نتایج شبیه سازی عملکرد نیروگاه فتوولتاییک دانشگاه یزد و سنجش اعتبار آن با داده های تجربی ضمن ارائه راهکارهای افزایش راندمان

محمدعلی مهدیان[۱]، امیرصایمی[۲] ، ولی کلانتر [۳]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/٤/۱۸

چکیده:

در این تحقیق سعی شده است با محوریت انرژی خورشیدی بر روی شبیه‌سازی نیروگاه‌های فتوولتاییک کار شود. برای تاسیس یک نیروگاه فتوولتاییک، ابتدا باید از یک نرم‌افزار مطمئن برای برآورد هزینه و میزان تولید سالانه بهره جست. از نرم‌افزارهای مطرح در این زمینه، نرم‌افزارهای PVsyst و Sunny design هستند که قابلیت اطمینان آنها با مطالعه موردی نیروگاه فتوولتاییک دانشگاه یزد و مقایسه با داده‌های تجربی اندازه‌گیری شده در محل نیروگاه، دنبال می‌گردد. داده‌های این نرم‌افزارها از اطلاعات جغرافیایی محل نیروگاه و مشخصات فنی سیستم‌های نصب شده در نیروگاه تامین گردیده است. پس از مرحله شبیه‌سازی، خروجی نرم‌افزارها شامل جداول و نمودارهایی هستند که روند تولید ساعتی، ماهانه و سالانه انرژی تولید شده از هر متر مربع پانل‌ها، راندمان سیستم، پراکندگی تولید انرژی، افت‌های سیستم و ... را نشان می‌دهند. در این مقاله، دو راه برای افزیش توان نیروگاه پیشنهاد می‌شود: یکی، قرار دادن سیستم در حالت ردیاب که افزایش قابل ملاحظه تولید انرژی از روی نتایج نرم‌افزار قابل رویت است و دیگری، تمیز کردن سطح سلول که با طراحی یک آزمایش بر روی پانل‌ها و مقایسه داده‌های تجربی تاثیرش دیده می‌شود. در آخر نیز اطلاعات خروجی این دو نرم‌افزار، با اطلاعات تجربی بدست آمده از خود نیروگاه مقایسه شده است.

کلمات کلیدی:

انرژی، شبیه‌سازی ، فتوولتاییک، نرم‌افزار، نیروگاه

۱) دانشجوی مهندسی مکانیک سیالات دانشگاه یزد
۲) دانشجوی مهندسی مکانیک سیالات دانشگاه یزد
۳) استادیار دانشکده مکانیک دانشگاه یزد

aliashofth93@yahoo.com
amir_saemi1991@yahoo.com
vkalantar@yazduni.ac.ir

مقدمه

پیشرفت علم و فناوری رفاه عمومی را به ارمغان آورده است اما استفاده روزافزون از سوخت‌های فسیلی سبب بروز آسیب‌های جدی به محیط زیست شده است. آلودگی هوا، افزایش گازهای گلخانه‌ای، تغییرات آب و هوایی و ... از معایب توسعه‌ی این سوخت‌ها هستند که بشر را بر آن داشت به فکر انرژی پاک، کارآمد و ارزان باشد. از میان تمام انرژی‌های پاک و ارزان، انرژی خورشیدی جایگاه ویژه ای دارد. از زمان‌های قدیم، انسان به فکر استفاده از خورشید به عنوان یک منبع تجدیدپذیر و ارزان در تمامی عرصه‌های زندگی و یا حتی جنگی بوده است. به‌طور مثال، ارشمیدس، دانشمند یونانی، با استفاده از بازتابش نور خورشید و متمرکز نمودن آن بر روی کشتی‌های نظامی، توانست آن‌ها را آتش بزند. در سال ۱۷۶۷ میلادی، دانشمندی سوئیسی اولین کلکتور خورشیدی را ساخت. در سال ۱۸۳۹ میلادی، ادموند بکرل موفق به کشف اثر فتوولتاییک شد[۳]. سرانجام در سال ۱۹۵۴ اولین سلول خورشیدی در آزمایشگاه بل ساخته شد [٤]. در حال حاضر، از سلول‌های فتوولتاییک می‌توان برای احداث مزارع سلول‌های خورشیدی برای تامین برق در مقیاس بالا بهره جست. ایران نیز کشوری است که با داشتن ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دوسوم آن در سال و میانگین تابش ۵/۵–۴/۵ کیلوواتساعت بر مترمربع در روز، یکی از کشورهای با پتانسیل بالای خورشیدی به شمار می‌رود [۵]. در همین راستا، در استان یزد به عنوان یکی از استان‌های مستعد در این زمینه(با تابش $7787\frac{Mj}{m^2}$،[۲])در سال ۱۳۹۰ هجری شمسی با تاسیس یک نیروگاه فتوولتاییک در دانشگاه یزد، استفاده از سلول‌های فتوولتاییک در این استان کلید خورد. این نیروگاه با هدف توسعه کاربرد فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر و ایجاد پایگاه داده برای تحلیل فنی و اقتصادی نیروگاه‌های فتوولتاییک، تاسیس گردید. ظرفیت کل نیروگاه مذکور، ۲۰ کیلووات است که تمامی این ظرفیت به صورت متصل به شبکه اجرا شده است. نوع ماژول‌ها، پلی‌کریستال به ظرفیت ۲۴۰ وات و نوع اینورتر، یک عدد ۳ فاز به ظرفیت ۲۲کیلووات می‌باشد. برای محقق شدن اهداف اجرای این پروژه، در این مقاله با استفاده از دو نرم‌افزار PVsyst و Sunnydesign، نیروگاه شبیه‌سازی گردیده است و میزان تولید واقعی نیروگاه با نتایج شبیه‌سازی با هم مقایسه شده‌اند.

