



ارزیابی فنی و اقتصادی سیستم فتوولتائیک برای روستای دور افتاده در یزد

محمدحسین قاسمی^۱، سیاوش چاکی‌پور^۱، شادی شریف‌زاده^۲، مرضیه لطفی^{۳*}، مجتبی شفیعی^۳

۱- دانشجوی ارشد مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران

۲- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران

* دزفول، ۱۸۶۷۴-۶۴۶۱۶، marzyeh.lotfi@gmail.com

چکیده

طی سال‌های اخیر، نگرانی جامعه بشری نسبت به پدیده گرمایش زمین و آلودگی‌های ناشی از مصرف بالای سوخت‌های فسیلی برای تولید انرژی پایدار، افزایش یافته است. هدف این مقاله، ارزیابی فنی و اقتصادی تولید برق توسط پنل خورشیدی در مناطق دور افتاده‌ای است که دسترسی به سیستم برق سراسری ندارند و یا با مشکلاتی نظیر قطعی پیاپی برق روبه‌رو هستند. همچنین به بررسی عوامل موثر بر هزینه‌های طراحی، اجرا و تعمیر و نگهداری سیستم فتوولتائیک می‌پردازد و از نظر آلاینده‌گی محیط زیستی مقایسه‌ای با سیستم‌های تولید برق نیروگاهی انجام می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که تولید انرژی تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند شرایط جوی و دما قرار دارد، به طوری که در ماه‌های ابری (زانویه و دسامبر) بیشترین مصرف و کمترین تولید انرژی مشاهده می‌شود. بازدهی سیستم در تابستان به حداکثر خود می‌رسد و در شرایط استاندارد، بازدهی فتوولتائیک ۱۶/۵۶٪ است. میزان انرژی تولیدی سالانه برابر با ۳۱۷۰ کیلووات ساعت بوده که ۲۹۲۹ کیلووات ساعت آن مصرف و ۱۴۱ کیلووات ساعت هدر می‌رود. همچنین، برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهد که استفاده از سیستم فتوولتائیک معادل صرفه‌جویی در انتشار ۱/۷ تن دی‌اکسید کربن از سوخت گاز طبیعی و یا ۱۸ تن حاصل از سوخت بنزین است. هزینه‌های مربوط به خرید تجهیزات و نگهداری سیستم نیز مورد بررسی قرار گرفته و به صرفه بودن اقتصادی و زیست‌محیطی این سیستم‌ها ارزیابی شده است.

کلید واژگان: فتوولتائیک، سوخت‌های فسیلی، تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی، ارزیابی فنی و اقتصادی

Technical and economical evaluation of photovoltaic system for a remote village in Yazd

Mohammad Hosein Ghasemi¹, Siavash Chakipour¹, Shady Sharifzadeh², Marzieh Lotfi^{3*},
Mojtaba Shafiee³

1- M.Sc. student, Department of Chemical engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran

2- M.Sc., Department of Chemical engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran

3- Assistant Professor, Department of Chemical engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran

Received: 08 November 2023 Accepted: 26 January 2025

Abstract

In recent years, the concern of human society regarding the phenomenon of global warming and pollution caused by the high consumption of fossil fuels for sustainable energy production has increased. The purpose of this article is the technical and economic evaluation of electricity production by solar panels in remote areas that do not have access to the national electricity system or are facing problems such as continuous power outages. We also examine the factors affecting the design, implementation, and maintenance costs of the photovoltaic system, and in terms of environmental pollution, there is a comparison with power plant systems. The results show that energy production is affected by various factors such as atmospheric conditions and temperature, so that the highest consumption and lowest energy production are observed in cloudy months (January and December). The efficiency of the system reaches its maximum in summer and in standard conditions, the photovoltaic efficiency is 16.56%. The amount of energy produced annually is equal to 3170 kilowatt hours, of which 2929 kw.hr are consumed and 141 kw.hr are wasted. Also, the estimation of greenhouse gas emissions shows that the use of photovoltaic system is equivalent to saving 1.7 tons of CO₂ emissions from natural gas fuel and 18 tons from gasoline fuel. The costs related to the purchase of equipment and maintenance of the system have also been investigated and the economic and environmental efficiency of these systems have been evaluated.

Keywords: Photovoltaic, Fossil Fuels, Renewable, Solar energy, Technical and Economic Evaluat

1- مقدمه

خورشید یک منبع عظیم انرژی است که به وفور و بصورت رایگان در اختیار انسان قرار دارد. آنچه باعث ترغیب بشر به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شود، محدودیت ذخایر سوخت‌های فسیلی، اثرات مخرب زیست محیطی آنها، نوسانات قیمت و بحران‌های انرژی است. لازم به ذکر است در حال حاضر، آنچه بشر را از جایگزینی انرژی‌های نو با فسیلی بازمی‌دارد، بازده پایین آنها در مقایسه با انرژی-های فسیلی، بالا بودن هزینه ساخت و استفاده، و عدم تمایل دولت‌ها و صنایع به حمایت از آنهاست. هدف اساسی این مقاله، ارزیابی اقتصادی استفاده از سیستم فتوولتائیک¹ (PV) جهت تأمین برق خانگی در مناطق دور افتاده است. کشور ایران بدلیل شرایط جغرافیایی، توان بالایی در دریافت انرژی خورشیدی دارد، بطوری‌که میانگین سالانه تابش خورشید در کشور 5 کیلووات ساعت در روز برآورد می‌شود، که این رقم در مقایسه با دیگر کشورها، بسیار قابل ملاحظه است [1,2]. با توجه به شرایط آب و هوایی گرم و خشک ایران در شهرهایی مانند اهواز، متوسط تابش سالانه خورشید برابر 5/6 کیلووات ساعت بر متر مربع و متوسط ساعات آفتابی 3000 ساعت در سال است [1]. بانک جهانی در بررسی‌های جداگانه‌ای به مطالعه-ی ویژگی‌های فنی و اقتصادی انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی پرداخته است.

