فصلنامه علمی – ترویجی «نشریه انرژی ایران»
دوره ۲۰، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، صفحه ۸۳-۶۷

طراحی سیستم مستقل از شبکه برای تأمین انرژی منزل مسکونی

[۱] قاسم نجفی* ، [۲] مجید خانعلی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۵/۵/۴

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۶/۳/۶

کلمات کلیدی:
فتوولتاییک
سیستم مستقل
نرم‌افزار PVsyst
برآورد هزینه

چکیده

برای کاهش مقدار آلودگی هوا و گازهای گلخانه‌ای و حفظ منابع سوخت فصلی، یکی از روش‌ها گسترش استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر است. درنتیجه این منجر به رشد و گسترش استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک شده است. امروزه به خاطر افزایش نیاز به انرژی الکتریکی و توانای تولید انرژی موردنیاز به صورت خانگی و خصوصی، استفاده از انرژی خورشیدی و توانایی تولید انرژی الکتریکی از آن به‌وسیله سیستم‌های فتوولتاییک افزایش‌یافته است. در این مطالعه یک سیستم مستقل از شبکه برق برای تأمین برق موردنیاز یک واحد مسکونی در اطراف کرج در فصل معینی از سال طراحی‌شده است. انرژی موردنیاز برای این خانه ۴۳۲۰ وات ساعت است. برای تأمین این مقدار انرژی ۸۳۰ وات آرایه فتوولتاییک، یک اینورتر ۱۵۰۰ واتی، یک شارژ کنترل با ظرفیت ۴۰ آمپر و باتری ۲۴ ولتی با ظرفیت ۶۰۰ آمپرساعت موردنیاز می‌باشد. هزینه این پروژه ۱۰۳۷۰۰۰۰۰ ریال تخمین زده شده است. از نرم‌افزار PVsyst برای محاسبه مقدار تلفات سیستم استفاده‌شده و درنهایت اثر محیطی سیستم با سیستم‌های رایج مقایسه شده است.

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)
ghasem.najafi@ut.ac.ir

۲) استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
khanali@ut.ac.ir

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

۱. مقدمه

به دلیل فعالیت‌های انسانی انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین رو به افزایش است. هم‌اکنون بسیاری از مجامع علمی بر این باورند که افزایش کربن دی‌اکسید (CO_2)، متان (CH_4) و سایر گازهای گلخانه‌ای سبب افزایش دمای زمین شده است که این افزایش گازهای گلخانه‌ای منجر به گرمایش شدیدتر در طی قرون آتی خواهد شد. به همین دلیل امروزه، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر دارای مزایا و اهمیت قابل‌توجهی می‌باشد. در میان این انرژی‌های تجدیدپذیر، تولید برق با استفاده از سامانه های فتوولتاییک یا به عبارتی نیروگاه‌های خورشیدی به لحاظ سیاسی و اقتصادی توجه جهانی را به خود جلب کرده است. سیستم فتوولتاییک انرژی نوری را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. سیستم‌های فتوولتاییک یکی از پرمصرف‌ترین کاربرد انرژی نو می‌باشند و تاکنون سیستم‌های گوناگونی با ظرفیت های مختلف در سراسر جهان نصب و راه‌اندازی شده است و با توجه به قابلیت اطمینان و عملکرد این سیستم‌ها هرروزه بر تعداد متقاضیان آن‌ها افزوده می‌شود. از سری و موازی کردن سلول‌های خورشیدی می‌توان به جریان و ولتاژ قابل قبولی دست‌یافت. درنتیجه به یک مجموعه از سلول‌های سری و موازی شده پانل فتوولتاییک می‌گویندکه به طور معمول از سیلیسیوم ساخته می‌شوند [۱، ۲].

کشور ایران پتانسیل بسیار زیادی برای استفاده از انرژی خورشید دارد به‌گونه‌ای که با داشتن حدود ۳۰۰ روز آفتابی و میزان ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال جزء کشورهای دنیا با پتانسیل بالای انرژی خورشید می‌باشد. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و پراکندگی روستاها در کشور، استفاده از انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین عوامل است که باید موردتوجه قرار گیرد. استفاده از انرژی خورشیدی یکی از بهترین راه‌های برق‌رسانی و تولید انرژی در مقایسه با دیگر مدل های انتقال انرژی به روستاها و نقاط دورافتاده در کشور ازنظر هزینه، حمل‌ونقل، نگهداری و عوامل مشابه می‌باشد [۳]. مساحت کشور ایران تقریباً یک‌میلیون و ششصد هزار کیلومترمربع است که با احتساب این مساحت، میزان تابش روزانه انرژی خورشیدی برابر $۱/۶\times۵/۵\times۱۰^{۱۲}$ کیلووات ساعت می‌باشد. میزان کل تابش در طول روز در ایران تقریباً ۹ میلیارد مگاوات ساعت است که اگر تنها از یک درصد مساحت کشور ایران با استفاده از سیستمی با راندمان ۱۰ درصد، انرژی خورشیدی جذب شود، امکان جذب ۹ میلیون مگاوات ساعت انرژی به صورت روزانه وجود دارد [۴] رحمان و همکاران در سال ۲۰۱۲ برای