مقالات مختلفی در این زمینه نگارش شده است از جمله در [۱] به مطالعه فنی امکان سنجی احداث نیروگاه فتوولتاییک متصل به شبکه با ظرفیت ۱۰۰ کیلووات در تهران پرداخته است ویا در [۶] میزان تاثیر هر یک از آلودگی ها بر روی راندمان یک سلول آزمایش شده است، اما ویژگی بارز این مقاله نسبت به موارد مشابه آن است که اعتبار داده‌های نظری به کمک داده های تجربی به دست آمده از دستگاه‌های اندازه گیر سنجیده شده و میزان خطا محاسبه شده است .

شبیه سازی

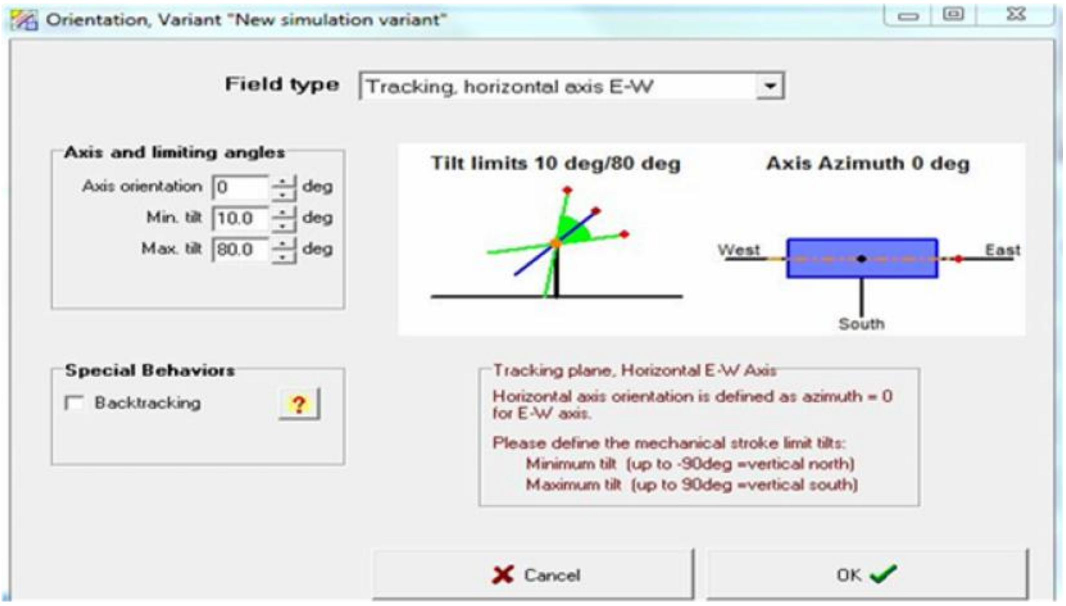
با اجرای نرم افزار pvsyst،اطلاعات آب و هوایی و تابش محل نیروگاه به وسیله یک فایل به برنامه وارد شد . پس از

شبیه‌سازی کامل نیروگاه در نتایج حاصل، مقدار انرژی تولیدی برای مدت کارکرد(۱۴ماه) این نیروگاه، حدود ۴۴/۸۵MWh گزارش شد. این در حالی است که دستگاه‌های اندازه‌گیر در محل نیروگاه، توان تولید شده در این مدت را ۴۴/۲۰۰MWh گزارش می‌دهند.درصد خطای این نرم‌افزار با داده‌های تجربی برابر است با:

$$\frac{۴۴.۸۵-۴۴.۲۰۰}{۴۴.۲۰۰}=۱.۴۷\% \tag{۱}$$

مشاهده می‌شود که خطا بسیار کم است و از این نرم‌افزار می‌توان با اطمینان برای مدل‌سازی‌ها استفاده کرد. از طرف دیگر، این مشاهده، تاییدی بر کارکرد بهینه نیروگاه دانشگاه یزد است.

