مطالعات طراحی بهینه یک نیروگاه فتوولتائیک ۱۰۰ کیلوواتی متصل به شبکه در تهران با استفاده از نرم افزار PVSyst

محمدحسین شمس[۱]، محسن کیا[۲]، بهداد مهدوی[۳]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۹۲/۱/۱۷
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۲/۵/۲۰

چکیده:

مقاله حاضر به ارائه روشی اجرایی و عملیاتی برای مطالعات فنی امکان‌سنجی احداث نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه با ظرفیت ۱۰۰ کیلووات به منظور اخذ مجوز سازمان انرژی نو ایران می‌پردازد. ماژول و اینورتر اجزای اصلی نیروگاه فتوولتائیک هستند و انتخاب ظرفیت و چیدمان مناسب آنها سبب افزایش بهره‌وری نیروگاه از پتانسیل انرژی خورشیدی موجود و نیز کاهش هزینه کلی سیستم می‌گردد. در این روش، ابتدا با توجه به موقعیت جغرافیایی محل احداث نیروگاه، آرایش آرایه‌های فتوولتائیک در زمین نیروگاه، با قید اشغال مساحت کمتر و نیز رعایت کردن فاصله لازم بین رشته‌های فتوولتائیک برای سهولت تعمیر و نگهداری و نیز جلوگیری از سایه افکنی ماژول‌ها روی هم صورت گرفته و زاویه بهینه پنل‌ها استخراج شده و به همراه پارامترهای اصلی برای طراحی اعم از ظرفیت نیروگاه، برند و نوع ماژول مربوطه و سطح ولتاژ اتصالی اینورتر به شبکه وارد نرم افزار Sunny Design می‌شوند. این نرم افزار حالات مناسب انتخاب اینورترها را مشخص کرده و حالت بهینه تعیین می‌شود. در روش پیشنهادی، بعد از انتخاب مدل ماژول و اینورتر، طراحی بهینه نیروگاه فتوولتائیک با در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر قابلیت اطمینان، هزینه، استفاده بهینه از مساحت زمین و افزایش کارایی اجزای نیروگاه با تعیین محدوده نقطه کار آنها با استفاده از نرم‌افزار PVSyst صورت می‌پذیرد. در این نرم‌افزار، نحوه آرایش ماژول‌های فتوولتائیک در آرایه‌ها و تعداد رشته‌ها مشخص می‌گردد. در ادامه، منحنی‌های خروجی، سایه‌افکنی، تلفات با استفاده از نرم‌افزار PVSyst استخراج و تحلیل می‌گردند.

کلمات کلیدی:
آرایش تجهیزات، اینورتر، ماژول، نیروگاه فتوولتاییک

۱) جهاد دانشگاهی صنعتی شریف (نویسنده مسئول) mhshams@alum.sharif.edu
۲) دانشجوی مقطع دکتری دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور mohsenkia@stud.pwut.ac.ir
۳) جهاد دانشگاهی صنعتی شریف b_mahdavi6182@yahoo.com

مقدمه

انرژی خورشیدی عظیم‌ترین منبع انرژی در جهان است. این انرژی پاک، رایگان و بی‌پایان بوده و در بیشتر مناطق کره زمین قابل استحصال می‌باشد. محدودیت منابع فسیلی و پیامدهای حاصل از تغییرات زیست محیطی و آب و هوای جهانی، فرصت‌های مناسبی را برای رقابت انرژی خورشیدی با انرژی‌های فسیلی خصوصاً در کشورهایی با پتانسیل بالای تابش ایجاد نموده است. با توجه به اینکه کشور ایران ۸ تا ۹ماه از سال از بارش باران بی‌بهره است و در واقع آسمانی صاف دارد، می‌تواند بخش عظیمی از انرژی مورد نیاز خود را از تابش نور خورشید تأمین کند.

ماژول و اینورتر مهمترین اجزای نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه هستند. با توجه به بالا بودن هزینه اولیه این نیروگاه‌ها، طراحی بهینه اجزای اصلی نیروگاه‌ها با در نظر گرفتن مسائل مالی، قابلیت اطمینان و استفاده بهینه از مساحت زمین نیروگاه‌ها امری ضروری است. مقالات بسیاری به بررسی نظریه نیروگاه خورشیدی و شبیه‌سازی و محاسبه توان خروجی آن پرداخته‌اند.به عنوان نمونه، در[1] به استفاده از برق خورشیدی در ساختمان‌های اداری با توجه به سیاست‌های انرژی دولت پرداخته شده است؛ [9] استفاده از نیروگاه خورشیدی در یک منطقه دوردست را مورد بررسی قرار داده است؛[16] به شبیه سازی بهینه مزرعه خورشیدی با استفاده از جعبه ابزار بهینه سازی در نرم‌افزار MATLAB پرداخته است؛[6] مدلی برای نیروگاه خورشیدی با در نظر گرفتن اثر سایه پیشنهاد کرده است و [13] به تخمین ظرفیت تولید توان خورشیدی به روش شبکه عصبی پرداخته است. اما از آنجا که ماژول و اینورتر مهمترین اجزای نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه هستند و با توجه به بالا بودن هزینه اولیه این نیروگاه‌ها، طراحی بهینه اجزای اصلی نیروگاه‌ها با در نظر گرفتن مسائل مالی، قابلیت اطمینان و استفاده بهینه از مساحت زمین نیروگاه‌ها امری ضروری است. در این خصوص، در [3] ابعادگزینی بهینه فقط برای آرایش ماژول‌ها صورت گرفته و ابعاد گزینی برای اینورتر انجام نشده است؛ [6] به ابعادگزینی اجزای نیروگاه فتوولتائیک از طریق الگوریتم ژنتیک می‌پردازد؛ در [8] بهینه‌سازی ظرفیت تجهیزات با روش شبکه‌های عصبی برای نیروگاه فتوولتائیک مستقل از شبکه انجام شده است و بسیاری از مقالات نظیر [7] و [10] به افزایش بهره‌وری نیروگاه فتوولتائیک از طریق بهبود الگوریتم ردیابی نقطه توان بیشینه پرداخته‌اند. با وجود مقالات فوق، در بررسی حاضر، برای ابعادگزینی بهینه تجهیزات علاوه بر رویکرد نظری، به رویکرد اجرایی و عملیاتی مسئله نیز توجه شده است.

در بخش۲ این مقاله، پارامترهای ورودی برای ابعادگزینی بهینه نیروگاه فتوولتائیک بیان شده است. در این بخش به توان مورد نظر برای تولید در نیروگاه فتوولتائیک، انتخاب مدل ماژول و اینورتر پرداخته می‌شود.در بخش۳، در ابتدا ابعادگزینی ولتاژ آرایه فتوولتائیک و اینورتر، ابعاد گزینی ماژول و اینورتر و در نهایت، محاسبه توان تولیدی توسط نیروگاه ۱۰۰ کیلوواتی مورد بررسی قرار گرفته است. چیدمان و اتصالات الکتریکی نیروگاه در بخش ۴ آمده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیروگاه طراحی شده در بخش ۵ آورده شده و در بخش۶ ، نتیجه این مقاله ارائه شده است.

