آنالیز فنی و اقتصادی سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه با استفاده از نرم‌افزار PVsyst و مطالعه موردی بر روی یک نمونه ۵ کیلوواتی منصوبه

مهدی جمالی/ گروه مهندسی برق /دانشگاه آزاد اسلامی واحد پردیس/ mjamalieng@iran.ir
علی توفیقی/ گروه مهندسی برق / دانشگاه آزاد اسلامی واحد پردیس/ Tofighi@pardisiau.ac.ir

چکیده

سیســتم‌های خورشیدی که تاکنون در ایران ساخته شــده است به‌طور معمول راندمان مورد انتظار را برآورده نمی‌کند. نداشتن بهره‌وری مناســب در نیروگاه‌های خورشــیدی بیشتر به‌دلیل طراحی نامناسب و اســتفاده نکردن از نرم‌افزارهای موجود در این حوزه است. در این پژوهش یک سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه با ظرفیت ۵ کیلووات واقع در شرکت توزیع نیروی برق تهران (منطقه برق تهرانپارس) از نظر فنی و اقتصادی مورد بررســی قرار گرفته و پارامترهای تأثیرگذار بر میزان تولید نیروگاه مطالعه و راهکارهای عملی جهت افزایش راندمان نیروگاه ارایه شــده اســت. جهت شبیه‌سازی، طراحی و آنالیز فنی نیروگاه از نرم‌فزار PVsyst استفاده شده است. اطلاعات سایت خورشیدی منصوبه نیز از سیستم مانیتورینگ نیروگاه استخراج شده و با نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها مقایسه شده و مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: انرژی خورشیدی، فتوولتاییک، بررسی فنی اقتصادی، PVsyst

Technical and Economic Analysis of grid-connected PVsystem Using the Software and a Case Study on a Sample of 5KW Installed

Mahdi Jamali/ Department of Electrical Engineering, Islamic Azad University, Pardis Branch/ mjamalieng@iran.ir
Ali Tofighi/ Department of Electrical Engineering, Islamic Azad University, Pardis Branch/ Tofighi@pardisiau.ac.ir

Abstract

Solar systems that have been built so far in Iran usually do not meet the expected efficiency. Lack of proper efficiency of solar power plants is mainly due to poor design and non-use of softwares available in this field. In this research, a 5KW grid-connected photovoltaic system located in Tehran Power Distribution Company (TehranPars Electricity Distribution Company) has been investigated technically and economically and has been influenced by factors affecting the amount of power plant production and practical solutions for increasing the plant's efficiency. To simulation, design and technical analysis of PV power plant PVsyst software is used.

Keywords: Photovoltaic, Solar energy, PVsyst, Economic and technical study

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]

۱-مقدمه

کاهش قیمت جهانی تجهیزات نیروگاه خورشیدی به‌خصوص پنل خورشیدی، حمایت‌های تشویقی دولت در قالب خرید تضمینی برق از نیروگاه‌های خورشیدی با قیمت‌های بسیار جذاب و پتانسیل قابل ملاحظه انرژی خورشیدی در بیشتر مناطق ایران، بستر لازم را برای توسعه نیروگاه‌های خورشیدی در سطح کشور فراهم نموده است. اقبال کشورهای اروپایی از این صنعت علیرغم پتانسیل کم آن‌ها از نظر شدت تابش خورشیدی و تعداد روز آفتابی در مقایسه با ایران، موضوع قابل تأملی است[۱].

حکمت و کلانتر [۲] به بررسی فنی و اقتصادی استفاده از برق فتوولتاییک در شهر بافق با استفاده از نرم‌افزار RETScreen پرداخته‌اند. این پروژه با عمر ۲۵ سال دارای قابلیت سوددهی مالی ۱۸/۸ درصد می‌باشد و با توجه به عمر پروژه در شهر بافق kWh/m^2 ۵/۳۴ در سال این پروژه مقرون به صرفه بوده به طوری که بعد از ۹/۵ سال هزینه کل پروژه بر می‌گردد.

رحمانی‌فر [۳] به بررسی فنی و اقتصادی استفاده از برق فتوولتاییک در صنایع نفتی با استفاده از نرم افزار RETScreen پرداخته و انتشار آلاینده‌های آن را نیز مورد بررسی قرار داده است.

فقیه خراسانی و ایروانی [۴] به تجزیه و تحلیل یک نیروگاه فتوولتاییک در دانشگاه یزد از دو دیدگاه دولت و دانشگاه پرداخته‌اند. از نتایج این پروژه می‌توان به کاهش انتشار گاز کربن دی اکسید به میزان ۸/۱۸ تن در سال و دوره بازگشت ۹/۴ سال از دیدگاه دولت و ۱۶/۶ سال از دیدگاه دانشگاه اشاره نمود.