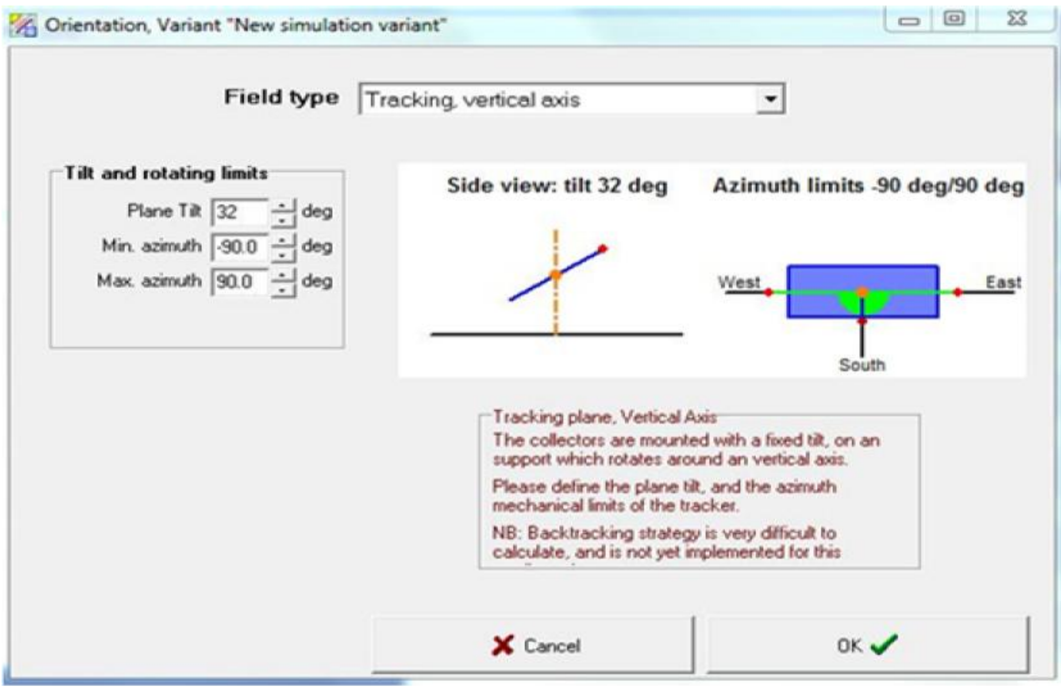
حال این سئوال مطرح می‌گردد که آیا می‌توان در این نیروگاه راندمان و میزان تولید برق را افزایش داد؟ این نرم‌افزار قابلیت شبیه‌سازی سیستم‌های فتوولتاییک در حالت ردیاب را نیز دارد. پس از شبیه‌سازی نیروگاه با ردیاب یک محوره افقی در جهت شرقی- غربی، ۳۹۰۲۰ KWh (شکل۱ و جدول۱) و با ردیاب یک محوره عمودی، ۴۷۰۸۵ KWh (شکل ۲ و جدول ۲) و با ردیاب دو محوره ۵۱۲۲۶KWh(شکل۳ و جدول ۳)، انرژی در یک سال حاصل می‌گردد که نسبت به حالت ثابت بودن پنل‌ها در یک زاویه خاص، افزایش توان قابل توجهی حاصل می‌شود.



شکل۱) صفحه انتخاب ردیاب تک محوره افقی در جهت شرقی- غربی

جدول۱) نتایج شبیه سازی ردیاب تک محوره افقی در جهت شرقی- غربی

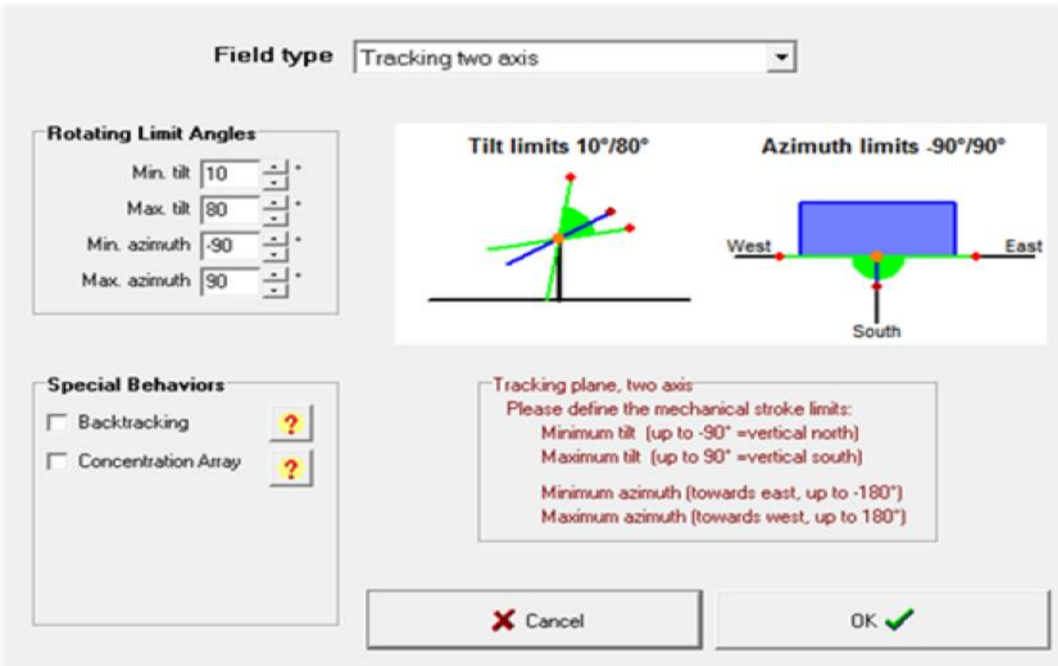
	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	107.2	5.10	167.0	163.7	3097	3014	13.38	13.02
February	131.5	8.00	176.7	172.7	3220	3136	13.14	12.80
March	169.9	13.50	192.6	187.8	3432	3343	12.86	12.52
April	189.9	19.50	195.5	190.0	3375	3286	12.45	12.12
May	225.1	25.40	222.7	216.7	3710	3614	12.02	11.71
June	238.2	30.80	232.4	226.4	3710	3615	11.52	11.22
July	239.6	32.40	234.6	228.4	3737	3642	11.49	11.20
August	224.1	30.40	227.0	220.7	3661	3566	11.64	11.33
September	190.6	26.10	209.0	203.6	3472	3381	11.99	11.67
October	151.0	19.50	191.0	186.5	3318	3232	12.53	12.21
November	109.3	12.10	158.3	154.9	2820	2747	12.85	12.52
December	88.5	6.80	136.1	133.2	2511	2445	13.32	12.97
Year	2064.9	19.19	2343.1	2284.7	40064	39020	12.34	12.02