پارامترهای ورودی برای طراحی

سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه شامل مجموعه‌ای از اجزای متشکل از آرایه فتوولتائیک، اینورتر و تجهیزات

ارتباط با شبکه تعریف شده است. قانون اول در این سیستم آن است که همه رشته ماژول‌های متصل به ورودی اینورتر یا ورودی ردیاب نقطه بیشینه توان[1] (MPPT)، باید همگن باشند. همگن بودن رشته‌های ماژول به معنای وجود ماژول‌های یکسان در رشته‌ها، برابر بودن تعداد ماژول‌های رشته‌ها و نیز پلاریته یکسان ماژول‌هاست. البته گاهی اوقات استثنائا ممکن است قابل قبول باشد تا آنجا که تنها تفاوت در جریان حاصل از رشته‌ها باشد.

توان در نظر گرفته شده برای نصب آرایه فتوولتائیک

نظر به میزان سرمایه اولیه در نظر گرفته شده و مساحت زمین در دسترس، ظرفیت آرایه فتوولتائیک برای نصب در فاز اول با توجه به درخواست داده شده ۱۰۰ KW_P در نظر گرفته شده است.

انتخاب مدل ماژول

برند ماژول با توجه به بررسی‌های بعمل آمده، از یک شرکت آلمانی انتخاب شده است. اما درباره توان انتخابی پنل‌ها باید توجه داشت که بنا به دلایلی نظیر کاهش قیمت برای هر وات ماژول، کاهش مساحت اشغال شده، سهولت تعمیر و نگهداری و عیب‌یابی، کاهش اتصالات ماژول‌ها، کاهش وزن ماژول‌ها و روند انتخاب نیروگاه‌های جهان، توان بالاتر (با توجه به خط تولید فعال شرکت ۲۴۰ وات) انتخاب شده است.

لازم به توضیح است سایر برندها که توان نامی آنها برابر ۲۴۰ وات است، از لحاظ مشخصات فنی اختلاف اندکی با مشخصات ماژول انتخابی (Q-Base-G2 240) دارد. بنابراین، درمسیر طراحی تأثیر چشمگیری نخواهند داشت.

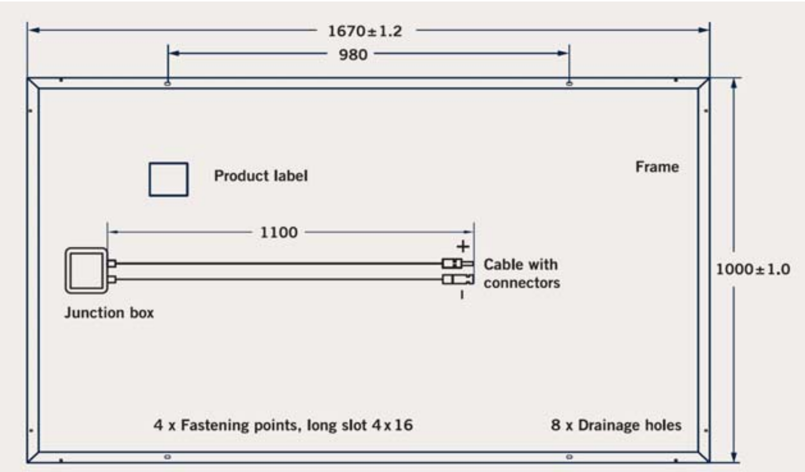
مشخصات کامل پنل انتخاب شده در جدول (۱) آورده شده است [12].

همچنین در شکل ۱) و (۲) به ترتیب ابعاد پنل و منحنی مشخصه ولتاژ-جریان ماژول انتخاب شده در شدت نور های مختلف، برای این ماژول خاص آورده شده است.

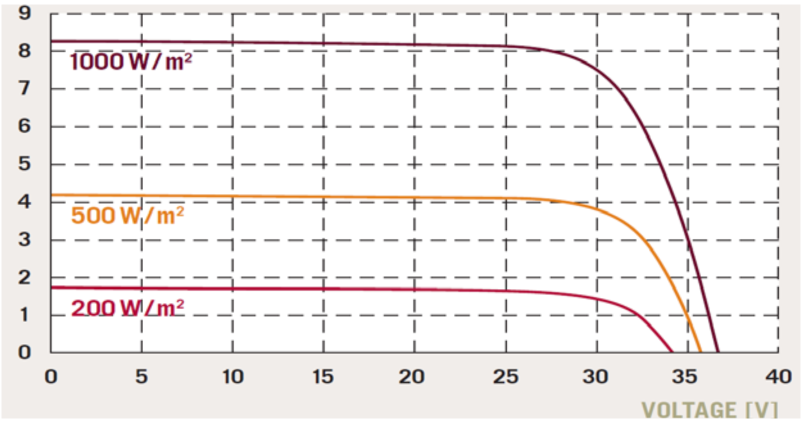
جدول ۱) مشخصات ماژول Q-Base-G2 240 در شرایط استاندارد [۱۲]

نوع ماژول	مولتی کریستال
توان در نقطه بیشینه(w)	۲۴۰
جریان اتصال کوتاه(A)	۸/۷۲
ولتاژ مدارباز(v)	۳۷/۱۴
ولتاژ در نقطه توان بیشینه(v)	۲۹/۳۷
جریان در نقطه توان بیشینه(A)	۸/۱۵
بازده(%)	۱۴/۲

1) Maximum Power Point Tracker (MPPT)



شکل ۱) ابعاد ماژول انتخاب شده برحسب میلیمتر [۱۲]



شکل ۲) منحنی ولتاژ–جریان ماژول انتخاب شده برحسب تغییرات تابش خورشید در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد [۱۲]

انتخاب مدل اینورتر

برای نیروگاه ۱۰۰ کیلوواتی می‌توان از اینورترهای با توان های متفاوت بهره برد. یکی از شرکت های معتبر در این زمینه، شرکتی آلمانی است که محصولات متنوعی در محدوده‌های توانی مختلف با قیمت‌های متفاوت عرضه می‌کند. برای نیروگاه ۱۰۰ کیلوواتی چندین حالت را با توجه به قیمت‌ها و بازدهی این نوع اینورترها می‌توان در نظر گرفت. این شرکت دارای محصولات متفاوتی در زمینه اینورترهای فتوولتائیک، شامل «سانی بوی»[۱]، «سانی مینی سنترال»[۲]، «سانی

1) Sunny Boy
2) Sunny Mini Central

تاور»[1]، «سانی تری‌پاور»[2] و «سانی سنترال»[3] می‌باشد. با توجه به این برند نرم‌افزار Sunny Design به منظور شبیه-سازی آرایش اینورترها انتخاب شده است. [14].

تعیین و بررسی تولید توان پیک نیروگاه ۱۰۰ کیلووات

در این قسمت با توجه به نوع ماژول و اینورتر انتخاب شده (SMA) ، باید حالات مختلف تولید توان ۱۰۰ کیلووات بررسی شود. در بهترین شرایط، با توجه به نکات مطرح شده در مراحل قبل و با استفاده از نرم‌افزار SMA Sunny Design، هفت حالت ممکن انتخاب می‌شوند [15] .این حالات در جدول ۲) آمده است.

با توجه به جدول ۲)، حالت چهارم (متمایز شده) به دو دلیل زیر به عنوان حالت بهینه انتخاب شده است.

۱- کمترین قیمت کل اینورتر نسبت به سایر حالات.

۲- بهترین حالت چیدمان ماژول‌ها با توجه به اینکه از سطح زمین به صورت بهینه استفاده می‌شود.

در این حالت، از ۴۲۰ ماژول خورشیدی استفاده می‌شودکه آرایش آرایه‌های مربوط به هر اینورتر به صورت ۲ ردیف موازی با ۲۴ ماژول سری برای ورودی A و ۱ ردیف موازی با ۲۲ ماژول سری برای ورودی B قرار می‌گیرد. این چیدمان برای ۶ اینورتر تکرار خواهد شد. ماژول‌هایی که به صورت سری قرارگرفته‌اند، ولتاژ را می‌سازند و رشته‌های موازی جریان را تأمین می‌کنند.