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

تأمین برق یک روستا در عربستان صعودی یک سیستم ترکیبی فتوولتاییک، باد و دیزل را شبیه‌سازی کردند که ۳۵ در صد انرژی به‌و سیله منابع تجدیدپذیر و بقیه انرژی تو سط دیزل ژنراتور تأمین می شد. میزان تولید ســالانه ســیســتم فتولتاییک، باد و دیزل به ترتیب برابر ۱۶۵۳/۵، ۴۷۱۳/۷ و ۱۱۵۴۲/۶ مگاوات ساعت برآورد شد[۵]فاضل‌پور و همکاران در سال ۲۰۱۴ به‌منظور تأمین برق یک هتل متوسط با ۲۵ اتاق در جزیره کیش و م صرف سالیانه ۲۶۲۸۰۰۰ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی یک سامانه تولید انرژی هیبرید باد و دیزل با سیستم ذخیره‌سازی باتری را پیشنهاد کردند و عملیات شبیه‌سازی با نرم‌افزار هومر را انجام دادند [۶]. سندیپ و راتوری در سال ۲۰۱۲ برای تأمین برق جزایر فیجی، امکان ســنجی راه‌اندازی نیروگاه با منابع تجدیدپذیر را مطالعه کردند و به این نتیجه رسـیدند که شـبیه‌ســازی نیروگاه هیبریدی باد، فتوولتاییک و دیزل امکان‌پذیری و صــرفه اقتصــادی بهتری دارد [۷]. چاندل و موین، امکان‌سنجی فنی و کارایی اقتصادی طراحی نیروگاه خورشیدی ۲/۵ مگاواتی را مورد مطالعه قرار دادند. جهت تأمین انرژی، اسـتفاده از ۲۳۲۳۰ ماژول فتوولتاییک پیشـنهاد شـد. در هر ردیف ۱۶ ماژول قرارگرفت و از هفت اینورتر با ظرفیت ۳/۵ مگاوات استفاده‌شد [۸].

هدف از انجام این مطالعه، طراحی یک ســامانه فتوولتاییک مســتقل از شــبکه[۱]برای تأمین انرژی الکتریکی موردنیاز یک‌منزل م سکونی در شهر کرج برای ف صل تاب ستان بود. طراحی و انتخاب اجزاء سامانه، برآورد هزینه و تلفات انرژی آن با استفاده از نرم‌افزار PVsyst و همچنین اثر گازهای گلخانه‌ای موردمطالعه قرارگرفت.

۲. منطقه مورد مطالعه و انرژی موردنیاز

شهرستان کرج با توجه به موقعیت جغرافیایی و اجتماعی یکی از شهرهای پرجمعیت کشور می‌باشد و با توجه به جمعیت بالا و صنایع مختلف، یکی از مناطق پر مصرف انرژی در ای‌ران م‌ی‌باشد. شهر کرج با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه شــرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه شمالی با ارتفاع ۱۲۹۷ متر از سطح دریا، در فا صله ۴۸ کیلومتری شمال غربی شهر تهران واقع شده است. این شهر با مساحتی معادل ۴/۱۷۵ کیلومترمربع و حریمی به وسعت ۹/۱۷۸ کیلومترمربع در

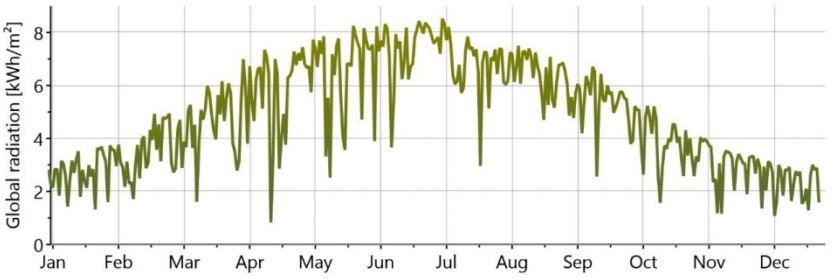
۱Off site-solar PV

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

دامنه رشته‌کوه البرز مرکزی قرار دارد [۹]. اطلاعات هواشناسی از قبیل دمای هوا، میانگین تابش افقی، ساعات آفتابی و سرعت وزش باد شهرستان کرج در جدول شماره ۱ ارائه شده است. در شکل شماره ۱، میزان تابش روزانه منطقه نشان داده شده است [۱۰].

جدول ۱. برخی از اطلاعات هواشناسی موردنیاز شهرستان کرج.

