

ارزیابی فنی و زیست محیطی نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه به ظرفیت ۵ کیلووات با ردیاب تک محوره با استفاده از نرم افزارهای SAM و RETScreen: مطالعه موردی

معراج رجایی^۱، نیلوفر ایزدیار^۲، امیر حسین نیک زاد^۳

^۱ استادیار، دپارتمان برق و کامپیوتر، دانشکده شریعتی، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

^۲ دانشجوی، دپارتمان برق و کامپیوتر، دانشکده شریعتی، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران

^۳ کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

چکیده

استفاده از نیروگاه‌های فتوولتائیک تاثیر به‌سزایی در کاهش آلودگی هوا و مشکلات زیست محیطی در کلان شهرهایی همچون تهران دارد. اما یکی از دلایل فراگیر نشدن این نوع نیروگاه در ایران، بالا بودن هزینه‌های نصب آنهاست. بنابراین طراحی اصولی پروژه که می‌تواند باعث کاهش چشمگیر در هزینه‌ها و نیز افزایش تولید شود، ضرورت دارد. بنابراین در این مقاله ابتدا به شبیه‌سازی یک نیروگاه فتوولتائیک به ظرفیت نامی ۵ کیلووات در سه سناریوی آرایه PV بدون شیب، تحت زاویه شیب ثابت بهینه و مجهز به ردیاب تک محوره با استفاده از نرم افزار SAM، جهت بررسی بیشترین میزان تابش و تولید برق ماهیانه در موقعیت مکانی دانشکده فنی شریعتی تهران پرداخته شده است. در ادامه نیز اثرات زیست محیطی برای سناریوی طراحی شده با استفاده از نرم افزار RETScreen بررسی گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که پس از محاسبه زوایای بهینه شیب نصب و جهت‌گیری آرایه PV، تمامی مقادیر فنی از جمله میزان تولید برق AC، ضریب ظرفیت و ضریب عملکرد نیروگاه فتوولتائیک مجهز به سیستم ردیاب خورشیدی بیشتر از دو سناریوی دیگر است و نیروگاه مزبور سالانه باعث کاهش انتشار ۶/۳ تن گاز کربن دی اکسید به جو می‌شود.

واژه‌های کلیدی: نیروگاه فتوولتائیک، سیستم ردیاب انرژی خورشیدی، تحلیل زیست محیطی، SAM، RETScreen

۱-مقدمه

طی دهه‌های اخیر، میزان مصرف انرژی جهانی به شدت به سوخت‌های فسیلی وابسته شده است که باعث انتشار شدید گاز کربن و همچنین منجر به آلودگی محیط زیست و گرم شدن زمین می‌شود [۱].

بحران‌های سیاسی، اقتصادی و مشکلاتی از جمله محدودیت ذخایر فسیلی، نگرانی‌های زیست محیطی، افزایش جمعیت، رشد اقتصادی و افزایش مصرف، همگی باعث شده که کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های اخیر مورد توجه بسیار قرار گیرد [۲]. یکی از قابل اطمینان‌ترین اشکال انرژی‌های تجدیدپذیر در سراسر جهان، انرژی خورشیدی است [۳] و در حال حاضر با توجه به اینکه تقاضای برق در سراسر جهان به ویژه در کشورهای در حال توسعه و کمتر توسعه یافته به طور مداوم با نرخ ۳٪ در سال در حال افزایش است [۴] (به عنوان مثال ایران به عنوان نوزدهمین تولید کننده و بیستمین مصرف کننده برق در جهان است [۵])، ازین‌رو اگر تنها ۱٪ مساحت ایران به عنوان مثال با انواع سیستم‌های خورشیدی پوشانده شود، قابلیت تامین کل انرژی مورد نیاز کشور وجود خواهد داشت [۶]. از طرفی احداث و راه‌اندازی آسان نیروگاه‌های فتوولتائیک متصل به شبکه، هزینه‌های تعمیر و نگهداری پایین، اصلاح پیک مصرفی در روزهای گرم تابستان، کاهش تلفات خطوط انتقال و توزیع برق و تولید انرژی پاک از موارد قابل توجه در سیستم‌های فتوولتائیک می‌باشد [۷].

ماژول‌های فتوولتائیک به دلیل تبدیل مستقیم انرژی خورشید به برق و همچنین وزن کم بسیار مورد توجه هستند اما با توجه به اینکه با حرکت خورشید در روز زاویه تابش بر روی سطح ماژول‌های PV تغییر می‌کند، استفاده از ردیاب‌های خورشیدی بسیار تاثیر گذار است. سیستم‌های فتوولتائیک مجهز به ردیاب خورشیدی، در تمام طول روز مسیر حرکت خورشید را دنبال می‌کنند. از طرفی ظرفیت تولید برق توسط آرایه فتوولتائیک بستگی به میزان تابش خورشید دارد [۸]. میزان تابش در ساعات ظهر بیشتر از صبح و بعد از ظهر می‌باشد که سیستم‌های ردیاب بطور مستمر به ردیابی بیشترین میزان آن در طول روز می‌پردازند.