لانگ و همکارانش [۵] یک تحلیل فنی، اقتصادی از یک سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه که بر روی سقف یکی از صنایع در ایالت Goias کشور برزیل نصب شده، ارایه می‌دهد. در این تحقیق شاخص‌های امکان‌سنجی اقتصادی در طول عمر مفید پروژه به‌منظور آگاهی بخشی به سرمایه‌گذاران این حوزه محاسبه و ارایه شده است.

رودریگس و همکارانش [۶] یک آنالیز فنی- اقتصادی جهت بررسی پتانسیل خودتأمینی برای ۴ ساختمان مختلف (مسکونی، تجاری و هر کدام در دو ابعاد بزرگ و کوچک) در کشورهای آلمان، سوئیس و اتریش انجام داده‌اند. نشان داده شده است که حتی در غیاب قوانین حمایتی استفاده از نیروگاه‌های سقفی PV برای بسیاری از ساختمان‌ها در اروپای مرکزی می‌تواند جذاب و مقرون به صرفه باشد.

هدف این تحقیق بررسی فنی و اقتصادی یک سیستم خورشیدی متصل به شبکه و بررسی پارامترهای تأثیرگذار بر میزان تولید نیروگاه و ارایه راهکارهای عملی جهت افزایش راندمان نیروگاه و مقایسه آن با مقادیر واقعی بدست آمده از یک سیستم خورشیدی منصوبه است.

در این تحقیق ابتدا با استفاده از نرم‌افزار PVsyst یک نیروگاه خورشیدی با مشخصات سایت منصوبه در ساختمان شرکت توزیع نیروی برق تهران (امور برق تهرانپارس) شبیه‌سازی شده است. در بخش بعدی نیروگاه خورشیدی مورد نظر از منظر اقتصادی و با توجه به شرایط و قوانین جاری در سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی و همچنین مفاد قرارداد خرید تضمینی برق مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان نیز نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیروگاه با نتایج واقعی بدست آمده از سیستم مانیتورینگ نصب شده در سایت مقایسه شده و دلایل وجود اختلاف بین آن‌ها به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۲- انرژی خورشیدی موجود

انرژی خورشیدی، تلفیقی از قدرت تابش خورشید و تعداد ساعات قابل دریافت آن در محل مورد نظر می‌باشد. اندازه این پارامتر متغیر بوده و به موقعیت مکانی، محل و زمان مورد نظر بستگی دارد. این پارامتر مرکب که ساعت‌های تابش نور خورشید و شدت آن را شامل می‌شود، آفتابگیری یا شدت تابش خورشید نامیده شده و بر حسب وات بر متر مربع (w/m^2) بیان می‌شود. واحد معمول‌تر و عملی‌تری به‌صورت کیلووات ساعت بر مترمربع در روز ($day/kWh/m^2$) نیز مورد استفاده واقع می‌شود.

اطلاعات جامع و کاملی از میزان شدت تابش نور خورشید در نواحی مختلف جهان را می‌توان از مرجع [۷] دریافت نمود. جدول(۱) اطلاعات شدت تابش نور خورشید برای شهر تهران را نشان می‌دهد. این ارقام نشان می‌دهند که به‌طور میانگین و در روزهای مختلف هر ماه، حدوداً به چند ساعت از تابش وسط روز خورشید دسترسی داریم.

نرم‌افزارهای بسیاری به منظور ارزیابی و تحلیل سیستم‌های خورشیدی عرضه شده‌اند. هر یک از این نرم‌افزارها نقاط ضعف و قوتی دارند که باعث می‌شود تا جهت تحلیل سیستم‌های خورشیدی از جنبه‌های مختلف، ناچار به استفاده از نرم‌افزارهای گوناگون باشیم. در این مقاله جهت انجام آنالیز سایه‌اندازی نیروگاه خورشیدی از نرم افزارهای Google SketchUp استفاده شده است.

۳- شبیه‌سازی نیروگاه

به‌منظور طراحی، شبیه‌سازی و آنالیز پارامترهای نیروگاه خورشیدی از نرم افزار PVsyst نسخه ۶/۴۳ استفاده شده است.

درآمد یک نیروگاه خورشیدی، حاصل از فروش برق به شبکه و در قالب قرارداد خرید تضمینی است. طبق قرارداد خرید تضمینی، قیمت هر کیلووات ساعت برق در ابتدای هر سال توسط ساتبا تعیین می‌گردد. نرخ‌ها به نحوی تنظیم شده‌اند که با افزایش ظرفیت نیروگاه، مقدار آن کاهش می‌یابد. تعرفه‌های خرید تضمینی در سال ۹۶ در مرجع [۸] قابل مشاهده می‌باشد.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PVsyst مطابق با متن قرارداد خرید تضمینی، نرخ خرید تضمینی در ۱۰ سال دوم در عدد ۰/۷ ضرب می‌شود.