جدول ۲)حالات انتخاب و چیدمان اینورترهای با برند شرکت SMA

حالت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
توان پیک تولیدی (KW)	۹۹/۸	۹۹/۸	۱۰۰/۳	۱۰۰/۸	۱۰۰/۸	۱۰۰/۸	۱۰۰/۸
نرخ توان نامی(٪)	۹۸	۱۰۷	۹۰	۱۰۴	۱۰۷	۱۰۱	۹۸
تعداد اینورتر	۸	۱۳	۱۱	۶	۷	۱۰	۱۲
توان اینورتر (KW)	۱۲	۸	۸	۱۷	۱۵	۱۰	۸
نوع اینورتر	STP 12000 TL	STP 8000 TL	STP 8000 TL	STP 17000 TL	STP 15000 TL	STP 10000 TL	STP 8000 TL
قیمت واحد اینورتر (یورو)	۳۷۲۶	۳۳۱۸	۳۳۱۸	۴۴۱۵	۴۲۴۳	۳۴۶۹	۳۳۱۸
قیمت کل اینورترها (یورو)	۲۹۸۰۸	۴۳۱۳۴	۳۶۴۹۸	۲۶۴۹۰	۲۹۷۰۱	۳۴۶۹۰	۳۹۸۱۶
تعداد ماژول در ورودی A اینورتر	۲*۲۲	۲*۱۶	۲*۱۹	۲*۲۴	۲*۲۰	۲*۲۱	۱*۲۴
تعداد ماژول در ورودی B اینورتر	۱*۸	۰*۰	۰*۰	۱*۲۲	۱*۲۰	۰*۰	۱*۱۱

1) Sunny Tower
2) Sunny Tripower
3) Sunny Central

در این قسمت با توجه به نوع ماژول و اینورتر انتخاب شده، باید نحوه ایجاد توان لازم را بررسی کرد.

- اینورتر: ۶ دستگاه ۱۷ کیلووات
- توان ماژول: ۱۰۰/۸ کیلووات
- تعداد ماژول ۲۴۰ واتی:

100 kW/240 W= 420

- تعداد ماژول های سری ورودی A اینورتر

$$\text{تعداد ماژول‌های سری در رشته} = \frac{\text{ولتاژ ورودی نامی اینورتر}}{\text{ولتاژ نامی ماژول}} = \frac{600}{28/75} = 24$$

- تعداد ردیف های موازی

$$\text{تعداد رشته‌ها} = \frac{\text{تعداد ماژول‌ها}}{\text{تعداد ماژول در هر رشته}} = \frac{420}{24} \simeq 18$$

برای ورودی B در اینورتر به همین شکل عمل می‌گردد. حال بررسی می‌شود که جریان و ولتاژساخته شده توسط این سلول خورشیدی در رنج مبدل قرار گرفته باشد.

String	Voltage	for	input	A:24×28.75=690<800	ok
String	Voltage	for	input	B:22×28.75=632.5<800	ok
String	Voc	for	input	A:24×36.53=876.72<1000	ok
String	Voc	for	input	A:24×28.75=690<800	ok
String	Current	for	input	A:2×8.7=17.4<33	ok
String	Current	for	input	B:1×8.7=8.7<11	ok

همانطور که مشاهده می‌شود، حالت انتخاب شده از لحاظ شرایط فنی نیز صحیح می‌باشد.

چیدمان آرایه‌های فتوولتائیک در نیروگاه

در این مرحله، بعد از انتخاب نوع و تعداد تجهیزات، نحوه قرار گرفتن اجزا در مزرعه نمایش داده می‌شود.

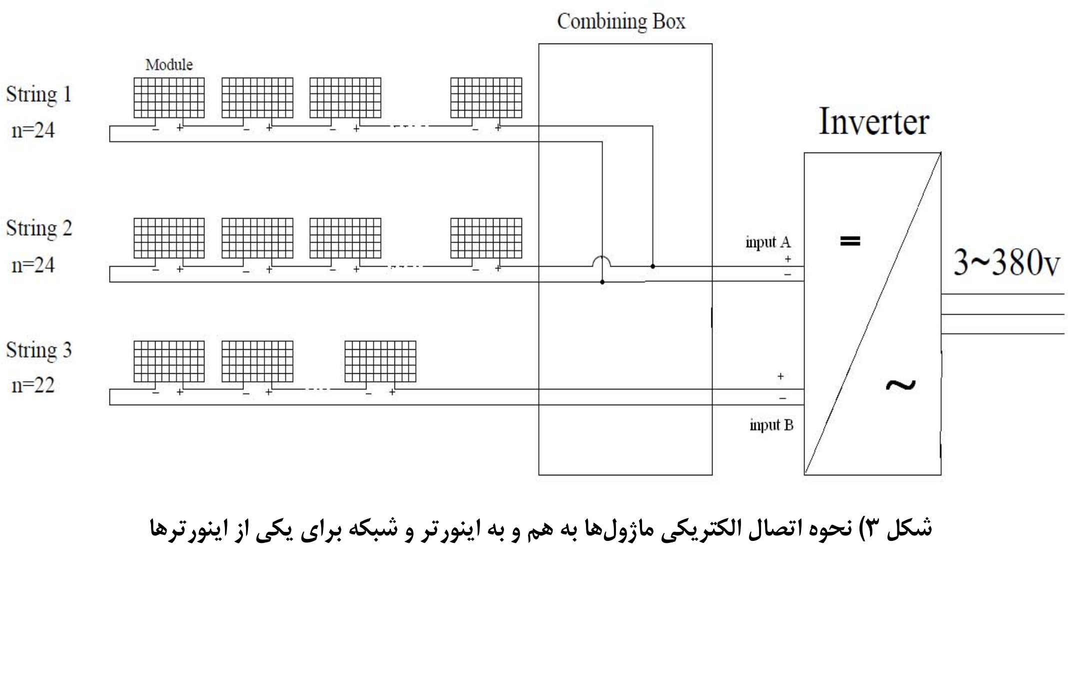
همانطور که درشکل ۳) مشاهده می‌شود، آرایش آرایه‌های متصل به یک اینورتر به صورت دو رشته ماژول ۲۴ تایی و یک رشته ماژول ۲۲ تایی است که در نهایت، هر سه رشته وارد اینورتر شده و تقریباً ۱۷ کیلووات انرژی تأمین می‌گردد.

این روند شش مرتبه تکرار شده و توان ۱۰۰ کیلوواتی تأمین می‌گردد.