سیستم ردیاب تک محوره با چرخش در طول روز از شرق تا غرب و یا از شمال تا جنوب حرکت خورشید را دنبال می‌کند و هزینه‌های اولیه و جاری کمتری نسبت به نوع دو محوره دارد و دارای پیچیدگی کمتری نیز می‌باشد [۹]. ازین‌رو بهره‌مندی حداکثری از انرژی خورشیدی در دنیا به امری ضروری بدل گردیده است و مطالعه‌های زیادی نیز توسط محققان در این زمینه انجام شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش ورماک [۱۰] اشاره داشت. حاصل پژوهش او نشان از افزایش ۳۳ درصدی تولید برق خورشیدی در صورت استفاده از ردیاب تک محوره نسبت به استراکچر ثابت داشت. همچنین سنپینار و سبسی [۱۱] با مقایسه آرایه خورشیدی مجهز به ردیاب تک محوره و آرایه با استراکچر ثابت دریافتند که توان خروجی روزانه ماژول‌های خورشیدی در حالت اول با افزایش ۱۵ درصدی همراه خواهد بود.

وانگ [۱۲] در تحقیقات خود نشان داد که ردیاب‌های خورشیدی، سازوکار مهمی برای تقویت تولید برق در سیستم‌های فتوولتائیک است. با این حال این روش در مقایسه با استراکچر نوع ثابت، معمولاً با افزایش هزینه‌هایی همراه است. در بحث زیست‌محیطی نیز اولایی و همکاران [۱۳]، امکان‌سنجی احداث یک نیروگاه فتوولتائیک به ظرفیت ۶ مگاوات را با استفاده از نرم‌افزار RETScreen مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که نیروگاه مزبور سالانه، حداکثر باعث کاهش انتشار گاز کربن دی اکسید به میزان ۵۴۵۲/۵ تن خواهد شد که معادل جذب کربن توسط ۵۰۱/۵ هکتار جنگل است.

- اما در این مطالعه با هدف کمک به رفع آلودگی شدید هوا و پیک مصرف برق بالای کلان‌شهر تهران و از طرفی پتانسیل خورشیدی مناسب این منطقه، ارزیابی همزمان فنی و زیست‌محیطی یک نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه به ظرفیت نامی ۵ کیلووات، مجهز به ردیاب تک محوره، در موقعیت مکانی دانشکده فنی شریعتی مدنظر است. برای این منظور، ابتدا از نرم‌افزار SAM (فنی محصول آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر آمریکا) جهت ارزیابی و شبیه‌سازی‌های فنی، و سپس جهت تحلیل زیست‌محیطی مطالعه حاضر از نرم‌افزار RETScreen بهره گرفته شد. در زیر برخی از مهمترین اقدامات صورت گرفته در این مطالعه آمده است:
- طراحی و شبیه‌سازی نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه به ظرفیت نامی ۵ کیلووات با استفاده از نرم‌افزار SAM در موقعیت مکانی دانشکده فنی شریعتی تهران
- محاسبه زوایای بهینه شیب نصب و جهت‌گیری نیروگاه فتوولتائیک پیشنهادی در سه سناریوی آرایه PV تحت زاویه شیب صفر درجه، شیب بهینه ثابت و مجهز به سامانه ردیاب پرتو خورشیدی نوع تک محوره
- تحلیل و مقایسه فنی نیروگاه فتوولتائیک پیشنهادی با (بدون) سامانه ردیاب خورشیدی تک محوره
- تحلیل زیست‌محیطی نیروگاه فتوولتائیک مجهز به سامانه ردیاب خورشیدی تک محوره با استفاده از نرم‌افزار RETScreen