جدول ۱: نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیروگاه با نرم‌افزار PVsyst

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh
January	81.3	2.35	123.4	116.4	589.6	561.8
February	97.7	5.52	132.9	125.7	619.6	589.4
March	141.3	11.31	169.6	160.1	769.7	732.7
April	173.2	15.91	183.5	172.8	805.4	765.7
May	208.2	21.54	201.1	189.1	861.1	818.3
June	222.8	26.59	204.3	191.8	853.9	811.6
July	221.3	29.51	208.4	195.9	860.0	818.0
August	208.7	28.99	214.2	201.8	879.3	837.2
September	173.3	24.32	200.4	189.1	843.1	803.1
October	130.6	18.56	174.0	164.7	756.6	720.1
November	91.8	9.94	137.0	129.5	629.5	599.6
December	74.5	4.34	117.9	111.5	560.1	532.8
Year	1824.7	16.64	2066.8	1948.3	9027.9	8590.3

پارامترهای جدول فوق به ترتیب عبارتنداز:

Months: ماه‌های سال

GlobHor: تابش افقی ماهیانه

T Amb: دمای هوا (°C)

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]

جدول ۲: مقدار تولید در ساعات روز برای ماه‌های مختلف سال در نقطه مورد نظر

	0H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	11H	12H	13H	14H	15H	16H	17H	18H	19H	20H	21H	22H	23H
January	0	0	0	0	0	0	0	0	1.04	1.88	2.42	2.7	2.77	2.8	2.35	1.66	0.55	0	0	0	0	0	0	0
February	0	0	0	0	0	0	0	0.37	1.4	2.18	2.8	2.99	2.98	3.01	2.51	1.91	0.97	0.01	0	0	0	0	0	0
March	0	0	0	0	0	0	0.02	0.8	1.74	2.55	3.11	3.26	3.16	2.97	2.63	2.02	1.2	0.26	0	0	0	0	0	0
April	0	0	0	0	0	0	0.31	1.17	2.03	2.69	3.1	3.1	3.33	3.21	2.8	2.14	1.33	0.42	0	0	0	0	0	0
May	0	0	0	0	0	0.04	0.52	1.44	2.29	2.89	3.33	3.28	3.18	3.05	2.64	1.98	1.31	0.49	0.05	0	0	0	0	0
June	0	0	0	0	0	0.07	0.48	1.45	2.27	2.89	3.24	3.28	3.28	3.11	2.72	2.21	1.47	0.57	0.09	0	0	0	0	0
July	0	0	0	0	0	0.04	0.4	1.21	2.04	2.73	3.14	3.2	3.29	3.16	2.81	2.22	1.52	0.62	0.09	0	0	0	0	0
August	0	0	0	0	0	0	0.36	1.24	2.15	2.83	3.25	3.42	3.45	3.26	2.83	2.25	1.48	0.56	0.03	0	0	0	0	0
September	0	0	0	0	0	0	0.3	1.34	2.29	3.03	3.47	3.51	3.39	3.17	2.77	2.15	1.24	0.23	0	0	0	0	0	0
October	0	0	0	0	0	0	0.01	1.01	2.05	2.73	3.19	3.31	3.25	2.93	2.45	1.66	0.71	0	0	0	0	0	0	0
November	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1.8	2.48	2.82	2.89	2.91	2.64	2.2	1.33	0.19	0	0	0	0	0	0	0
December	0	0	0	0	0	0	0	0.04	1.12	2.05	2.52	2.61	2.64	2.75	2.21	1.28	0.03	0	0	0	0	0	0	0
Year	0	0	0	0	0	0.01	0.2	0.91	1.85	2.58	3.03	3.13	3.14	3	2.58	1.9	1	0.27	0.02	0	0	0	0	0

GlobInc: میزان تابش ماهیانه بر سطح شیبدار

GlobEff: تابش مؤثر

EArray: انرژی مؤثر در خروجی آرایه

E_Grid: انرژی تزریق شده به شبکه

همچنین مقادیر تولید نیروگاه در ضرایبی با عنوان ضرایب مدیریت شبکه ضرب می‌شود. این ضرایب در طول ساعات مختلف شبانه روز و در طی روزهای مختلف سال متغیر بوده و مقادیر آن از سایت مدیریت شبکه قابل دسترسی است[۹]. با توجه به نتایج حاصل از نرم‌افزار PVsyst مقدار تولید انرژی نیروگاه ۵ کیلوواتی در نقطه مورد نظر بدست آمده که مقادیر آن به تفکیک ماه‌های مختلف سال در جدول(۲) درج شده است.

با توجه به اینکه نرم‌افزار قابلیت تفکیک تولید را به‌صورت روزانه ندارد، بنابراین مقدار تولید در روزهای مختلف یک ماه را مشابه و برابر در نظر می‌گیریم. مقدار تولید در ماه‌های سال به صورت ساعتی به صورت جدول (۲) است.

با مراجعه به وب سایت مدیریت شبکه [۹] و اخذ ضرایب مربوط به تولید در ساعات مختلف یک روز و ضرب آن در عدد تولید، مقدار تولید تعدیل شده بدست می‌آید. ضرایب مدیریت شبکه برای روز اول تیرماه سال ۹۶ در جدول (۳) درج شده است.