بسیاری از کشورها پروژه‌های خورشیدی فتوولتائیک را برای تولید انرژی پاک نصب کرده‌اند. در پایان سال 2020، ظرفیت خورشیدی متصل به شبکه جهانی به 1/580 گیگاوات و ظرفیت خورشیدی مستقل به 4/3 گیگاوات در مقایسه با سال 2016 رسید، این یک پیشرفت بزرگ است [2]. جایگزینی سیستم‌های فتوولتائیک با سوخت‌های فسیلی به عنوان یک راهکار پایدار برای تأمین انرژی در عصر حاضر، اهمیت زیادی دارد. این تغییر نه تنها به کاهش وابستگی به منابع تجدیدناپذیر و کاهش آلودگی محیط زیست کمک می‌کند، بلکه به مقابله با تغییرات اقلیمی و حفظ منابع طبیعی نیز می‌انجامد. ارزیابی فنی این سیستم‌ها از آن جهت حائز اهمیت است که به شناسایی قابلیت‌ها و محدودیت‌های فناوری‌های خورشیدی کمک می‌کند و امکان بهینه‌سازی عملکرد آنها را فراهم می‌آورد [3]. از سوی دیگر، ارزیابی اقتصادی این سیستم‌ها، با تحلیل هزینه‌ها و منافع اقتصادی، به تصمیم‌گیری‌های آگاهانه در

زمینه سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر یاری می‌رساند. در این مقاله، از روش‌های تحلیلی مانند مدل‌سازی سیستم و شبیه‌سازی برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های فتوولتائیک استفاده خواهد شد. با تحلیل داده‌های مربوط به تابش خورشید، هزینه‌های نصب و نگهداری، و مقایسه آن‌ها با هزینه‌های سوخت‌های فسیلی، به بررسی پتانسیل اقتصادی و فنی این سیستم‌ها خواهد پرداخت تا راهکارهای مؤثری برای گسترش استفاده از انرژی خورشیدی ارائه شود [4].

کومار به کاربردهای سیستم فتوولتائیک در عمان و فرصت‌ها و چالش‌های آن پرداخته است [5]. او با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و تابش بالاتر از میانگین سالانه، مشخص کرد سیستم‌های فتوولتائیک جهت تولید انرژی در سطح صنعتی مقرون به صرفه است. میثائیا دال به تجزیه و تحلیل و مقایسه‌ی هزینه‌های فتوولتائیک، گرمای خورشیدی و تکنولوژی‌های تولید الکتریسیته پرداخته است [6]. او مشخص کرد لزوماً سیستم فتوولتائیک گران‌تر و پیچیده‌تر از سایر

سیستم‌ها نیست. علی‌الشتوی نشان داد که باتوجه به هزینه بالای ساخت سیستم فتوولتائیک، هزینه پایین بهره‌برداری از آن یک امتیاز است [7]. آندراژک به بهبود اقتصادی سیستم فتوولتائیک و توان آن در کنیا پرداخته است [8-10]. او با بهره‌گیری از سیستم بازگرمایش، بازدهی سیستم فتوولتائیک را افزایش داده است. دی پالیت نشان داد ترکیب سیستم فتوولتائیک با باتری ذخیره و همچنین ژنراتور دیزل، برای روستاهای دور افتاده، انتخاب خوبی است [11].

باکر و همکاران به جنبه‌های اقتصادی انرژی خورشیدی پرداختند، و انرژی خورشیدی را جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی و سایر انرژی‌های آلاینده از جمله برق-آبی معرفی کردند [12]. کلثوم احمد، هزینه‌های استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را مورد بررسی قرار داده است، نتایج این بررسی‌ها حاکی از آن است که هزینه‌های تکنولوژی فتوولتائیک نزولی می‌باشد و این روند ادامه خواهد یافت [13]. شبابی و همکاران ارزیابی فنی و اقتصادی نیروگاه‌های فتوولتائیک را با محاسبه‌ی میزان انرژی متوسط دریافتی پنل‌های فتوولتائیک در مناطق آفتاب خیز کشور بررسی کردند [14].

در این مقاله با بهره‌گیری از منابع علمی روز دنیا و شرکت‌های مطرح داخلی و خارجی، آمارهای تحلیلی مناسبی ارائه شده است که می‌تواند با توجه به پارانه‌های دولتی برای انرژی‌های تجدیدپذیر، زمینه را برای استفاده هرچه بیشتر از آنها فراهم کند. استان یزد یکی از بزرگترین استان‌های کشور می‌باشد که با توجه به پراکندگی جمعیت و وجود صنایع بزرگ، یکی از استان‌های پر مصرف از نظر انرژی است. همچنین در این استان، وجود روستاهای زیاد و پراکنده، گاهی اوقات برق‌رسانی به آنها را با چالش‌هایی روبرو می‌کند. در این مقاله روستای کویری حسین آباد در 135 کیلومتری شمال یزد با تعداد 10 خانوار مورد مطالعه قرار گرفته است. ابتدا به منظور طراحی یک سامانه فتوولتائیک، انرژی مصرفی مورد نیاز در منازل مسکونی بر حسب وات ساعت مصرفی در روز مطابق جدول شماره 1 محاسبه شده است. انرژی مورد نیاز با در نظر گرفتن بیشترین وسایل برقی مورد استفاده، و تعداد ساعات کارکرد روزانه مورد محاسبه قرار گرفته است.

جدول 1 انرژی الکتریکی مورد نیاز یک خانه (جدول بر اساس طراحی نرم افزار PVsyst)

وسیله	توان مصرفی (وات)	تعداد	توان مورد نیاز (وات ساعت)	کارکرد روزانه (ساعت)	مصرف روزانه (وات ساعت بر روز)
لامپ	10	8	80	5	400
یخچال	140	1	140	24	3360
تلوزیون	100	1	100	3	300
کولر	430	1	430	3 ^(e)	1290
موبایل	10	2	20	5	100
دیگر وسایل	24	3	48	1	72
اینورتر	24	1	24	24	576
لباسشویی	1000	1	1000	1	1000
وسایل آشپزخانه	500	2	1000	1	1000
جمع			2862		8098

Photovoltaic¹

(*) ساعت کاری کولر به صورت میانگین سالانه روزی 3 ساعت در نظر گرفته شده است.