شکل۲) صفحه انتخاب ردیاب یک محوره‌ی عمودی

جدول۲) نتایج شبیه سازی با ردیاب یک محوره‌ی عمودی

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	%	%
January	107.2	5.10	173.7	170.6	3238	3151	13.45	13.09
February	131.5	8.00	200.5	197.2	3675	3578	13.23	12.88
March	169.9	13.50	231.5	227.8	4151	4041	12.94	12.60
April	189.9	19.50	244.4	240.5	4256	4145	12.56	12.23
May	225.1	25.40	285.1	280.8	4795	4670	12.14	11.82
June	238.2	30.80	297.2	293.0	4770	4645	11.58	11.28
July	239.6	32.40	302.1	297.7	4843	4717	11.57	11.27
August	224.1	30.40	292.4	288.2	4753	4630	11.73	11.42
September	190.6	26.10	262.5	258.8	4393	4277	12.08	11.76
October	151.0	19.50	220.8	217.2	3855	3754	12.60	12.27
November	109.3	12.10	170.4	167.3	3047	2968	12.91	12.57
December	88.5	6.80	139.0	136.3	2577	2509	13.37	13.02
Year	2064.9	19.19	2819.5	2775.4	48355	47085	12.37	12.05



شکل۳) صفحه انتخاب ردیاب دو محوره

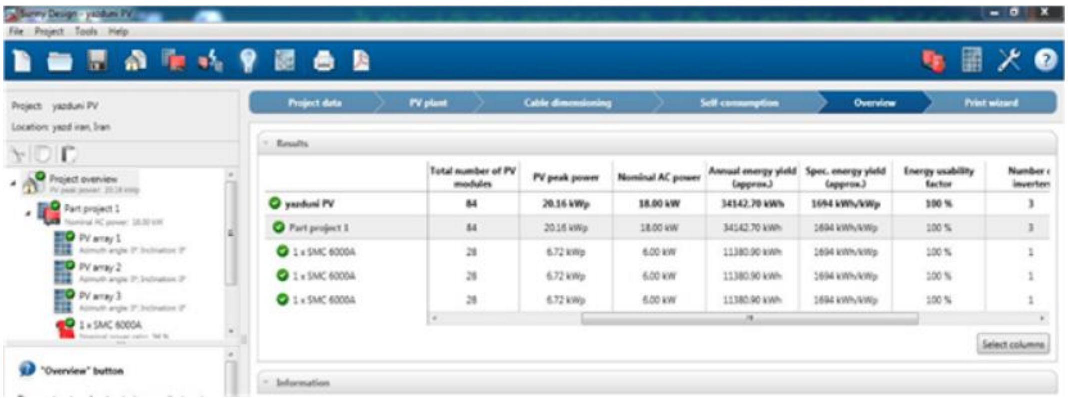
جدول۳) نتایج شبیه سازی با ردیاب دو محوره

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	%	%
January	107.2	5.10	197.5	195.3	3663	3562	13.38	13.01
February	131.5	8.00	223.0	220.5	4087	3978	13.22	12.87
March	169.9	13.50	247.5	244.5	4442	4323	12.95	12.60
April	189.9	19.50	261.2	257.8	4552	4431	12.57	12.24
May	225.1	25.40	307.4	304.0	5172	5035	12.14	11.82
June	238.2	30.80	319.8	316.4	5116	4981	11.54	11.24
July	239.6	32.40	325.6	322.1	5210	5072	11.54	11.24
August	224.1	30.40	315.8	312.4	5131	4996	11.72	11.41
September	190.6	26.10	283.6	280.7	4747	4620	12.07	11.75
October	151.0	19.50	241.5	238.7	4217	4105	12.60	12.26
November	109.3	12.10	190.8	188.5	3407	3316	12.88	12.54
December	88.5	6.80	156.2	154.2	2885	2808	13.33	12.97
Year	2064.9	19.19	3070.0	3035.2	52628	51226	12.37	12.04

در شبیه‌سازی دیگری که از این نیروگاه در نرم‌افزار Sunny design انجام گردید، مقدار ۳۴۱۴۲KWh برای تولید سالانه مشاهده گردید که میزان انحراف آن از حالت قابل قبول نرم‌افزار PVsyst برابر است با:

$$\frac{۳۶۵۳۹-۳۴۱۴۲}{۳۴۱۴۲}=۶.۵\%$$ (۲)

علیرغم سادگی نرم‌افزار Sunny design، از این نرم‌افزار فقط برای شبیه سازی نیروگاه‌هایی می توان استفاده کردکه اینورتر آنها ساخت شرکتSMA باشد. بعلاوه، امکانات محدودتری نسبت به نرم‌افزار PVsyst دارد.