جدول ۳: ضرایب تولید در ساعات مختلف روز اول تیرماه سال ۱۳۹۶

Date	Hour	CPF	Date	Hour	CPF
۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۱	۱.۳۸۵۸۴۰	۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۱۳	۱.۸۸۳۵۴۴
۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۲	۱.۲۲۷۰۵۲	۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۱۴	۲.۰۲۶۲۱۰
۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۳	۱.۰۹۴۹۳۴	۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۱۵	۲.۰۸۸۴۵۲
۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۴	۰.۹۸۵۸۳۹	۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۱۶	۲.۰۷۴۵۶۸
۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۵	۰.۸۹۵۹۵۹	۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۱۷	۱.۹۸۶۰۶۳
۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۶	۰.۸۵۴۴۷۳	۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۱۸	۱.۸۰۰۴۷۵
۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۷	۰.۸۵۸۲۹۸	۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۱۹	۱.۷۰۷۷۱۸
۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۸	۰.۹۰۱۲۷۹	۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۲۰	۱.۶۷۵۰۰۶
۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۹	۰.۹۹۶۹۸۱	۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۲۱	۱.۶۵۵۳۶۳
۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۱۰	۱.۱۷۸۶۴۲	۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۲۲	۱.۶۶۴۲۴۹
۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۱۱	۱.۴۲۲۲۹۱	۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۲۳	۱.۶۹۳۰۳۶
۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۱۲	۱.۶۶۳۳۶۵	۱۳۹۶/۰۴/۰۱	۲۴	۱.۵۸۸۸۵۰

با در نظر گرفتن نرخ خرید تضمینی معادل ۸۰۰۰ ریال به ازای هر کیلووات ساعت، مقدار درآمد نیروگاه به ازای هر ساعت از شبانه روز در این روز به خصوص بدست خواهد آمد. با محاسبه این مقادیر برای روزهای مختلف سال مقدار درآمد نیروگاه به تفکیک ماه‌های مختلف سال در جدول (۴) درج شده است. بنابراین درآمد سالیانه یک نیروگاه ۵کیلوواتی در سال با ۸۰,۸۵۶,۰۷۴ ریال می‌باشد.

جدول ۴ : درآمد نیروگاه در یک سال با احتساب ضرایب تولید

ماه	انرژی تزریق شده (kWh)	انرژی تعدیل شده (kWh)	نرخ خرید تضمینی (ریال)	صورتحساب (ریال)
فروردین	۷۶۵.۱۷	۴۲۸.۱۴	۸۰۰۰	۳,۴۲۵,۱۲۰
اردیبهشت	۸۰۴.۱۲	۸۲۸.۶۳	۸۰۰۰	۶,۶۲۹,۰۴۰
خرداد	۸۲۶.۶۸	۱,۲۸۶.۴۶	۸۰۰۰	۱۰,۲۹۱,۶۸۰
تیر	۸۱۸.۹۸	۱,۵۸۳.۵۶	۸۰۰۰	۱۲,۶۶۸,۴۸۰
مرداد	۸۲۵.۸۹	۱,۸۶۵.۲۷	۸۰۰۰	۱۴,۹۲۲,۱۶۰
شهریور	۸۲۶.۴۹	۱,۳۸۸.۷۳	۸۰۰۰	۱۱,۱۰۹,۸۴۰
مهر	۷۲۰.۳۴	۷۴۹.۹۶	۸۰۰۰	۵,۹۹۹,۶۸۰
آبان	۶۲۴.۶۹	۴۵۷.۴۵	۸۰۰۰	۳,۶۵۹,۶۰۰
آذر	۵۳۷.۲۱	۳۵۷.۷۲	۸۰۰۰	۲,۸۶۱,۷۶۰
دی	۵۳۰.۹	۳۵۴.۴۰	۸۰۰۰	۲,۸۳۵,۲۰۰
بهمن	۵۹۵.۲۱	۳۸۲.۷۱	۸۰۰۰	۳,۰۶۱,۶۸۰
اسفند	۶۵۷.۵	۴۲۳.۹۹	۸۰۰۰	۳,۳۹۱,۹۲۰

۴- هزینه‌های احداث نیروگاه خورشیدی ۵ کیلوواتی

به‌طور کلی هزینه‌های احداث نیروگاه خورشیدی به سه دسته تقسیم می‌شود: ۱- هزینه‌های پیش از احداث؛ ۲- هزینه‌های ساخت و راه‌اندازی؛ ۳- هزینه‌های تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری. هزینه‌های پیش از احداث هزینه‌هایی است که به‌طور کلی از لحظه‌ای که تصمیم به احداث نیروگاه گرفته می‌شود آغاز و تا مرحله پیش از ساخت نیروگاه ادامه دارد. جدول (۵) هزینه‌های واقعی تا مرحله قبل از احداث نیروگاه را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که اعداد مندرج در جدول مربوط به سال ۹۶ است.