2- طراحی سامانه فوتولتائیک مستقل از شبکه

2-1- محاسبات توان پنل خورشیدی

توان مورد نیاز ماژول بر اساس نیازمندی‌های جدول 1، طبق فرمول (1) محاسبه می‌شود:

$$P_{pv\ array} = \frac{E_l}{P_v \times P_{inv} \times PSH} \times S_f \quad (1)$$

که در آن P_v و P_{inv} ، به ترتیب بازده شارژ کنترلر و اینورتر و PSH مقدار ماکزیمم تابش آفتاب در آن منطقه بر اساس کیلووات ساعت بر متر مربع بر روز می‌باشد که مطابق جدول 7 در یزد برابر 6/3 است و S_f ضریب اطمینان که 0.5/ در نظر گرفته شده است [15].

$$P_{pv\ array} = \frac{8098}{0.92 \times 0.9 \times 6.3} \times 1.05 = 1630 \text{ (w)}$$

بیشینه جریان مستقیم از فرمول (2) بدست می‌آید.

$$I_{ac} = \frac{P_{pv\ array}}{\text{system DC voltage}} \quad (2)$$

در نتیجه:

$$I_{ac} = \frac{1630}{24} = 67.9 \cong 70 \text{ (A)}$$

جدول 2 مشخصات فنی ماژول (Resun Solar Energy RS5A-210M) [16]

شماره	پارامتر	واحد	مقدار
1	حداکثر توان	وات	210
2	ولتاژ در حداکثر توان	ولت	30/77
3	جریان در حداکثر توان	آمپر	6/86
4	ولتاژ مدار باز	ولت	37/54
5	جریان اتصال کوتاه	آمپر	7/21
6	بازدهی پنل	درصد	15/7
7	تلرانس قدرت خروجی	درصد	+ /2
8	حداکثر ولتاژ سیستم	ولت	1000
9	مدل سل	-	سلیکون چند کریستاله
10	ابعاد پنل	میلی متر	1640×992×40

2-2- انتخاب اینورتر

توان اینورتر مورد استفاده در سیستم فوتولتائیک به حداکثر وات کلی مورد نیاز بستگی دارد. وات کلی مورد نیاز برای منزل مسکونی در هر زمانی مطابق جدول 2 می‌بایست 1000 وات باشد. ظرفیت اینورتر باید به قدری باشد تا بتواند حداکثر وات مورد نیاز را در هر زمانی کنترل کند. توان اینورتر باید حدود 30 درصد بزرگتر از حداکثر توان مورد نیاز باشد. در نتیجه با توجه به مطالب بیان شده، برای این پروژه، اینورتر Maxi And Euro Efficiencies انتخاب شده است [17].

2-3- انتخاب شارژ کنترلر

شارژ کنترلر وسیله‌ای است که بین پنل خورشیدی و باتری قرار می‌گیرد و جریان پنل های خورشیدی که برای شارژ کردن باتری استفاده می‌شود را کنترل می‌کند. برای افزایش طول عمر باتری، جلوگیری از برگشت جریان باتری در زمانی که

پنل از خورشید تغذیه نمی‌شود و همچنین کنترل فرایند شارژ باتری، از شارژ کنترلر استفاده می‌شود. برای اینکار از شارژ کنترلر مدل Universal Controller MPPT Converter استفاده شده است [17].

2-4- انتخاب باتری

برای تأمین یک جریان ثابت در طول شبانه روز، لازم است اضافه جریان تولیدی توسط پنل‌ها در باتری ذخیره شود تا در ساعات‌هایی که پنل از مدار خارج است، بتوان از آن استفاده کرد. قابلیت‌های لازم برای باتری شامل: شارژ شدن در کوتاه‌ترین زمان، و تخلیه شارژ در بلندترین زمان است. برای رسیدن به این منظور، با توجه به مقدار ماکزیمم جریان مورد نیاز، باتری LFP.CB 25.6v/180Ah مورد استفاده قرار گرفت [18]. در جدول شماره 3 طول عمر هرکدام از تجهیزات با استعلام از شرکت سازنده آورده شده است.

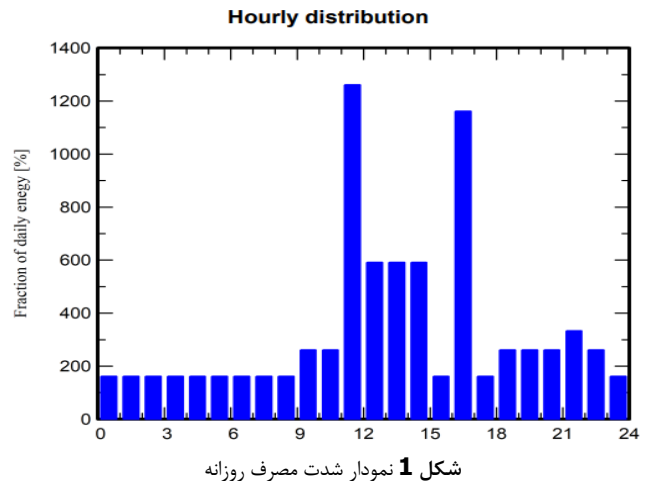
جدول 3 طول عمر تجهیزات انتخابی

تجهیز	طول عمر (سال)
پنل خورشیدی	20
اینورتر	15
شارژ کنترلر	15
باتری	7

2-5- طراحی مدل با نرم افزار PVsyst و تجزیه و تحلیل انتشار دی اکسید کربن با نرم افزار RETScreen

نرم افزار شبیه‌ساز PVsyst، نرم افزاری جامع و تحلیلی در زمینه طراحی سیستم‌های خورشیدی است، که علاوه بر طراحی و ارائه‌ی طیف وسیعی از تجهیزات و اطلاعات عملکردی آن‌ها، می‌تواند شبیه‌سازی و آنالیز داده‌ها را انجام دهد. به منظور برآورد تلفات سیستم، مدلی با مشخصات بیان شده، در نرم افزار تعریف شد، و نتایج آن به صورت زیر ارائه گردید. همچنین جهت مدلسازی میزان عدم انتشار دی اکسید کربن، از نرم افزار RETScreen استفاده شد. این نرم افزار امکان مقایسه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم‌های مختلف و همچنین برآورد هزینه ساخت و آنالیز عملکردی سیستم را دارد. در جدول شماره 4 مشخصات کلی سیستم طراحی شده، جزئیات ماژول خورشیدی و تلفات انرژی در ماژول آورده شده است. پس از طراحی در نرم افزار PVsyst، مصرف کننده‌ها و همچنین شدت مصرف روزانه آنها در جدول 5 و شکل 1 مشاهده می‌شود.