شکل ٤) نتیجه شبیه سازی در**sunny design**

تاثیر تمیزی سطح سلولها بر افزایش راندمان

نکته دیگری که شایان ذکر است و تاثیر زیادی در افزایش راندمان سلولها دارد، میزان تمیزی سطح پانل‌ها است.در یک روز آفتابی با طراحی یک آزمایش بر روی پنل‌های نیروگاه فتوولتاییک دانشگاه یزد به اهمیت تمیز بودن سلول‌های فتوولتاییک از گرد و غبار می‌توان پی برد. ظرفیت اسمی این نیروگاه ۲۰ کیلووات می‌باشد و دارای ۳ لاین (Line) است که هر لاین دارای ۲۸ پانل می‌باشد. توان تولیدی لحظه‌ای نیروگاه در یک روز آفتابی تابستان از هر لاین به صورت زیر می‌باشد:

L_1=4.89Kw ,L_2=4.71Kw , L_3=4.71Kw

توان تولیدی لاین‌های ۲ و ۳ تقریبا یکسان است. سطح همه‌ی پانل‌ها را گرد و غبار پوشانده است. برای مشاهده میزان تاثیر تمیزی پانل‌ها، پانل‌های لاین ۲ تمیز گردید. بعد از تمیز شدن، توان تولیدی لحظه‌ای به صورت زیر مشاهده گردید:

L_1=4.87Kw ,L_2=5.47Kw , L_3=4.71Kw

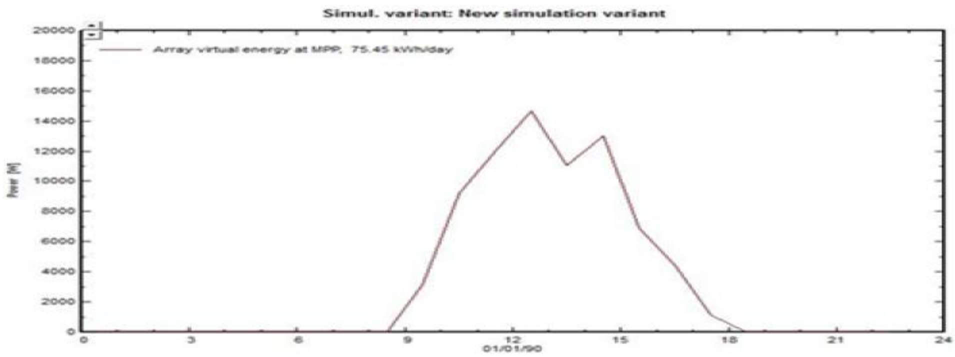
چون عملا L_2 و L_3 در شرایط یکسان، توان تولیدی یکسانی دارند، درصد تاثیر تمیز بودن سطح پانل‌ها به صورت زیر است:

$$\text{درصد تاثیر} = \frac{L_2 - L_3}{L_3} \times 100 = \frac{5.47 - 4.71}{4.71} \times 100 = 16.13\% \qquad (۳)$$

یعنی با تمیز کردن هر لاین تقریبا ۸۰۰ وات بر توان تولیدی افزوده می‌شود.پس به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت با سلول‌های تمیز می‌توان توان نیروگاه را ۱۶ درصد افزایش داد که البته مقدار قابل توجهی خواهد بود. لازم به ذکر است که نوع ذرات (خاک قرمز ،آهک ،دوده و ...) هر کدام تاثیرات متفاوتی را بر میزان افت انرژی تولیدی سلولها می گذارند.[۵]

در زیر به چند مورد از نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار PVsyst پرداخته می‌شود:

نمودار (۱) توان تزریق شده به شبکه در ساعات مختلف روز (Energy injected into grid) را نشان می‌دهد.



نمودار۱) توان تولیدی ساعتی در یک روز خاص

حداکثر توانی که تولید می‌شود، طی یک بررسی سالانه، حدود ۱۸KW و در ساعت ۱۲ تا ۱۴ هر روز اتفاق می‌افتد. این مطلب از روی شکل (۸) نیز قابل استناد است . نمودار موجود در این شکل مربوط به یک روز خاص است و با نمودار گرفته شده از نرم افزار همخوانی دارد .

همچنین انرژی تزریق شده به شبکه، برای ماه‌های مختلف، طبق جدول (۴) ارائه می‌شود.

New simulation variant
Energy use and User's needs

	E_Grid
	kWh
January	2844
February	3081
March	3329
April	3106
May	3205
June	3003
July	3148
August	3299
September	3287
October	3167
November	2715
December	2356
Year	36539

جدول٤) انرژی تزریق شده به شبکه، برای ماه‌های مختلف

از جدول شماره (۵) نتایج زیر قابل حصول است:

- راندمان سیستم، بین ۱۰/۳ تا ۱۲/۶ درصد تغییر می‌کند.
- بیشترین راندمان در ماه‌های دسامبر و ژانویه که به ترتیب مصادف با ماه‌های دی و بهمن می‌شوند، اتفاق می‌افتد.
- بیشترین راندمان در ماه‌هایی که هوا سردتر است، اتفاق می‌افتد.

