

طراحی سیستم مستقل از شبکه برای تأمین انرژی منزل مسکونی

۱ قاسم نجفی*، ۲ مجید خانعلی

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. در نتیجه 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 افزایش یافته 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 طراحی شده است. انرژی موردنیاز برای این خانه ۴۳۲۰ وات ساعت است. برای تأمین این مقدار انرژی ۸۳۰ وات آرایه فتوولتاییک، یک اینورتر ۱۵۰۰ وات، 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 استفاده شده و در نهایت اثر محیطی سیستم با سیستم‌های رایج مقایسه شده است.

تاریخ دریافت:

۱۳۹۵/۵/۴

تاریخ پذیرش:

۱۳۹۶/۳/۶

کلمات کلیدی:

فتوولتاییک

سیستم مستقل

نرم‌افزار PVsyst

برآورد هزینه

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

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 قابل توجهی می‌باشد. در میان این انرژی‌های تجدیدپذیر، تولید برق با استفاده از سامانه‌های 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 ظرفیت‌های 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. در نتیجه به یک مجموعه از سلول‌های سری و موازی شده پانل فتوولتاییک می‌گویند که به طور معمول از سیلیسیوم ساخته می‌شوند [۱، ۲].

کشور ایران پتانسیل بسیار زیادی برای استفاده از انرژی خورشید دارد به گونه‌ای 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 خورشیدی می‌باشد. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و پراکندگی روستاها در کشور، استفاده از انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین عوامل است که باید مورد توجه قرار گیرد. استفاده از انرژی خورشیدی یکی از بهترین راه‌های برق‌رسانی و تولید انرژی در مقایسه با دیگر مدل‌های انتقال انرژی به روستاها و نقاط دورافتاده در کشور از نظر هزینه، حمل‌ونقل، نگهداری و عوامل مشابه می‌باشد [۳]. مساحت کشور ایران تقریباً یک میلیون و ششصد هزار کیلومتر مربع است که با احتساب این مساحت، میزان تابش روزانه انرژی خورشیدی برابر $10^{12} \times 1/6 \times 5$ 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

تأمین برق یک روستا در عربستان سعودی یک سیستم ترکیبی فتوولتاییک، باد و دیزل را شبیه سازی کردند که ۳۵ درصد انرژی به وسیله منابع تجدیدپذیر و بقیه انرژی توسط دیزل ژنراتور تأمین می شود. میزان تولید سالانه سیستم فتوولتاییک، باد و دیزل به ترتیب برابر ۱۶۵۳/۵، ۴۷۱۳/۷ و ۱۱۵۴۲/۶ مگاوات ساعت برآورد شد [۵] فاضل پور و همکاران در سال ۲۰۱۴ به منظور تأمین برق یک هتل متوسط با ۲۵ اتاق در جزیره کیش و مصرف سالیانه ۲۶۲۸۰۰۰ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی یک سامانه تولید انرژی هیبرید باد و دیزل با سیستم ذخیره سازی باتری را پیشنهاد کردند و عملیات شبیه سازی با نرم افزار هومر را انجام دادند [۶]. سندپ و راتوری در سال ۲۰۱۲ برای تأمین برق جزایر فیجی، امکان سنجی راه اندازی نیروگاه با منابع تجدیدپذیر را مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که شبیه سازی نیروگاه هیبریدی باد، فتوولتاییک و دیزل امکان پذیری و صرفه اقتصادی بهتری دارد [۷]. چاندل و موین، امکان سنجی فنی و کارایی اقتصادی طراحی نیروگاه خورشیدی ۲/۵ مگاواتی را مورد مطالعه قرار دادند. جهت تأمین انرژی، استفاده از ۲۳۲۳۰ ماژول فتوولتاییک پیشنهاد شد. در هر ردیف ۱۶ ماژول قرار گرفت و از هفت اینورتر با ظرفیت ۳/۵ مگاوات استفاده شد [۸].

هدف از انجام این مطالعه، طراحی یک سامانه فتوولتاییک مستقل از شبکه برای تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز یک منزل مسکونی در شهر کرج برای فصل تابستان بود. طراحی و انتخاب اجزاء سامانه، برآورد هزینه و تلفات انرژی آن با استفاده از نرم افزار PVsyst و همچنین اثر گازهای گلخانه ای مورد مطالعه قرار گرفت.