Module area	10.2 m ²							
Cell area	9.0 m ²							
Array losses								
Thermal Loss factor	DC wiring losses		Serie Diode Loss					
Module temperature according to irradiance	Global array res.	46 mΩ	Voltage drop	0.7 V				
Uc (const)	20.0 W/m ² K	Loss Fraction	1.5% at STC	Loss Fraction	1.0% at STC			
Uv (wind)	0.0 W/mK/m/s							
Module Quality Loss	Module mismatch losses		Strings Mismatch loss					
Loss Fraction	-0.8%	Loss Fraction	0.6% at MPP	Loss Fraction	0.1%			
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.778	0.636	0.403	0.000



جدول 4 پارامترهای اصلی، مشخصات سلول خورشیدی و تلفات ولتاژ در سلول

جدول 5 نیازمندی های منزل مسکونی

مصرف کننده	تعداد	توان مصرفی (وات)	توان مورد نیاز (ساعت در روز)	مصرف روزانه (وات ساعت بر روز)
لامپ ها	10	10	5	500
تلویزیون/ کامپیوتر/ موبایل	1	100	3	300
کاربردهای خانگی	2	500	1	1000
یخچال/ فریزر	1	160	24	3840
لباسشویی/ ظرفشویی	1	1000	5	1000
کولر/ تهویه	1	430	3	1290
دیگر مصارف	3	24	1	72
مصرف stand-by	1	1	24	24
جمع انرژی روزانه				8026

3- نتایج و بحث

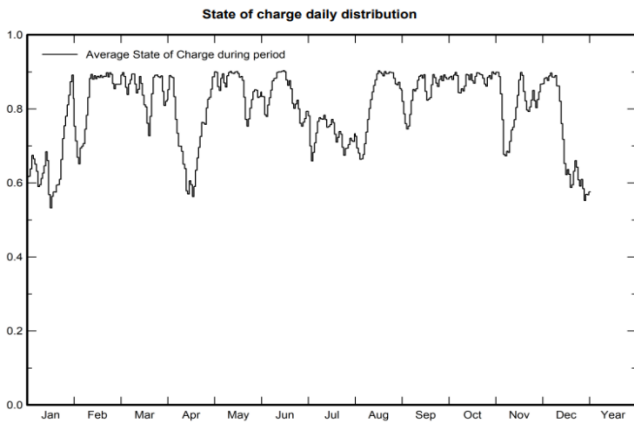
در ادامه به بررسی نمودارها و جداول به دست آمده از شبیه سازی توسط نرم افزار PVsyst پرداخته شده است.

3-1- میزان انرژی تابشی جذب شده

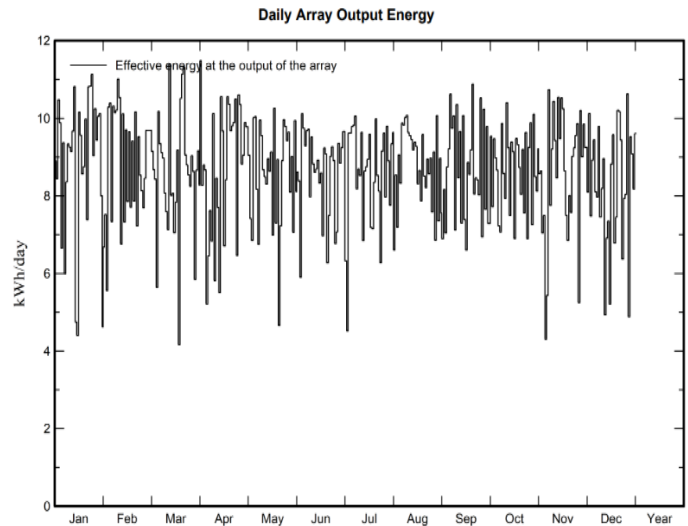
در نمودارهای زیر میزان انرژی تابشی در دسترس، بازدهی و عملکرد سیستم فوتوولتائیک، همچنین انرژی تولید شده توسط سیستم به تفکیک ماه های سال نشان داده شده اند. شکل ۲ مقدار انرژی تولیدی سیستم طی ماه های مختلف سال را نشان می دهد. در ماه هایی مانند ژانویه و دسامبر که بیشتر روزها ابری می باشد، بیشترین مصرف و کمترین میزان تولید انرژی مشاهده می شود. شکل ۳ نشان می دهد که هر چه دمای پنل بالاتر باشد، بازدهی آن بیشتر است. این بازدهی در تابستان به بیشینه خود می رسد.

General parameters		
Standalone system	Standalone system with batteries	
PV Field Orientation		
Orientation	Sheds configuration	
PV Field Orientation	No 3D scene defined	
Fixed plane		
Tilt Azimuth	35/0	Models used
User's needs	Transposition	Perez
Daily household consumers	Diffuse	Perez, Meteorom
Constant over the year	Circumsolar	separate
Average	8.0 kWh/Day	

