

ارزیابی فنی و اقتصادی نیروگاه ۱ مگاواتی: مطالعه موردی شهرک صنعتی ششدار

۱ منا فرهادیان، ۲ مجتبی نوراللهی*، ۳ امین مرادخانی

چکیده

انرژی خورشیدی از منابع انرژی تجدید پذیر مناسب جهت تأمین برق است. مهم ترین موضوعی که امروزه مانع اصلی استفاده از انرژی خورشیدی می شود توجه پذیری اقتصادی آن در مقایسه با سایر روش های برق رسانی است. هدف از نگارش این مقاله امکان سنجی احداث یک نیروگاه فتوولتائیک ۱ مگاوات متصل به شبکه به منظور تأمین بخشی از بار الکتریکی مورد نیاز شهرک صنعتی ایلام واقع در منطقه ششدار می باشد. برای این منظور، آنالیز فنی - اقتصادی استفاده از این سیستم با استفاده از نرم افزار RetScreen انجام گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که استفاده از این سیستم در شهرک صنعتی با استفاده از ۴۰۰۰ پانل های خورشیدی با توان ۲۵۰ واتی و ۲ اینورتر ۵۰۰ کیلوواتی به اندازه ۱۶۲۸۸ مگاوات ساعت در سال تولید انرژی خواهیم داشت نرخ بازده داخلی ۱۲.۷٪ و بازگشت سرمایه برابر ۸.۸ سال خواهد بود. در طی این مدت، از انتشار ۹۶۰ تن گازهای گلخانه ای جلوگیری شده است.

تاریخ دریافت:

۱۳۹۶/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش:

۱۳۹۷/۵/۲۵

کلمات کلیدی:

انرژی های تجدید پذیر،
نیروگاه فتوولتائیک،
شهرک صنعتی،
ششدار،
نرم افزار.

۱. کارشناسی ارشد، گروه معماری، معماری، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران m.f_arch@student.Ilam-Iau.Ac.ir
۲. استادیار، گروه معماری، معماری، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران (نویسنده مسئول) mojtaba.noorollahi@ Ilam-Iau.Ac.ir
۳. استادیار، گروه برق قدرت، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران a.moradkhani@ilam.ac.ir

۱. مقدمه

نیروگاه‌های خورشیدی به دلیل عدم انتشار (یا بسیار کم) مواد آلاینده، کمترین اثر منفی را بر محیط‌زیست دارند. بزرگ‌ترین مانع احداث نیروگاه‌های خورشیدی در حال حاضر هزینه ویژه سرمایه‌گذاری نسبتاً بالای این نیروگاه‌هاست که البته اگر هزینه‌های خارجی سوخت‌های فسیلی که ناشی از اثرات مخرب آن‌ها بر محیط‌زیست است، به قیمت آن‌ها اضافه شود، هزینه تولید برق در برخی از نیروگاه‌های خورشیدی کمتر از هزینه تولید برق در نیروگاه‌های سوخت فسیلی خواهد بود [۱۳].

قیمت انرژی خورشیدی نسبت به سال ۱۹۷۰ به میزان یک به ۱۵۰ کاهش یافته و این در حالی است که در طول این مدت‌زمان ظرفیت سامانه‌های فتوولتائیک نصب‌شده ۱۱۵۰۰۰ برابر شده است. آژانس بین‌المللی انرژی از سال ۲۰۰۰، افزایش استفاده از انرژی خورشیدی را ۱۴ برابر و انرژی باد را ۵ برابر پیش‌بینی کرده است. به گزارش این آژانس، افزایش استفاده دو برابری از انرژی خورشیدی به میزان ۲۴ درصد و افزایش دو برابری استفاده از انرژی باد به کاهش ۱۹ درصدی هزینه نصب این نیروگاه‌ها می‌انجامد [۱۹].

با بررسی نمودارها و اطلاعات روز دنیا می‌توان به این نتیجه رسید که نیروگاه فتوولتائیک با وجود هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری اولیه، به دلیل عدم نیاز به هزینه‌های جاری مانند سوخت و ... در طول دوره‌ی استفاده، هزینه‌ی واحد کمتری نسبت به هزینه‌های مولد دیزلی و گسترش شبکه برق دارد [۱۰]. در این تحقیق با استفاده از معیارهای اقتصاد مهندسی و ارزیابی طرح، هزینه واحد انرژی تولیدشده توسط سیستم برق خورشیدی از روش تحلیل هزینه چرخه به‌دست‌آمده و تأثیر آن‌ها کاهش گازهای گلخانه‌ای موردبررسی قرار گرفته تا در نهایت میزان اقتصادی بودن سیستم خورشیدی مشخص گردد. مطالعاتی در مورد ارزیابی اقتصادی سیستم‌های خورشیدی در مقیاس خرد و کلان با نرم‌افزار RETScreen انجام گرفته است؛ چند نمونه از این مطالعات به شرح زیر هست:

عباس پور، حاجی سید میرزای حسینی و طاهری (۱۳۹۰) در یک تحقیق به ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های خورشیدی ۱۲ کیلوواتی واحد علوم و تحقیقات به‌وسیله نرم‌افزار RETScreen با توجه به قانون هدفمندسازی یارانه‌ها پرداخته‌اند و نتایج نشان داد کاهش انتشار

دی اکسید کربن در هر سال فعالیت نیروگاه قابل توجه است و استفاده از تأییدیه کاهش انتشار (CERS) می‌توان زمان بازگشت سرمایه اولیه را کاهش داد [۳].