۲- مواد و روش‌ها

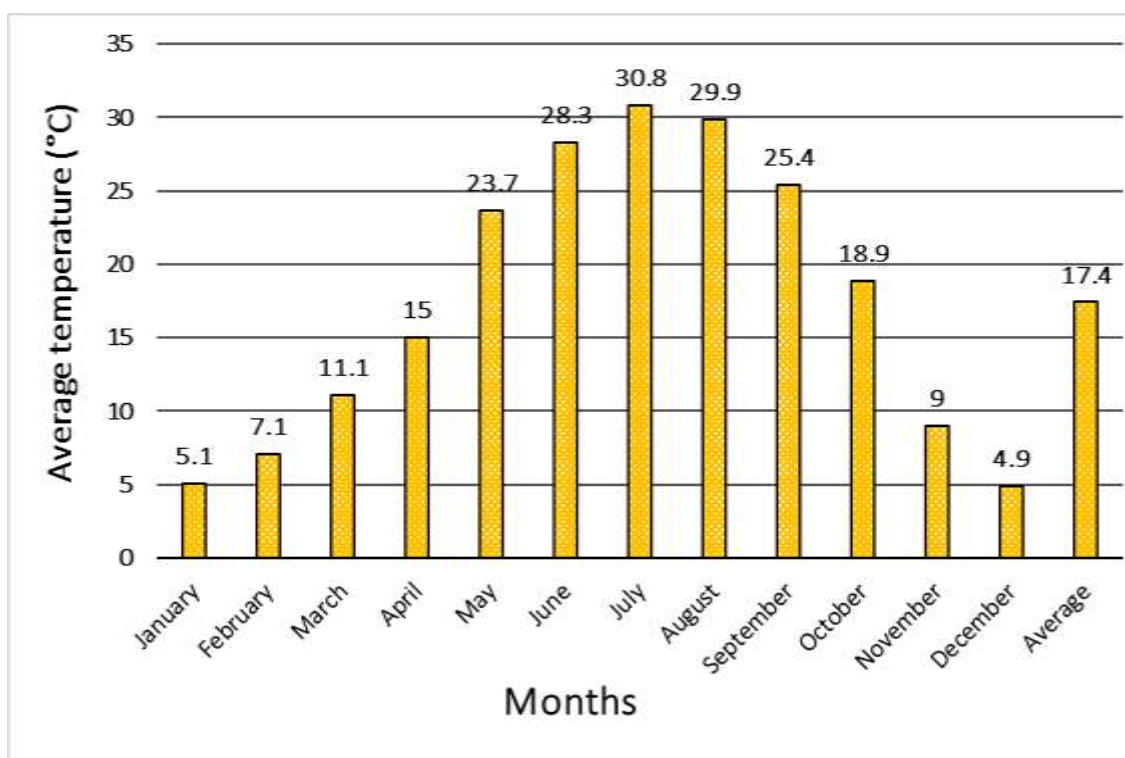
۲-۱- مشخصات جغرافیایی منطقه مورد نظر

دانشکده فنی شریعتی از دانشگاه فنی و حرفه‌ای در استان تهران، منطقه جغرافیایی موردنظر در این مطالعه می‌باشد. موقعیت مکانی مورد مطالعه با مختصات جغرافیای ۳۵/۷ درجه عرض شمالی و ۵۱/۴ درجه طول شرقی و در ارتفاع ۱۱۹۵ متر از سطح دریا قرار گرفته است.

۲-۲- وضعیت هواشناسی منطقه مورد نظر

در این مطالعه برای اخذ داده‌های هواشناسی نظیر میانگین دما و شدت تابش خورشیدی برای منطقه مورد نظر، از اطلاعات پایگاه PVGIS (مرکز تحقیقات مشترک اتحادیه اروپا) شامل داده‌های هواشناسی ماهواره‌ای برای خاورمیانه از جمله ایران مربوط به سال ۲۰۲۱ استفاده شده است [۱۴]. ازین‌رو مطابق شکل (۱)، متوسط دمای محیط برای موقعیت موردنظر در

سردترین و گرمترین فصل سال به ترتیب، ۴/۹ و ۳۰/۸ درجه سانتیگراد می‌باشد. همچنین میانگین سالانه دمای محیط، مقدار ۱۷/۴ درجه سانتیگراد برآورد می‌شود.



شکل (۱): میانگین دمای محیط برای موقعیت مکانی مورد نظر در ماه‌های مختلف سال

از طرفی میزان و مقدار انرژی تابشی خورشید به دو عامل شرایط آب و هوایی و طول و عرض جغرافیایی محل بستگی دارد و زمانی که پرتوهای نور خورشید به صورت عمودی به سطح زمین بتابند، بیشترین مقدار دریافت انرژی خورشیدی حاصل خواهد شد. برای موقعیت مکانی در نظر گرفته شده، متوسط میزان تابش کل روی سطح افق ۵/۲ کیلو وات ساعت بر مترمربع می‌باشد که این عدد از پرتابش‌ترین بخش کشور آلمان که حدود ۳/۳ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز تابش دارد نیز بیشتر است [۱۵].

۳-۲- مشخصات ماژول و اینورتر انتخابی

برای مقایسه تولید برق در سیستم فتوولتائیک با استراکچر ثابت و نیز آرایه PV مجهز به ردیاب تک محوره، ابتدا نوع ماژول PV و همچنین اینورتر، در نرم افزار SAM انتخاب می‌شود که مشخصات آنها به ترتیب در جداول (۱) و (۲) آمده است.

جدول ۱: مشخصات ماژول PV انتخابی

Type	Polycrystalline silicon
Company and model number	Soltech STH-250P
Peak power (W_p)	۲۵۰
Max. power point current (I_{mpp}) (A)	۸.۳
Maximum power point voltage (V_{mpp}) (V)	۳۰.۳
Short circuit current (I_{sc}) (A)	۸.۷
Open circuit voltage (V_{oc}) (V)	۳۷.۳
NOCT ($^{\circ}C$)	۴۳
Number of cells	۶۰
Efficiency (%)	۱۶
Temperature co-efficient for P_{max} ($\%/^{\circ}C$)	-۰.۴۳۰
Temperature co-efficient for V_{oc} ($\%/^{\circ}C$)	-۰.۳۶۴
Tolerance (%)	۰/+۵
Area (m^2)	۱.۵۶

مطابق جدول (۱)، ماژول انتخابی از نوع پلی کریستال ۶۰ سلولی و دارای بازده ۱۶٪ است و حداکثر توان تولیدی آن در شرایط مرجع، ۲۵۰ وات DC می باشد. شرایط مرجع استاندارد یعنی پارامترهای موجود در جدول ماژول پیشنهادی، همگی در محیطی با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و به ازای میزان تابش ۱ کیلووات ساعت بر مترمربع اندازه گیری شده اند.

از طرفی باتوجه به ضریب دمایی ماژول PV در جدول (۱)، افزایش دمای محیط به میزان هر ۱ درجه سانتیگراد، باعث کاهش توان ماژول به اندازه ۰/۴۳٪ یعنی ۱/۰۳۲ وات می شود.

همچنین مشخصات اینورتر انتخابی در این مطالعه، در جدول (۲) آمده است.