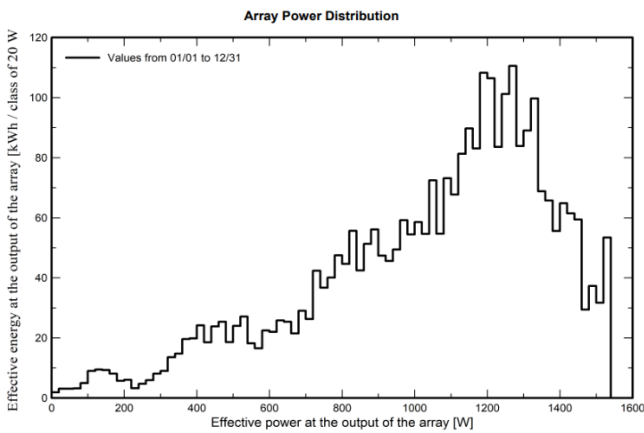
PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	Resun Solar Energy	Manufacturer	Victron Energy
Model	RS5A-210M	Model	LFP-CB 25.6V/180Ah
(Original PVsyst database)		Technology	Lithium-ion, LFP
Unit	210 Wp	No. of units	4 in parallel x 2 in series
Number of PV modules	8 units	Discharging min. SOC	10.0%
Nominal (STC)	1680 Wp	Stored energy	32.4 kWh
Modules	4 Strings x 2 In series		
At operating cond. (50°C)		Battery Pack Characteristics	
Pmpp	1509 Wp 64 V	Voltage	51 V
U mpp	64 V	Nominal Capacity	720 Ah (C10)
Imp	24 A	Temperature	Fixed 20 °C
Controller		Battery Management control	
Universal controller		Threshold commands as	SOC calculation
Technology	MPPT converter	Charging	SOC = 0.96/0.80
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Discharging	SOC = 0.10/0.35
Converter			
Maxi and EURO efficiencies		97.0/96.0%	
Total PV power			
Nominal (STC)		1.68 kWp	
Total		8 modules	



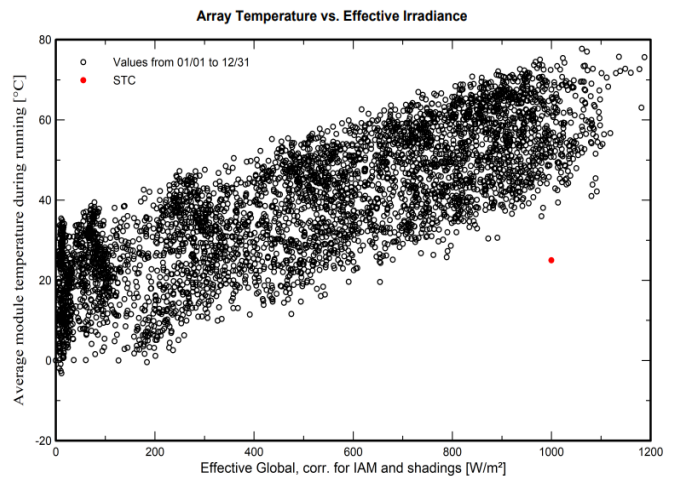
شکل 4 نمودار انرژی تولیدی سلول با توجه به تغییرات تابش در طول سال



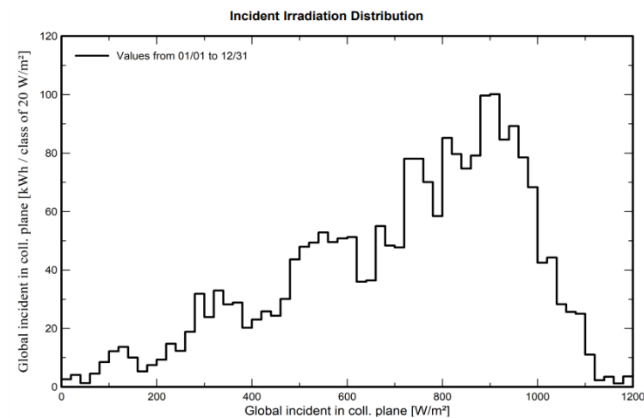
شکل 2 نمودار انرژی تولیدی سیستم بر حسب ماه



شکل 5 نمودار توان تولیدی بر حسب کیلووات ساعت



شکل 3 نمودار دمای پنل در مقابل بازدهی تابش

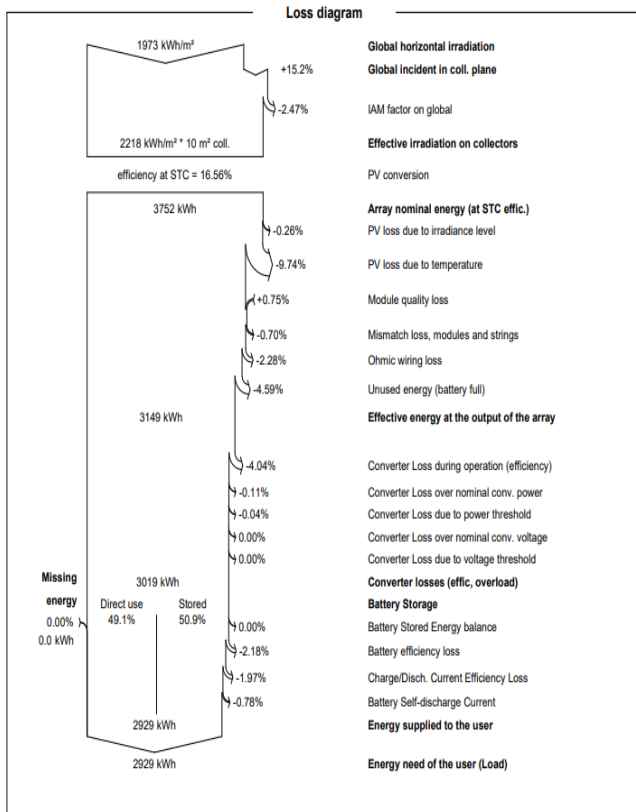


شکل 6 نمودار تابش جهانی بر حسب کیلووات ساعت

شکل ۴ میزان انرژی تولید شده در روز را توسط پنل در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. انرژی تولید شده به شدت به عواملی مانند میزان ساعت تابش، آفتابی یا ابری بودن روز و دمای هوا بستگی دارد. شکل ۵ توان تولیدی بر اساس کیلووات ساعت را نشان می‌دهد. شکل ۶ تابش جهانی خورشید را نشان می‌دهد. نمودارها در تابستان (ماه آگوست) بیشترین تابش و در زمستان (ژانویه) کمترین تابش را نشان می‌دهند.