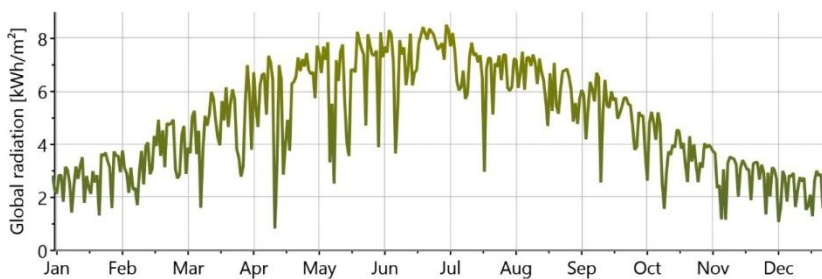
۲. منطقه مورد مطالعه و انرژی مورد نیاز

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

دامنه رشته کوه 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 مورد نیاز شهرستان کرج.

ماه	دمای هوا (°C)	میانگین تابش افقی (W/m ²)	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.

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

جدول ۲. انرژی الکتریکی مصرفی مورد نیاز در منزل مسکونی.

وسیله	توان مصرفی (W)	تعداد	توان مورد نیاز (Wh)	ساعات کاری (h)	مصرف روزانه (Wh/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
کولر آبی	۴۶۰	۱	۴۶۰	۶	۲۷۶۰
مجموع			۱۰۱۰		۴۳۲۰

۳. طراحی سامانه فتوولتاییک مستقل از شبکه:

برای تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز مناطق خارج از دسترس شبکه برق سراسری و جلوگیری از گسترش بیش از حد شبکه، از سامانه‌های فتوولتاییک مستقل از شبکه استفاده می‌شود. در این روش، انرژی الکتریکی مورد نیاز با استفاده از پنل‌های فتوولتاییک و سیستم‌های ذخیره کننده و کنترل کننده 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 می‌کند که آرایه فتوولتاییک با قرار گرفتن در معرض نور خورشید برق DC تولید می‌کند و این برق تولید شده از طریق شارژ کنترلر به باتری می‌رسد شارژ کنترلر رژیم شارژ متفاوت را برای هر باتری تنظیم می‌کند و از حرکت جریان به سوی آرایه فتوولتاییک در شب جلوگیری می‌کند. و چون تولید برق در سیستم فتوولتاییک مستقل به ندرت هم فاز با نیازهای توان مصرف کنندگان است در باتری

ذخیره می شود، به منظور تولید برق AC از اینورتر استفاده می شود 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 راه اندازی یک سامانه تولید برق مستقل از شبکه، تولید حداکثر انرژی ممکن در سال نیست بلکه تأمین انرژی مورد نیاز روزانه می باشد [۱۱].



شکل ۲. طرحواره سامانه مستقل فتوولتاییک تولید برق.

طراحی و انتخاب پنل فتوولتاییک

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

$$W_{PV} = \frac{E}{G \times \eta_{SYS}} \quad (1)$$

که در آن، W_{PV} بیشینه توان مورد نیاز آرایه فتوولتاییک بر حسب وات، E انرژی موردنیاز روزانه بر حسب وات ساعت، G میانگین ماهانه ساعات آفتابی روزانه، طراحی برای شیب و جهت گیری آرایه ی فتوولتاییک است و η_{SYS} بازده کلی سامانه است [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.

$$W_{PV} = 4320 \div 8/75 \div 0/6 = 823 \text{ W}$$

پنل فتوولتاییک مدل Yingli 250 w poly solar panel برای سیستم انتخاب شد که از جنس سیلیکون چند کریستاله ساخته شده، مشخصات سلول پنل در جدول ۳ داده شده است. [۱۳] تعداد مدول های پی وی موردنیاز در نیروگاه با استفاده از مقدار حداکثر نامی وات مورد استفاده و حداکثر نامی خروجی مدول PV محاسبه می شود.

$$\text{تعداد پانل مورد نیاز} = \frac{\text{حداکثر وات نامی}}{\text{حداکثر خروجی نامی پانل}} = \frac{823}{250} = 3/82 \text{ مدول}$$

میزان ماژول موردنیاز ۴ عدد هست و آرایه فتوولتاییک ۱۰۰۰ وات ایجاد می کند. با توجه به حساسیت پنل به گردوغبار و سایه اندازی پنل ها را به صورت موازی به هم وصل شده. در این صورت ولتاژ خروجی برابر با ولتاژ یک آرایه (۲۵۰ وات) بوده و جریان برابر مجموع جریان تمامی ماژول ها خواهد بود، پس جریان ورودی به شارژ کنترلر برابر با $۳۲/۳۶$ آمپر است. مساحتی در حدود ۷ مترمربع مورد نیاز می باشد از پشت بام برای محل نصب پنل ها استفاده می شود.