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]

جدول ۵: هزینه‌های پیش از احداث

ردیف	سرفصل هزینه	واحد	تعداد	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (ریال)
۱	مطالعات امکان سنجی	مجموعه	۱	۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۵۰,۰۰۰,۰۰۰
۲	اخذ مجوزات	مجموعه	۱	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰
۳	طراحی و نظارت	مجموعه	۱	۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۵۰,۰۰۰,۰۰۰
	جمع کل				۱۱۰,۰۰۰,۰۰۰

هزینه‌های ساخت و راه اندازی شامل هزینه‌های مربوط به آماده‌سازی، خرید تجهیزات، حمل تجهیزات انبارداری و نگهداری از تجهیزات حین ساخت، هزینه‌های پرسنل نصب و راه‌اندازی شامل دستمزد، غذا، ایاب و ذهاب، هزینه‌های مصالح مورد نیاز و ... می‌باشد. جدول (۶) هزینه‌های ساخت و راه‌اندازی برای یک نیروگاه ۵ کیلوواتی را نشان می‌دهد. با توجه به وارداتی بودن بخش زیادی از تجهیزات، قیمت دلار در زمان نگارش این مقاله ۳۵۷۰۰ ریال است.

جدول ۶: هزینه‌های ساخت و راه‌اندازی

ردیف	نوع جنس یا خدمات	واحد	تعداد	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (ریال)
۱	پنل خورشیدی ۲۵۰ وات	عدد	۲۰	۷,۵۰۰,۰۰۰	۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰
۲	اینورتر خورشیدی ۵ کیلووات	دستگاه	۱	۸۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۰,۰۰۰,۰۰۰
۳	سازه و فونداسیون	کیلووات	۵	۷,۰۰۰,۰۰۰	۳۵,۰۰۰,۰۰۰
۴	کابلکشی AC و DC	متر	۵۰	۱۵۰,۰۰۰	۷,۵۰۰,۰۰۰
۵	تابلو AC و DC	مجموعه	۲	۷,۰۰۰,۰۰۰	۱۴,۰۰۰,۰۰۰
۶	حمل و نصب	کیلووات	۵	۲,۵۰۰,۰۰۰	۱۲,۵۰۰,۰۰۰
	جمع کل				۲۹۹,۰۰۰,۰۰۰

به‌طور کلی یک نیروگاه خورشیدی به‌دلیل عدم استفاده از قطعات متحرک و دوار هزینه‌های استهلاک و تعمیر و نگهداری بسیار پایینی دارد. هم‌چنین به دلیل عمر مفید بالای تجهیزات خورشیدی معمولا فارغ از تعمیرات خاصی می‌باشند. نظافت‌های مرتب و دوره‌ای علاوه بر اینکه عمر مفید تجهیزات را افزایش داده و مانع از بروز عیوب ناشی از آن می‌شود، مقدار راندمان نیروگاه را به شدت افزایش می‌دهد. توصیه می‌گردد هر ماه یک‌بار و در مناطق آلوده‌تر مانند مناطق غربی کشور و یا شهرهای بزرگ و صنعتی هر دوهفته یکبار شستشوی پنل‌ها صورت گیرد. در جدول (۷) هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری و بهره‌برداری از یک نیروگاه خورشیدی ۵ کیلوواتی به تفکیک درج شده است. با توجه به مقادیر بدست آمده، شاخصه‌های اقتصادی به صورت جدول (۱۰) تنظیم و محاسبه گردیده است.

با توجه به عدد بدست آمده برای بازگشت سرمایه و همچنین نرخ بازده داخلی ملاحظه می‌شود که این پروژه در مقایسه با سایر پروژه‌ها دارای جذابیت بیشتری جهت سرمایه‌گذاری است. ضمن اینکه پروژه به دلیل عقد قرارداد خرید تضمینی از ریسک فوق‌العاده پایینی برخوردار است.

جدول۷: هزینه‌های تعمیر و نگهداری یک نیروگاه خورشیدی ۵ کیلوواتی

ردیف	سرفصل هزینه	واحد	تعداد	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (ریال)
۱	نظافت دوره ای	دوره	۶	۵۰۰,۰۰۰	۳,۰۰۰,۰۰۰
۲	بازرسی دوره ای	دوره	۲	۵,۰۰۰,۰۰۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰
	جمع کل				۱۳,۰۰۰,۰۰۰

جدول ۸: شاخصه‌های اقتصادی احداث یک نیروگاه خورشیدی ۵ کیلوواتی

نرخ تورم	٪۹
نرخ تنزیل	٪۱۵
بازگشت سرمایه	۶/۰۲ سال
ارزش حال خالص	۴۸۳,۳۴۵,۵۳۷
نسبت منافع به مخارج	۲/۱۸
نرخ افزایش قیمت برق	٪۱۰
نرخ بازده داخلی	۲۷/۴۷