ماه	دمای هوا (°C)	میانگین تابش افقی (W/m2)	سرعت باد (m/s)	ساعات تابش (h)
ژانویه	۴/۴	۱۱۴	۱/۹	۷/۲
فوریه	۷/۷	۱۴۶	۲/۹	۶/۸
مارس	۱۳/۳	۱۸۵	۳/۲	۸/۰۵
آوریل	۱۸/۲	۲۳۴	۳/۳	۷/۴۵
می	۲۳/۶	۲۷۴	۳/۵	۸/۶۴
ژوئن	۲۸/۹	۳۰۴	۳/۲	۱۱/۱
جولای	۳۱/۴	۲۹۲	۳	۱۱/۳
آگوست	۳۰/۹	۲۷۳	۲/۵	۱۱/۵
سپتامبر	۲۶/۸	۲۳۴	۲/۴	۱۰/۲
اکتبر	۲۰/۶	۱۶۹	۲/۲	۹
نوامبر	۱۲/۱	۱۲۸	۲/۲	۸/۲
دسامبر	۶/۳	۱۰۰	۱/۸	۵/۷
میانگین سالیانه	۱۸/۷	۲۰۴	۲/۷	۸/۷۵



شکل ۱. میزان تابش روزانه شهرستان کرج.

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

گام ابتدایی به منظور طراحی یک سـامانه فتوولتاییک، محاسـبه انرژی مصـرفی موردنیاز در یک منزل مسکونی در منطقه کرج بر حسب وات ساعت مصرفی در روز می‌باشد. انرژی مورد نیاز با در نظر گرفتن تمامی و سایل برقی مورد ا ستفاده، توان الکتریکی م صرفی نامی و تعداد ساعات کارکرد روزانه محاسبه شد که اطلاعات کامل آن در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. انرژی الکتریکی مصرفی موردنیاز در منزل مسکونی.

وسیله	توان مصرفی (**W**)	تعداد	توان موردنیاز (**W h**)	ساعات کاری (**h**)	مصرف روزانه (**W h/day**)
لامپ	۱۰	۶	۶۰	۶	۳۶۰
تلویزیون	۱۰۰	۱	۱۰۰	۴	۴۰۰
یخچال	۱۵۰	۱	۱۵۰	۴	۶۰۰
پمپ	۲۰۰	۱	۲۰۰	۱	۲۰۰
کولرآبی	۴۶۰	۱	۴۶۰	۶	۲۷۶۰
مجموع			۱۰۱۰		۴۳۲۰

۳. طراحی سامانه فتوولتاییک مستقل از شبکه:

برای تأمین انرژی الکتریکی موردنیاز مناطق خارج از دسـترس شـبکه برق سـراسـری و جلوگیری از گسترش بیش‌ازحد شبکه، از سامانه‌های فتوولتاییک م ستقل از شبکه ا ستفاده می شود. در این روش، انرژی الکتریکی موردنیاز با ا ستفاده از پنل‌های فتوولتاییک و سی ستم‌های ذخیره کننده و کنترل‌کننده نسبتاً ساده، قابل تأمین می‌باشد. از مزیت‌های این سیستم در این است که مشکلات مربوط به سوخت رسانی را کاهش می‌دهد، در هر نقطه از زمین امکان نصب و راه‌اندازی دارد، به تعمیر و نگهداری مداوم نیاز ندارد، به شبکه سراسری و سیستم انتقال شبکه نیازی نیست، عموماً گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد و راهکار بسیار مناسبی جهت حفاظت از منابع نادر انرژی می‌باشد. سامانه مورد نظر بدین شکل کار م می‌کند که آرایه فتوولتاییک با قرار گرفتن در معرض نور خورشـید برق DC تولید می‌کند و این برق تولید شده از طریق شارژ کنترلر به باتری می‌رسد شارژکنترلر رژیم شارژ متفاوت را برای هر باتری تنظیم می‌کنند و از حرکت جریان به سـوی آرایه فتوولتاییک در شـب جلوگیری می‌کند. و چون تولید برق در سیستم فتوولتاییک م ستقل به ندرت هم فاز با نیاز های توان م صرف کنندگان ا ست در باتری

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

ذخیره می شـود، به منظور تولید برق AC از اینورتر اسـتفاده می شـود که برق DC باتری را به برق قابل مصرف مصرف کننده های AC تبدیل کند. طرحواره سامانه مستقل فتوولتاییک و اجزای آن در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. هدف از راه‌اندازی یک سامانه تولید برق مستقل از شبکه، تولید حداکثر انرژی ممکن در سال نیست بلکه تأمین انرژی موردنیاز روزانه می‌باشد [۱۱].

شکل ۲. طرحواره سامانه مستقل فتوولتاییک تولید برق.