جعفری موغاری، فتحی و پورمنافی (۱۳۹۵) با استفاده از نرم‌افزار RETScreen به ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی ایجاد نیروگاه فتوولتائیک با توان 1 مگاوات در دانشگاه صنعتی اصفهان پرداخته‌اند. نتایج حاکی از مساعد بودن منطقه جهت احداث نیروگاه می‌باشد. زمان بازگشت سرمایه ۵.۹ سال است و با استفاده از این نیروگاه سالیانه از انتشار ۱۴۲۲ تن کربن دی‌اکسید جلوگیری خواهد شد [۴].

رحمانی فر (۱۳۹۰) در یک تحقیق سعی کرده مصارف یک واحد نفتی در مسجدسلیمان توسط سیستم‌های فتوولتائیک را جایگزین کند. این آنالیز با استفاده از نرم‌افزار RETScreen انجام شد که کاهش انتشار ۱.۳ تن دی‌اکسید کربن در سال از نتایج استفاده از این سیستم است. زمان بازگشت سرمایه اولیه ۱۲.۱ سال است. در ضمن با آزادی قیمت‌های حامل‌های انرژی قابلیت سودی در این پروژه افزایش می‌یابد و بازگشت سرمایه اولیه زودتر حاصل می‌شود [۷].

حکمت و کلانتر (۱۳۹۳) با استفاده از نرم‌افزار RETScreen در شهر بافق و در مطالعه موردی در شرکت ملی سنگ آهن مرکزی بافق به این نتیجه رسیدند که پروژه‌ای با عمر ۲۵ سال دارای قابلیت سوددهی مالی ۱۸.۸ درصد است و مقرون به صرفه بوده به طوری که بعد از ۹.۵ سال هزینه کل پروژه برمی‌گردد [۵].

فقیه خراسانی و ایروانی (۱۳۹۲) در پژوهشی در دانشگاه این یزد به این نتیجه رسیدند که احداث این نیروگاه باعث کاهش ۱۸۸۸ تن کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن در سال می‌گردد و بازگشت سرمایه اولیه طی ۹.۴ سال صورت می‌گیرد [۱۱].

زارعی محمودآبادی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از نرم‌افزار RETScreen در شهرک‌ها و نواحی صنعتی (مطالعه موردی: شرکت نیروکلر) به ارزیابی استقرار سلول‌های فتوولتائیک پرداختند و نشان دادند که استفاده از برق خورشیدی در مورد این پروژه از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است [۸].

با توجه به چشم‌انداز سند ملی ۱۴۰۴ در راستای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و تأمین انرژی سه‌درصدی از عرضه انرژی اولیه کشور، توجه به پتانسیل‌های بسیاری بالای ایران در حوزه انرژی بادی و خورشیدی، بند ۱۳ سیاست‌های کلی برنامه ششم توسعه توسط مقام معظم رهبری و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و گسترش نیروگاه‌های پراکنده و کوچک‌مقیاس، تعهد ایران در توافق‌نامه

تغییرات آب و هوایی پاریس (COP21) مبنی بر کاهش ۱۲ درصدی (۴٪ نامشروط، ۸٪ مشروط) گازهای گلخانه‌ای و با توجه به تمدید تحریم‌های ISA^۱ علیه ایران، سعی در ترویج و گسترش استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر است.

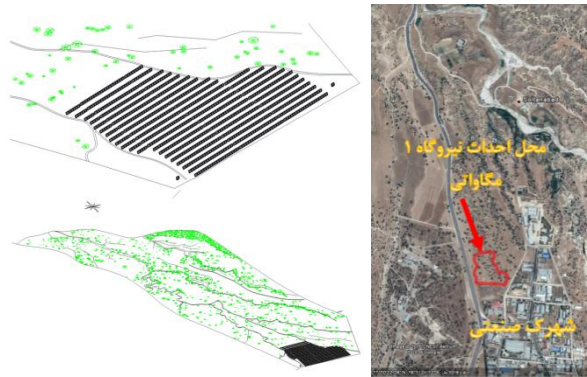
۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. معرفی محدوده مورد مطالعه

شهرک صنعتی ایلام که در سال ۱۳۷۰ تأسیس شده از توابع بخش چوار شهرستان ایلام و در کیلومتر ۱۱ جاده ایلام - کرمانشاه نزدیک به منطقه تفریحی ششدار با عرض جغرافیایی ۳۳/۶۵۹۹ و طول جغرافیایی ۴۶/۳۱۰۸ قرار دارد [۱۶].

مصرف برق بخش صنعتی تأمین شده توسط وزارت نیرو طی سال ۱۳۹۱ طبق ترازنامه ۳۴٪ است [۱۴]. هرچند طبق اطلاعات به دست آمده از امور مشترکین اداره برق شهرستان ایلام در سال ۱۳۹۴ برق مصرفی در بخش صنعتی ۲/۱۳٪ کل مصرف ناحیه ایلام بوده [۱]؛ و در مقایسه با سهم کشوری اندک است؛ اما تأمین آن مشکلاتی را برای شهرک صنعتی به وجود می‌آورد؛ بنابراین به‌کارگیری ظرفیت استفاده از منابع تجدید پذیر در واحدهای صنعتی فعال در کشور، به‌منظور تقویت شبکه سراسری برق و جلوگیری از فشار الکتریکی وارده بر نیروگاه‌ها در طی روز، رفع مشکل قطعی برق و استفاده از برق مطمئن و پایدار در ساعات پیک شبکه، جلوگیری از تعطیلی سالانه صنایع و با رویکرد افزایش درآمد و کاهش ریسک‌های اقتصادی می‌تواند مفید باشد.