جدول ۳. مشخصات پنل خورشیدی

شماره	پارامتر	واحد	مقدار
۱	بیشینه توان	وات (\overline{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	میلی آمپر بر هر درجه	۰/۰۵

(mA/1C)

طراحی و انتخاب اینورتر

ماژول‌های فتوولتاییک برق DC تولید می‌کنند و چون وسایل خانگی با برق AC کار می‌کنند از اینورتر به منظور تبدیل برق DC به برق AC استفاده می‌شود. اینورترهای در سیستم مستقل برحسب وات درجه‌بندی می‌شوند و اندازه اینورتر از بیشینه وات در هر لحظه از زمان بیشتر باشد.

اندازه اینورتر مورد استفاده در سامانه PV به حداکثر وات کلی مورد نیاز بستگی دارد. وات کلی مورد نیاز برای منزل مسکونی در هر زمانی ۱۰۱۰ وات بوده. اینورتر باید به قدر کافی بزرگ باشد تا بتواند حداکثر وات مورد نیاز را در منطقه در هر زمانی کنترل کند. اندازه اینورتر باید ۲۵ تا ۳۰ درصد بزرگتر از حداکثر وات مورد کاربرد باشد.

$$\text{اندازه اینورتر} = 13 \times 1010 = 13130 (W)$$

و چون بیشینه وات مصرفی در هر لحظه 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

است. ۵۰۰ وات اضافی برای توسعه و گسترش سیستم و جریان راه‌اندازی بالا برای موتورها است. مشخصات کلی اینورتر در جدول ۴ داده شده 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

به منظور تأمین یک جریان ثابت برای مدت‌زمان طولانی استفاده از باتری ضرورت دارد؛ و چون در سیستم‌های 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 نه تنها 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. به منظور تعیین اندازه باتری می‌توان از رابطه ۲ استفاده کرد.

$$Q = \frac{(E \times A)}{(V \times T \times \eta_{INV} \times \eta_{CABLE})} \quad (2)$$

Q حداقل ظرفیت موردنیاز باتری برحسب آمپر-ساعت می‌باشد. E انرژی روزانه موردنیاز برحسب آمپر-ساعت، A تعداد روزهای موردنیاز برای ذخیره‌سازی، V ولتاژ DC سیستم، T بیشینه DOD مجاز باتری که بین ۰٫۳ تا ۰٫۹ می‌باشد η_{INV} بازده اینورتر و η_{CABLE} بازده کابلهای حامل توان از باتری به مصرف‌کننده‌ها می‌باشد. تعداد روزهای موردنیاز برای ذخیره‌سازی باتری با توجه به اهمیت در دسترس بودن انرژی ۱/۴ روز در نظر گرفته شده است [۱۲].

η_{INV} میزان تلفات در اینورتر ۱۰٪ است در نتیجه بازده اینورتر ۹۰٪ می‌باشد، η_{CABLE} کابل‌ها در مدارهای تقسیم دارای ۳٪ افت هستند در نتیجه بازدهی آن‌ها برابر ۹۷٪ می‌باشد.

$$Q = (4320 \times 1/4) \div (24 \times 0.5 \times 0.9 \times 0.97) = 577/5 \text{ Ah}$$

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

برای سیستم باتری اسید سرب Volta 6SB100، ۱۲ ولتی با ظرفیت ۱۰۰ آمپر ساعت انتخاب شده است و از آنجایی که میزان آمپر ساعت مورد نیاز ۶۰۰ آمپر ساعت است از ۱۲ باتری به منظور تأمین این میزان آمپرساعت استفاده شده است [۱۵]

طراحی و انتخاب شارژ کنترلر

شارژ کنترلر خورشیدی قطعه‌ای است که مابین پنل خورشیدی و باتری (باتری) قرار می‌گیرد و جریان پنل‌های خورشیدی (صفحه خورشیدی) را که برای شارژ کردن باتری می‌آید را کنترل می‌کند. برای محافظت از باتری، بالا بردن طول عمر باتری، جلوگیری از برگشت انرژی باتری در شب به سمت سلول خورشیدی و همچنین کنترل فرایند شارژ باتری از شارژ کنترلر استفاده می‌شود. سلول‌های خورشیدی به ندرت در نقطه ماکزیمم توان کار می‌کنند، زیرا توان خروجی سلول به شدت تحت تأثیر دو عامل تابش و دمای محیط تغییر می‌کند؛ بنابراین به منظور افزایش راندمان سیستم از شارژ کنترلر MPPT که امکان ردیابی نقطه حداکثر توان را دارد استفاده شده [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 هر لحظه از زمان بیشتر باشد که کلیه نکات فوق در انتخاب شارژ کنترلر رعایت شده است [۱۶].