New simulation variant
Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m2	oC	kWh/m2	kWh/m2	kWh	kWh	%	%
January	107.2	5.10	162.3	158.3	2928	2844	13.01	12.64
February	131.5	8.00	181.0	176.4	3174	3081	12.65	12.28
March	169.9	13.50	198.9	193.7	3428	3329	12.44	12.08
April	189.5	19.50	191.5	185.8	3199	3106	12.05	11.70
May	225.1	25.40	205.5	198.9	3298	3205	11.58	11.25
June	238.2	30.80	206.3	199.4	3090	3003	10.81	10.50
July	239.6	32.40	212.4	205.8	3240	3148	11.00	10.69
August	224.1	30.40	217.1	210.8	3398	3299	11.29	10.96
September	190.6	26.10	212.4	206.6	3387	3287	11.50	11.16
October	151.0	19.50	194.2	189.4	3261	3167	12.12	11.77
November	109.3	12.10	160.1	156.1	2794	2715	12.59	12.23
December	88.5	6.80	135.0	131.5	2424	2356	12.96	12.59
Year	2064.6	19.19	2276.8	2212.7	37622	36539	11.92	11.58

جدول۵) نتایج شبیه سازی ماهانه

صحت این نتایج از روی عکسهایی که از سیستم مانیتورینگ دستگاه در محل نیروگاه گرفته شده قابل استناد است :

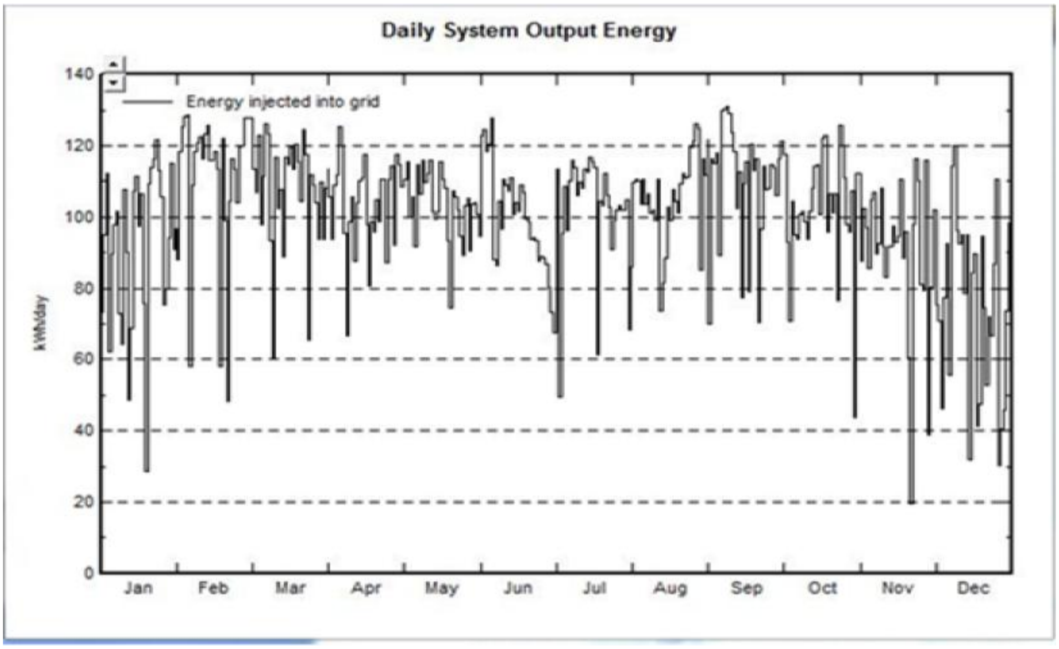
شکل۵) نمای کلی نیروگاه دانشگاه یزد

شکل٦) اینورتروسیستم مانیتورینگ نیروگاه دانشگاه یزد

شکل۷) نمودار سالانه تزریق توان به شبکه از محل نیروگاه دانشگاه یزد

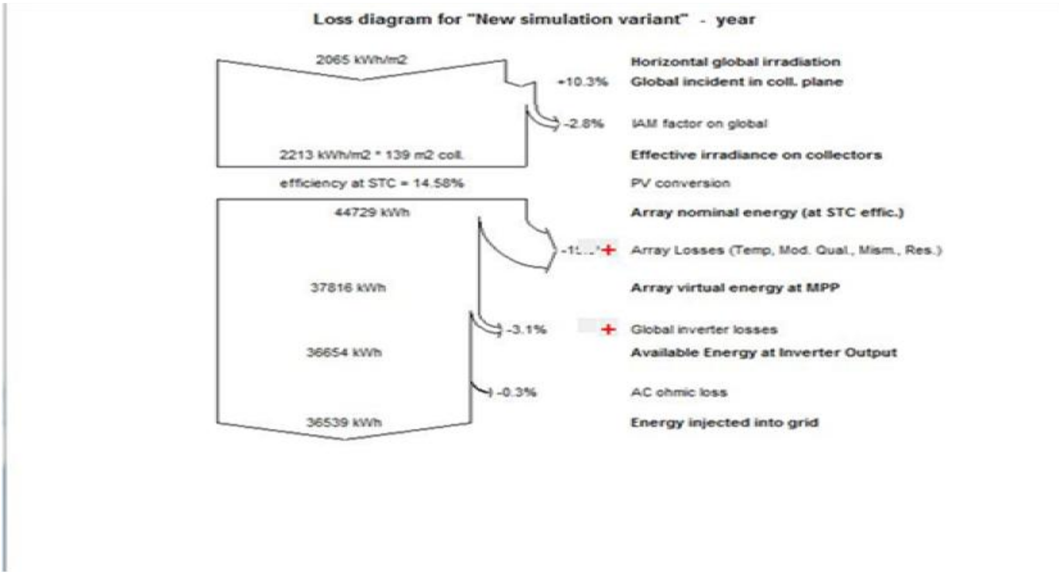
شکل۸) نمودار روزانه تزریق توان به شبکه در یک روز خاص