مکانی برای احداث مزرعه خورشیدی ۱ مگاواتی (با امکان توسعه در آینده) در نظر گرفته شد. این مکان در قسمت شمالی شهرک و در نزدیک‌ترین مکان جانمایی شد (شکل ۱). سایت پوشیده از جنگل‌های بلوط است لذا کم‌تراکم‌ترین قسمت را انتخاب کرده که پس از انتقال و جابجایی اصله‌های بلوط به سایر نقاط سایت زمین را تسطیح و آماده احداث نماییم.



شکل ۱. سایت در نظر گرفته شده برای نیروگاه. منبع: [۲۰].

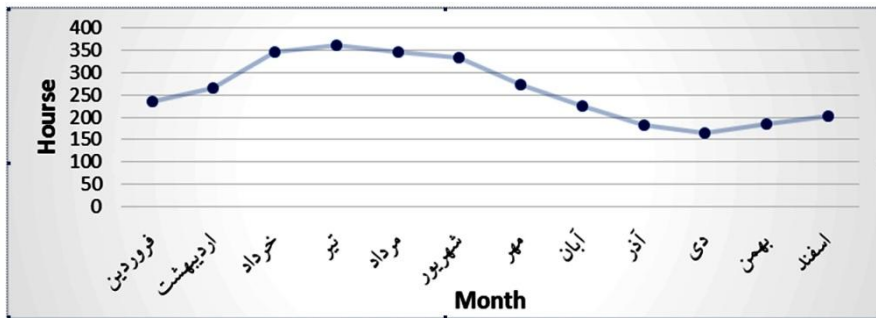
۲-۲. معرفی نرم افزار RetScreen

نرم افزار RETScreen می تواند در سرتاسر جهان برای ارزیابی تولید انرژی، هزینه های چرخه عمر و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای برای انواع مختلف فناوری های انرژی تجدید پذیر به کار رود. نرم افزار RETScreen به منظور غلبه بر موانع استفاده از فناوری انرژی پاک در مرحله شدنی بودن اولیه طراحی شد. این نرم افزار یک متدولوژی اثبات شده برای مقایسه فناوری های متداول و انرژی پاک ایجاد می کند، لذا تحلیلگر می تواند بیش از توسعه یک متدولوژی، بر مطالعات ابتدایی امکان پذیری تمرکز کند. بعلاوه، نیاز حداقل این نرم افزار به داده های ورودی و پایگاه داده های درون ساز آب و هوا و محصولات، موجب سهولت و تحلیل های دقیق تر می شود. RETScreen نه تنها برای کمک به تحلیل یک پروژه، بلکه برای ایجاد اطلاعات مفید درباره فناوری های انرژی پاک و ایجاد آگاهی در مورد توانایی ها و کاربردهایشان طراحی شده است. پایه نرم افزار RETScreen یک مقایسه بین یک حالت پایه (معمولاً فناوری های متداول) و یک حالت پیشنهاد شده (فناوری انرژی پاک) است. برای این نرم افزار هزینه های خالص اهمیت چندانی ندارند بلکه هزینه های افزایشی (هزینه هایی که در حالت پیشنهادی بیش از حالت پایه هستند) دارای اهمیت هستند. کاربر می تواند هزینه های افزایشی را مستقیماً و یا هزینه های حالت های پایه و پیشنهادی را به صورت مجزا وارد [۱۲].

۳. انجام پروژه

۳-۱. ابزار و داده‌های تحقیق

طبق نتایج به‌دست‌آمده از بررسی میانگین آمار ۲۰ ساله متوسط کل ساعات آفتابی در ایستگاه ایلام (۱۳۷۴-۱۳۹۴) که در شکل (۲) نشان داده شده است؛ این منطقه دارای ظرفیت مناسبی جهت کاربرد انواع سامانه‌های خورشیدی است.



شکل ۲. میانگین آمار ۲۰ ساله متوسط کل ساعات آفتابی در ایستگاه ایلام (۱۳۷۴-۱۳۹۴). منبع: نگارنده

۳-۲. بررسی استفاده از انرژی خورشیدی بر مبنای مدل

با توجه به بالا بودن پتانسیل تابش خورشید در شهر ایلام و پاک بودن و در دسترس بودن انرژی خورشیدی در محدوده شهرک صنعتی ایلام با استفاده از مدل Retscreen مورد بررسی قرار گرفت. در شکل (۳) داده‌های ورودی نشان داده شده است. در این بخش و طبق شکل نام پروژه (نیروگاه فتوولتائیک ششدار)، محل پروژه (ایلام، ششدار، شهرک صنعتی) تهیه شده برای (دانشگاه آزاد اسلامی)، تهیه شده توسط (منا فرهادیان) وارد می‌کنیم. در قسمت بعدی نوع پروژه را برق، تکنولوژی فتوولتائیک، شبکه مرکزی و نوع تجزیه و تحلیل را روش ۲ و مرجع مقدار گرمایشی را از نوع انرژی گرمایشی پایین انتخاب می‌کنیم.