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

طراحی و انتخاب پنل فتوولتاییک

توان موردنیاز سامانه فتوولتاییک مستقل از شبکه با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$W_{pv} = \frac{E}{G \times \eta_{SYS}} \quad (۱)$$

که در آن، W_{PV} بیشـــینه توان مورد نیاز آرایه فتوولتاییک بر حســـب وات، E انرژی موردنیاز روزانه برحسب وات ساعت ،G میانگین ماهانه ساعات آفتابی روزانه، طراحی برای شیب و جهت‌گیری آرایه‌ی فتوولتاییک ا ست و η_{SYS} بازده کلی سامانه ا ست [۱۲]. در این مطالعه بازدهی سامانه برابر ۰/۶ (۶۰ در صد)، انرژی موردنیاز روزانه ۴۳۲۰ وات ساعت و میانگین ماهانه ساعات آفتابی روزانه برابر ۸ ساعت در نظر گرفته شد. بنابراین حداقل توان آرایه فتوولتاییک معادل ۸۲۳ وات و به صورت زیر محاسبه شد.

$$W_{PV} = ۴۳۲۰ \div ۸/۷۵ \div ۰/۶ = ۸۲۳\ w$$

پنل فتوولتاییک مدل Yingli 250 w poly solar panel برای سیستم انتخاب شد که از جنس سیلیکون چند کریستاله ساخته‌شده، مشخصات سلول پنل در جدول۳ داده‌شده است. [۱۳] تعداد مدول های پی وی موردنیاز در نیروگاه با اســـتفاده از مقدار حداکثر نامی وات مورداســـتفاده و حداکثر نامی خروجی مدول PV محاسبه می‌شود.

$$\text{تعداد پانل مورد نیاز} = \frac{\text{حداکثر وات نامی}}{\text{حداکثر خروجی نامی پانل}} = \frac{۸۲۳}{250} = ۳/۸۲ \text{ مدول}$$

میزان ماژول موردنیاز ۴ عدد هســـت و آرایه فتوولتاییک ۱۰۰۰ وات ایجاد می‌کند. با توجه به حساسیت پنل به گردوغبار و سایه‌اندازی پنل ها را به‌صورت موازی به هم وصل شده. در این صورت ولتاژ خروجی برابر با ولتاژ یک آرایه (۲۵۰ وات) بوده و جریان برابر مجموع جریان تمامی ماژول‌ها خواهد بود، پس جریان ورودی به شارژ کنترلر برابر با ۳۲/۳۶ آمپر ا ست. مساحتی در حدود ۷ مترمربع مورد نیاز می‌باشد از پشت‌بام برای محل نصب پنل‌ها استفاده می‌شود.

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

جدول ۳. مشخصات پنل خورشیدی

شماره	پارامتر	واحد	مقدار
۱	بیشینه توان	وات(W)	۲۵۰
۲	ولتاژ در بیشینه توان	ولت (V)	۳۰
۳	جریان در بیشینه توان	آمپر (A)	۸/۰۹
۴	ولتاژمدار باز	ولت (V)	۳۷/۷
۵	جریان اتصال کوتاه	آمپر (A)	۸/۷۶
۶	بازدهی پنل	درصد (٪)	۱۵/۰۱
۷	تلورانس قدرت خروجی	درصد (٪)	-۰/۰۳
۸	حداکثر ولتاژ سیستم	ولت (V)	۱۰۰۰
۹	ثابت دمایی توان	درصد بر هر درجه (%/1C)	-۰/۴۵
۱۰	ثابت دمایی ولتاژ	ولت بر هر درجه (V/1C)	-۰/۳۴
۱۱	ثابت دمایی جریان	میلی‌آمپر بر هر درجه (mA/1C)	۰/۰۵

طراحی و انتخاب اینورتر

ماژول‌های فتوولتاییک برق DC تولید می‌کنند و چون وسایل خانگی با برق AC کار می‌کنند از اینورتر به‌منظور تبدیل برق DC به برق AC استفاده می شود. اینورتر های در سیستم مستقل برحسب وات درجه‌بندی می‌شوند و اندازه اینورتر از بیشینه وات در هرلحظه از زمان بیشتر باشد .

اندازه اینورتر مورداستفاده در سامانه PV به حداکثر وات کلی موردنیاز بستگی دارد. وات کلی موردنیاز برای منزل مسکونی در هرزمانی ۱۰۱۰ وات بوده. اینورتر باید به‌قدر کافی بزرگ باشد تا بتواند حداکثر وات موردنیاز را در منطقه در هرزمانی کنترل کند. اندازه اینورتر باید ۲۵ تا ۳۰ درصد بزرگتر از حداکثر وات مورد کاربرد باشد.

$$\text{اندازه اینورتر} = ۱٫۳ \times ۱۰۱۰ = ۱۳۱۳\ (W)$$

و چون بیشینه وات مصرفی در هرلحظه ۱۰۱۰ وات ساعت است پس ظرفیت اینورتر باید از این مقدار بیشتر باشد. اینورتر مدل DEVEL SPT1500 با ظرفیت ۱۵۰۰W و ورودی ۲۴VDC تعیین شده

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

ا ست. ۵۰۰ وات ا ضافی برای تو سعه و گ سترش سی ستم و جریان راه‌اندازی بالا برای موتورها ست. مشخصات کلی اینورتر در جدول ۴ داده‌شده است [۱۴].