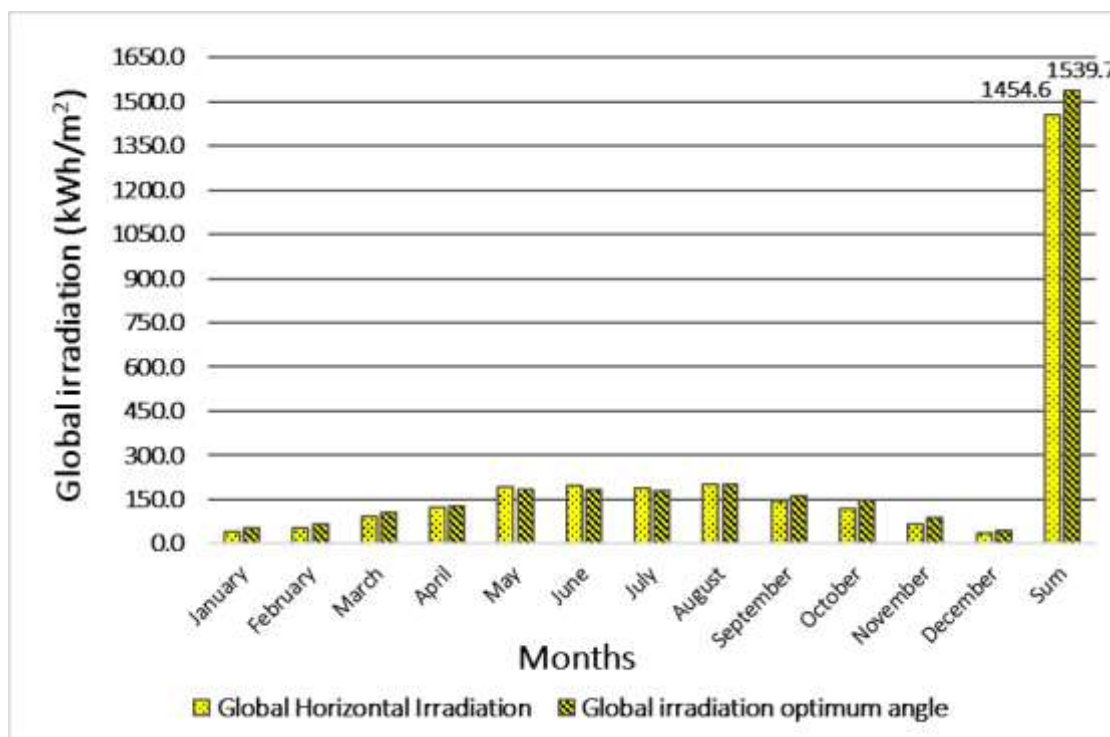
Type	Grid-Tied, Pure sine wave
Manufacture and model	ABB: PVI 5000
Max. DC input power (W)	۵۲۰۰
Max. DC input voltage (V)	۶۰۰
MPPT Operating Voltage Range (V)	۱۴۵-۵۳۰
Rated Output Power (W)	۵۰۰۰
Nominal AC voltage (V)	۲۴۰
Grid Frequency Range	۵۰ ±۱
Power Factor	≥۹۹ (at rated power)
AC Output	Single-phase
Max. Efficiency (%)	۹۶.۲
Protection rating and Cooling	IP65, Natural cooling

بر اساس جدول شماره (۲)، اینورتر انتخابی از نوع متصل به شبکه، تک فاز و سینوسی کامل با حداکثر راندمان ۹۶٪ می باشد. همچنین این اینورتر با فرکانس مرجع در ایران (۵۰ هرتز) مطابقت کامل دارد. به علاوه حداکثر توان DC ورودی به آن ۵۲۰۰ وات و حداکثر خروجی AC این اینورتر ۵۰۰۰ وات، بنا بر اعلام شرکت سازنده می باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل فنی

بر اساس نتایج خروجی نرم افزار SAM برای موقعیت مکانی موردنظر، زاویه بهینه شیب نصب آرایه PV نسبت به افق، ۳۰ درجه و همچنین جهت گیری آن باتوجه به قرارگرفتن موقعیت مکانی در نیمکره شمالی، جهت بهره مندی از حداکثر تابش خورشیدی، ۰ درجه یعنی دقیقاً رو به سمت جنوب تعیین شده است. شکل (۲)، متوسط میزان تابش کل روی سطح افق و همچنین میانگین تابش کل روی سطح شیبدار در شیب ثابت بهینه را نشان می دهد.



شکل (۲): تابش کل روی سطح افق و روی سطح شیبدار آرایه فتوولتائیک در ماه های مختلف سال

ازاینرو همانطور که در شکل (۲) نیز نشان داده شده است، انتخاب صحیح شیب و جهت گیری آرایه فتوولتائیک، در مجموع، سالیانه منجر به تولید ۱۵۳۹/۷ کیلووات ساعت تابش بیشتری روی سطح آرایه PV خواهد شد (حدود ۵/۸۵٪ افزایش) که این می تواند منجر به تولید توان بیشتری توسط ماژول های فتوولتائیک نسبت به حالت بدون شیب (افقی) شود.

شکل (۳) نیز نحوه چیدمان آرایه نیروگاه PV مورد مطالعه، خروجی از نرم افزار SAM را نشان می دهد.