جدول ۵. مشخصات شارژ کنترلر MPPT

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

۴. 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، شارژ کنترلر به ترتیب برابر ۴۲۰۰۰۰۰، ۱۲۵۰۰۰۰۰ ریال تعیین شده است [۱۴، ۱۶]. هزینه هر باتری برابر با ۴۰۰۰۰۰۰ ریال 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 و اجراء در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. هزینه پروژه سامانه فتوولتائیک

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 راه اندازی	۴۰۰۰۰۰۰
۷	بسته بندی و حمل و نقل	۱۰۰۰۰۰۰
۸	طراحی، مهندسی و هزینه مدیریت پروژه	۱۰۰۰۰۰۰
	جمع کل هزینه‌ها	۱۰۳۷۰۰۰۰۰

۵. هزینه تعمیر و نگهداری^۱

شامل هزینه‌هایی از جمله 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 نمی‌شود؛ و معمولاً توسط مالک انجام می‌شود [۱۷].

۶. 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 اسمی کاملش فعالیت کند. برای محاسبه‌ی ضریب ظرفیت، می‌بایست کل میزان انرژی تولیدی در یک بازه‌ی زمانی مشخص را بر میزان انرژی‌ای 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

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

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

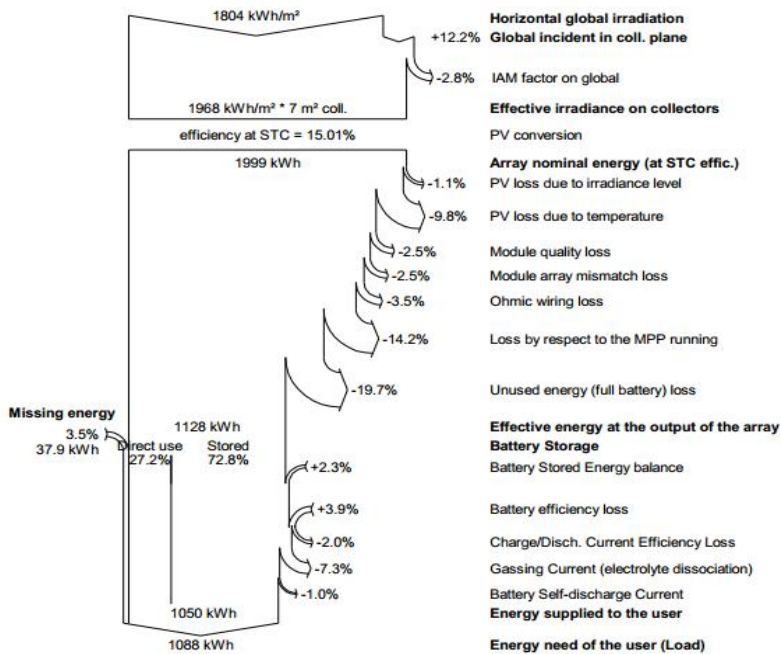
^۱Operation and maintenance cost

۷. نمودار تلفات^۱

برای برآورد میزان تلفات از نرم افزار PVsyst استفاده شده است. PVsyst نرم افزاری کامپیوتری جامع و کاربردی در زمینه 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 اجزاء سیستم در نرم افزار PVsyst موجود باشد) برای نرم افزار PVsyst تعریف شده که نتایج شبیه سازی حاصل به قرار زیر است.

