تک محوره جریان خروجی سیستم PV افزایش می یابد که به تبع آن توان خروجی سیستم بیشتر می شود. برای روز ۲۰ خرداد ماه در صورت استفاده از آرایه با ردیاب تک محوره، توان خروجی سیستم فتولتاییک نسبت به آرایه ثابت به اندازه ۳۵٪ افزایش می یابد. مقدار این افزایش برای روز ۲۰ دی ماه حدود ۸ برابر می باشد. همچنین با در نظر گرفتن  $23.8$  ماژول با مساحت کل ماژول برابر  $39.8 \text{ m}^2$  مشخص گردید که در حالت ردیابی به اندازه ۲۶٪ 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 و زاویه چرخش آرایه در حالت آرایه با ردیاب تک محوره به ترتیب برابر  $26/8^\circ$  و  $85/4^\circ$  می باشند. همچنین انرژی سالیانه تولیدی توسط سیستم فتولتاییک 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 فتولتاییک با آرایه ردیابی تک محوره بعد از بهینه سازی به اندازه ۹۲٪ بیشتر می گردد.

بنابراین به عنوان یک نتیجه گیری کلی می توان گفت که، با توجه به اینکه سیستم فتولتاییک با ردیاب هزینه بالاتری نسبت به سیستم فتولتاییک در وضعیت ثابت دارد اما دارای بازده بسیار بالاتری می باشد لذا میتواند بیشتر مورد توجه کارشناسان قرار گیرد.

طبق پتانسیل یابی انجام شده در شهر عسلویه بلحاظ تابش بیشتر خورشید که بر اساس پارامترهایی نظیر دما، رطوبت و شدت تابش انجام شد محدوده شهرستان عسلویه بعنوان پرتانسیل ترین منطقه جهت نصب پنل های خورشیدی شناخته شد. جهت تامین شاخص قابلیت اطمینان سیستم خورشیدی در نظر گرفته شده و نرم افزار HOMER برای تعیین آرایش های ممکن برای سیستم خورشیدی بکار گرفته شد. حسب معیارهای مد نظر سیستم خورشیدی مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفت که سیستم فتوولتاییک ۵۰ Kw متصل به شبکه از نقطه نظر اقتصادی که دارای زمان بازگشت سرمایه ۵,۲ سال بود بعنوان بهینه ترین سیستم مد نظر انتخاب شد.

## ۵-۲- پیشنهادات

- ✓ استفاده از دیگر انواع پنل های خورشیدی برای تولید انرژی الکتریکی مورد نیاز و مقایسه آن با نتایج حاصل از این تحقیق؛
- ✓ بررسی سیستم فتوولتاییک خورشیدی در مقیاس بزرگتر اتصال به شبکه را داشته باشد.
- ✓ در نظر گرفتن تابع دو هدف همزمان که بصورت ترکیب دست یابی به بالاترین راندمان با کمترین هزینه.
- ✓ بجای باتری از سیستم ذخیره ساز هیدروژنی استفاده شده و بهینه ترین حالت سیستم از نقطه نظر اقتصادی بررسی شود.

## منابع

۱. مجله اقتصادی - ماهنامه بررسی مسائل و سیاستهای اقتصادی شماره های ۹-۱۰
۲. دکتر مسعود همایونی فر، محمد صادق ادیبیان، محمدجواد گرجی پور، مسعود مهاجری، ۱۳۹۲، انرژی خورشیدی، فرصت ها، چالش ها، دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک.
۳. محمد سعید خانی، دکتر اسماعیل فلاحی و دکتر مهدی بانسی، ۱۳۹۵، ارایه مدل مدیریت تامین انرژی در ایران بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی و زیست محیطی، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران
۴. شیخعلیزاده، صبا و بدلی، نادر، بررسی فنی استفاده از ردیاب خورشیدی جهت افزایش توان خروجی سیستم های فتوولتائیک خورشیدی، پنجمین همایش منطقه ای بهره برداری و دیسپاچینگ شرکت های توزیع، ۱۳
۵. دلاوری، هادی و سیده زهرا رشید نژاد حیدری، ۱۳۹۴، بهینه سازی کنترل کننده فازی توسط الگوریتم ژنتیک برای ردیابی نقطه حداکثر توان در سیستم های فتوولتائیک، دومین کنفرانس ملی توسعه علوم مهندسی، تنکابن، موسسه آموزش عالی آیندگان
۶. نشریه سازمان انرژی های نو ایران ( سانا ) شماره دهم
۷. احمدی جنیدی، ایمان و پارسا مقدم، محسن و حمیدی، حسن و قنبری، سبحان، ۲۰۰۹، مدل سازی، کنترل و شبیه سازی سیستم تولید توان هایبرید فتوولتائیک، پیل سوختی ابر خازن برای کاربردهای مستقل از شبکه، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق.
۸. مهربگی، محمدابراهیم و آزاد ظریف لولویی، ۱۳۹۷، بکارگیری ردیاب نور خورشید در سیستم های فتوولتائیک جهت افزایش بهره وری از انرژی خورشیدی، دومین کنفرانس زیرساخت های انرژی، مهندسی برق و نانو فناوری، تهران، انجمن انرژی ایران.
۹. شیروودی، ابوالفضل و شفیعی، الهد و صادقیان، ارسطو و یونسی، آریا، ۱۳۸۹، مدل سازی و آنالیز فنی و اقتصادی سیستم هایبرید فتوولتائیک / باد با ذخیره هیدروژن در سایت طالقان، نشریه انرژی ایران، ۹۵-۷۵: ۱۰-۱
۱۰. فرحزاد ارشاد، نیما و پورموسوی کانی، سید علی، ۱۳۸۶، مدل سازی و شبیه سازی سیستم های هایبریدی جهت کاربردهای تولید پراکنده، ششمین همایش ملی انرژی