طبق نمودار (۲)، کمترین نوسان انرژی خروجی در ماه‌های تیر و مرداد و شهریور اتفاق می‌افتد.

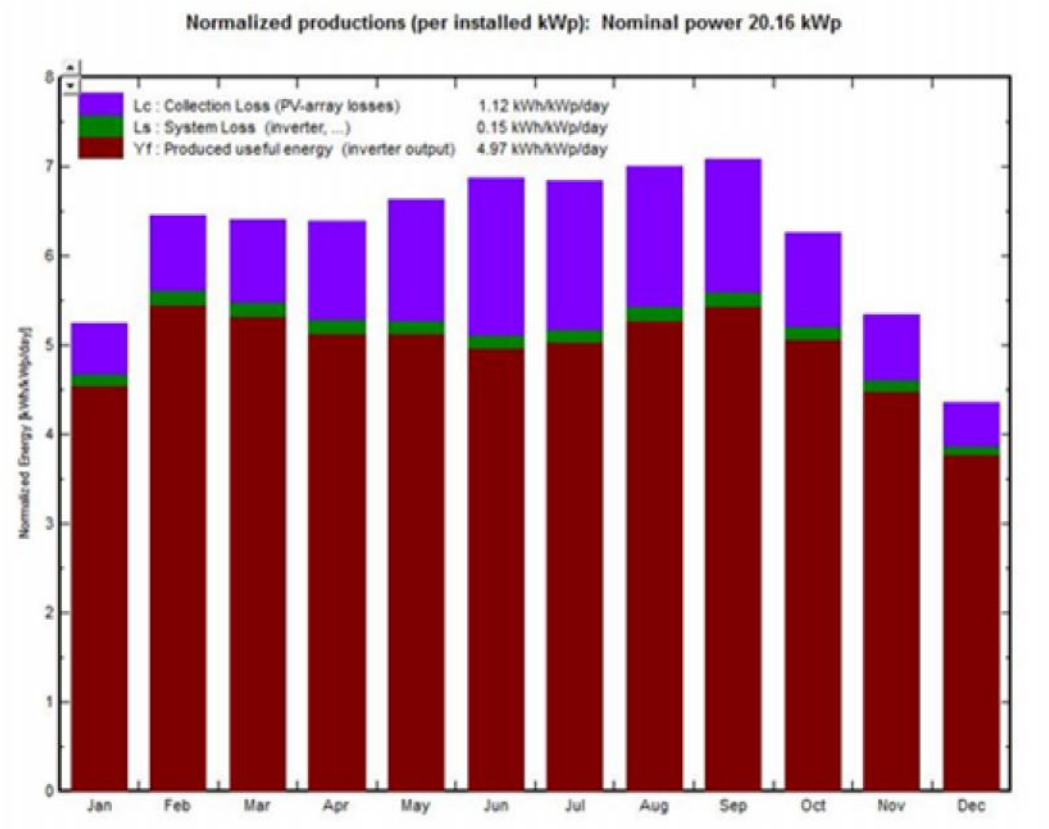


نمودار ۲) پراکندگی تولید انرژی در ماههای مختلف

مقداری از توان که توسط آرایه‌ها و اینورتر تلف می‌شود، در شکل (۵) ونمودار (۶) قابـل مـشاهده اسـت. طبـق ایـن اشکال، توانی که توسط آرایه‌ها تلف می‌شود بیشتر از توانی است که توسط اینورتر و ... تلف می‌شود.