نرم افزار تحلیل پروژه انرژی پاک

پایگاه اطلاعاتی پروژه مورد مطالعه	
نام پروژه	نیروگاه قزوین تک فشار
محل پروژه	ایلام، ششدار، شهرک صنعتی
نیمه شده برای	دانشگاه آردبیل
نیمه شده توسط	منا فرهادیان
نوع پروژه	سول
تکنولوژی	توربین تک
نوع شبکه سول	شکله و مرکزی
نوع نهمیه و تسلط	روزگار ۶
مراجعه مدار گرمایش	ارتقاء گرمایی واتن (LHV)
تسطیحات را نشان دهیم	<input type="checkbox"/>
زبان	Farsi - فارسی
راهنمای کاربری	English - انگلیس
ارز	جمهوری اسلامی ایران
واحدها	واحد متریک
محل اطلاعات ناموس و مشخصات اطلاعات	
شواهد مرجع قضای مورد نظر	
محل داده های آب و هوایی	Isfah
داده ها را نشان دهیم	<input type="checkbox"/>

شکل ۳. اطلاعات آب و هوایی، کشور جمهوری اسلامی ایران و محل داده‌های آب و هوایی ششدار. منبع: نگارنده

در شکل شماره (۴) بخش دیگری از اطلاعات ورودی نشان داده شده است. اطلاعات استفاده شده در این قسمت پس از مشخص کردن منطقه مورد مطالعه از پایگاه اطلاعات آب و هوایی ناسا استخراج شده است که نرم افزار RETScreen این امکان را فراهم کرده است.

محل داده های آب و

واحد	هوایی	محل پروژه
عرض جغرافیایی	'N 33.6	33.6
طول جغرافیایی	'E 46.4	46.4
ارتفاع	متر 1,101	1,101
درجه حرارت طرح گرمایش	°C 1.3	
به حرارت سوله‌های در شرایط طراحی	°C 38.6	
دانه نوسان دمای زمین	°C 27.6	

گرمایش

روز - درجه های درجه روزها

اشعه خورشیدی روزانه

ماه	درجه حرارت هوا		رطوبت نسبی		اشعه خورشیدی روزانه		سرعت باد		دمای زمین		گرمایش	
	°C	%	کیلووات ساعت/متر مربع/روز	کیلو واتسکال	متر ثانیه	°C	°C-d	°C-d				
ژانویه	6.3	65.6%	2.96	92.4	3.5	6.8	363	0				
فوریه	7.6	56.9%	3.85	92.3	3.7	8.8	291	0				
مارس	12.1	47.0%	4.80	92.1	3.8	14.0	183	65				
آوریل	19.0	34.8%	5.48	92.0	4.0	22.0	0	269				
مه	25.1	23.5%	6.65	91.8	4.3	29.2	0	469				
ژوئن	30.1	16.4%	7.68	91.4	4.6	34.7	0	603				
ژوئیه	33.1	15.7%	7.24	91.1	4.4	38.3	0	716				
اگوست	32.7	16.0%	6.73	91.3	4.3	37.4	0	702				
سپتامبر	28.5	18.4%	5.70	91.7	4.2	32.0	0	555				
اکتبر	22.4	28.6%	3.93	92.2	4.0	24.4	0	383				
نوامبر	14.2	46.6%	2.95	92.4	3.7	15.1	114	126				
دسامبر	8.2	61.4%	2.62	92.5	3.6	8.6	304	0				
میانگین	20.0	35.8%	5.05	91.9	4.0	22.7	1,256	3,889				

اندازه گیری شده در

شکل ۴. اطلاعات برداشت شده از پایگاه اطلاعات آب و هوایی ناسا. منبع: نگارنده

۳-۳. سیستم برق پیشنهادی (مدل انرژی)

این سیستم فتوولتائیک به صورت ثابت و با زاویه ۳۰ درجه و رو به جنوب (با آزیموت صفر) نصب می شود که با چنین زاویه ای با توجه به ساعت آفتابی میزان برق صادر شده به شبکه در ماه های مختلف در شکل (۵) مشاهده می شود. کل انرژی تولید شده در سال طبق محاسبات ۱۶۲۸۸ مگاوات ساعت است.

ماه	اشعه خورشیدی		برق صادر شده به شبکه	
	اشعه خورشیدی روزانه افقی کیلووات ساعت/متر مربع/d	روزانه میل کیلووات ساعت/متر/d	ترخ صادرات برق مگاوات ساعت/IRR	مگاوات ساعت
ژانویه	2.96	4.34	3,138,900.0	117.1
فوریه	3.85	5.03	3,138,900.0	121.3
مارس	4.80	5.49	3,138,900.0	143.6
آوریل	5.48	5.58	3,138,900.0	137.7
مه	6.65	6.24	3,138,900.0	154.2
ژوئن	7.68	6.89	3,138,900.0	160.3
ژوئیه	7.24	6.63	3,138,900.0	157.5
اگوست	6.73	6.65	3,138,900.0	157.8
سپتامبر	5.70	6.29	3,138,900.0	147.2
اکتبر	3.93	4.85	3,138,900.0	121.9
نوامبر	2.95	4.12	3,138,900.0	104.3
دسامبر	2.62	3.95	3,138,900.0	106.0
سالانه	5.05	5.51	3138900.00	1,628.8
	تولید خورشیدی سالانه - افقی	مگاوات ساعت / متر مربع	1.84	
	تولید خورشیدی سالانه - میل	مگاوات ساعت / متر مربع	2.01	

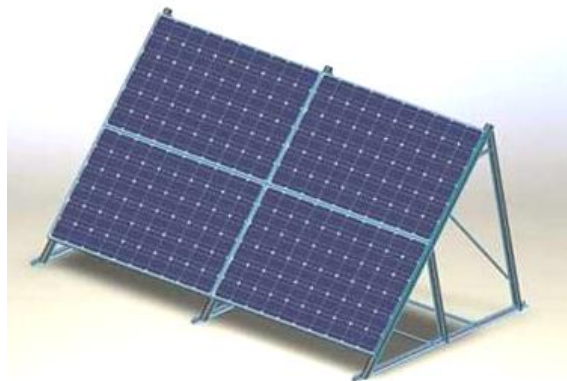
شکل ۵. برق صادر شده به شبکه. منبع: نگارنده

