

طراحی و بهینه‌سازی یک سیستم ترکیبی فتوولتائیک-باتری-دیزل ژنراتور به منظور تغذیه یک شبکه دورافتاده جزیره‌ای

رضا غفارپور^۱، سید بابک مظفری^۲، علیمحمد رنجبر^{۳*}

^۱ دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
reza.ghaffarpour@srbiau.ac.ir

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
mozafari@srbiau.ac.ir

^۳ استاد دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
amranjbar@sharif.edu

چکیده: در این مقاله، یک سیستم تولید توان ترکیبی فتوولتائیک-باتری-دیزل ژنراتور برای تغذیه یک شبکه جزیره‌ای دورافتاده در شمال غرب کشور، طراحی و بهینه‌سازی می‌شود. با توجه به عدم دسترسی آسان به شبکه مذکور، تهیه سوخت برای ژنراتور نصب‌شده در محل مشکل است؛ از این رو در اینجا هدف از طراحی سیستم، استفاده حداقلی از ژنراتور و کاهش مصرف سوخت آن است. به این منظور در ابتدا ظرفیت باتری و سیستم فتوولتائیک به منظور تأمین انرژی با کمترین هزینه تولید توسط نرم‌افزار HOMER بهینه‌سازی می‌شود. پس از طراحی ظرفیت مناسب برای منابع، یک سیستم مدیریت توان بهینه به منظور استفاده حداقلی از ژنراتور برای منابع موجود با استفاده از نرم‌افزار MATLAB طراحی می‌شود. در این روش، از نمایه بار و پیش‌بینی شدت تابش خورشید در روز پیش رو استفاده شده است. همان‌طور که نشان داده می‌شود، با استفاده از روش معرفی‌شده، ساعات کاری ژنراتور و در نتیجه، مصرف سوخت آن کاهش می‌یابد. همچنین نشان داده می‌شود که در روش معرفی‌شده، امکان استفاده از باتری با ظرفیت‌های پایین‌تر از مقادیر محاسبه‌شده در نرم‌افزار HOMER میسر است که می‌تواند باعث کاهش هزینه نصب سیستم و در نهایت، کاهش هزینه تولید انرژی شود. همچنین نشان داده می‌شود که با استفاده از روش معرفی‌شده، در اواسط روز که تولید توان در سیستم فتوولتائیک حداکثر بوده و مصرف بار حداقل است، نیازی به استفاده از بارهای تلفاتی برای ایجاد تعادل توان وجود نخواهد داشت. به دلیل عدم نیاز به بارهای زائد در روش معرفی‌شده، ساعت کار سیستم به اندازه ۲۶٪ در مقایسه با روش معمول که در نرم‌افزار HOMER استفاده می‌شود کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: فتوولتائیک، باتری، ژنراتور، شبکه جزیره‌ای، سیستم مدیریت انرژی، بهینه‌سازی ظرفیت.

۱. مقدمه

عدم امکان دسترسی به شبکه سراسری، اقتصادی نبودن احداث خطوط انتقال و عدم وجود قابلیت اطمینان برای اتصال به شبکه سراسری از جمله دلایلی هستند که می‌توانند به عملکرد سیستم در حالت جزیره‌ای و جدا از شبکه اصلی منجر شوند [۱].

در حال حاضر، دیزل ژنراتورها اصلی‌ترین منابع موجود برای تغذیه شبکه‌های جزیره‌ای اند. قابلیت اطمینان بالا، هزینه نسبتاً پایین و سادگی نصب از جمله مزایای استفاده از دیزل ژنراتورها هستند [۲].