جدول ۴. مشخصات اینورتر

مدل	توان خروجی (W)	افزایش قدرت (W)	ولتاژ DC ورودی	ولتاژ خروجی (V)	بازده (%)
DEVEL SPT1500	۱۵۰۰	۴۵۰۰	۲۴	۲۳۰	۹۰

طراحی و انتخاب باتری

به‌منظور تأمین یک جریان ثابت برای مدت‌زمان طولانی استفاده از باتری ضرورت دارد؛ و چون در سیستم های مستقل در شب که انرژی خورشیدی وجود ندارد باید توان لازم فراهم شود این توان در باتری ذخیره شده و در هنگام شب از آن استفاده می‌شود. از پارامترهای مهم در سیستم‌های خورشیدی، انتخاب باتری و ظرفیت مناسب باتری می‌باشد، باتری مناسب باتری است که بتواند در کوتاه‌ترین زمان شارژ و در بلندترین زمان عمل دشارژ را انجام دهد، لذا باتری‌های اسید سرب این عمل را انجام می‌دهد.

باتری‌ها باید طوری اندازه‌گذاری شوند تا نه‌تنها انرژی موردنیاز روزانه را ذخیره کنند بلکه انرژی موردنیاز چند روز را در خود ذخیره کنند این به دلیل تأمین انرژی در روزهای ابری می‌باشد. به‌منظور تعیین اندازه باتری می‌توان از رابطه ۲ استفاده کرد.

$$Q = \frac{(E \times A)}{(V \times T \times \eta_{INV} \times \eta_{CABLE})} \quad (۲)$$

Q حداقل ظرفیت موردنیاز باتری برحسب آمپرساعت می‌باشد.E انرژی روزانه موردنیاز برحسب آمپر ساعت، A تعداد روزهای موردنیاز برای ذخیره سازی، V ولتاژ DC سیستم، T بیشینه DODمجاز باتری که بین ۰,۳ تا ۰,۹ می‌باشد η_{INV} بازده اینورتر و η_{CABLE} بازده کا های حامل توان از باتری به مصرف‌کننده‌ها می‌باشد.تعداد روزه تعدادزم برای ذخیره‌سازی باتری با توجه به اهمیت در دسترس بودن انرژی ۱/۴ روز در نظر گرفته‌شده است [۱۲].

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

η_{INV} میزان تلفات در اینورتر ۱۰٪ اســـت درنتیجه بازده اینورتر ۹۰٪ می‌باشـــد، η_{CABLE} کابل‌ها درمدارهای تقسیم دارای ۳٪ افت هستند درنتیجه بازدهی آن‌ها برابر ۹۷٪ می‌باشد.

$$Q = (۴۳۲۰ \times ۱/۴) \div (۲۴ \times ۰/۵ \times ۰/۹ \times ۰/۹۷) = ۵۷۷/۵ \text{ Ah}$$

لازم است حداقل ظرفیت باتری ۵۷۷ آمپرساعت باشد؛ و چون ولتاژ سیستم ۲۴ ولت است باید دو باتری ۱۲ ولتی را باهم به‌صورت سری قرار دهیم.

برای سیستم باتری انتخاب شده است و ازآنجایی‌که میزان آمپر ساعت موردنیاز ۶۰۰ آمپر ساعت است از ۱۲ باتری به‌منظور تأمین این میزان آمپرساعت استفاده‌شده است[۱۵]

طراحی و انتخاب شارژ کنترلر

شارژ کنترلر خورشیدی قطعه‌ای است که مابین پنل خورشیدی و باطری (باتری) قرار می‌گیرد و جریان پنل های خورشیدی (صفحه خورشیدی) را که برای شارژ کردن باطری می‌آید را کنترل می‌کند. برای محافظت از باطری، بالا بردن طول عمر باطری، جلوگیری از برگشت انرژی باطری در شب به سمت سلول خورشیدی و همچنین کنترل فرایند شارژ باطری از شارژ کنترلر استفاده می شود. سلول‌های خورشیدی به‌ندرت در نقطه ماکزیمم توان کار می‌کنند، زیرا توان خروجی سلول به شدت تحت تأثیر دو عامل تابش و دمای محیط تغییر می‌کند؛ بنابراین به‌منظور افزایش راندمان ســـیســـتم از شـــارژ کنترلر MPPT[۱] که امکان ردیابی نقطه حداکثر توان را دارد اســـتفاده‌شـــده [۱۲]، مدل انتخابی STECA PR3030 که مشخصات کلی آن در جدول ۵ آمده است. اندازه آمپر و ولتاژ و توان شارژ کنترلر باید از آمپر، ولتاژ و توان خروجی آرایه فتوولتاییک در هرلحظه از زمان بیشـــتر باشـــدکه کلیه نکات فوق در انتخاب شارژ کنترلر رعایت شده است [۱۶].