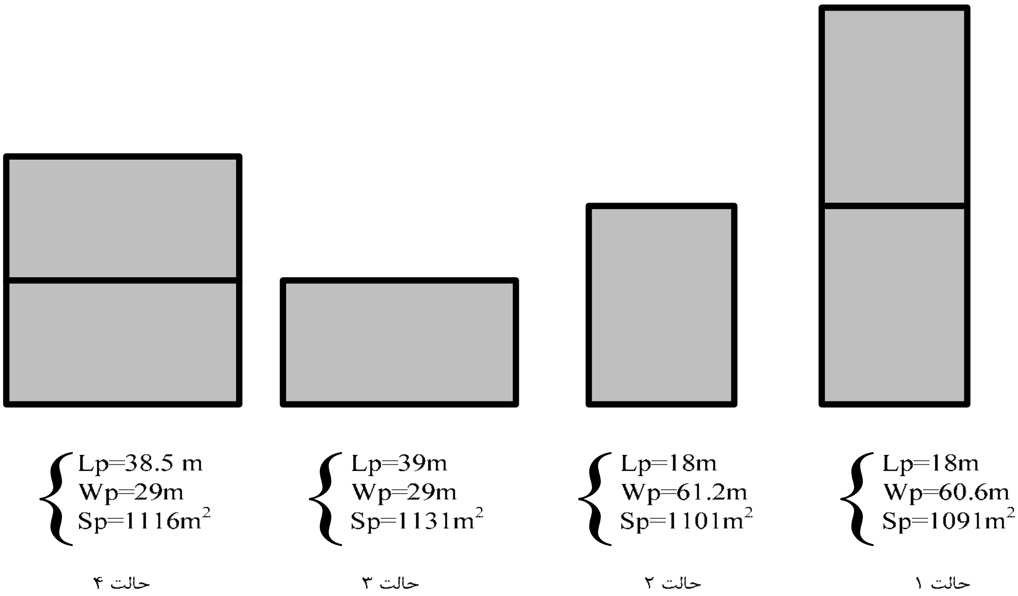
با توجه به نقشه ترسیم شده در نرم‌افزار اتوکد، ابعاد زمین در حدود۴۰×۵۰ متر خواهد شد. البته فضای خالص لازم برای نصب ماژول‌ها در شکل ٤) نمایش داده شده است. در این شکل، L_p طول برحسب متر، W_p عرض بر حسب متر و S_p مساحت برحسب متر مربع می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود، سطح اشغالی در هر چهار حالت تفاوت چشمگیری با هم ندارند. آنچه در این چیدمان‌ها مهم به نظر می‌رسد، سهولت تعمیر نگهداری و محاسبات هزینه بهینه پایه‌های نگهدارنده است که در این مرحله به آنها پرداخته نمی‌شود. در ضمن، ابعاد ماژول‌ها نیز با توجه به ماژول‌های Q-Base-G2 240 انتخاب شده‌اند. مجدداً ذکر این نکته ضروری است که انتخاب سایر برندها با این محدوده توان، تفاوت چشمگیری در نتایج ندارد چراکه اکثراً دارای ابعاد استانداردی هستند. شکل ۵) نمای کلی نیروگاه از بالا را نشان می‌دهد که در آن فرض شده ماژول‌ها به صورت حالت (۳) در شکل ۴) نصب شده‌اند.

همانطور که در شکل ۶) مشاهده می‌شود، زاویه شیب بهینه برای پنل‌ها در شهر تهران ۳۰ درجه و زاویه آزیموث بهینه نیز صفر درجه محاسبه شده است. این بهینه‌سازی با نوشتن کد روابط حاکم بر حرکت و تابش خورشید و مدل آرایه فتوولتائیک در نرم افزار MATLAB صورت پذیرفت که در شکل ۶) نمایش داده شده است[8] . از طرفی، فاصله استاندارد بین ردیف‌ها بر طبق استاندارد ۵۷۹ رژیم صهیونیستی- قسمت ۴ [۵]، باید بزرگتر از $1/35H\sin\beta$ باشد که در آن، H عرض پنل و β شیب پنل می‌باشد (شکل ۷). اگر فرض شود H با احتساب پایه پنل ۱/۵ متر باشد و همانطور که گفته شد، β بهینه ۳۰ درجه باشد، آنگاه فاصله بین دو ردیف ۱ متر خواهد شد که در نتیجه فاصله پایه تا پایه ۱۸۶ سانتی متر خواهد شد.

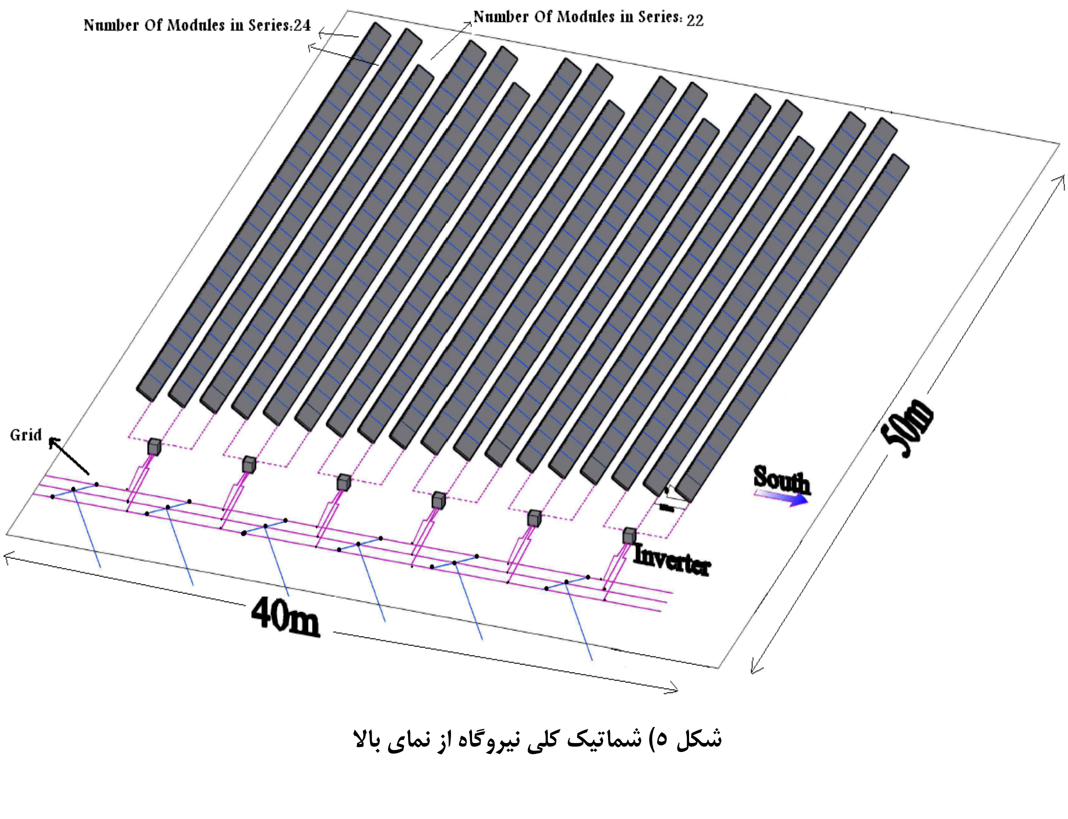
در شکل ۸) نیز نمای زاویه پنل‌ها و جهت‌های جغرافیایی و فاصله ردیف‌ها از یکدیگر نمایش داده شده است. با شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، زوایا و فواصل بهینه پنل‌ها به دست آمده‌اند.