۱۱. احمدی جنیدی، ایمان و پارسا مقدم، محسن و حمیدی، حسن و قنبری، سبحان،

۲۰۰۹، مدلسازی، کنترل و شبیه سازی سیستم تولید توان هایبرید فتوولتائیک، پیل سوختی ابر

خازن برای کاربردهای مستقل از شبکه، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

12. Sharma P, Agarwal V, Member S. Maximum power extraction from a partially shaded pv array using shunt-series compensation. *IEEE J Photovolt* 2014;4(4):1128–37
13. Zhang F, Maddy J, Premier G, Guwy A. Novel current sensing photovoltaic maximum power point tracking based on sliding mode control strategy. *Sol Energy* 2015;118:80–6
14. Lian L, Nayanassiri DR, Maskell DL, Vilathgamuwa DM. A simple and efficient hybrid maximum power point tracking method for pv systems under partially shaded condition. In: *Proceedings of the Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*; 2013. p. 14–19
15. Murtaza A, Chiaberge M, Spertino F, Boero D, De Giuseppe M. A maximum power point tracking technique based on bypass diode mechanism for PV arrays under partial shading. *Energy Build* 2014;73:13–25
16. Kheldoun a, R. Bradai b, R. Boukenoui c, A. Mellit (2016), “A new Golden Section method-based maximum power point tracking algorithm for photovoltaic systems”, *Energy Conversion and Management* 111 (2016) 125–136
17. A´ngel-Antonio Bayod-Ru´jula , Jose´-Antonio Cebollero-Abia´n (2014) “A novel MPPT method for PV systems with irradiance measurement” *Solar Energy* 109 (2014) 95–104
18. J.Prasanth Rama, N. Rajasekara,, Masafumi Miyatakeb (2017) “Design and overview of maximum power point tracking techniques in wind and solar photovoltaic systems: A review” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73 (2017) 1138–1159
19. Mouna BEN SMIDA#1, Anis SAKLY#2 (2015) “Genetic based algorithm for maximum power point tracking (MPPT) for grid connected PV systems operating under partial shaded conditions” 7th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC 2015) Sousse, Tunisia - December 18-20, 2015
20. Maissa Farhat a,†, Oscar Barambones b, Lassaad Sbita (2016) “A new maximum power point method based on a sliding mode approach for solar energy harvesting” *Applied Energy*
21. Makbul A.M. Ramli a,n, Ssennoga Twaha b, Kashif Ishaque c, Yusuf A. Al-Turki (2017) “A review on maximum power point tracking for photovoltaic systems with and without shading conditions” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67 (2017) 144–159
22. S. Saravanan, Ramesh Babu N.n (2016) “Maximum power point tracking algorithms for photovoltaic system – A review” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57 (2016) 192–204
23. Rezaee Jordehi (2016) “Maximum power point tracking in photovoltaic (PV) systems: A review of different approaches” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 65 (2016) 1127–1138
24. Deepak Verma n, Savita Nema, A.M. Shandilya, Soubhagya K. Dash ( 2016) “Maximum power point tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54 (2016) 1018–1034