Modules		Inverters	
Nameplate capacity	4.999 kWdc	Total capacity	5.000 kWac
Number of modules	20	Total capacity	5.193 kWdc
Modules per string	10	Number of inverters	1
Strings in parallel	2	Maximum DC voltage	600.0 Vdc
Total module area	31.2 m²	Minimum MPPT voltage	145.0 Vdc
String Voc	373.0 V	Maximum MPPT voltage	530.0 Vdc
String Vmp	303.0 V	Battery maximum power	0.000 kWdc

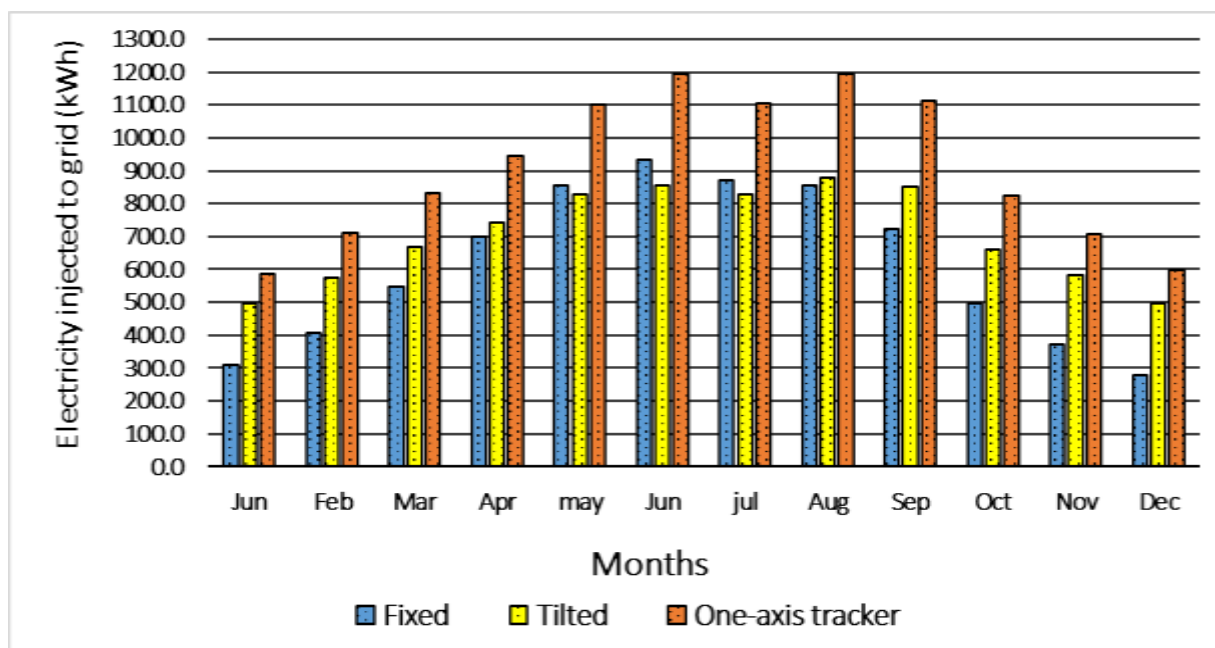
شکل (۳): چیدمان آرایه فتوولتائیک توسط نرم افزار SAM

مطابق شکل (۳)، حداکثر ظرفیت نامی نیروگاه تقریباً ۵ کیلووات می باشد که این میزان به ۳۱/۲ مترمربع فضا احتیاج خواهد داشت. همچنین ظرفیت مذکور از مجموع ۲۰ ماژول PV با مشخصات جدول (۱)، در قالب دو رشته موازی که هر رشته مشتمل بر ۱۰ ماژول سری می باشد، تشکیل شده است. به علاوه حداکثر ولتاژ مدار باز و حداکثر ولتاژ در نقطه حداکثر توان،

تولید شده توسط هر رشته از نیروگاه PV، در محدوده کاری مجاز اینورتر قرار دارند که طراحی صحیح و اصولی نیروگاه مذکور توسط نرم افزار SAM را نشان می‌دهد.

برای محاسبه میزان برق تولید شده توسط نیروگاه PV، آرایه فتوولتائیک در سه حالت بدون شیب (افقی)، شیب بهینه ثابت ۳۰ درجه و در حالت مجهز به ردیاب تک محوره شرقی-غربی با شیب ثابت بهینه ۳۰ درجه و محدوده تغییرات شیب از ۴۵- درجه تا ۴۵+ درجه در نظر گرفته شده است. علت انتخاب ردیاب شرقی-غربی نسبت به حالت شمالی-جنوبی، دریافت تابش خورشیدی بیشتر با توجه به قرارگیری موقعیت مکانی موردنظر در نیمکره شمالی است. همچنین زاویه بهینه جهت‌گیری آرایه PV نیز، ۰ درجه (دقیقا رو به جنوب) در نظر گرفته شده است. به علاوه برخی از تلفات احتمالی، توسط نرم افزار SAM بصورت پیش‌فرض به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود. این تلفات شامل، تلفات کابل کشی DC به میزان ۰.۲٪، تلفات کابل کشی AC به میزان ۰.۱٪، تلفات استهلاک دیوها و اتصالات ماژول‌های PV به میزان ۰.۵٪ در سال و تلفات ناهمگونی (عدم انطباق صد درصدی مشخصات فنی ماژول‌ها) به میزان ۲٪ می‌باشند. همچنین افت توان آرایه PV بر اثر تجمع گرد و غبار در این مطالعه ۰.۵٪ در نظر گرفته شده است و از تلفات سایه اندازی با فرض نبود اجسام سایه انداز و رعایت فاصله استاندارد بین دو رشته موازی آرایه PV صرف نظر شده است.