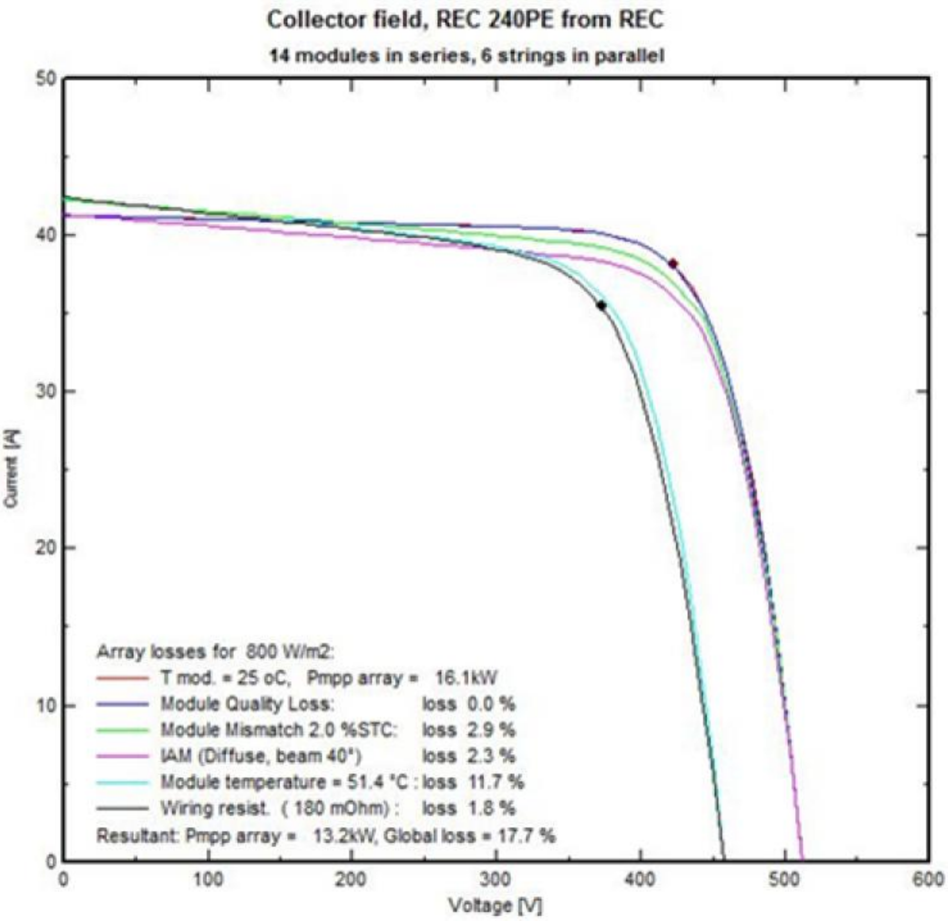
شکل۹) دیاگرام توان تلف شده



نمودار ۳) توان تلف شده در ماههای مختلف

در نمودار (۳) افت اینورترتقریبا در ماههای مختلف یکسان است اما افت آرایه ها در ماههای خرداد، تیر، مرداد و شهریور به علت گرمی هوا بیشترین مقدار است .

همچنین طبق نمودار (۴) می‌توان انحراف از حالت استاندارد را برای زمانی که دما، مقاومت الکتریکی، کیفیت سطح، جابجایی، افت خاک را در نظر بگیریم، مشاهده کرد. این نمودار بیشترین افت را بر اثر ورود به دماهای بالا نشان می‌دهد .



نمودار٤) میزان انحراف از حالت استاندارد با در نظر گرفتن عوامل موثر

نتیجه‌گیری

در این مقاله با مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی عملکرد نیروگاه به کمک نرم افزار Pvsyst و در نظر گرفتن داده‌های تجربی مشاهده می‌شود که خطا بسیار کم است و از این نرم‌افزار می‌توان با اطمینان برای مدل‌سازی‌ها استفاده کرد. از طرف دیگر، این مشاهده، تاییدی بر کارکرد بهینه نیروگاه دانشگاه یزد است. همچنین از نتایج دیگر نرم افزار می‌توان به اهمیت نصب ردیاب بر روی پنل‌ها پی برد به طوری که با نصب ردیاب دو محوره توان نیروگاه حدود ۳۸ درصد افزایش خواهد یافت .

در مناطقی که در معرض آلودگی بیشتری قرار دارند(مانند مناطق کویری) تمیز نگه داشتن سطح سلولها افزایش تـوان قابل ملاحظه ای را سبب خواهد شد. برای همین منظور پیشنهاد می‌شود که در این مناطق از سلول‌هایی که از شیشه‌هـای Self-cleaning ساخته شده باشند، استفاده شود تا راندمان سلولها به خاطر کثیف شدن سطح کاهش نیابد .

به طور کلی، در بحث پدافند غیرعامل استفاده از این سلولها می تواند ضامن وجود بـرق در مواقـع اضـطراری شـود ، زیـرا دشمن هر چیزی را که بتواند تحریم کند ، تابش آفتاب را نمی تواند تحریم کند.

منابع

[۱] شمس محمد حسین، کیا محسن، مهدوی بهداد، ۱۳۹۲،مطالعات طراحی بهینه یک نیروگاه فتوولتاییک ۱۰۰ کیلوواتی متصل به شبکه در تهران با استفاده از نرم افزار pvsyst ،نشریه انرژی ایران ،دوره ۱۶،شماره ۲.

[۲] معینی سام،جوادی شهرام،دهقان منشادی محسن و اسماعیلی رضا،۱۳۸۹،برآورد پتانسیل خورشیدی در شهر یزد، نـشریه انـرژی ایران،دوره۱۳،شماره ۱.

[3] A.E. Becquerel, Comt. Rend. Acad. Sci. 9, 561, 1839.

[4] D.M. Chapin, C.S. Fuller, G.L. Pearson, J. Appl. Phys. 25, 676, 1954.

[5] http://www.suna.org.ir/fa/sun/potential

[6] Kaldellis, J. K., Fragos, P., &Kapsali, M. (2011).*Systematic experimental study of the pollution deposition impact on the energy yield of photovoltaic installations*.*Renewable Energy*, *36*(10), 2717-2724.