25. Mohamed A. Enany n, Mohamed A. Farahat, Ahmed Nasr (2016) "Modeling and evaluation of main maximum power point tracking algorithms for photovoltaics systems" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58 (2016) 1578–1586
  26. Narottam Das , Hendy Wongsodihardjo , Syed Islam (2015) "Modeling of multi-junction photovoltaic cell using MATLAB/Simulink to improve the conversion efficiency" *Renewable Energy* 74 (2015) 917e924
  27. Deepak Verma n, Savita Nema, A.M. Shandilya, Soubhagya K. Dash (2016) "Maximum power point tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54 (2016) 1018–1034.
  28. "How Round is the Sun?". NASA. 2 October 2008. Retrieved 7 March 2011. "First Ever STEREO Images of the Entire Sun". NASA. 6 February 2011. Retrieved 7 March 2011.
  29. Woolfson, M (2000). "The origin and evolution of the solar system". *Astronomy & Geophysics*, 41(1): 1,12.
  30. Basu, S.; Antia, H. M.(2008). "Helioseismology and Solar Abundances". *Physics Reports*, (5-6): 457: 217.
  31. Equinoxes, Solstices, Perihelion, and Aphelion, 2000–2020". United States Naval Observatory. 31 January 2008. Retrieved 17-07-2009.
  32. Saravanan, Ramesh Babu N (2016) "Maximum power point tracking algorithms for photovoltaic system – A review" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57 (2016) 192–204 .
  33. Mohamed Akram JABALLAH , Dhafer MEZGHANI, Abdelkader MAMI (2017) "Design and Simulation of Robust Controllers for Power Electronic Converters used in New Energy Architecture for a (PVG)/ (WTG) Hybrid System" *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 8, No. 5, 2017.
۳۴. رضایی پورخرنجانی، محمدرضا؛ محمد قلندری و سید علیرضا میرزایی، ۱۳۹۶، هماهنگی هوشمند آرایه های فتوولتاییک و ذخیره سازهای باتری جهت کنترل ولتاژ و فرکانس در نقطه ماکزیمم توان، کنفرانس ملی پژوهش های نوین در برق، کامپیوتر و مهندسی پزشکی، کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون.
35. Rezaee Jordehi (2016) "Maximum power point tracking in photovoltaic (PV) systems: A review of different approaches" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 65 (2016) 1127–1138.
  36. Mohamed A. Enany n, Mohamed A. Farahat, Ahmed Nasr (2016) "Modeling and evaluation of main maximum power point tracking algorithms for photovoltaics systems" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58 (2016) 1578–1586.
۳۷. ملکی زاده، حمید؛ امیر خانجانهزاده و میلاد شمس ناتری، ۱۳۹۷، معرفی و پیاده سازی الگوریتم های هوشمند جهت دستیابی به نقطه ماکزیمم توان ممکن از منابع فتوولتاییک، دومین کنفرانس زیرساخت های انرژی، مهندسی برق و نانو فناوری، تهران، انجمن انرژی ایران،
۳۸. راهنمای طراحی سیستمهای فتوولتاییک به منظور تامین انرژی الکتریکی به تفکیک اقلیم و کاربری، معاونت نظارت راهبردی وزارت نیرو امور نظام فنی پژوهشگاه نیرو.
۳۹. افشین، سید بهرام و محمود زاده باقری، ۱۳۹۶، آرایه سیستم کنترلی مبتنی بر جستجوگر سینوسی خطی بهبود یافته برای کنترل مبدل منبع ولتاژ سیستم فتوولتاییک PV به منظور اتصال به شبکه