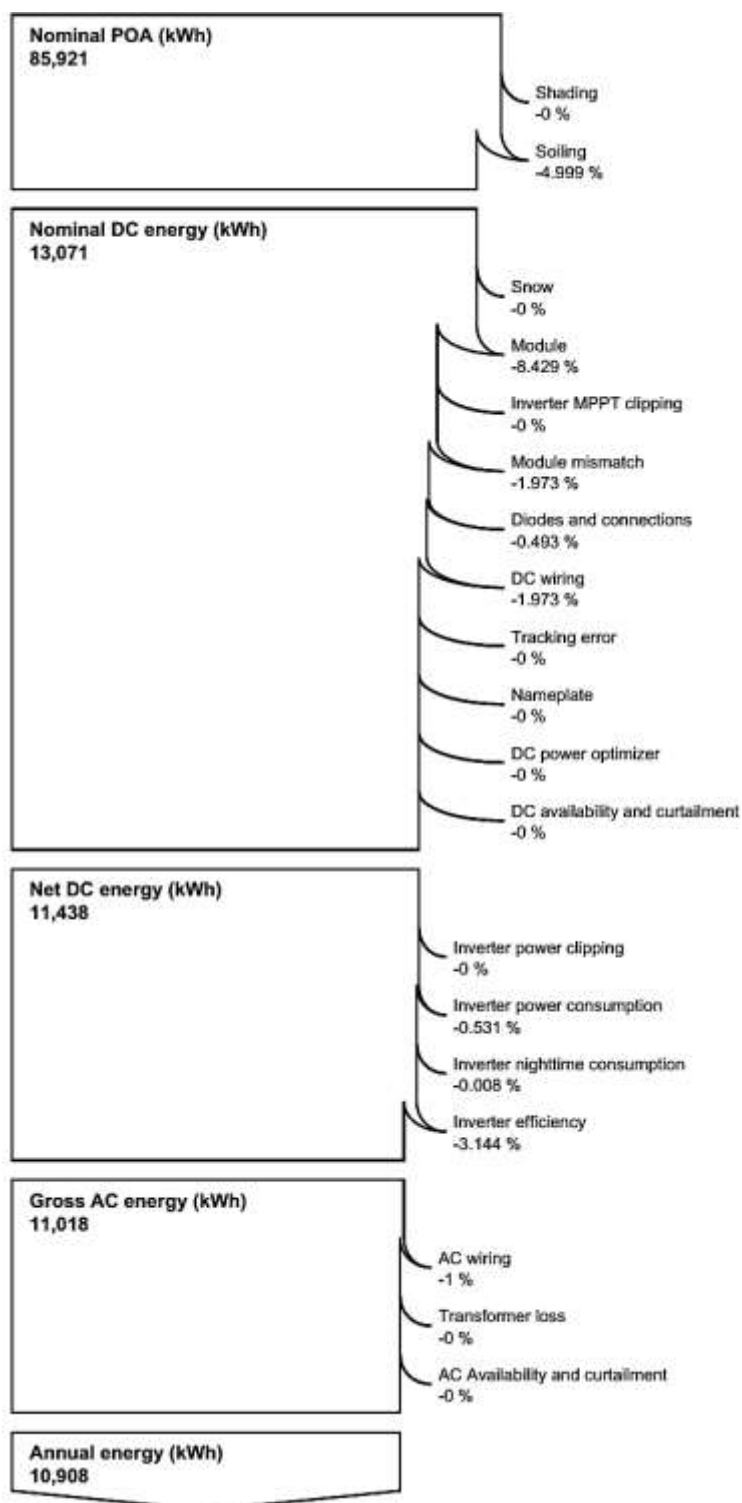
با در نظر گرفتن مقادیر بالا، میزان برق تولید شده AC توسط سیستم فتوولتائیک در سه سناریوی مختلف (بدون شیب، شیب ثابت بهینه ۳۰ درجه و مجهز به ردیاب تک محوره شرقی-غربی) مطابق شکل (۴) خواهد بود.



شکل (۴): میزان برق تزریق شده به شبکه توسط آرایه PV در سه سناریوی متفاوت در ماه‌های مختلف سال

بر این اساس مطابق شکل (۴)، همانطور که انتظار می‌رفت، در کلیه ماه‌های سال، انرژی تزریق شده به شبکه توسط آرایه PV در وضعیت مجهز به ردیاب تک محوره شرقی-غربی بیشتر از دو حالت دیگر است.

شکل (۵)، جزئیات تلفات مربوط به نیروگاه فتوولتائیک مجهز به سیستم ردیاب تک محوره شرقی-غربی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۵): دیاگرام تلفات نیروگاه PV مجهز به ردیاب تک محوره شرقی-غربی

مطابق شکل (۵)، از مهمترین تلفات پس از شبیه سازی نیروگاه در نرم افزار مزبور، می‌توان به تلفات مربوط به راندمان و مصرف برق اینورتر در مجموع به میزان تقریباً ۳/۷٪ و همچنین تلفات کاهش راندمان ماژول‌ها به دلیل افزایش دمای سلول-های PV در اثر افزایش حرارت محیط، در مجموع به میزان حدوداً ۸/۴۳٪ اشاره کرد. به علاوه برخی از تلفات دیگر نیز مانند، تلفات کابل کشی DC به اندازه ۲۳۶ کیلووات ساعت، تلفات کابل کشی AC به میزان ۱۱۰ کیلووات ساعت، تلفات استهلاک دیودها و اتصالات ماژول‌های PV به میزان ۵۹ کیلووات ساعت و تلفات ناهمگونی ماژول‌ها به میزان ۲۳۶/۲ کیلووات ساعت، باعث افت تولید و تزریق برق به شبکه شده اند.

در نهایت جدول (۳)، خلاصه ای از پارامترهای فنی سه سناریوی گفته شده را بعد از شبیه سازی در نرم افزار SAM نشان می‌دهد.