۵-بررسی سیستم منصوبه

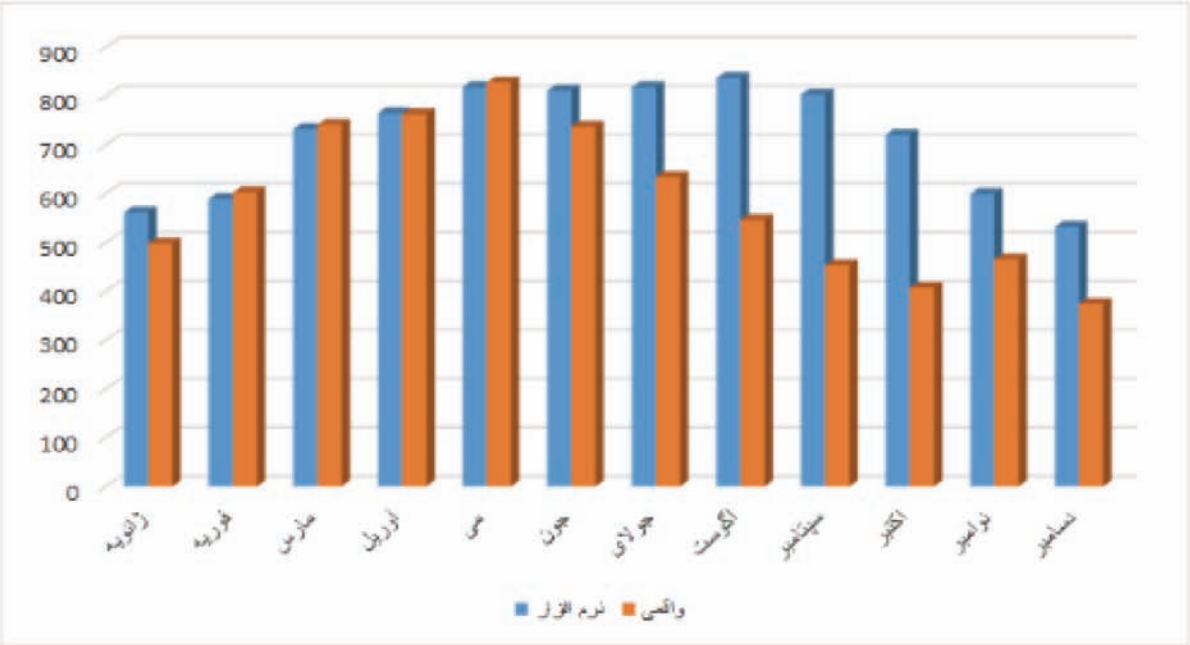
با مراجعه به نیروگاه منصوبه، مجموع تولید از زمان نصب تا لحظه اندازه‌گیری بر روی صفحه اینورتر نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل (۱) مشاهده می‌شود، مقدار توان لحظه‌ای نیروگاه در زمان اندازه‌گیری ۷۵۶ وات، میزان انرژی تولیدی کل روز تا زمان اندازه‌گیری ۱۲/۳۱ کیلووات ساعت و میزان کل انرژی تولیدی از زمان راه‌اندازی نیروگاه تا زمان اندازه‌گیری ۱۷/۰۹۶ مگاوات ساعت می‌باشد.

شکل ۱: اطلاعات تولید درج شده بر روی صفحه اینورتر سایت منصوبه

جهت مقایسه عملکرد نیروگاه خورشیدی منصوبه در ساختمان برق تهرانپارس با نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها به اطلاعات بیشتری نیاز است. با مراجعه به اطلاعات ثبت شده در سیستم مانیتورینگ نیروگاه خورشیدی وضعیت نیروگاه مشخص گردید. با توجه به این‌که شرکت نصاب نیروگاه از سیستم مانیتورینگ استاندارد جهت ذخیره و نمایش اطلاعات نیروگاه استفاده نکرده و فقط اطلاعات را توسط تجهیزی که خود طراحی و ساخته بود به نمایش می‌گذاشت، از این‌رو امکان دسترسی به اطلاعات ذخیره شده از زمان نصب نیروگاه، از طریق سیستم مانیتورینگ منصوبه مهیا نبود. با توجه به اینکه در این پروژه از اینورترهای SMA مجهز به سیستم بلوتوث استفاده شده بود، با استفاده از نرم‌افزار Sunny Explorer که توسط سازنده تهیه و منتشر شده است با استفاده از یک لپ‌تاپ مجهز به بلوتوث، اطلاعات مورد نیاز از اینورتر بدست آمد.

شکل (۲) مقایسه مقادیر واقعی تولید نیروگاه در سال ۲۰۱۶ را با مقادیر بدست آمده حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل (۲) مشاهده می‌شود، مقادیر واقعی در بعضی از ماه‌ها با مقادیر حاصل از شبیه‌سازی مطابقت داشته و در بعضی از ماه‌ها نیز متفاوت می‌باشد. دلایل زیادی می‌تواند سبب بروز این مساله باشد که در زیر به تعدادی از آن‌ها اشاره خواهد شد.

