

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. مهم‌ترین موضوعی که امروزه مانع اصلی استفاده از انرژی خورشیدی می‌شود توجه‌پذیری اقتصادی آن در مقایسه با سایر روش‌های برق‌رسانی است. هدف از نگارش این مقاله امکان‌سنجی احداث یک نیروگاه فتوولتائیک ۱ مگاوات متصل به شبکه به منظور تأمین بخشی از بار الکتریکی موردنیاز شهرک صنعتی ایلام واقع در منطقه ششدار می‌باشد. برای این منظور، آنالیز فنی - اقتصادی استفاده از این سیستم با استفاده از نرم‌افزار RetScreen انجام گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از این سیستم در شهرک صنعتی با استفاده از ۴۰۰۰ پانل‌های خورشیدی با توان ۲۵۰ وات و ۲ اینورتر ۵۰۰ کیلوواتی به‌اندازه 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 گلخانه‌ای جلوگیری شده است.

تاریخ دریافت:

۱۳۹۶/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش:

۱۳۹۷/۵/۲۵

کلمات کلیدی:

انرژی‌های تجدید پذیر،
نیروگاه فتوولتائیک،
شهرک صنعتی،
ششدار،
نرم‌افزار.

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

a.moradkhani@ilam.ac.ir

۳. استادیار، گروه برق قدرت، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۱. مقدمه

نیروگاه‌های خورشیدی به دلیل عدم انتشار (یا بسیار کم) مواد آلاینده، کمترین اثر منفی را بر محیط‌زیست دارند. بزرگ‌ترین موانع 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 مدت زمان 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 باوجود 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 درنهایت 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 هرسال فعالیت نیروگاه قابل توجه است و استفاده از تأییدیه کاهش انتشار (CERS) می توان زمان بازگشت سرمایه اولیه را کاهش داد [۳].

جعفری موعاری، فتحی و پورمنافی (۱۳۹۵) با استفاده از نرم افزار RETScreen به ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست محیطی ایجاد نیروگاه فتوولتائیک با توان 1 مگاوات در دانشگاه صنعتی اصفهان پرداخته اند. نتایج حاکی از مساعد بودن منطقه جهت احداث نیروگاه می باشد. زمان بازگشت سرمایه ۵.۹ سال است و با استفاده از این نیروگاه سالیانه از انتشار ۱۴۲۲ تن کربن دی اکسید جلوگیری خواهد شد [۴].

رحمانی فر (۱۳۹۰) در یک تحقیق سعی کرده مصارف یک واحد نفتی در مسجدسلیمان توسط سیستم های فتوولتائیک را جایگزین کند. این آنالیز با استفاده از نرم افزار RETScreen انجام شد که کاهش انتشار ۱.۳ تن دی اکسید کربن در سال از نتایج استفاده از این سیستم است. زمان بازگشت سرمایه اولیه ۱۲.۱ سال است. در ضمن با آزادی قیمت های حامل های انرژی قابلیت سودی در این پروژه افزایش می یابد و بازگشت سرمایه اولیه زودتر حاصل می شود [۷].

حکمت و کلانتر (۱۳۹۳) با استفاده از نرم افزار RETScreen در شهر بافق و در مطالعه موردی در شرکت ملی سنگ آهن مرکزی بافق به این نتیجه رسیدند که پروژه ای 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 برمی گردد [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 دی اکسید کربن در سال می گردد و بازگشت سرمایه اولیه طی ۹.۴ سال صورت می گیرد [۱۱].

زارعی محمودآبادی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از نرم افزار RETScreen در شهرک ها و نواحی صنعتی (مطالعه موردی: شرکت نیروکدر) به ارزیابی استقرار سلول های فتوولتائیک پرداختند و نشان دادند که استفاده از برق خورشیدی در مورد این پروژه از نظر اقتصادی توجیه پذیر است [۸].

با توجه به چشم انداز سند ملی ۱۴۰۴ در راستای توسعه انرژی های تجدید پذیر و تأمین انرژی سه درصدی از عرضه انرژی اولیه کشور، توجه به پتانسیل های بسیاری بالای ایران در حوزه انرژی بادی و خورشیدی، بند ۱۳ سیاست های کلی برنامه ششم توسعه توسط مقام معظم رهبری و افزایش سهم انرژی های تجدید پذیر و گسترش نیروگاه های پراکنده و کوچک مقیاس، تعهد ایران در توافق نامه

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.