با وجود این، هزینه بالای تأمین و انتقال سوخت، نیاز به تعمیرات زیاد و نیاز به نصب مخازن ذخیره‌ساز سوخت منجر به بروز مشکلاتی در استفاده از این دیزل ژنراتورها در شبکه‌های جزیره‌ای می‌شود. به این منظور، برای کاهش مصرف سوخت ژنراتور، می‌توان از منابع انرژی نو در دسترس مانند انرژی فتوولتاییک^۱ استفاده کرد [۳]. نیاز به تعمیرات بسیار پایین، عملکرد بی‌سروصدا، نصب و راه‌اندازی راحت و وجود فراوان انرژی رایگان خورشید در منطقه جغرافیایی ایران، از جمله مزایای استفاده از سیستم فتوولتاییک است. اما به دلیل تولید تصادفی و کنترل نشده سیستم فتوولتاییک و همچنین تغییرات شدید بار در شبکه‌های جزیره‌ای از مقدار بیشینه تا مقدار کمینه، استفاده از سیستم فتوولتاییک در کنار دیزل ژنراتور را با مشکلاتی مواجه می‌کند [۴]. این مسئله به نیاز به ظرفیت‌های بسیار بزرگ‌تر برای ژنراتور و سیستم فتوولتاییک و عملکرد ژنراتور در نقطه کار دور از مقدار نامی منجر می‌شود [۵-۷]. بنابراین برای بهبود عملکرد سیستم و کاهش ظرفیت منابع، از سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری در کنار ژنراتور و سیستم فتوولتاییک استفاده می‌شود [۸ و ۹].

برای کاهش مصرف سوخت، می‌توان از قابلیت ذخیره‌سازی انرژی باتری استفاده کرد. در حالت روشن بودن ژنراتور، باتری با جذب انرژی از سیستم منجر به کار ژنراتور در توان نامی با بیشترین راندمان می‌شود. همچنین هنگامی که باتری کاملاً شارژ شود، ژنراتور از مدار خارج شده و توان بار توسط سیستم فتوولتاییک و انرژی ذخیره‌شده در باتری تأمین می‌شود [۱۰-۱۲].

عملکرد ژنراتور بین بار نامی با بیشترین راندمان و حالت خاموش، کمترین ساعت کاری ژنراتور و در نتیجه، کمترین مصرف سوخت را برای ژنراتور به ارمغان می‌آورد.

در نمایه‌های بار با مصرف کم، توان بار در ساعات روز که انرژی تابشی خورشید در بیشترین مقدار است، ایجاد تعادل توان بین تولید و مصرف با مشکل مواجه می‌شود. در این شرایط، لازم است سیستم

ذخیره‌ساز انرژی مازاد توان تولیدشده در سیستم فتوولتاییک را جذب و ذخیره کند. با این حال، ظرفیت ذخیره انرژی باتری محدود بوده و پس از رسیدن به شارژ کامل، قادر نیست توان اضافی سیستم فتوولتاییک را جذب کند. در این حالت، به منظور ایجاد تعادل توان لازم است اجباراً توان تولیدی سیستم فتوولتاییک در بارهای زائد تلف شود که منجر به عملکرد غیر بهینه سیستم و در نتیجه، کاهش راندمان می‌شود.