- سراسری، سومین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در مهندسی کامپیوتر و برق، رودسر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودسر و املش - باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان واحد رودسر و املش.
40. Karri, V, Yap, Work, Titchen, J, 2011, Simulation and configuration of Renewable energy power system, world Academy of science , Engineering and technology, 47: 269-276.
41. E.M.G. Rodrigues<sup>1</sup>, R. Melício<sup>1,2</sup>, V.M.F. Mendes<sup>3</sup> and J.P.S. Catalão, (2011) "Simulation of a Solar Cell considering Single-Diode Equivalent Circuit Model" RE&PQJ, Vol.1, No.9, May 2011.
۴۲. حمزه خانی، عباس واسماعیل نیا، علی اصغر، ۱۳۸۹، بررسی اقتصادی استفاده از باد و خورشید برای تولید برق در ایران، مجله اقتصاد انرژی.
۴۳. بصیری، رضا و امین صفری، ۱۳۹۶، کنترل دنبال کننده حداکثر توان برای سیستم فتوولتایک با استفاده از کنترل فازبرای بهبود دادن کیفیت توان، کنفرانس ملی پژوهش های نوین در برق، کامپیوتر و مهندسی پزشکی، کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون.
44. Sahu HS. Power enhancement of partially shaded PV array by using a novel approach for shade dispersion. : Proc IEEE Innov Smart Grid Technol 503-2014: 498.
۴۵. اقتداری سلیمی، محمد و آلفرد باگرامیان، ۱۳۹۷، ردیابی نقطه بیشینه توان در سیستم های فتوولتایک با استفاده از مبدل امپدانس و کنترل کننده ترکیبی پیشین و هدایت افزایشی، دومین کنفرانس زیرساخت های انرژی، مهندسی برق و نانو فناوری، تهران، انجمن انرژی ایران.
46. Atharah N, Wei C. A comprehensive review of maximum power point tracking algorithms for photovoltaic systems. Renew Sustain Energy Rev 2014;37:585-98.
47. Dounis AI, Kofinas P, Papadakis G, Alafodimos C. A direct adaptive neural control for maximum power point tracking of photovoltaic system. Sol Energy 2015;115:145-65.
۴۸. اسماعیلی، میلاد و عسگر حاجی بدلی، ۱۳۹۶، بررسی الگوریتم ردیابی نقطه ی توان ماکزیمم برای سیستم های فتوولتایک، کنفرانس ملی پژوهش های نوین در برق، کامپیوتر و مهندسی پزشکی، کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون.
49. Troldborg Mads, Heslop Simon, Hough Rupert L. Assessing the sustainability of renewable energy technologies using multi-criteria analysis: suitability of approach for national-scale assessments and associated uncertainties. Renew Sustain Energy Rev 2014;39:1173-84.
۵۰. کتاب هوش مصنوعی راسل و نورویگ
51. Kashif Ishaque, Salam Zainal. A deterministic particle swarm optimization maximum power point tracker for photovoltaic system under partial shading condition. IEEE Trans Ind Electron 2013;60(8):3195-206.
۵۲. حاج سید ابوترابی، سید محمد مهدی و محمد سروی، ۱۳۹۴، ردیابی نقطه حداکثر توان ارایه خورشیدی با استفاده از الگوریتم هوشمند به همراه مبدل DC/DC، کنفرانس بین المللی مهندسی و علوم کاربردی، دبی، موسسه مدیران ایده پرداز پایتخت ویرا.
۵۳. غیرتمند، علیرضا؛ رضا عفت نژاد و مهدی هدایتی، ۱۳۹۴، بررسی فنی و اقتصادی سیستم ترکیبی بادی/ خورشیدی/ باتری به صورت مستقل از شبکه با استفاده از نرم افزار HOMER مطالعه

موردی: کانکس های امداد و فوریت های پزشکی در شهر یزد، کنفرانس بین المللی فناوری و مدیریت انرژی، تهران - پژوهشگاه نفت، انجمن انرژی ایران.

۵۴. اپرناک، کوروش، ۱۳۹۴، امکان سنجی، ارزیابی اقتصادی و شبیه سازی برای تولید قسمتی از برق استان اصفهان با استفاده از سیستم هیبریدی از انرژیهای نو: خورشیدی، پیل سوختی و باتری به کمک نرم افزار Homer، کنفرانس ملی فن آوری، انرژی و داده با رویکرد مهندسی برق و کامپیوتر، کرمانشاه، انجمن مهندسين برق و الكترونیک - شاخه غرب.



## **Abstract**

**Modeling and economical analysis solar tracking systems to finding the optimal angle in photovoltaic systems for generating maximum power using a genetic algorithm**

***Introduction:*** In this research, the modeling and analyzing of the solar tracking system were carried out to find the optimum angle in photovoltaic systems for generating maximum power using genetic algorithm.

***Matrial and methods:*** For this purpose, the photovoltaic model was modeled in the first step. Then environmental factors affecting the system, including temperature, sunlight, shadow, wind, snow, were investigated. After identifying the influencing factors, with optimization of these parameters, the optimization was achieved to achieve the maximum output power with two modes without a detector and with a value tracker.

***Results:*** Then, for economic analysis of the photovoltaic system for supplying the South Pars special economic zone in Assaluyeh, a simulation was carried out in the HOMER software environment.

***Discussion:*** with a return on investment of 5.2 years and a total annual power output of 60791 kWh per year.

***Keywords:*** Photovoltaic System - Solar tracking - Optimization - Return on Capital



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 economical analysis solar  
tracking systems to finding the optimal angle  
in photovoltaic systems for generating  
maximum power using a genetic algorithm

Supervisor:

Dr. Reza Alaei

Advisor:

Dr. Mojtaba Mirzaei

BY:

Hossein Harasi

Autumn 2018