در این نیروگاه با ظرفیت ۱ مگاوات ۴۰۰۰ پانل ۲۵۰ W پلی کریستال از برند Yingli Solar و دو عدد اینورتر SMA با توان ۵۰۰ kw سه فاز استفاده شده که طبق شکل (۶) در نرم افزار وارد می کنیم. در جدول (۱ و ۲) مشخصات فنی تجهیزات مورد نیاز برای طراحی و اجرای سیستم های فتوولتائیک را مشاهده می کنیم. فضای مورد نیاز جهت نصب این میزان پانل ۷۱۶۸ مترمربع است که با استفاده از استراکچر دوطبقه این میزان تقریباً به نصف کاهش میابد (شکل ۷).

فوتولتائیک		
نوع		سیلیسیم - چننتایی
ظرفیت تولید برق	کیلو وات	1,000.00
تولید کننده		Yingli Solar
مدل		سیلیسیم - چننتایی - YL250P-32b
کارایی - راندمان	%	14.0%
دمای اسمی عملیاتی سلول خورشیدی	°C	45
% ضربه دمایی / درجه سانتیگراد	' °C / %	0.40%
مساحت کلکتور خورشیدی	متر مربع	7,168
افت های دیگر	%	9.0%
معکوس کننده		
کارایی - راندمان	%	98.0%
ظرفیت	کیلو وات	1000.0
افت های دیگر	%	2.0%
خلاصه		
عامل ظرفیت	%	18.6%
برق صادر شده به شبکه	مگاوات ساعت	1,628.8

۴۰۰۰ واحد(ها)

شکل ۶. نوع سیستم تولیدکننده برق در نیروگاه مورد مطالعه. منبع: نگارنده



شکل ۷. استراکچر نصب پانل خورشیدی ۱ کیلوواتی. منبع: [۲۱]

جدول ۱. پارامترهای مشخصه مازول پلی کریستال Yingli. منبع: [۲۲]

YL 250 P-29b	مدل
250 W	توان بیشینه در شرایط استاندارد
1000 VDC	ولتاژ یکسو شده بیشینه در شرایط استاندارد
29.8 V	ولتاژ در نقطه توان بیشینه در شرایط استاندارد
37.6 V	ولتاژ مدارباز در شرایط استاندارد
8.39 A	جریان در نقطه توان بیشینه در شرایط استاندارد
8.92 A	جریان اتصال کوتاه در شرایط استاندارد
15 A	بیشینه جریان مجاز در شرایط استاندارد
۴۰- تا ۸۵ درجه سانتی‌گراد	محدوده دمای مجاز
15.3%	بازده
+5 W	خطای مقدار توان خروجی
عدد 60	تعداد سلول
1650×990×40 mm	ابعاد مازول
18.5 kg	وزن

جدول ۲. پارامترهای مشخصه مبدل SMA. منبع: [۲۳]

واحد محاسبه	عنوان	Sunny Central 500CP-US	عنوان
50 Hz, 60 Hz	فرکانس	270 V	ولتاژ AC
سینوسی	نوع موج	243 V – 297 V	محدوده مجاز ولتاژ
LED	نمایشگر	1069 A	جریان نامی متناوب
98.0%	بازده		محدوده مجاز جریان
2562 / 2272 / 956 mm	ابعاد	500 kVA	توان نامی
1870 kg	وزن	1176 A	بیشینه جریان یکسو شده

۳-۴. تجزیه و تحلیل هزینه

گام اول در اجرای پروژه، خرید سیستم خورشیدی است که در واقع هزینه ثابت سرمایه‌گذاری است. طبق تحقیقات به عمل آمده و اطلاعات وارد شده هزینه اولیه سرمایه‌گذاری نیروگاه فتوولتائیک حدوداً ۴ میلیارد ۷۰۰ میلیون تومان (با دلار ۳۱۳۸.۹ تومان)، هزینه سیستم برق (ماژول‌های فتوولتائیک و پست فرعی) ۵۸.۸٪ هزینه کل و تعادل سیستم و متفرقات (اینورتر و استراکچر و کابل و...) ۳۹.۶٪ هزینه کل است و مابقی هزینه‌ها غیر تجهیزاتی می‌باشد.

۳-۵. تجزیه و تحلیل انتشار

در این قسمت طبق شکل (۸) با توجه به اینکه ایلام فاقد نیروگاه است و انرژی الکتریکی آن از شبکه سراسری تأمین می‌شود و نمی‌توان دقیقاً نوع سوخت نیروگاهی آن را مشخص کرد بنابراین در نرم‌افزار نوع سوخت را همه نوع انتخاب می‌کنیم که ضریب انتشار هر تن کربن دی‌اکسید در ساعت ۰،۵۶۵، درصد ضایعات انتقال و توزیع را ۸٪ و ضریب انتشار GHG را ۰،۶۱۴ مگاوات ساعت در نظر می‌گیریم. در این صورت میزان کاهش ناخالص انتشار سالیانه GHG برابر با ۹۶۰ تن است که حاصل کاهش خالص سالیانه انتشار کربن دی‌اکسید معادل با ۲۲۳۳ بشکه نفت خام مصرف نشده (۴۱۲۴۸۵ لیتر بنزین مصرف نشده یا ۸۸.۳ هکتار جنگل در حال جذب کربن) می‌باشد.