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]



شکل ۲: نمودار مقایسه مقادیر تولید بدست آمده از سیستم منصوبه و نتایج حاصل از شبیه‌سازی در نرم‌افزار

۵-۱-شرایط نصب نامناسب

بـا توجه به محاسـبات انجام گرفته در نرم‌افـزار، بهترین زاویه نصب پنل‌های خورشیدی جهت استحصال ماکزیمم توان در کل طول سال، ۳۳ درجه می‌باشـد. با مراجعه به سـایت و اندازه‌گیری شـیب نصب پنل‌ها مشـخص گردید که این مقدار در رشـته‌های مختلف بین ۴۰ تا ۴۵ و همین مسـاله نیز سـبب کاهش مقدار انرژی تولید شـده در کل طول سـال نسبت به مقادیر حاصل از شبیه‌سازی است. همچنین طراحی نامناسـب سبب بروز سایه‌اندازی ردیف جلویی پنل‌ها بر روی ردیف پشتی پنل‌ها در ساعات پایانی روز و به دنبال آن کاهش میزان انرژی تولید شـده اسـت. علاوه بر این وجود سایه‌اندازی ناشی از یک منبع بزرگ آب در مجاورت نیروگاه در سـاعات اولیه روز و همچنین سـایه‌اندازی ناشی از لبه پشـت‌بام بر روی ردیف جلویی پنل‌ها سبب کاهش انرژی تولید شده گردیده است.

۵-۲-استفاده از تجهیزات نامناسب

مشـاهده گردید کـه در بخش کابل‌کشـی DC به‌جای اسـتفاده از کابل‌های سـولار از کابل‌های معمولی استفاده شـده و همین مساله سبب افزایش تلفات و کاهش میزان انرژی تولید شده است. همچنین اسـتفاده از کانکتورهای بی‌کیفیت جهت اتصال پنل‌های خورشیدی یکی دیگر از دلایل افت تولید نیروگاه به‌شمار می‌رود.

۵-۳-بهره برداری نامناسب

بهره‌برداری مناسـب و شـرایط اسـتفاده از نیروگاه تأثیـر فراوانی بر عملکـرد نیروگاه و بـه تبع آن میزان تولید نیروگاه دارد. در شـهری ماننـد تهـران با وجود هوای آلـوده و ذرات معلق و گـرد و غبارهای موجـود در فضا، عـدم نظافت دوره‌ای و مرتب پنل‌های خورشـیدی سبب افت شدید راندمان خواهد شد (شکل ۳).

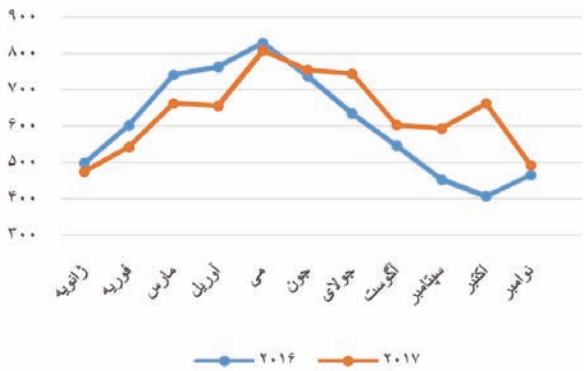
شکل ۳: عدم نظافت دوره‌ای پنل‌ها و وجود گرد و غبار و فضله پرندگان برروی آن‌ها

شـکل (۴) مقایسه آمار تولید در سـال ۲۰۱۶ را با سال ۲۰۱۷ نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در زمان اندازه‌گیری، میزان تولید هنوز سال میلادی ۲۰۱۷ به اتمام نرسـیده است، بنابراین بدون در نظر گرفتن ماه دسـامبر همان‌طورکه مشاهده می‌شـود، میانگین تولید در سال ۲۰۱۷ به نسـبت مدت مشـابه در سـال ۲۰۱۶ افزایش داشته است. قابل ذکر اسـت که در این پروژه به‌جای اسـتفاده از کابل‌های سولار از کابل‌های معمولی اسـتفاده شـده که همین مساله موجب افزایش تلفات و کاهش عمر کابل به دلیل قرار گرفتن در معرض شرایط جوی اسـت. علاوه براین به‌دلیل عدم رسـیدگی مناسب و نظافت پنل‌های خورشیدی، گرد و غبار فراوانی بر روی پنل‌های خورشیدی قرار گرفته بود که این مساله نیز در افت عملکرد نیروگاه مؤثر می‌باشد. به عبارت دیگر در صورتی‌که عملکرد سیسـتم تحت شرایط آب و هوایی کاملا مشـابه در دو سال متوالی اندازه‌گیری شـود، قطعاً با کاهش راندمان مواجه خواهیم بود.