۱Maximum Power Point Tracking

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

جدول ۵. مشخصات شارژ کنترلر **MPPT**

مدل	نوع شارژ	ولتاژ اسمی (**W**)	جریان شارژ اسمی باتری (**A**)	حداکثر ولتاژ مدار باز آرایه خورشیدی (**V**)	حداکثر توان ورودی آرایه (**W**) **PV**	بازده تبدیل توان (٪)
STECA PR3030	MPPT	۲۴	۴۰	۹۵	۱۱۳۰	بالای ۹۸٪

٤. هزینه اجزاء

با احتساب هزینه هر پنل برابر ۷۰۰۰۰۰۰ ریال و تعداد ۴ پنل محاسبه شده، هزینه کل پنل‌ها برابر ۲۸۰۰۰۰۰۰ ریال برآورد گردید [۱۳]. هزینه اینورتر انتخابی، شارژکنترلر به ترتیب برابر ۴۲۰۰۰۰۰۰،۱۲۵۰۰۰۰۰ ریال تعیین شده است[۱۴،۱۶]. هزینه هر باتری برابر با ۴۰۰۰۰۰۰ریال منظور شده و با توجه به محاسبات انجام شده ۱۲ باتری نیاز می باشد پس هزینه کل باتری ۴۸۰۰۰۰۰۰ ریال برآورد شده است [۱۵]. هزینه کلی پروژه برای طراحی واجراء در جدول ۶ ارائه‌شده است.

جدول ۶. هزینه پروژه سامانه فتوولتاییک

شماره	اجزاء خاص سیستم مستقل	ریال
۱	هزینه ماژول	۲۸۰۰۰۰۰۰
۲	هزینه استراکچر	۵۰۰۰۰۰۰
۳	هزینه اینورتر	۱۲۵۰۰۰۰۰
۴	هزینه شارژ کنترلر	۴۲۰۰۰۰۰
۵	هزینه باتری	۴۸۰۰۰۰۰۰
۶	کل هزینه نیروی کار برای نصب و راه‌اندازی	۴۰۰۰۰۰۰
۷	بسته‌بندی و حمل‌ونقل	۱۰۰۰۰۰۰
۸	طراحی، مهندسی و هزینه مدیریت پروژه	۱۰۰۰۰۰۰
	جمع کل هزینه‌ها	۱۰۳۷۰۰۰۰۰

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

۵. هزینه تعمیر و نگهداری[1]

شامل هزینه‌هایی ازجمله تعویض پنل به علت شکستگی که بخش مهمی از هزینه تعمیر و نگهداری هست هزینه شستشو کلکتورها که شامل هزینه‌های آب می‌باشد و هزینه‌های مربوط به بیمه را شامل می‌شود. میزان هزینه‌های ثابت تعمیر و نگهداری در سال ۴۰۰۰۰ تومان به ازای هر کیلووات ساعت برای سیستم فتوولتاییک است؛ که این میزان در سرمایه‌گذاری اولیه لحاظ نمی شود؛ و معمولاً توسط مالک انجام می‌شود [۱۷].

٦. ضریب ظرفیت

ضریب ظرفیت یک نیروگاه، نسبت خروجی واقعی آن در یک بازه‌ی زمانی به خروجی بالقوه‌ی آن، در حالتی است که به‌طور مداوم در همان بازه‌ی زمانی، با ظرفیت اسمیِ کاملش فعالیت کند. برای محاسبه ی ضریب ظرفیت، می‌بایست کل میزان انرژی تولیدی در یک بازه‌ی زمانی مشخص را بر میزان انرژی ای که بر اساس ظرفیت کامل اسمی نیروگاه باید تولید شود، تقسیم نمود [۱۸].

انرژی موردنیاز در هرروز: ۴۳۲۰ واتساعت در روز

انرژی سالانه‌ای که باید توسط پنل تولید شود:۱۵۷۶۸۰۰ واتساعت

ظرفیت حداکثر موردنیاز:۴۵۰۰ واتساعت

$$CF = \frac{\text{کیلو وات ساعت سالیانه تولید شده}}{AC \text{ سال در ساعت } ۸۷۶۰ \times \text{کیلو وات ظرفیت حداکثر}}$$

$$CF = \frac{۱۵۷۶۸۰۰}{(۴۵۰۰ \times ۸۷۶۰)} = ۰/۰۴ = ٪۴$$

[1] Operation and maintenance cost

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

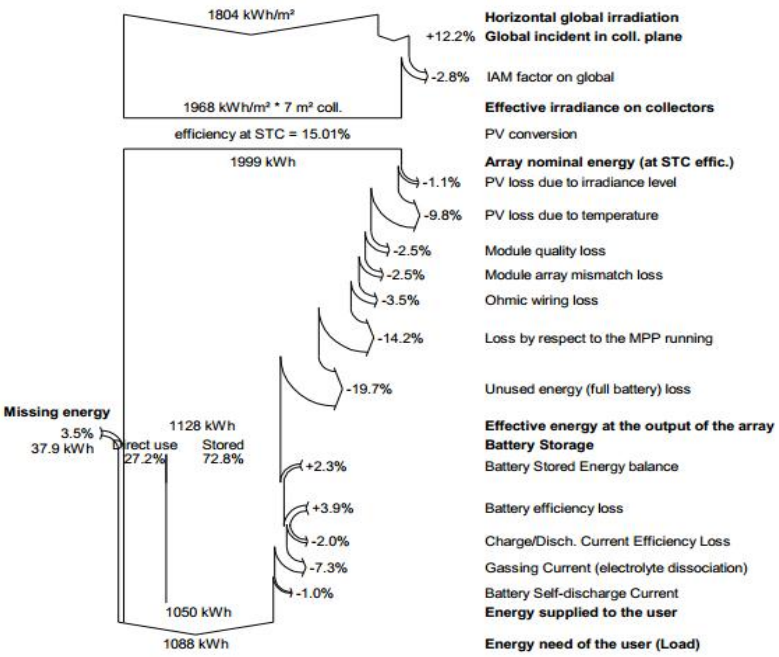
۷. نمودار تلفات[1]