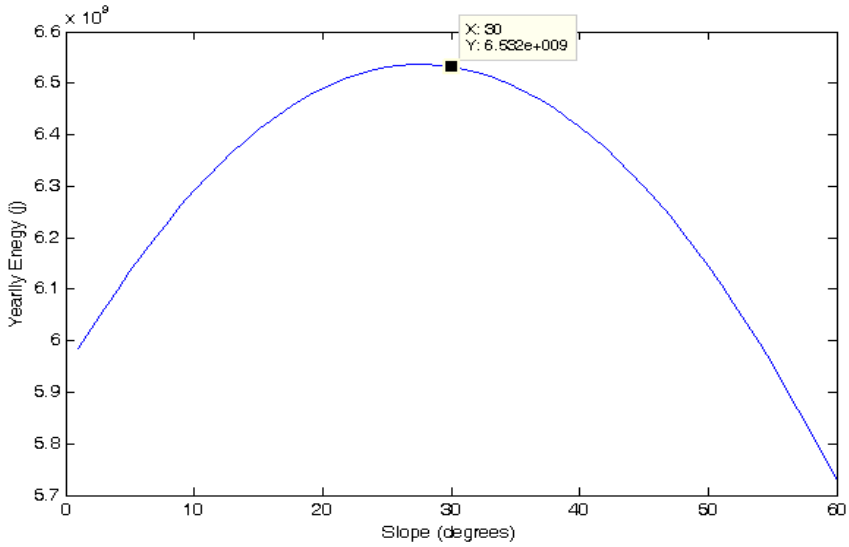
شکل ۳) نحوه اتصال الکتریکی ماژول‌ها به هم و به اینورتر و شبکه برای یکی از اینورترها



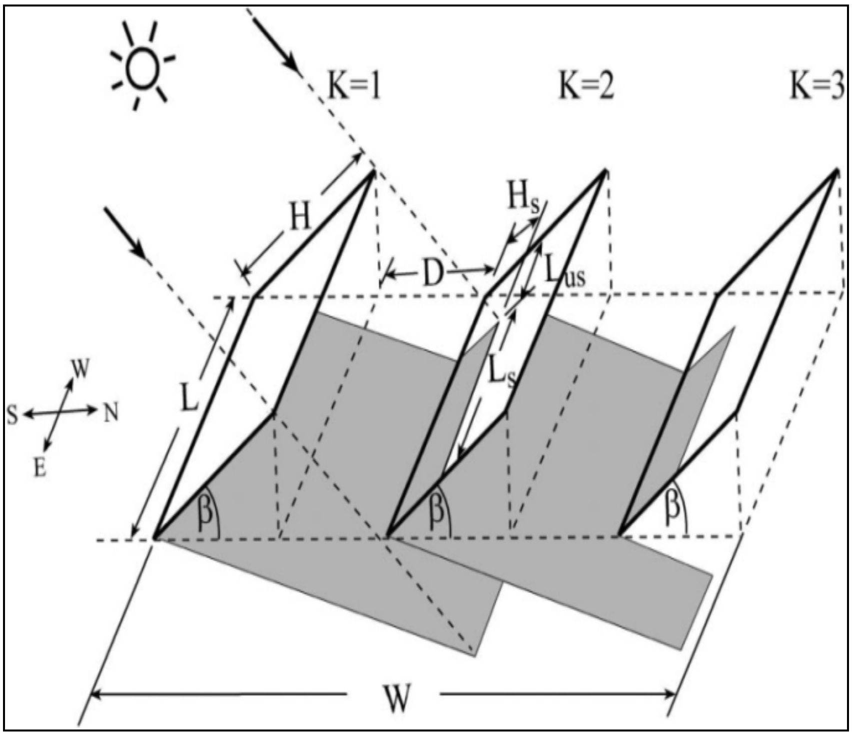
شکل ٤) حالات مختلف قرارگیری پنل‌ها در مزرعه خورشیدی و مساحت اشغالی کل



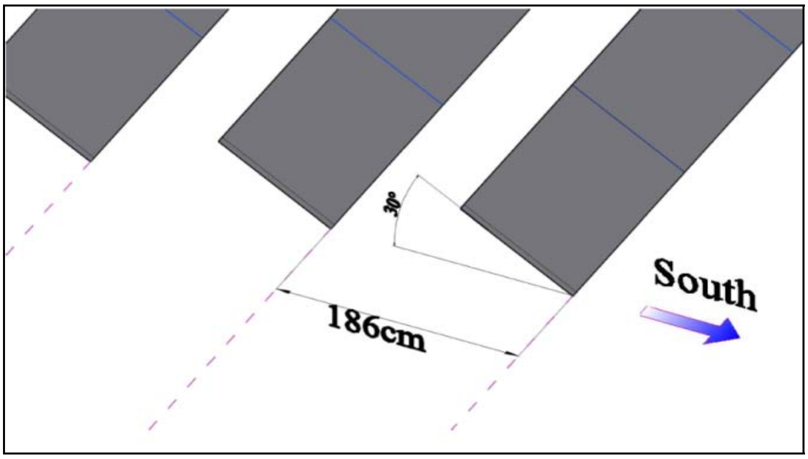
شکل ۵) شماتیک کلی نیروگاه از نمای بالا



شکل ٦) منحنی تغییرات توان خروجی نیروگاه فتوولتائیک نسبت به تغییرات زاویه شیب پنل



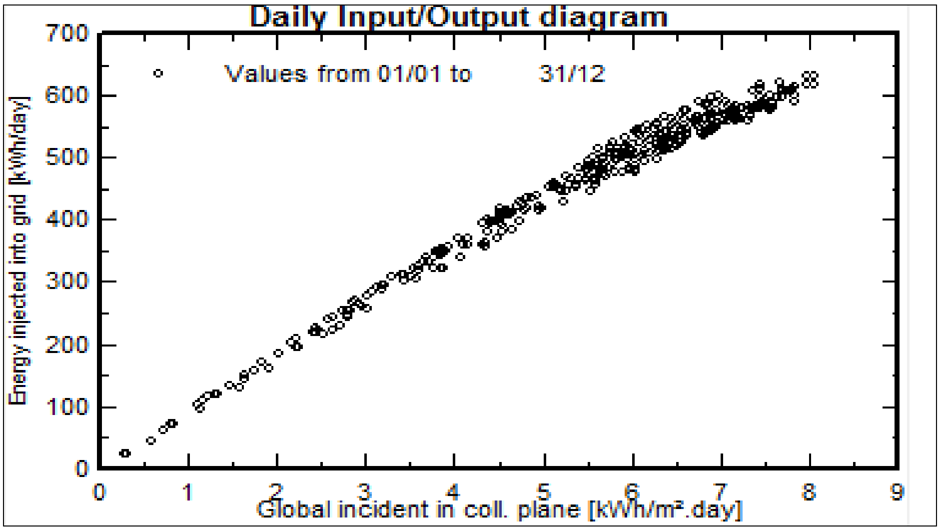
شکل ۷) نمایش پارامترها و فواصل مختلف در مزرعه خورشیدی



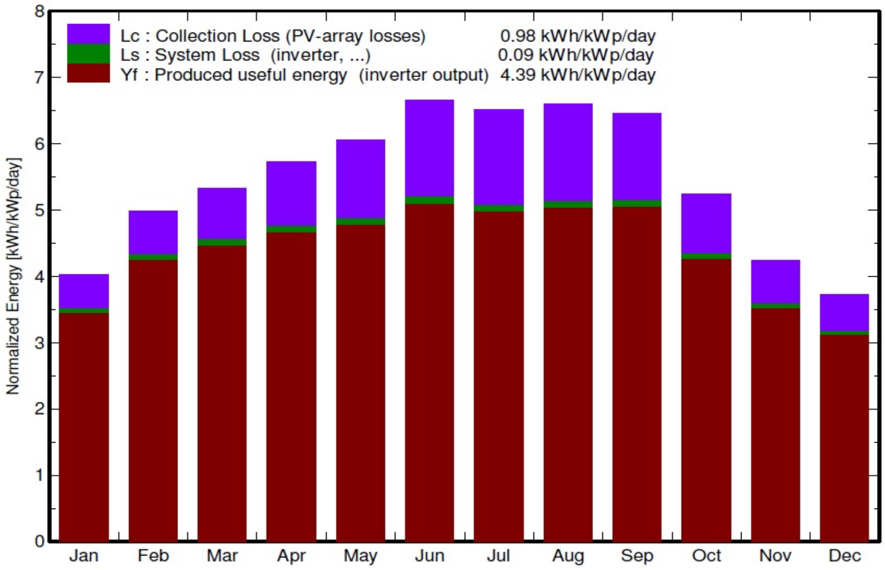
شکل ۸) شمای جهت و زاویه پنل‌ها و فاصله ردیف‌ها از یکدیگر