سیستم الکتریسته مورد مطالعه (سطح پایه)					
کشور - منطقه	ظرفیت انتشار (excl. T&D) (GHG)		ظرفیت انتشار		مشارکات سازه/تCO2
	توج سوخت	همه انواع	توج سوخت	مشارکات سازه/تCO2	
Iran, Islamic Rep. of	0.565		8.0%		0.614
تغییرات سطح پایه بر مبنای جدول زیر					
خلاصه GHG سیستم پایه (سطح پایه)					
توج سوخت	مشارکات سازه/تCO2	مشارکات سازه/تCO2	مشارکات سازه/تCO2	مشارکات سازه/تCO2	مشارکات سازه/تCO2
توج سوخت	1,629	0.614	1,629	0.614	999.6
مجموع	100.0%	100.0%	1,629	0.614	999.6
خلاصه سیستم مورد مطالعه (بروزه انرژی برق)					
توج سوخت	مشارکات سازه/تCO2	مشارکات سازه/تCO2	مشارکات سازه/تCO2	مشارکات سازه/تCO2	مشارکات سازه/تCO2
توج سوخت	1,629	0.000	1,629	0.000	0.0
مجموع	100.0%	100.0%	1,629	0.000	0.0
حیوانات انتقال و توزیع					
مشارکات سازه/تCO2	1,629	65	0.614	40.0	40.0
مشارکات سازه/تCO2					
مشارکات سازه/تCO2	1,629	65	0.614	40.0	40.0
خلاصه کاهش انتشار GHG					
مشارکات سازه/تCO2	مشارکات سازه/تCO2	مشارکات سازه/تCO2	مشارکات سازه/تCO2	مشارکات سازه/تCO2	مشارکات سازه/تCO2
مشارکات سازه/تCO2	999.6	40.0	999.6	0%	999.6
شماره های نفت خام مصرف شده					
مشارکات سازه/تCO2	960	ICO2	2,233		
نرخ بزرگ مصرف شده					
مشارکات سازه/تCO2	960	ICO2	412,485		
مشارکات سازه/تCO2					
مشارکات سازه/تCO2	960	ICO2	88.3		

شکل ۸. اطلاعات مربوط به تجزیه و تحلیل انتشار. منبع: نگارنده

۶-۳. تجزیه و تحلیل مالی

- برنامه تولید: به طور کلی محصول تولیدی این پروژه، برق است که شهرک صنعتی به اندازه ظرفیت تولیدی سیستم خورشیدی (میانگین ۱۳۵ مگاوات ساعت در ماه) برق تولید می کند و به شبکه برق سراسری منتقل می کند.
- طول دوران ساخت: زمان پیش بینی شده جهت عملیات مربوط به فاز ساخت پروژه (شامل خرید و نصب تجهیزات) نیروگاه خورشیدی ۱۵ ماه در نظر گرفته می شود [۹].
- طول دوران بهره برداری: عمر مفید سیستم خورشیدی معادل ۲۰ سال است [۹].
- نرخ تورم: طبق آمار بانک مرکزی ایران در سال ۱۳۹۵ نرخ تورم برابر ۹٪ است [۱۸].
- نرخ افزایش بهای سوخت: بر اساس مصوبه مجلس قیمت هر لیتر فرآورده های نفتی شامل بنزین، نفت سفید، نفت گاز، نفت کوره، گاز مایع و سوخت هواپیما در سال ۱۳۹۵، ۵٪ افزایش می یابد [۳].

- نرخ تخفیف: طبق آمار بانک مرکزی بالاترین نرخ سود سپرده‌گذاری (سپرده‌های دیداری) در سال ۱۳۹۵ حداکثر ۱۸٪ تعیین شده که در این تحقیق به‌عنوان نرخ تخفیف معیار در نظر گرفته شده است [۲].
- نرخ ارز: طبق گزارش بانک مرکزی ایران در بازه زمانی ۱۳۹۵/۱/۱-۱۳۹۵/۱۲/۳۰ حداقل نرخ دلار آمریکا (USD) ۳۰۲۴۰ ریال، حداکثر ۳۲۴۲۴ ریال و میانگین آن ۳۱۳۸۹ ریال است [۱۷].
- نرخ صادرات برق: قیمت برق صادراتی ایران به کشورهای مختلف متفاوت است بنابراین برق صادراتی برای برخی از کشورها در هر کیلووات ساعت بالاتر از ۱۰ سنت و برای بعضی از کشورها زیر ۱۰ سنت است؛ بنابراین به‌طور متوسط نرخ برق صادراتی را ۱۰ سنت در نظر می‌گیریم [۶].
- اطلاعات درباره قیمت: در این بررسی ارزش‌گذاری اقلام هزینه و فایده بر پایه قیمت‌های بازار صورت گرفته و فرض شده که این قیمت‌ها مبین ارزش اجتماعی هزینه‌ها و فایده‌های پروژه هستند و اقلام فایده نیز شامل قیمت فروش برق تجدید پذیر می‌باشد که تشکیل‌دهنده درآمد طرح مذکور است.