جدول 6 نشان می‌دهد بازدهی سیستم طراحی شده 76/69 درصد می‌باشد. مقدار تولید انرژی برابر 3170 کیلووات ساعت در سال است که مقدار 2929 کیلووات ساعت در سال مصرف و میزان 141 کیلووات ساعت در سال هدر می‌رود. همچنین در هر سال 5 تا 10 درصد از ظرفیت باتری‌ها کاسته می‌شود.

جدول ۶ میزان عملکرد سیستم، انرژی تولیدی و مقدار مصرف انرژی به تفکیک ماه



شکل 7 نمودار اتلاف انرژی و خروجی توان سالیانه

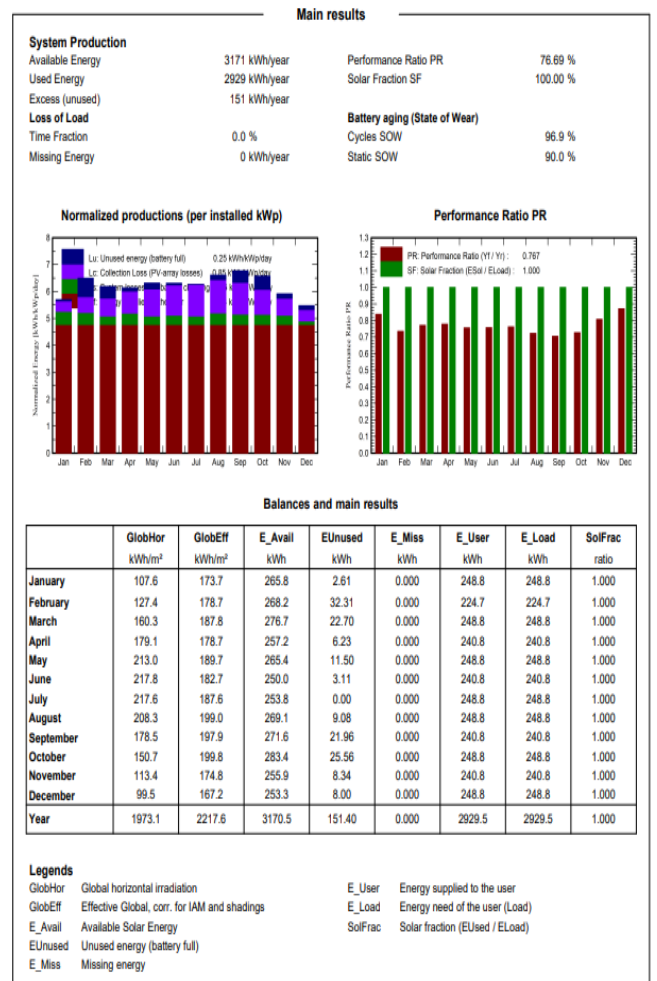
۳-۲- معادل سازی میزان انتشار دی اکسید کربن

برای سهولت در درک و تصویر سازی میزان دی اکسید کربن منتشر شده از نیروگاه فتوولتائیک، نیاز به مدل سازی با مصادیقی چون مقدار بنزین و یا گاز طبیعی سوخته شده معادل میزان برق تولیدی نیروگاه میباید.

برای مدل سازی میزان انتشار گازهای دی اکسید کربن، دی اکسید نیتروژن و متان از نرم افزار شبیه سازی RETScreen برای تجزیه و تحلیل داده های مورد نیاز استفاده شده است. نتایج تحلیل یک نیروگاه 10 کیلوواتی مطابق گزارش نرم افزار RETScreen به شرح ذیل است:

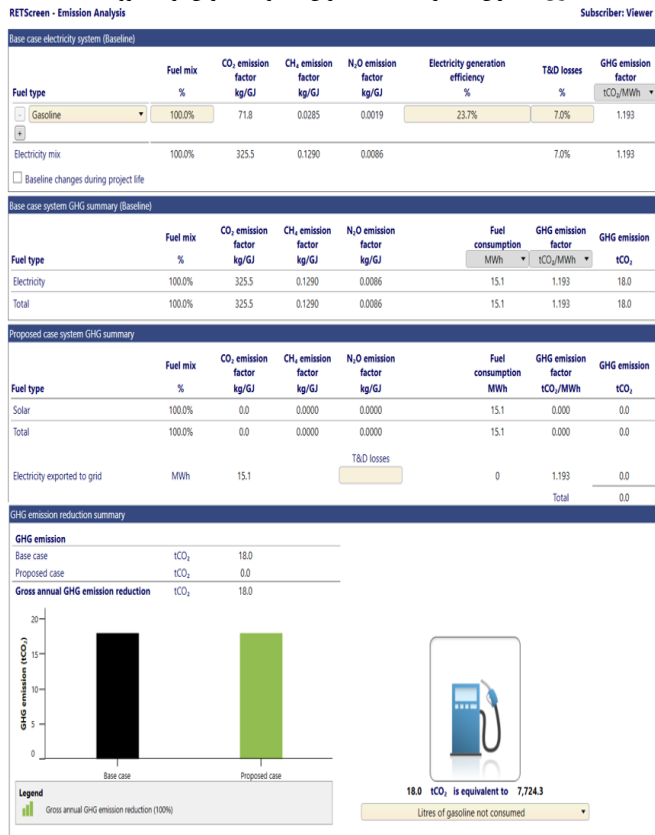
در جدول شماره 7 مشخصات اقلیمی، تغییرات دما در طول سال و شدت تابش روزانه خورشید آورده شده است. بر اساس معادل سازی انجام شده برای نیروگاه 10 کیلوواتی فتوولتائیک، مشاهده می شود که بر اساس جدول 8 با استفاده از سوخت گاز طبیعی 1/7 تن دی اکسید کربن و مطابق جدول 9 با استفاده از نیروگاه سوخت بنزین میزان 18 تن دی اکسید کربن در سال تولید می شود. این مقدار برابر مصرف 7729 لیتر بنزین و معادل تصفیه هوای صورت گرفته توسط 1/7 هکتار جنگل است.