مطالعات نیروگاه با استفاده از نرم‌افزار PVSyst

در این قسمت، بعد از اعمال شرایط بهینه بدست آمده به نرم‌افزار PVSyst مطالعات زیر استخراج شده‌اند. همـانطور که درشکل۹) مشاهده می‌شود، جامعه آماری تعداد روزهایی که در آن به سـبب افـزایش میـزان دریافـت انـرژی بـر واحـد مترمربع در زاویه نصب بهینه منطقه (۳۰ درجه) شکل گرفته، تراکم زیادی دارد خصوصاً از زمانی که تـابش بـه بـیش از ۴ کیلووات ساعت بر متر مربع می‌رسد و در پی آن، انرژی تززیق شده به شـبکه بـه بـیش از ۳۰۰کیلـووات سـاعت افـزایش می‌یابد.

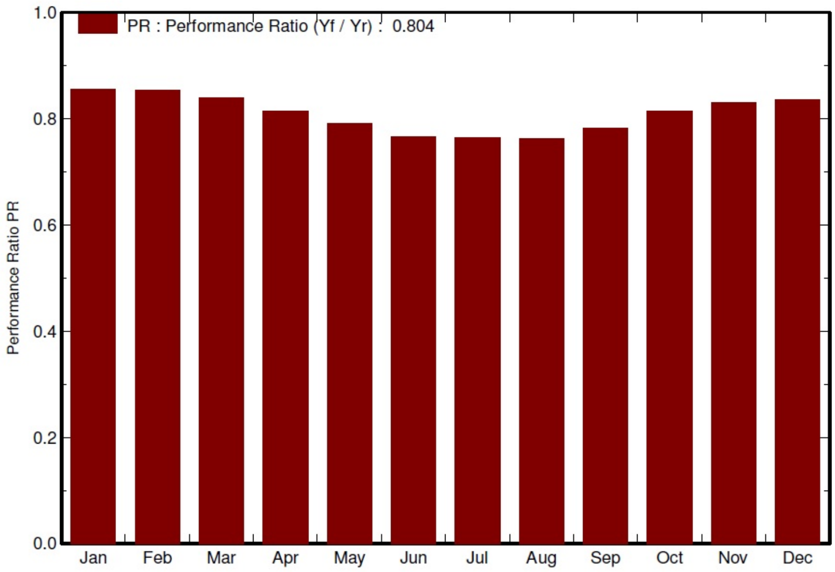


شکل۹) نمودارپراکندگی توزیع انرژی تزریق شده به شبکه به نسبت انرژی دریافت شده بر واحد سطح با شیب ۳۰درجه



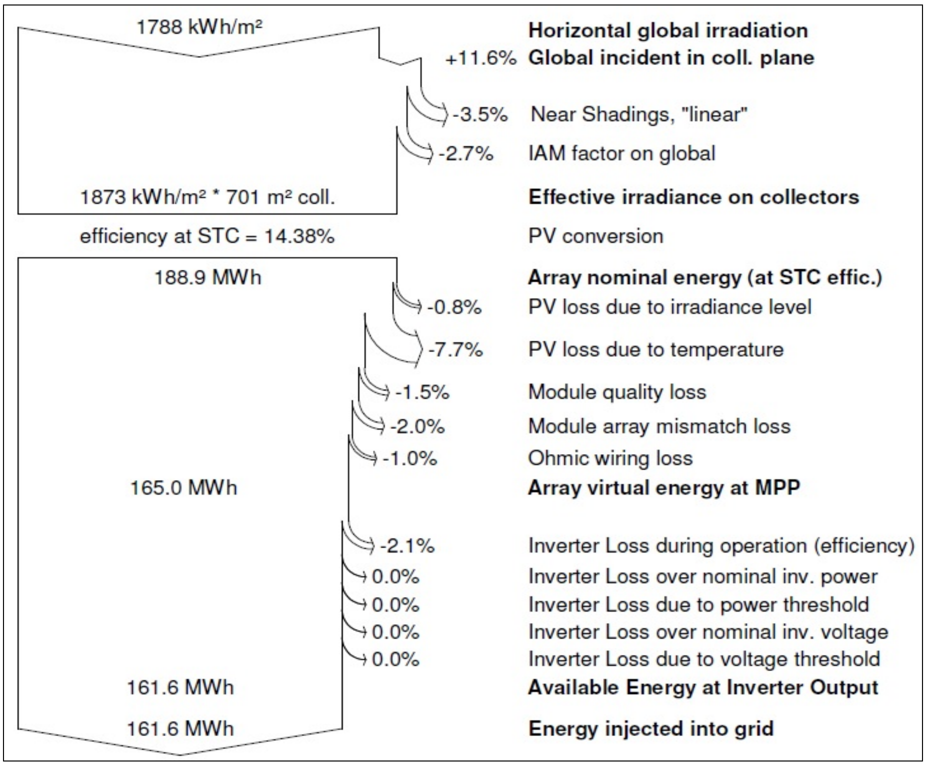
شکل۱۰) نمودار ماهانه تلفات دریافت انرژی و تجهیزات سیستم به نسبت انرژی تولید شده توسط اینورتر

در شکل۱۰) دو گروه تلفات به ازای انرژی مؤثر تولید شده در خروجی اینوتر در سیستم فتوولتائیک به صورت میانگین روزانه در طول یک ماه و در ۱۲ ماه مختلف سال به صورت نرمالیزه شده مشاهده می شود که در ماه‌های گرم سال به دلیل تولید بیشتر و درجه حرارت بالاتر، این تلفات محسوس تر است.



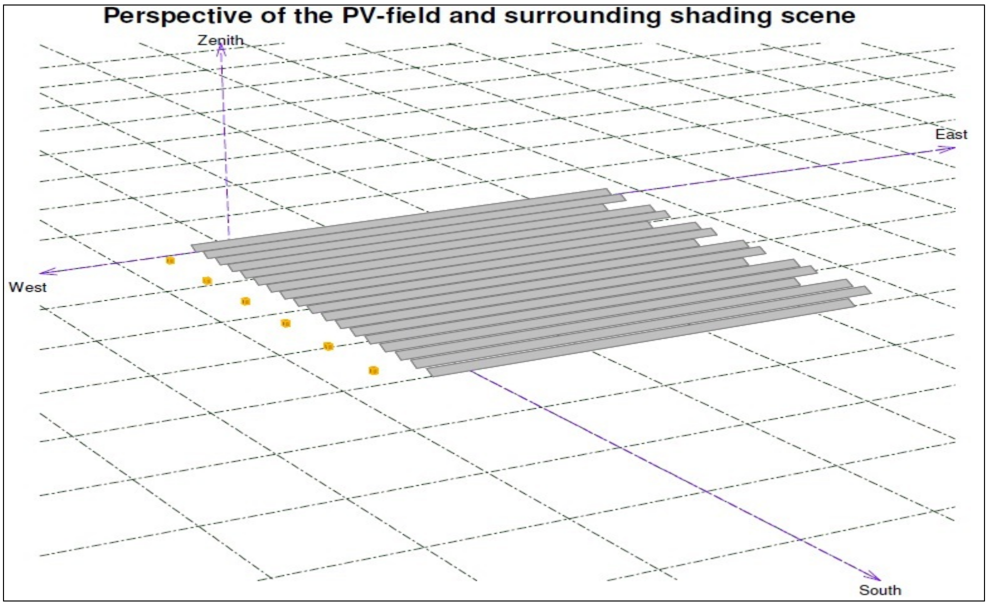
شکل۱۱) ضریب عملکرد نیروگاه در ماه های مختلف سال