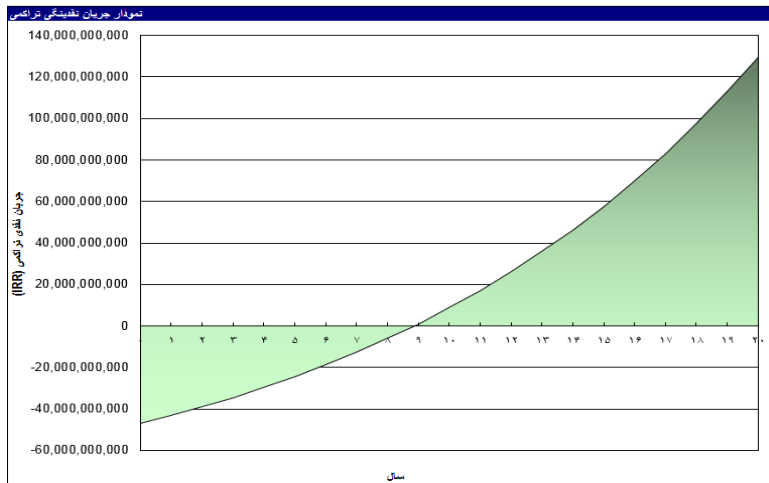
با توجه به قیمت برق صادراتی که در حال حاضر هر کیلووات ساعتی ۱۰ سنت (۳۱۳ تومان) است، طبق شکل (۹) این نیروگاه ۱ مگاواتی در طول یک سال حدود ۵۱۱ میلیون تومان درآمد حاصل خواهد شد؛ بنابراین دوره بازگشت سرمایه ۸٫۸ سال خواهد بود (شکل ۱۰). ضمناً در صورت افزایش نرخ برق در طول ۵ سال مدت‌زمان بازگشت سرمایه کاهش خواهد یافت. بعد از بازگشت سرمایه هم نیروگاه دارای ارزش افزوده خواهد بود و هم سود حاصله افزایش می‌یابد؛ به‌نحوی که در ۲۰ سال بعد از بازگشت سرمایه ۱۲ میلیارد تومان درآمد کسب خواهد شد (نمودار ۲). هرچند که با افزایش قیمت برق این رقم بیش از این خواهد بود اما فرض را بر این بگذاریم که افزایش درآمد حاصله خرج هزینه‌های سیستم شود. هرچند یک سیستم خوب فتوولتائیک هزینه‌های نگهداری کمی دارد. ضمناً عمر یک نیروگاه خورشیدی بیش از ۲۰ سال است و تنها طی ۲۵ سال راندمان آن به ۸۰٪ افت می‌کند.

هزینه ها و صرفه جویی های پروژه/خلاصه وضعیت درآمد			
مخارج اولیه			
مطالعات امکان سنجی	0.4%	IRR	182,000,000
توسعه	0.5%	IRR	229,000,000
مهندسی	0.8%	IRR	380,000,000
سیستم برقی	58.8%	IRR	27,700,000,000
تعادل سیستم و متفرقات	39.6%	IRR	18,645,526,705
کل هزینه اولیه	100.0%	IRR	47,136,526,705
مشوقها و جوایز		IRR	100,289,868
مخارج سالیانه و پرداخت بدهیها			
O&M		IRR	363,600,000
هزینه سوخت - حالت پیشنهادی		IRR	0
کل هزینه های سالانه		IRR	363,600,000
هزینه دوره ای (اعتبارات)			
درآمد و پس انداز سالیانه			
هزینه سوخت - حالت پایه		IRR	0
درآمد صادرات برقی		IRR	5,112,536,138
درآمد و پس انداز کلی سالانه		IRR	5,112,536,138

شکل ۹. هزینه ها و صرفه جویی های پروژه. منبع: نگارنده

قابلیت سوددهی مالی		
قبل از مالیات -IRR سهام	%	16.5%
قبل از مالیات -IRR دارایی	%	16.5%
نرخ بازده داخلی بعد از احتساب مالیات - ارزش د	%	12.7%
نرخ بازده داخلی بعد از احتساب مالیات - ارزش د	%	12.7%
بازپرداخت ساده	سال	9.9
برگشت سرمایه	سال	8.8
ارزش خالص فعلی (NPV)	IRR	#####
عمر چرخه ی پس انداز سالیانه	IRR/سال	-2,811,965,066
نسبت هزینه - فایده (B-C)		0.68
گازات ساعت R هزینه تولید انرژی		4,503,934.87
هزینه کاهش GHG	IRR/CO2	2,930,272

شکل ۱۰. قابلیت سوددهی مالی. منبع: نگارنده



شکل ۱۱. جریان نقدینگی تجمعی. منبع: نگارنده

۴. نتیجه گیری

در طراحی سیستم فتوولتائیک عوامل اقتصادی نقش مهم و پررنگی را بر عهده دارند. اگرچه استفاده از سیستم فتوولتائیک هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بیشتری برای دولت در بر خواهد داشت اما به‌طور مسلم صرفه‌جویی‌های حاصل در طول عمر استفاده از سیستم (عدم نیاز به ارائه تولید نیروگاه‌ها به‌منظور تأمین بار، عدم اتلاف انرژی در شبکه توزیع، عدم آلودگی‌های زیست‌محیطی و بحث پدافند غیرعامل و...) نیاز خود مزید بر علت خواهند بود.

برای این منظور آنالیز فنی-اقتصادی استفاده از این سیستم با استفاده از نرم‌افزار RETScreen مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. طبق نتایج به‌دست‌آمده فعالیت مزرعه خورشیدی ۱ مگاواتی متصل به شبکه سالیانه منجر به تولید ۱۶۲۸۸ مگاوات ساعت انرژی الکتریکی و کاهش ۹۶۰ تن گاز گلخانه‌ای می‌شود. این میزان کاهش گازهای گلخانه‌ای معادل است با ۴۱۲۴۸۵ لیتر کاهش مصرف بنزین، یا ۲۲۳۳ بشکه کاهش مصرف نفت خام، یا ۸۸.۳ هکتار کاشت جنگلی که جذب کربن کند و یا ۳۳۱ تن مواد زائدی که بازیافت می‌شود. هزینه کاهش GHG برای هر تن کربن دی‌اکسید ۲۹۳۰۲۷۲ ریال است. نرخ بازده داخلی ۱۲.۷٪ است و با توجه به درآمد فروش برق خورشیدی طبق مصوبه مجلس دوره بازگشت سرمایه اولیه ۸.۸ سال می‌باشد.