جدول 7 مشخصات اقلیمی منطقه مورد مطالعه (استان یزد)

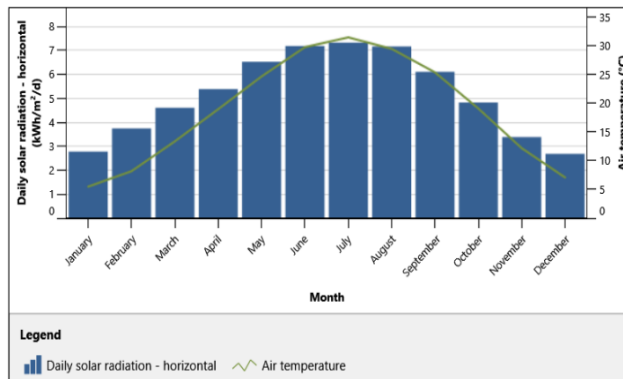


مطابق شکل 7 میزان تابش افقی 1973 کیلووات ساعت بر هر متر مربع است. تابش مؤثر بر ماژول 2218 کیلووات ساعت بر متر مربع است، بنابراین میزان تلفات انرژی 2/3 می باشد. پس از تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریسیته در آرایه ها، انرژی نامی آرایه 3752 کیلووات ساعت خواهد بود، بازدهی آرایه فتوولتائیک در شرایط استاندارد 16/56٪ می باشد. بعد از تلفات مربوط به هر یک از اجزا، میزان انرژی در دسترس 2929 کیلووات ساعت خواهد بود.

جدول ۹ میزان انتشار دی اکسید کربن با سوخت بنزین برای نیروگاه

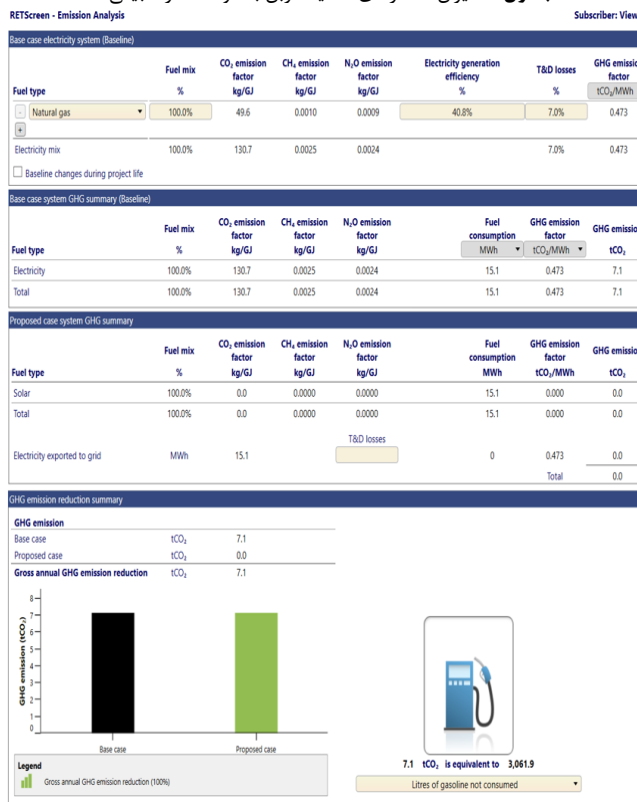


Climate data



Month	Air temperature °C	Relative humidity %	Precipitation mm	Daily solar radiation - horizontal kWh/m²/d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days °C-d	Cooling degree-days °C-d
January	5.5	53.0%	10.85	2.78	88.0	4.4	2.8	388	0
February	8.2	46.0%	6.72	3.75	87.7	5.1	5.6	274	0
March	13.4	37.0%	9.61	4.61	87.4	6.0	11.1	143	105
April	19.0	33.0%	4.80	5.39	87.0	6.6	18.3	0	270
May	24.7	25.0%	2.48	6.53	86.7	6.6	24.7	0	456
June	29.8	18.0%	1.50	7.19	86.2	6.1	29.4	0	594
July	31.5	17.0%	0.62	7.33	85.9	6.4	30.8	0	687
August	29.5	18.0%	1.86	7.17	86.2	5.7	28.7	0	605
September	25.4	19.0%	2.10	6.11	86.8	4.4	24.3	0	462
October	19.1	27.0%	3.41	4.83	87.5	3.8	17.7	0	282
November	12.2	38.0%	7.80	3.39	87.9	3.3	10.1	174	66
December	7.1	47.0%	11.16	2.69	88.1	3.9	4.4	338	0
Annual	18.8	31.4%	62.91	5.15	87.1	5.2	17.4	1,316	3,506

جدول 8 میزان انتشار دی اکسید کربن با سوخت گاز طبیعی



3-3- برآورد هزینه‌های پروژه

در این قسمت هزینه های خرید تجهیزات (جدول 10)، راه اندازی و تعمیر و نگهداری یک سیستم فتولتائیک برای منزل مسکونی با مشخصات ذکر شده برآورد و به صرفه بودن اقتصادی و زیست محیطی سیستم مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مبنای قیمت گذاری، قیمت روز بر اساس دلار 52000 تومانی است.

جدول 10 محاسبات قیمت اجرای سیستم فوتولتائیک

محیط زیست صورت گرفته است. در حالت کلی این بررسی می‌تواند درک روشنی از سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه و هزینه‌های ساخت، اجرا و نحوه انتخاب قطعات سیستم را برای مصرف‌کنندگان فراهم کند.