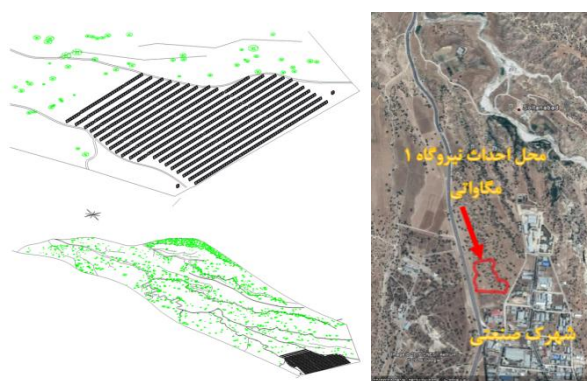
۲. مواد و روش‌ها

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 به کارگیری ظرفیت استفاده از منابع تجدید پذیر در واحدهای صنعتی فعال در کشور، به منظور 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 کم تراکم‌ترین 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].

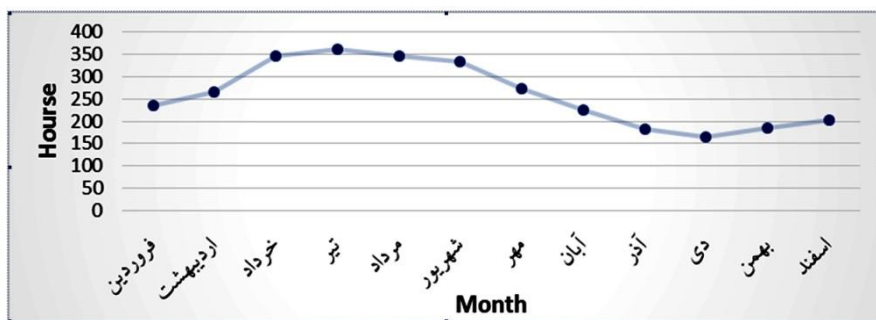
۲-۲. معرفی نرم افزار RetScreen

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. علاوه، 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 های

اطلاعات پروژه

نام پروژه:

محل پروژه:

نمودار شده برای:

نمودار شده توسط:

نوع پروژه:

تکنولوژی:

نوع شبکه:

نوع تجهیز و تجهیز:

موقع مدار گرمایش:

تجهیزات را نشان دهید:

زبان:

راهنمای کاربری:

ارز:

واحد ها:

پایگاه اطلاعاتی پروژه مورد استفاده

شماره مرجع آشنای مورد نظر:

نمودار داده های آب و هوایی:

داده ها را نشان دهید:

شکل ۳. اطلاعات آب و هوایی، کشور جمهوری اسلامی ایران و محل داده های آب و هوایی ششدر. 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		محل پروژه	
واحد	هوایی	محل پروژه	هوایی
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 سرمایش در شرایط طراحی	°C 38.6		
دانه نوسان دمای زمین	°C 27.6		

ماه	درجه حرارت هوا		رطوبت نسبی		اشعه خورشیدی روزانه		سرعت باد		درجه حرارت		درجه روزه ها	
	°C	%	کیلووات ساعت/متر مربع/روز	کیلووات ساعت/متر مربع/روز	°C	°C-d	°C-d	°C	°C-d	°C-d	°C-d	°C-d
ژانویه	6.3	65.6%	2.96	92.4	3.5	6.8	363	0	0	0	0	0
فوریه	7.6	56.9%	3.85	92.3	3.7	8.8	291	0	0	0	0	0
مارس	12.1	47.0%	4.80	92.1	3.8	14.0	183	65	65	65	65	65
آوریل	19.0	34.8%	5.48	92.0	4.0	22.0	0	269	269	269	269	269
مه	25.1	23.5%	6.65	91.8	4.3	29.2	0	469	469	469	469	469
ژوئن	30.1	16.4%	7.68	91.4	4.6	34.7	0	603	603	603	603	603
ژوئیه	33.1	15.7%	7.24	91.1	4.4	38.3	0	716	716	716	716	716
آگوست	32.7	16.0%	6.73	91.3	4.3	37.4	0	702	702	702	702	702
سپتامبر	28.5	18.4%	5.70	91.7	4.2	32.0	0	555	555	555	555	555
اکتبر	22.4	28.6%	3.93	92.2	4.0	24.4	0	383	383	383	383	383
نوامبر	14.2	46.6%	2.95	92.4	3.7	15.1	114	126	126	126	126	126
دسامبر	8.2	61.4%	2.62	92.5	3.6	8.6	304	0	0	0	0	0
میانگین	20.0	35.8%	5.05	91.9	4.0	22.7	1,256	3,889	3,889	3,889	3,889	3,889
انحراف معیار	10.0	0.0										

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	روزانه میل	ترخ صادرات برق	مگاوات ساعت
	کیلوات ساعت/متر مربع/d	کیلوات ساعت/متر/d	مگاوات ساعت/IRR	
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
میانگین 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).