در مرجع [۱۳] به معرفی کنترل‌کننده‌های یک ریزشبکه AC/DC متشکل از سیستم‌های فتوولتاییک و باتری در شین DC و دیزل ژنراتور و اینورتر در شین AC پرداخته شده است. در این مرجع، سیستم‌های کنترل ولتاژ شین AC، شین DC، ژنراتور و سیستم فتوولتاییک معرفی شده‌اند، اما اشاره‌ای به مدیریت انرژی و الگوریتم‌های شارژ و دشارژ باتری نشده است. در مرجع [۱۴]، دو روش کنترل ژنراتور موسوم به عملکرد روشن/خاموش و عملکرد پیوسته به منظور بهینه‌سازی هزینه انرژی، معرفی و مقایسه شده است. در دو روش معرفی شده، از بهینه‌سازی ۲۴ ساعته عملکرد ژنراتور با حفظ شارژ باتری در حد مجاز استفاده شده است. با وجود این در این مرجع، اشاره‌ای به شرایط بحرانی که در آن لازم است توان اضافی شبکه در بارهای تلفاتی مصرف شود، نشده است. در مرجع [۱۵] از الگوریتم کنترلی سیکل ژنراتور به منظور کنترل ژنراتور در یک شبکه مجهز به سیستم فتوولتاییک استفاده شده است. در این روش، به منظور کارکرد ژنراتور در نقطه توان بهینه و افزایش راندمان، ژنراتور در دو حالت خاموش و روشن کار می‌کند. در این روش، هرگاه توان تولیدشده در سیستم فتوولتاییک از بار فراتر باشد، لازم است بخشی از توان در بارهای زائد تلف شود. به منظور کاهش توان تلف‌شده در بار زائد، در مرجع [۱۶] از باتری در کنار ژنراتور و فتوولتاییک استفاده شده است. با وجود این، در این روش هنگامی که باتری در حالت شارژ کامل قرار داشته باشد و توان تولیدی سیستم فتوولتاییک بیشتر از بار باشد، لازم است از بار زائد برای تلف انرژی اضافی و حفظ پایداری سیستم استفاده شود. مرجع [۱۱] به مطالعه تأثیر استفاده از سیستم‌های باتری و فتوولتاییک و الگوریتم ژنراتور سیکلی در کاهش مصرف سوخت می‌پردازد. در این مرجع، تنها به مقایسه مصرف سوخت در یک شبکه با ۴ ترکیب مختلف از ۲ واحد ژنراتور، باتری و فتوولتاییک پرداخته شده و اشاره‌ای به مدیریت انرژی و بهینه‌سازی نشده است. در مرجع [۱۰]، به مطالعه امکان‌سنجی استفاده از سیستم ترکیبی ژنراتور سوخت زیستی، توربین بادی، باتری و فتوولتاییک برای مناطقی که هنوز برقرار نشده‌اند، می‌پردازد. در این مرجع به بهینه‌سازی ظرفیت منابع به منظور تولید انرژی با کمترین هزینه پرداخته شده است. همچنین در این مرجع یک سیستم مدیریت انرژی معرفی شده است که

ساختار سیستم معرفی شده در این مقاله در شکل (۱) نشان داده شده است. در این سیستم، به منظور افزایش قابلیت اطمینان، کاهش تلفات و افزایش کنترل پذیری، مجموعه سیستم فتوولتائیک و باتری به یک شین DC مشترک متصل شده‌اند [۱۸]. همچنین شین DC توسط یک اینورتر منبع ولتاژ سه فاز به شبکه AC متصل شده است. در سمت AC از یک دیزل ژنراتور سه فاز استفاده شده است. همچنین بارهای سیستم در سمت AC به شبکه متصل‌اند.

برای طراحی سیستم، در اولین مرحله لازم است ظرفیت مناسبی برای اجزای تشکیل دهنده سیستم در نظر گرفته شود. هدف از تعیین ظرفیت، در اینجا رسیدن به یک ساختار فتوولتائیک-باتری-دیزل ژنراتور با کمترین هزینه تولید انرژی است.

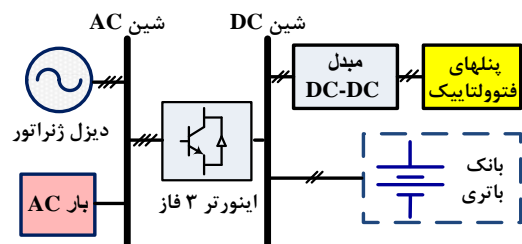
هزینه مربوط به سیستم فتوولتائیک و باتری‌ها، تنها مربوط به هزینه خرید مبدل‌های DC-DC^۲ و اینورتر، باتری‌ها و پنل‌های خورشیدی است و در آن هزینه سوختی لحاظ نمی‌شود. همچنین لازم است هزینه‌ای نیز در رابطه با تعمیرات و نگهداری برای آن‌ها لحاظ شود. در ژنراتور، علاوه بر هزینه اولیه خرید و نصب، لازم است هزینه مصرف و سوخت نیز در نظر گرفته شود.