5- فهرست علائم

جریان مستقیم (A)	I_{dc}
مقدار ماکزیم تابش آفتاب (Kwh/m ² /day)	PSH
توان مورد نیاز ماژول (w)	$P_{pv\ array}$
ضریب اطمینان	Sf
زیر نویس‌ها	
اینورتر	inv
شارژر کنترلر	v

6- مراجع

- [1] World Bank Group, *Global Solar Atlas – Iran Map*. *Global Solar Atlas*. [Online]. Available: <https://globalsolaratlas.info/map/iran> [Accessed: Jul. 11, 2024].
- [2] M. Baqir and H. K. Channi, "Analysis and design of solar PV system using Pvsyst software," *Materials Today: Proceedings*, vol. 48, pp. 1332-1338, 2022.
- [3] R. Kumar, C. Rajoria, A. Sharma, and S. Suhag, "Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software: A case study," *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 5322-5328, 2021.
- [4] K. Akshai and R. Senthil, "Economic evaluation of grid connected and standalone photovoltaic systems using PVSyst," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 912, no. 4: IOP Publishing, p. 042074.
- [5] S. K. Jha, "Application of solar photovoltaic system in Oman—Overview of technology, opportunities and challenges," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 3, no. 2, pp. 331-340, 2013.
- [6] M. Dale, "A comparative analysis of energy costs of photovoltaic, solar thermal, and wind electricity generation technologies," *Applied sciences*, vol. 3, no. 2, pp. 325-337, 2013.
- [7] A. Q. Al-Shetwi, "Design and economic evaluation of electrification of small villages in rural area in Yemen using stand-alone PV system," *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, vol. 6, no. 1, pp. 289-298, 2016.
- [8] J. Ondraczek, "Are we there yet? Improving solar PV economics and power planning in developing countries: The case of Kenya," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 30, pp. 604-615, 2014.
- [9] E. I. C. Zebra, H. J. van der Windt, G. Nhumaio, and A. P. Faaij, "A review of hybrid renewable energy systems in mini-grids for off-grid electrification in developing countries," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 144, p. 111036, 2021.
- [10] C. O. Okoye and B. C. Oranekwu-Okoye, "Economic feasibility of solar PV system for rural electrification in Sub-Sahara Africa," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 2537-2547, 2018.
- [11] D. Palit, "Solar energy programs for rural electrification: Experiences and lessons from South Asia," *Energy for Sustainable Development*, vol. 17, no. 3, pp. 270-279, 2013.
- [12] E. Baker, "The economics of solar electricity. Energy Institute at Haas working paper series, 240, Berkeley (CA)," ed, 2013.
- [13] E. Martinot, "Renewable energy investment by the World Bank," *Energy Policy*, vol. 29, no. 9, pp. 689-699, 2001.
- [14] M. o. s. h. Shiva shababi, "Technical and economic evaluation of photovoltaic system in Iran," *Scientific research journal of Electricity*, vol. 22, p. 35 to 43, 2014.
- [15] M. Jahangiri, A. Haghani, A. Mostafaeipour, A. Khosravi, and H. A. Raeisi, "Assessment of solar-wind power plants in Afghanistan: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 99, pp. 169-190, 2019.

شماره	مشخصات	تعداد	هزینه (تومان)
1	ماژول*	8	87×52000=21717000 48×
2	اینورتر*	1	38×52000=19864000 2
3	شارژ کنترلر*	1	60×52000=3120000
4	باتری	8	×8×52000=34944000 84
5	سازه	1	4800000
6	هزینه نصب و راه اندازی	-	12000000
7	هزینه طراحی و مهندسی	-	8000000
	جمع کل		104445000

*مبنای محاسبه با دلار 52000 تومان میباشد.

۳-۱- هزینه‌های تعمیر و نگهداری

شامل تعویض پنل که خرابی بخش اعظم هزینه تعمیر و نگهداری را شامل می‌شود. همچنین هزینه‌های مربوط به بیمه، شستشو و تعویض قطعات معیوب را باید در نظر گرفت. هزینه‌های ثابت تعمیر و نگهداری در سال حدود 65000 تومان به ازای هر کیلووات ساعت برای سیستم فتوولتائیک است، که این میزان در سرمایه‌گذاری اولیه لحاظ نمی‌گردد [19].

4- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به منظور ارزیابی فنی و اقتصادی یک سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه برای تأمین برق روزانه 8/1 کیلووات یک منزل مسکونی انجام شده است. با توجه به هزینه‌های بسیار پایین تعمیر و نگهداری این سیستم‌ها، و هزینه خالص 0/55 دلار برای هر کیلووات ساعت/ماه، برق تولیدی برای 15 سال (با توجه به جدول شماره 3 برای عمر مفید تجهیزات) در برابر هزینه برق مصرفی خانوار با تعرفه وزارت نیرو به ازای 0/187 دلار برای هر کیلووات ساعت/ماه، شاید در نگاه اول اینگونه به نظر بیاید که مقرون به صرفه نیست. در اینجا ذکر چند نکته لازم است؛ اول اینکه قیمت انرژی در ایران بسیار ارزان‌تر از نرخ متوسط جهانی است. دوم اینکه، جهت ساخت نیروگاه‌های خورشیدی، دولت امکانات و یارانه بسیار خوبی در اختیار افراد قرار می‌دهد و مهم‌تر از همه اینها، با پیشرفت تکنولوژی و با نگاهی به روند قیمت تمام شده پنل‌های خورشیدی، می‌توان دریافت که هر ساله هزینه تولید این تجهیزات کمتر می‌شود به نحوی که بر اساس گزارش منتشر شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر (IRENA) از سال 2010 تا 2019 هزینه ساخت نیروگاه خورشیدی 82٪ کاهش پیدا کرده است [20]. لازم به ذکر است از دیدگاه محیط زیستی، استفاده از این نیروگاه‌ها باعث می‌شود سالانه از انتشار حداقل 7 تن و حداکثر 18 تن دی‌اکسید کربن جلوگیری شود. این مقادیر فقط معادل برق مصرفی یک خانه است و وقتی در مقیاس بزرگتر به موضوع نگاه شود، صرفه جویی زیادی در مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی

- [16] R. Kamal, M. Abdel-Salam, and M. Nayel, "Estimation of photovoltaic module parameters based on datasheet: a review and a proposed method," *Engineering Research Journal*, vol. 179, pp. 178-203, 2023.
- [17] Inverter specification and cost [Online] Available: https://m.alibaba.com/premium/solar_mppt_charger.html
- [18] Battery specification and cost [Online] Available: <https://europe-solarstore.com/victorn-lifepo-battery-25-6v-180ah-smart.html>
- [19] R. Tidball, J. Bluestein, N. Rodriguez, and S. Knoke, "Cost and performance assumptions for modeling electricity generation technologies," National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2010.
- [20] International Renewable Energy Agency [Online] Available: <https://iransplarmag.com/solar-cost-have-fallen-82-since-2010>