فصلنامه		
نوع	سیلیسیم - چننگلی	
ظرفیت تولید برق	کیلو وات	1,000.00
تولید کننده	Yingli Solar	
مدل	YL250P-32b - چننگلی - سیلیسیم	
کارایی - رانندگی	%	14.0%
دمای اسمی عملیاتی سلول خورشیدی	°C	45
% ضریب دما	°C / % (درجه سانتیگراد / %)	0.40%
مساحت کاتود خورشیدی	متر مربع	7,168
افت های دیگر	%	9.0%
معکوس کننده		
کارایی - رانندگی	%	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 سانتی گراد	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]

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

۳-۴. تجزیه و تحلیل هزینه

گام اول در اجرای پروژه، خرید سیستم خورشیدی است که درواقع هزینه ثابت سرمایه‌گذاری است. طبق تحقیقات به‌عمل‌آمده و اطلاعات واردشده 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 الکتریسیته مورد بهره (سیستم بهره)									
کشور - منطقه	نوع سوخت	همه انواع	ظرفیت انتشار (excl. T&D) (GHG)		درصد	ظرفیت انتشار GHG		تولید GHG	تولید GHG
			تCO2/ساعت	تCO2/ساعت		تCO2/ساعت	تCO2/ساعت		
Iran, Islamic Rep. of			0.565	8.0%		0.614			
☐ تغییرات سطح پایه در طول عمر پروژه									
خلاصه GHG سیستم بهره (سیستم بهره)									
نوع سوخت	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG
تولید	100.0%	1,629	0.614	999.6					
مجموع	100.0%	1,629	0.614	999.6					
خلاصه سیستم مورد پیشنهادی (پروژه افزودنی برق)									
نوع سوخت	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG
تولید	100.0%	1,629	0.000	0.0					
مجموع	100.0%	1,629	0.000	0.0					
حداکثر انتشار قابل توجیه									
مگاوات ساعت	1,629	4.0%	65	0.614	40.0				
مجموع					40.0				
خلاصه کاهش انتشار GHG									
نوع سوخت	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG	تولید GHG
پروژه افزودنی برق	999.6	40.0	999.6	0%	999.6				
نکته: برای نفت خام مصرف نشده									
کاهش حاصل از سوخت انتشار GHG	960	ICO2	2,233						
نکته: برای نفت خام مصرف نشده									
کاهش حاصل از سوخت انتشار GHG	960	ICO2	412,485						
نکته: برای نفت خام مصرف نشده									
کاهش حاصل از سوخت انتشار GHG	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].

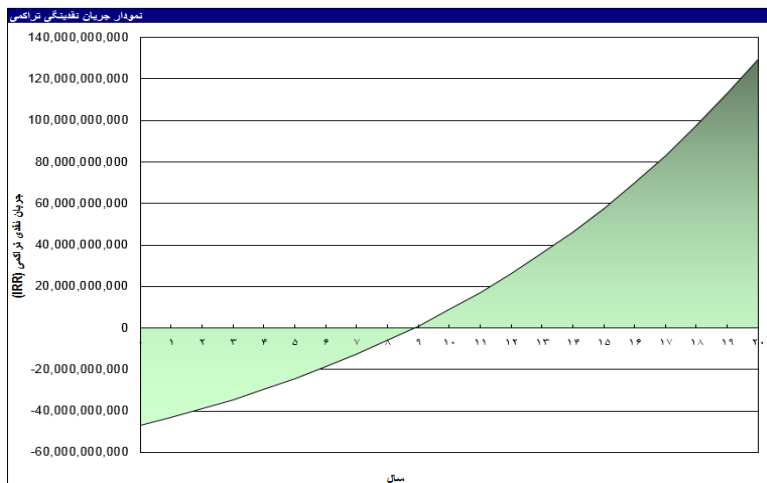
- نرخ تخفیف: طبق آمار بانک مرکزی بالاترین نرخ سود سپرده‌گذاری (سپرده‌های دیداری) در سال ۱۳۹۵ حداکثر ۱۸٪ تعیین شده که در این تحقیق به عنوان نرخ تخفیف معیار در نظر گرفته شده است [۲].
 - نرخ ارز: طبق گزارش بانک مرکزی ایران در بازه زمانی ۱۳۹۵/۱/۱-۱۳۹۵/۱۲/۳۰ حداقل نرخ دلار آمریکا (USD) ۳۰۲۴۰ ریال، حداکثر 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 به طور 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 مدت زمان بازگشت سرمایه کاهش خواهد یافت. بعد از بازگشت سرمایه هم نیروگاه دارای ارزش افزوده خواهد بود و هم سود حاصله افزایش می‌یابد؛ به نحوی 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	سال/IRR		-2,811,965,066
نسبت هزینه - فایده (B-C)			0.68
گوات ساعت R هزینه تولید انرژی			4,503,934.87
هزینه کاهش GHG	IRR/tCO2		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 ۸۸۳ 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 RTScreen در شهرک‌ها و نواحی صنعتی (مطالعه موردی: شرکت نیرو کمر)، 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، عالیه؛ شکوری گنجوی، حامد؛ شکیبا، 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).