منابع

- [۱] امور مشترکین اداره برق شهرستان ایلام (۱۳۹۵)، فروش انرژی کیلووات ساعت به تفکیک ناحیه و دوره و تعرفه در سال، ایلام.
- [۲] بانک مرکزی (۱۳۹۵). نرخ‌های جدید سود تسهیلات بانکی ابلاغ شد. بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران.
- [۳] تین نیوز (۱۳۹۴). افزایش پنج درصدی بهای بنزین و گازوئیل در سال ۹۵. <http://www.tinn.ir>
- [۴] جعفری موعاری، حمیدرضا؛ فتحی، محسن و سعید پورمنافی (۱۳۹۵)، بررسی فنی و اقتصادی استفاده از برق فتوولتائیک در دانشگاه صنعتی اصفهان با استفاده از نرم‌افزار RETScreen، دومین کنفرانس بین‌المللی اکولوژی سیمای سرزمین، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.
- [۵] حکمت، واحد و ولی کلانتری (۱۳۹۳). بررسی فنی و اقتصادی استفاده از برق فتوولتائیک در شهر بافق با استفاده از نرم‌افزار RETScreen. ششمین همایش علمی تخصصی انرژی‌های تجدید پذیر، پاک و کارآمد. doi:WINDCONF06_050
- [۶] دنیای اقتصاد (۱۳۹۵). نرخ برق صادراتی مورد تأیید وزارت نفت است. سایت خوان روزنامه دنیای اقتصاد. <http://donya-e-eqtasad.com/SiteKhan/851400>
- [۷] رحمانی فر، عبدالرضا (۱۳۹۰)، بررسی فنی - اقتصادی بر روی سیستم‌های فتوولتائیک در صنایع نفتی استفاده از نرم‌افزار RETScreen، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۴، شماره ۱، صفحات ۱-۱۰.
- [۸] زارعی محمودآبادی، هادی؛ معطر، فرامرز؛ طالبی، محمدصادق و سمیرا فدائی (۱۳۹۲)، ارزیابی استقرار سلول‌های فتوولتائیک با استفاده از تکنیک RTSscreen در شهرک‌ها و نواحی صنعتی (مطالعه موردی: شرکت نیرو کلر)، سومین همایش سلامت، محیط‌زیست و توسعه پایدار، صفحات ۱۰-۱. https://www.civilica.com/Paper-HESD03-HESD03_130.html
- [۹] سیاست‌های تشویقی در حوزه تجدید پذیرها در ایران. (۱۳۹۵)، سازمان انرژی‌های نو ایران، سال نهم، شماره ۴۵، صفحات ۸-۹.
- [۱۰] عباس پور، مجید؛ حاجی سید میرزای حسینی، سید علی و ترانه طاهری (۱۳۹۰)، ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های خورشیدی به‌وسیله نرم‌افزار RETScreen با توجه به قانون هدفمندسازی یارانه‌ها (مطالعه موردی نیروگاه خورشیدی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی)، انسان و محیط‌زیست، دوره ۹، شماره ۳ (۱۸-پیاپی ۲۹)، صفحات ۹-۱۶.
- [۱۱] فقیه خراسانی، احمدرضا و محمد رضا ایروانی (۱۳۹۲)، آنالیز فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه فتوولتائیک دانشگاه یزد، سومین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی. https://www.civilica.com/Paper-ETEC03-ETEC03_341.html

- [۱۲] کاظمی، عالییه؛ شکوری گنجوی، حامد؛ شکیبیا، شیوا و مهناز حسین زاده (۱۳۹۲)، انتخاب مدل مناسب برای تخصیص منابع انرژی در ایران با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۴، شماره ۱، صفحات ۱-۱۰.
- [۱۳] کاظمی کارگر، حسین و مهدی نوروزی (۱۳۸۹)، پنلهای فتوولتائیک آشنایی، اصول و طراحی، انتشارات آراد کتاب، تهران.
- [۱۴] معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه ریزی کلان برق (۱۳۹۳)، ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱، وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی، تهران.
- [۱۵] وزارت نیرو (۱۳۹۰)، انرژی خورشیدی، معاونت امور انرژی، سازمان انرژی های نو ایران، تهران.
- [۱۶] هواشناسی ایران (۱۳۹۵)، بازیابی از هواشناسی شهرک صنعتی ایلام: www.havairan.com
- [۱۷] ----- (۱۳۹۶). نرخ ارز. بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران.
http://www.cbi.ir/exrates/rates_fa.aspx
- [۱۸] ----- (۱۳۹۶). نرخ تورم و شاخص بهای کالاها و خدمات مصرفی. بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران. http://www.cbi.ir/Inflation/Inflation_FA.aspx
- [19] Randall T. (2016, 04 06). *Wind and Solar Are Crushing Fossil Fuels*. Retrieved from Bloomberg: <http://www.bloomberg.com>
- [20] www.noursun.com. (n.d).
- [21] www.SMA-America.com. (2016).
- [22] WWW.YINGLISOLAR.COM. (2016).