جدول ۳: مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی سیستم فتوولتائیک برای موقعیت مکانی موردنظر در نرم افزار SAM

Annual Results	Horizontal	Fixed	One-axis tracker
Net to inverter	۷,۷۲۰ ۰۰ ۰۰۰	۸,۸۹۰ ۰۰ ۰۰۰	۱۱,۴۳۰ ۰۰ ۰۰۰
Net to grid	۷,۳۴۰ ۰۰ ۰۰۰	۸,۴۶۰ ۰۰ ۰۰۰	۱۰,۹۰۸ ۰۰ ۰۰۰
Capacity factor	۱۶.۷۸	۱۹.۳۳	۲۴.۹۱
Performance ratio	۰.۷۷	۰.۷۸	۰.۷۹

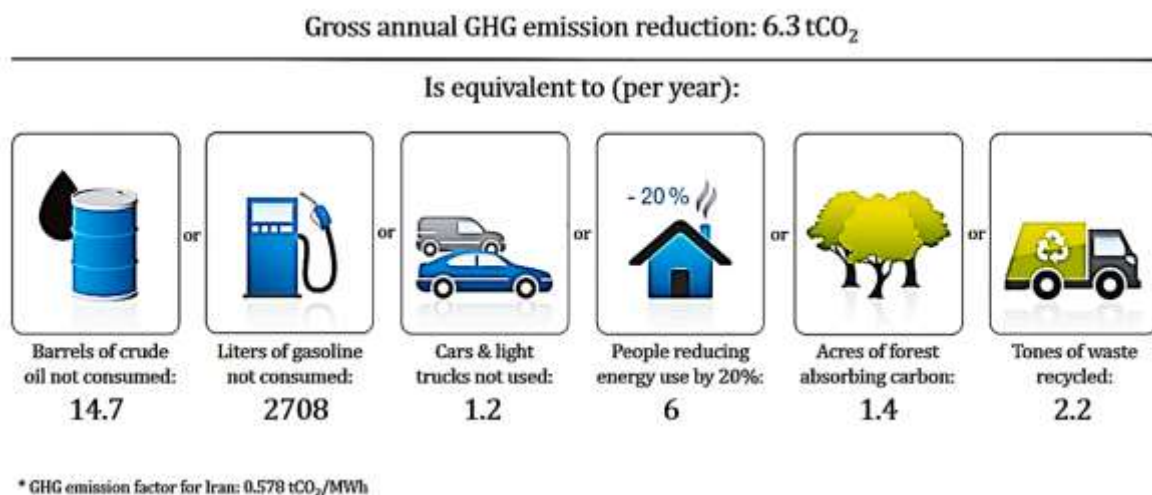
مطابق جدول (۳)، مجموع برق AC تزریق شده به شبکه برای نیروگاه PV مورد مطالعه در حالت مجهز به ردیاب تک محوره، پس از کسر تمامی تلفات، سالانه به میزان ۱۰۹۰۸ کیلووات ساعت می‌باشد، که این میزان به ترتیب نسبت به حالت آرایه فتوولتائیک در زاویه شیب بهینه ۳۰ درجه به میزان حدوداً ۲۹٪، و نسبت به حالت شیب ۰ درجه (افقی) به میزان ۴۹٪ بیشتر است که مقدار قابل توجهی است.

این موضوع در مورد مولفه ضریب ظرفیت نیروگاه نیز صادق است. به طوریکه ضریب ظرفیت نیروگاه PV در حالت مجهز به ردیاب تک محوره به طرز معناداری بیشتر از دو حالت دیگر است (به عنوان مثال ۲۴/۹۱ در حالت مجهز به ردیاب تک محوره، نسبت به ۱۹/۳۳ در حالت تحت زاویه شیب بهینه ثابت ۳۰ درجه). گفتنی است که ضریب ظرفیت که معمولاً در بازه زمانی یکساله محاسبه می‌شود، به صورت نسبتی از خروجی واقعی نیروگاه به حداکثر توان آن می‌باشد.

همچنین ضریب عملکرد نیروگاه خورشیدی مجهز به ردیاب تک محوره شرقی-غربی نیز ۷۹٪ می‌باشد که به ترتیب از حالت آرایه فتوولتائیک تحت زاویه شیب ثابت بهینه ۳۰ درجه و نیز حالت بدون شیب (افقی) بیشتر است. این ضریب بیانگر میزان توان تزریق شده به شبکه، به حاصلضرب ظرفیت نامی نیروگاه در تابش کل رسیده روی سطح ماژول‌های PV می‌باشد.

۲-۳- تحلیل زیست محیطی

در این بخش مدلسازی و شبیه سازی زیست محیطی نیروگاه فتوولتائیک مجهز به ردیاب تک محوره شرقی-غربی مورد مطالعه، با استفاده از نرم افزار RETScreen انجام شده است، که نتایج آن در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶): کاهش سالانه انتشار گاز کربن دی اکسید توسط سیستم پیشنهادی و معادل سازی آن

مطابق شکل (۶)، نتیجه چنین رویکردی، کاهش انتشار سالانه ۶/۳ تن کربن دی اکسید به جو می باشد. به عنوان مثال این میزان، سالانه معادل کاهش تردد ۱/۲ خودرو در خیابان ها، عدم مصرف ۲۷۰۸ لیتر بنزین (معادل عدم مصرف ۱۴/۷ بشکه نفت خام)، جذب کربن توسط ۱/۴ جریب (۰/۶ هکتار) جنگل، کاهش مصرف انرژی ۶ خانوار به میزان ۲۰٪، و یا بازیافت ۲/۲ تن زباله است. در واقع این میزان کاهش سالانه انتشار گازهای گلخانه ای در صورت جایگزینی مورد پایه (تامین همین میزان برق توسط نیروگاه های حرارتی با سوخت فسیلی) با مورد پیشنهادی این مطالعه بدست آمده است.