برای برآورد میزان تلفات از نرم‌افزار PVsyst استفاده شده است. PVsyst نرم افزاری کامپیوتری جامع و کاربردی درزمینه کار با سیستم‌های خورشیدی می‌باشد که شامل مجموعه ابزارهای لازم برای مطالعه و تحقیق، سایزبندی، شبیه‌سازی و آنالیز داده‌های سیستم‌های PV است.
به منظور برآورد تلفات سامانه، مدلی با اجزاء و مشخصات محاسبه شده در بالا (انتخاب اجزاء به گونه ای بوده که است که هر یک اجراء سیستم در نرم‌افزار PVsyst موجود باشد) برای نرم افزار PVsyst تعریف شده که نتایج شبیه سازی حاصل به قرار زیر است.

میزان تابش افقی ۱۸۰۴ کیلووات برهر مترمربع است تابش مؤثر بر صفحه پنل ۱۹۶۸ کیلووات ساعت بر مترمربع است بنابراین میزان تلفات انرژی ۳/۲٪ می‌با شد. پس از تابش انرژی خور شیدی به پنل ها انرژی حاصل از تابش خورشید به انرژی الکتریسیته تبدیل می‌شود. پس از تبدیل آرایه فتوولتاییک انرژی نامی آرایه ۱۹۹۷ کیلووات ساعت خواهد بود، بازدهی آرایه فتوولتاییک در شرایط آزمون استاندارد ۱۵/۰۱٪ می‌باشد. و بعد از تلفات مربوط به هر یک از اجزا میران انرژی در دسترس ۱۰۵۰ کیلووات ساعت می‌باشد (شکل ۳).

[1] Loss diagram

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

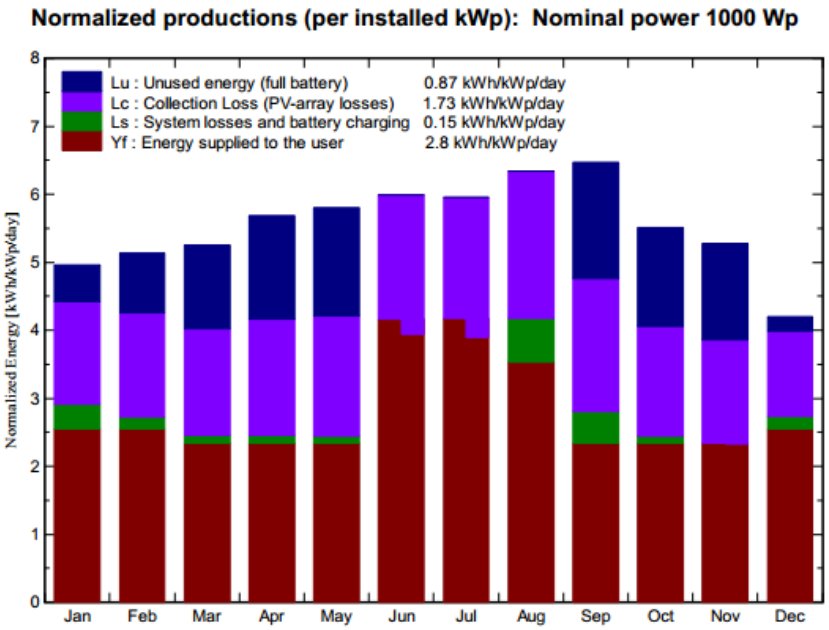


شکل ۳. نمودار تلفات یک‌ساله

۸. نرمال‌سازی تولیدات:

مقدار ۰/۸۷ کیلووات ســـاعت به ازای هر کیلووات پیک در روز از انرژی به دلیل اینکه باتری پرشـــده هست هدر می‌رود اما این مقدار در فصل طراحی به صفر رسیده است، تلفات مربوط به آرایه فتوولتاییک ۱/۷ کیلووات به ازای هر کیلووات پیک در روز، تلفات مربوط به سیستم و شارژ باتری ۰/۱۵ کیلووات ساعت به ازای کیلووات پیک در هرروز و انرژی عرضه‌شده برای کاربر ۲/۸ کیلووات ساعت به ازای هر کیلووات پیک در روز بوده است. که نمودار مربوط به نرمال سازی تولیدات در شکل ۴ نشان داده شده است.