شکل۱۱) بیانگر ضریب عملکرد ماهانه نیروگاه در طول یک سال می‌باشد که در این مطالعه، میانگین سالانه آن بـه۸۰ درصد رسیده است و در حالت کلی، بهترین وضعیت آن بین ۸۰ تا ۸۴ درصد می‌باشد که از تقسیم میزان انرژی تزریق شده به شبکه به میزان انرژی دریافتی از سوی پانل‌ها به دست می‌آید.



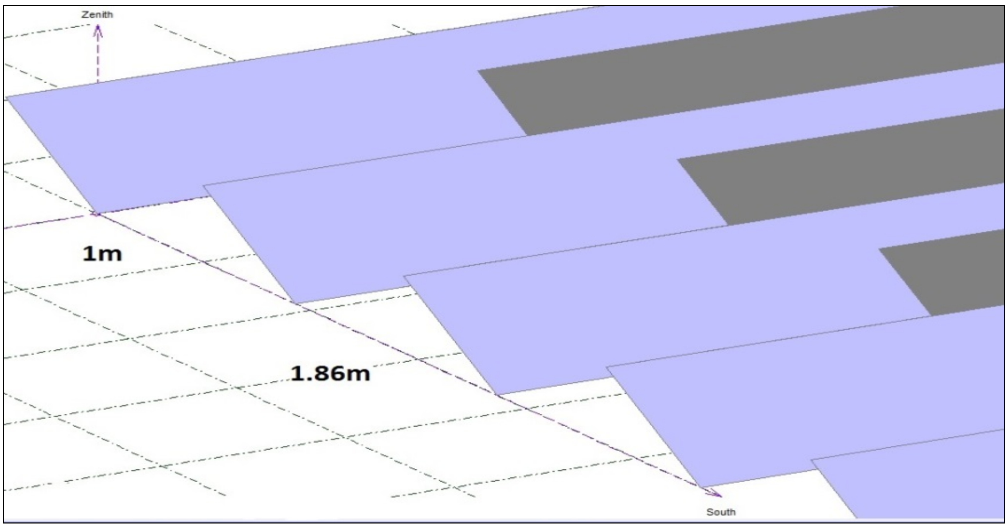
شکل۱۲) نمودار تلفات کل نیروگاه از تابش تا تزریق انرژی به شبکه

شکل۱۲) نمودار تلفات کل سیستم از زمان دریافت انرژی تابشی بر واحد سطح افق در محل نیروگاه تـا میـزان تزریـق انرژی به شبکه را درطول یک سال نشان می‌دهد که بیشترین تلفات به علت راندمان پانل‌ها در شـرایط اسـتاندارد و درجـه حرارت محیط می‌باشد. دریافت انرژی مجموعه پانل‌ها۱۸۸/۹مگاوات ساعت در مجموعه نیروگاه بوده که پس از کسر تلفات سیستمی به۱۶۱/۶ مگاوات ساعت در زمان تزریق به شبکه رسیده است.



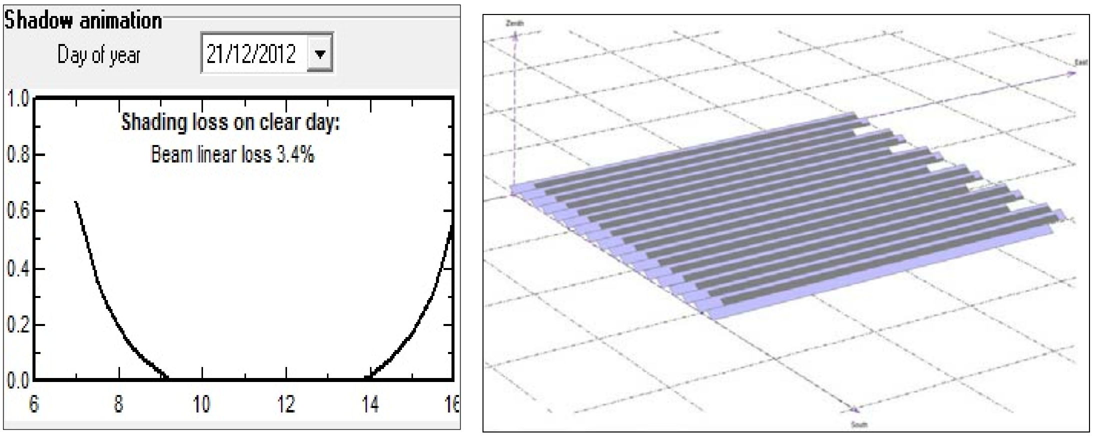
شکل۱۳) نحوه چیدمان پانل‌ها در نیروگاه از دیدگاه سایه اندازی

شکل۱۳) موقعیت نیروگاه را در فضای سه بعدی به همراه محل قرارگیری اینورترها نشان می‌دهد و فاصله بهینه ردیف‌های موازی را تعیین می‌کند تا کمترین میزان سایه‌اندازی را بر یکدیگر داشته باشند. موقعیت مدل آورده شده در شکل۱۳) دقیقاً منطبق با طول و عرض جغرافیایی محل سایت می‌باشد.



شکل۱۴) فاصله بهینه آرایه ها در مایل ترین وضعیت تابش

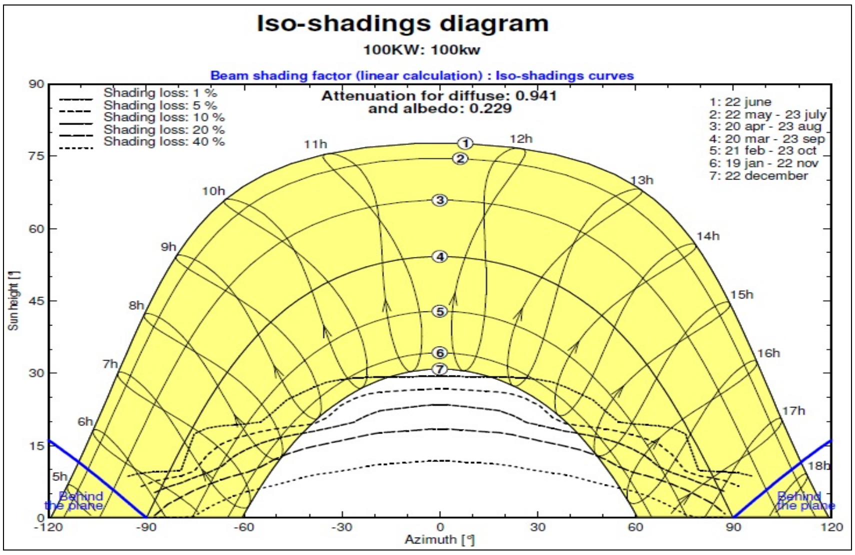
مطابق شکل۱۴) فاصله عمودی محور تا محور ردیف‌ها درچیدمان ۱/۸۶ متر و فاصله لبه تا لبه هرکدام از ۱۸ ردیف بـا ردیف پشتی۱ متر در نظر گرفته شده است.سایه‌ای که در شکل مشاهده می‌شود مربوط به زمان غروب آفتاب درکوتاه‌تـرین روز سال است که در شکل۱۵) کاملاً مشخص شده است.