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]

جدول ۹: تعداد ساعات آفتابی در ماه‌های مختلف سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون
تعداد ساعات آفتابی در سال ۲۰۱۶	۱۹۱,۲	۱۹۰,۲	۲۳۶,۴	۲۴۷,۴	۳۱۲,۴	۳۲۸,۷
تعداد ساعات آفتابی در سال ۲۰۱۷	۱۸۰,۳	۱۸۶,۹	۱۹۸,۹	۲۰۱,۷	۲۹۹,۸	۳۷۱,۴
ماه	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
تعداد ساعات آفتابی در سال ۲۰۱۶	۳۵۶,۸	۳۳۸,۹	۳۰۴	۲۴۸	۱۸۰,۸	--
تعداد ساعات آفتابی در سال ۲۰۱۷	۳۶۵,۶	۳۵۶,۷	۳۲۶,۷	۲۷۵,۴	۲۰۵,۴	--



شکل ۴: مقایسه آمار تولید سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷

در این مورد با مقایسه مقادیر تولید در سال۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ مشاهده می‌شود که انرژی تولید شده به میزان ۲۰۶ کیلووات ساعت افزایش داشته که این مساله به شرایط تابش و تعداد روزهای ابر و باران بستگی دارد.

با مراجعه به مراجع هواشناسی بین المللی از جمله وب سایت مجموعه www.weatheronline.com، تعداد ساعات آفتابی در بازه زمانی ژانویه تا نوامبر برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ به‌صورت جدول شماره (۹) است.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه با ظرفیت ۵ کیلووات واقع در شرکت توزیع نیروی برق تهران (منطقه برق تهرانپارس) از نظر فنی و اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهای تأثیرگذار بر میزان تولید نیروگاه مطالعه و راهکارهای عملی جهت افزایش راندمان نیروگاه ارایه شده است. جهت شبیه‌سازی، طراحی و آنالیز فنی نیروگاه از نرم‌فزار PVsyst استفاده شده است. اطلاعات سایت خورشیدی منصوبه نیز از سیستم مانیتورینگ نیروگاه استخراج شده و با نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها مقایسه شده و مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته است. پس از انجام شبیه‌سازی‌های حاصل از نرم‌افزار پیش‌بینی می‌شد که نیروگاه قادر باشد تا سالانه حدود ۸۵۹۰ کیلووات ساعت انرژی به شبکه تزریق نماید. با مراجعه به سیستم مانیتورینگ نیروگاه خورشیدی منصوبه نتیجه شد که مقدار تولید انرژی نیروگاه کمتر از میزانی است که از شبیه‌سازی‌ها بدست آمده است. با بررسی‌های فنی به عمل آمده از سایت منصوبه مشخص گردید که دلایل زیادی موجب بروز اختلاف بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده، گردیده است. همچنین یک بررسی اقتصادی به نسبت جامعی از نیروگاه خورشیدی منصوبه انجام گرفته و مشخص شد که با احتساب ضرایب مدیریت شبکه و ضرایب افزایش نرخ خرید تضمینی در سال‌های آتی نرخ بازگشت سرمایه چنین پروژه‌ای در حدود ۳۱٪ بوده و دوره بازگشت سرمایه اولیه پروژه مذکور در حدود ۲/۵ سال می‌باشد.

۷- سپاسگزاری

در اینجا لازم است که مراتب قدردانی و تشکر نسبت به مسوولین محترم شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ (امور برق تهرانپارس) که نهایت همکاری و مساعدت را جهت دسترسی و مطالعه سایت خورشیدی منصوبه مبذول داشتند، به عمل آید.

۸- مراجع

[1] F. F. Rakotomananandro, "Study of Photovoltaic System," the Degree of Master of Science, in the Graduate School of the Ohio State University, 2011.

[۲] واحد حکمت و ولی کلانتر، «بررسی فنی و اقتصادی استفاده از برق فتوولتاییک در شهر بافق با استفاده از نرم‌افزار»RETScreen ششمین همایش علمی تخصصی انرژیهای تجدیدپذیر، پاک و کارآمد، ۱۳۹۳.

[۳] عبدالرضا رحمانی فر، «بررسی فنی و اقتصادی استفاده از برق فتوولتایی در صنایع نفتی با استفاده از نرم افزار RETSCREEN» نشریه انرژی ایران، دوره ۱۴، شماره ۱، ۱۳۹۰.

[۴] احمدرضا فقیه خراسانی و محمدرضا ایروانی، «آنالیز فنی، اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه فتوولتاییک دانشگاه یزد» سومین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، ۱۳۹۲.

[5] T. Lang, E. Gloerfeld and B. Girod, "A global assessment of economic performance for residential building photovoltaics," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 42, pp. 932-951, 2015.

[6] J. M. Rodrigues, A. J. Alves, E. G. Domingues, "A photovoltaic system installed on the rooftop of an industry: A technical and economical study," 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), IEEE 2015.

[7] www.nasa.gov

[8] www.satba.gov.ir

[9] www.igmc.ir

***

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]