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



شکل ۴. نرمال‌سازی تولیدات در ماه

۹. انتشار گاز گلخانه‌ای

انتشـــار کر بن دی‌اکســـید ناشـــی از نیروگاه‌های گاز طبیعی عمده نیرو گاهای تولید برق کشـــور ۷۸۰–۴۴۰ gCO2eq/kwh محا سبه شده ا ست که این مقدار شامل همه مراحل چرخه حیات آن‌ها از اسـتخراج منابع تا تلید مواد و تولید نهایی محصـول و اسـتفاده از محصـول تا مدیریت پس از دفع آن شامل بازیافت می‌با شد. حال اینکه میزان انتشار گاز کربن دی‌اکسید نیروگاه فتوولتاییک چند کریستاله را در طول چرخه حیات ۷۸–۴۳ gCO2eq/kwh برآورد کرده‌اند. یعنی سـالانه به‌طور متوسـط از تولید ۵۵۰ kg دی‌اکسید کربن جلوگیری می‌شود [۱۹].

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

۱۰. نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به‌منظور بررسی و امکان‌سنجی فنی و اقتصادی یک سیستم فتوولتاییک مستقل از شبکه برای تأمین برق روزانه ۴/۵ کیلووات یک‌منزل مسکونی انجام شده، بنابراین سیستم موردنظر از اجزای زیر تشکیل‌شده است.

چهار عدد ماژول فتوولتاییک ۲۵۰ wp با ولتاژ و جریان نامی ۳۰ ولت و ۸ آمپر

یک شارژ کنترل، جریان خروجی و ورودی ۴۰ آمپر

دوازده عدد باتری اسید سرب ۱۰۰ Ah و ۱۲ ولت

یک اینورتر، توان نامی ۱۵۰۰ w با ورودی ۲۴ ولت

هزینه اجرایی سیستم با توجه به بازار ایران ۱۰۳۷۰۰۰۰۰ ریال خواهد بود. با طراحی این سیستم سالانه از انتشار ۵۵۰kg دی‌اکسید کربن جلوگیری می‌شود.

ضریب ظرفیت محاسبه‌شده برای سیستم ۴٪ برآورد شده است.

در حالت کلی این مطالعه درک روشنی از سیستم فتوولتاییک مستقل و هزینه‌های سرمایه‌گذاری و نحوی انتخاب قطعات سیستم را فراهم می‌کند.

سپاسگزاری

از آقای احمد بنی‌کمالی برای حمایت و همکاری در این مقاله صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

منابع

[1] Bansal, Narenda K., Manfred Kleemann, and Michael Meliß. "Renewable energy sources and conversion technology." (1990).

[2] Nema, Pragya, R. K. Nema, and Saroj Rangnekar. "A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13.8 (2009): 2096-2103.

[3] Iranian Renewable Energy Organization (SUNA) Tehran, Iran. Available from: http://www.suna.org.ir/fa/sun/potential [accessed 15.01.2014].

[4] Gorjian, Shiva, and Barat Ghobadian. "Solar Thermal Power Plants: Progress and Prospects in Iran." *Energy Procedia* 75 (2015): 533-539.

[5] Rehman, Shafiqur, et al. "Feasibility study of a wind–pv–diesel hybrid power system for a village." *Renewable Energy* 38.1 (2012): 258-268.

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

[6] Fazelpour, Farivar, Nima Soltani, and Marc A. Rosen. "Feasibility of satisfying electrical energy needs with hybrid systems for a medium-size hotel on Kish Island, Iran." *Energy* 73 (2014): 856-865.
[7] Sanndeep L, Atul R. Techno-economic analysis of a hybrid mini-grid system for Fiji islands. Int J Energy Environ Eng 2012;3(1):10.
[8] Chandel, Mevin, et al. "Techno-economic analysis of solar photovoltaic power plant for garment zone of Jaipur city." *Case Studies in Thermal Engineering* 2 (2014): 1-7.
[9] Karaj Location: < https://en.wikipedia.org/wiki/Karaj>
[10] meteonorm V7 . 1.9.23785- Demo mode
[11] Kelly, Henry. "Introduction to photovoltaic technology." (1993).
[12] Falk, Antony, Christian Durschner, and Karl-Heinz Remmers. "Photovoltaics for professionals." (2007).
[13] Cost of each PV module< https://www.alibaba.com/product-detail/Wholesale-YINGLI-250-255W-poly-solar_60453752105.html>
[14] Cost of inverter < https://www.alibaba.com/product-detail/dc24v-ac230v-3w-off-grid-PV_1551370188.html>.
[15] Battery sizehttps://www.alibaba.com/product-detail/2-Volta-types-of-Batteries-Used_60443633596.html
[16] Charge Controller< https://www.alibaba.com/product-detail/Steca-Solar-Charge-Controller-with-LCD_60170528803.html>
[17] Tidball, Rick, et al. "Cost and performance assumptions for modeling electricity generation technologies." *Contract* 303 (2010): 275-3000.
[18] Capacity factor ⟨http://en.wikipedia.org/wiki/Capacity_factor⟩.
[19] Weisser, Daniel. "A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies." *Energy* 32.9 (2007): 1543-1559.

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