شکل۱۵) اثر سایه‌اندازی در مایل‌ترین وضعیت تابش و تلفات آن

همانطور که در شکل۱۵) مشاهده می‌شود، میزان سایه مشاهده شده در کوتاه ترین روز سال کـه مایـل‌تـرین وضـعیت تابش خورشیدی پدید می‌آید، قابل قبول است چرا که در روزهای دیگر سال طول سایه‌ها کوتاه‌تر خواهد شـد. نمـودار بـالا نشان می‌دهد که در روز ۲۱ دسامبر (کوتاه ترین روز سال) سایه از ساعت ۷ صبح تا کمی پس از ۹صبح به شـکل کاهـشی بر روی نیروگاه پدیدار می‌شود و از حدود۹/۳۰ دقیقه تا کمی پیش از ۲ بعد از ظهر هیچ سایه‌ای وجود ندارد. از حدود ۲ بعد از ظهر به بعد تا ۴ بعد از ظهر که آفتاب درحال غروب است، مجدداً طول سایه رو به افزایش می‌رود که در نهایـت، تلفـات حاصل از این سایه‌اندازی بر تولید نیروگاه در چنین روزی به ۳/۴ درصد می‌رسد.

نمودار شکل۱۶) نحوه حرکت مسیر خورشید در فصول مختلف سال به همراه درصد تلفات به سبب سایه‌اندازی را در محل نیروگاه نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نیز قابل مشاهده می باشد، خطوط مختلفی به صورت ممتد و نقطه‌چـین تلفات را از ۱ درصد تا ۴۰ درصد دسته بندی کرده‌اند. در نیروگاه مورد مطالعه در ماههایی کـه بـا اعـداد ۱، ۲و ۳ مـشخص شده‌اند، هیچ گونه سایه‌ای وجود ندارد، در ماههایی که با عدد ۴ مشخص شده است، کمی در هنگام طلوع و هنگام غـروب آفتاب سه گروه از تلفات ظاهر می‌شوند. میزان این تلفات هر چه به سمت ماه‌های گروه ۵، ۶ و کوتاه‌ترین روز سال کـه بـا عدد ۷ مشخص شده است نزدیک‌تر می شویم، دامنه بیشتری از روز را شامل می‌شوند.



شکل١٦) نمودار تلفات سایه‌اندازی

نتیجه گیری

در این مقاله، روشی اجرایی برای انتخاب ابعاد بهینه اجزای نیروگاه فتوولتائیک با در نظر گرفتن قیود حاکم بر اجزای نیروگاه نظیر ولتاژ و توان خروجی ماژول، محدوده ولتاژ و جریان ورودی اینورتر پیشنهاد شد. از میان حالت‌های گوناگون موجود برای آرایش اینورترهای نیروگاه، آرایش انتخابی با در نظر گرفتن مواردی نظیر استفاده بهینه از مساحت زمین، کمترین هزینه و قابلیت اطمینان بالا گزینش شد. همچنین در آرایش آرایه‌های فتوولتائیک شیب بهینه پنل‌ها برای افزایش بهره‌وری نیروگاه از پتانسیل انرژی خورشیدی موجود محاسبه و در طراحی لحاظ شد. درنهایت، محاسبه خروجی نیروگاه توسط نرم‌افزارهای PVSyst، روش پیشنهادی برای ابعادگزینی نیروگاه فتوولتائیک را تصدیق می‌کند. نتایج حاکی از انتخاب شش اینورتر ۱۷ کیلوواتی با ضریب عملکرد یک برای نیروگاه ۱۰۰ کیلوواتی در منطقه تهران بود. همچنین با شبیه‌سازی انجام شده، شیب بهینه ۳۰ درجه و زاویه آزیموث صفر درجه برای پنل‌ها و فاصله استاندارد ۱ متر بین ردیف‌ها انتخاب شدند. همچنین این مزرعه در ۱۸ رشته با ۲۴ پنل با اشغال مساحتی در حدود ۱۱۳۱ متر مربع طراحی گردید. خروجی سالانه این نیروگاه با استفاده از نرم‌افزار PVSyst در حدود ۱۶۱ مگاوات ساعت است.

منابع

[۱] بهادری نژاد. م. ، فرهمند. ب. ، " طراحی و بررسی اقتصادی سیستم بـرق خورشـیدی بـرای یـک سـاختمان اداری در تهـران"، بیست و یکمین کنفرانس بین المللی برق ، تهران۱۳۸۵.

[۲] شمس. م. ح. ، م. کیا و همکاران، "بهینه سازیِ تولید در نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه با کلکتورهای ثابـت بـا اسـتفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO)"، بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۹۰.

[3] Afrouzi, H.N.; Mashak, S.V.; Dastgheib, A.M.; Tavalaei, J, "Economic Sizing of Solar Array for a Photovoltaic Building in Malaysia with Matlab ", ICI, 2011.

[4] Afrouzi, H.N.; Mashak, S.V.; Mehranzamir, K.; Salimi, B,"Sizing grid-connected photovoltaic system using genetic algorithm", CIMSIM2011 .

[5] ASTM Standard, Available from: http://www.astm.org/Standards/E1799.htm.

[6] Barra, O., Conti, M., Santamata, E., Scarmozzino, O., and Visentin, R., 1977, ‘‘Shadow Effect in Large Solar Collectors in Large Scale Solar Power Plants,’’ Sol. Energy, 19, pp. 759–762.

[7] Hongbin Wu; Xiaofeng Tao, "Three phase photovoltaic grid-connected generation technology with MPPT function and voltage control", PEDS 2009.

[8] Mnassri M., A. St. Leger, ’ Stand Alone photovoltaic solar power generation system: A case study for a remote location in tunisia’ power and energy society general meeting, 2010 IEEE, pages 1 - 4, 2010.

[9] Mellit, A.; Benghanem, M.; Hadj Arab, A.; Guessoum, A.; Moulai, K.Neural, "network adaptive wavelets for sizing of stand-alone photovoltaic systems ", Intelligent Systems, 2004.

[10] Phyo Naing. L. , D. Srinivasan.’ estimation of solar power generating capacity’ probabilistic methods applied to power systems (PMAPS), 2010 IEEE 11th international conference on, pages 95 - 100, 2010.

[11] PVSyst Program User manual Available On http://files.pvsyst.com/pvsyst5.pdf.

[12] Q- cell data sheet for products of solar panels Available on http://www.q-cells.com/uploads/tx_abdownloads/files/Q-Cells_QBASE-G2_Data_sheet_2011-06_Rev02.pdf.

[13] Sujuan Liu; Qiufeng Jing; Hai-zhu Yang, "Study of Control Strategy on Small Power Photovoltaic Grid-Connected Generation System", ICICCI 2010 .

[14] SMA user manual an data sheet Available on http://www.sma.de/en/products/solar-inverters.

[15] Sunny Design Software Available On http://www.sma.de/en/products/software/sunny-design.html.

[16] Weinstock, D., and Appelbaum, J., 2004, “Optimal Solar Field Design of Stationary Collectors,” ASME J. Sol. Energy Eng., 126, pp. 898–905.