برای این منظور، میانگین فاکتور آلاینده های گازهای گلخانه ای ناشی از مصرف انواع سوخت های فسیلی در نیروگاه های برق ایران، بر اساس آخرین ارقام اعلام شده در ترازنامه انرژی ایران [۱۶]، ۰/۶۲۱ تن کربن دی اکسید به ازای هر مگاوات ساعت مصرف برق در نظر گرفته شده است.

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از طراحی نیروگاه PV متصل به شبکه به ظرفیت نامی ۵ کیلووات در موقعیت مکانی مورد مطالعه، با استفاده از نرم افزار SAM، در تمامی سناریوهای ذکر شده، نشان دهنده برتری نیروگاه فتوولتائیک مجهز به سیستم ردیاب تک محوره است. به طوریکه پس از محاسبه زوایای بهینه شیب نصب و جهت گیری آرایه PV، تمامی مقادیر فنی از جمله تولید برق AC پس از کسر تمامی تلفات، ضریب ظرفیت و ضریب عملکرد نیروگاه فتوولتائیک مجهز به سیستم ردیاب خورشیدی بیشتر از دو سناریوی دیگر بوده است که در عین حال می تواند باعث سودآوری بیشتری برای متقاضیان از محل فروش برق به شبکه شود. از طرفی نتایج تحلیل زیست محیطی نیروگاه مزبور با استفاده از نرم افزار RETScreen نشان داد که این نیروگاه سالانه باعث کاهش انتشار ۶/۳ تن گاز کربن دی اکسید (از عوامل مهم پدیده گرمایش زمین) به جو می شود که به عنوان مثال معادل عدم

مصرف ۲۷۰۸ لیتر بنزین در سال می‌باشد و این برای کلان‌شهری همچون تهران که با آلودگی شدید هوا دسته و پنجه نرم می‌کند و از طرفی دارای پتانسیل خورشیدی خوبی نیز می‌باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

منابع

- [1] Dey, D. and Subudhi, B., 2020. Design, simulation and economic evaluation of 90 kW grid connected Photovoltaic system. *Energy Reports*, 6, pp.1778-1787.
- [2] Gottwalt, S., Gärttner, J., Schmeck, H. and Weinhardt, C., 2016. Modeling and valuation of residential demand flexibility for renewable energy integration. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(6), pp.2565-2574.
- [3] Nikzad, A., Chahartaghi, M. and Ahmadi, M.H., 2019. Technical, economic, and environmental modeling of solar water pump for irrigation of rice in Mazandaran province in Iran: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 239, p.118007.
- [4] Menconi, M.E., dell'Anna, S., Scarlato, A. and Grohmann, D., 2016. Energy sovereignty in Italian inner areas: Off-grid renewable solutions for isolated systems and rural buildings. *Renewable energy*, 93, pp.14-26.
- [5] Reddy, V.S., Kaushik, S.C. and Panwar, N.L., 2013. Review on power generation scenario of India. *Renewable and sustainable energy reviews*, 18, pp.43-48.
- [6] Renewable Energy and Energy Efficiency Organization (SATBA). Available in: <<http://www.satba.gov.ir/en/home/>> (Accessed April 2021)
- [7] Bakhshi, R. and Sadeh, J., 2018. Economic evaluation of grid-connected photovoltaic systems viability under a new dynamic feed-in tariff scheme: A case study in Iran. *Renewable energy*, 119, pp.354-364.
- [8] Chahartaghi, M. and Nikzad, A., 2021. Exergy, environmental, and performance evaluations of a solar water pump system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43, p.100933.
- [9] Chang, T.P., 2009. Output energy of a photovoltaic module mounted on a single-axis tracking system. *Applied energy*, 86(10), pp.2071-2078.
- [10] Vermaak, H.J., 2014. Techno-economic analysis of solar tracking systems in South Africa. *Energy Procedia*, 61, pp.2435-2438.
- [11] Şenpınar, A. and Cebeci, M., 2012. Evaluation of power output for fixed and two-axis tracking PV arrays. *Applied Energy*, 92, pp.677-685.

- [12] Wang, D., 2017, November. The effects of sun-tracking on rooftop photovoltaic systems. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 93, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.
- [13] Owolabi, A.B., Nsafenangwa, B.E.K., Roh, J.W., Suh, D. and Huh, J.S., 2019. Validating the techno-economic and environmental sustainability of solar PV technology in Nigeria using RETScreen Experts to assess its viability. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 36, p.100542.
- [14] European Commission Joint Research Center, 2021. PVGIS Solar Irradiance Data. Available in: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php/>> (Accessed April 2021)
- [15] The maps and data for Iran. (2021). The World Bank, Solar resource data: SOLARGIS. Available in: <<https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/iran/>> (Accessed April 2021)
- [16] Iran's Ministry of Energy, 2017. Tavanir Holding Company of Iran. Detailed Statistics of Iran Electricity Production Industry. Available in: <<https://amar.tavanir.org.ir/en/>> (Accessed April 2021)