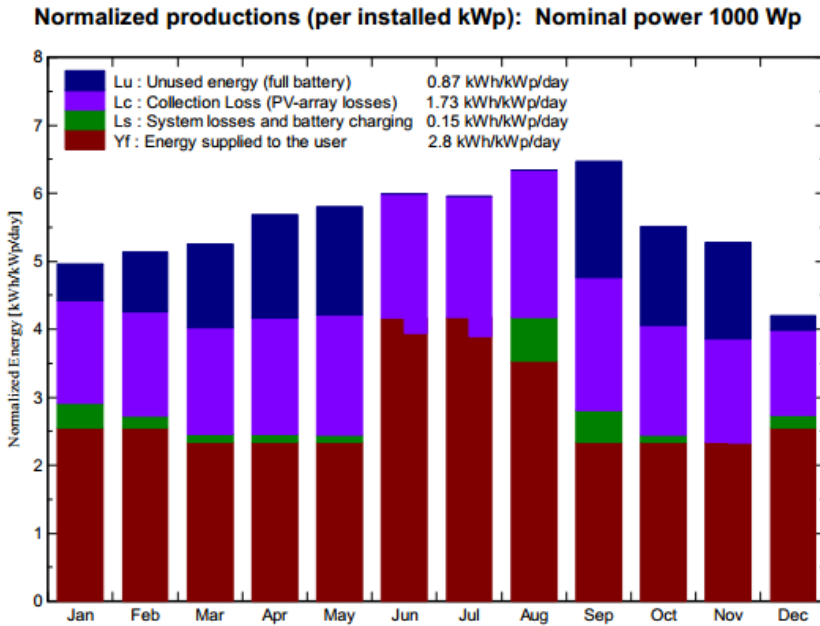
میزان تابش افقی ۱۸۰۴ کیلووات بر هر مترمربع است تابش مؤثر بر صفحه پنل ۱۹۶۸ کیلووات ساعت بر مترمربع است بنابراین میزان تلفات انرژی ۳/۲٪ می‌باشد. پس از تابش انرژی خورشیدی به پنل‌ها انرژی حاصل از تابش خورشید به انرژی الکتریسیته تبدیل می‌شود. پس از تبدیل آرایه فتوولتاییک انرژی نامی آرایه ۱۹۹۷ کیلووات ساعت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



شکل ۳. نمودار تلفات یکساله

۸. نرمال سازی تولیدات:

مقدار ۰/۸۷ کیلووات ساعت به ازای هر کیلووات پیک در روز از انرژی به دلیل اینکه باتری پر شده هست هدر می رود اما این مقدار در فصل طراحی به صفر رسیده است، تلفات مربوط به آرایه فتوولتائیک 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 عرضه شده 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.



شکل ۴. نرمال سازی تولیدات در ماه

۹. انتشار گاز گلخانه‌ای

انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از نیروگاه‌های گاز طبیعی عمده نیروگاه‌های تولید برق کشور $780-440 \text{ gCO}_2\text{eq/kWh}$ محاسبه شده است که این مقدار شامل همه مراحل چرخه حیات آنها از استخراج منابع تا تولید مواد و تولید نهایی محصول و استفاده از محصول تا مدیریت پس از دفع آن شامل بازیافت می‌باشد. حال اینکه میزان انتشار گاز کربن دی‌اکسید نیروگاه فتوولتائیک چند کریستاله را در طول چرخه حیات $78-43 \text{ gCO}_2\text{eq/kWh}$ برآورد کرده‌اند. یعنی سالانه به‌طور متوسط از تولید 550 kg دی‌اکسید کربن جلوگیری می‌شود [۱۹].

۱۰. نتیجه گیری

مطالعه حاضر به منظور بررسی و امکان سنجی فنی و اقتصادی یک سیستم فتوولتاییک مستقل از شبکه برای تأمین برق روزانه ۴/۵ کیلووات یک منزل مسکونی انجام شده، بنابراین سیستم مورد نظر از اجزای زیر تشکیل شده است.

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

یک شارژ کنترل، جریان خروجی و ورودی ۴۰ آمپر

دوازده عدد باتری اسید سرب Ah ۱۰۰ و ۱۲ ولت

یک اینورتر، توان نامی w ۱۵۰۰ با ورودی ۲۴ ولت

هزینه اجرایی سیستم با توجه به بازار ایران ۱۰۳۷۰۰۰۰۰ ریال خواهد بود. با طراحی این سیستم سالانه از انتشار ۵۵۰ kg دی اکسید کربن جلوگیری می شود.

ضریب ظرفیت محاسبه شده برای سیستم ۴٪ برآورد شده است.

در حالت کلی این مطالعه درک روشنی از سیستم فتوولتاییک مستقل و هزینه های سرمایه گذاری و نحوی انتخاب قطعات سیستم را فراهم می کند.

سپاسگزاری

از آقای احمد بنی کمالی برای حمایت و همکاری در این مقاله صمیمانه سپاسگزاری می شود.

منابع

- [1] Bansal, Narendra K., Manfred Kleemann, and Michael MeliB. "Renewable energy sources and conversion technology." (1990).
- [2] Nema, Pragma, 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.

- [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 size<https://www.alibaba.com/product-detail/2-Volta-types-of-Batteries-Used_60443633596.html
- [16] Charge Controller< https://www.alibaba.com/product-detail/Stecca-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.