به منظور تعیین ظرفیت مناسب، لازم است اطلاعاتی درباره نمایه بار و همچنین شدت تابش خورشید در طول روز، ماه و سال در دسترس باشد. اطلاعات بار با مطالعه بارهای موجود و زمان روشن و خاموش شدن آن‌ها قابل به دست آوردن است. البته پارامترهایی از قبیل بار پیک، بار متوسط و مدت زمان در مدار قرار داشتن بار پیک برای توصیف نمایه بار از همه مهم‌ترند. همچنین نمایه متوسط شدت تابش در طول روز، برای ماه‌های مختلف سال را می‌توان از داده‌های هواشناسی به دست آورد.

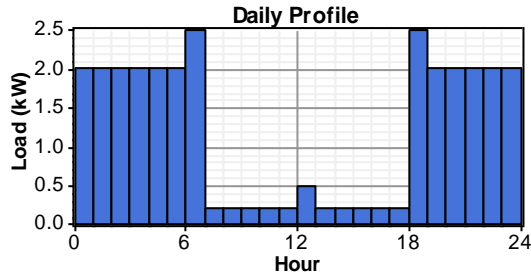
در این قسمت لازم است ظرفیت منابع تولید توان طوری تعیین شوند که با کمترین ظرفیت و در نتیجه کمترین هزینه، قادر باشند همواره توان مورد نیاز بار را در شدت تابش‌های مختلف خورشید بدون کمبود در تولید تأمین کنند. در این قسمت، هزینه تأمین سوخت می‌تواند به عنوان یک تابع هدف برای حداقل سازی در نظر گرفته شود. نمایه تابش سالانه خورشید برای شهرستان سلماس در استان آذربایجان غربی با عرض و طول جغرافیایی به ترتیب ۳۸°-۴۴°-۴۶ شمالی و ۳۸°-۱۲ شرقی به صورت نشان داده شده در شکل (۲-الف) است [۱۹]. همچنین نمایه در طول یک روز خاص در تیر ماه در شکل (۲-ب) نشان داده شده است. در نمایه شکل (۲-الف)، متوسط شدت تابش خورشید سالیانه برابر با ۵ کیلووات ساعت بر مترمربع بر روز است.

در آن، توان بار توسط منابع انرژی نو و باتری تأمین شده و هرگاه شارژ باتری از مقدار مجاز کمتر شود، از ژنراتور سوخت زیستی به منظور تأمین توان بار و شارژ باتری استفاده می‌شود. سیستم بهینه‌سازی شده در این مرجع، به حجم بالایی از باتری نیاز دارد که هزینه سرمایه‌گذاری و نگهداری بالایی بر سیستم تحمیل می‌کند. در مرجع [۱۷]، سیستم مدیریت انرژی طراحی شده بر پایه برنامه‌ریزی بار در یک دوره ۲۴ ساعته به منظور کاهش هزینه انرژی یک واحد اداری کوچک است. در این روش، زمان‌های بهینه برای در مدار قرار گرفتن بارها توسط الگوریتم ژنتیک محاسبه می‌شود.

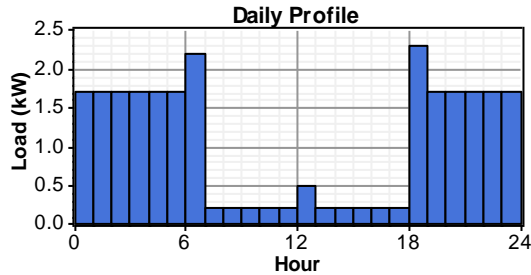
به منظور استفاده حداقلی از ژنراتور و کاهش مصرف سوخت، در این مقاله یک سیستم ترکیبی فتوولتائیک-باتری-دیزل ژنراتور معرفی می‌شود. ظرفیت مناسب برای منابع موجود در شبکه توسط بهینه‌سازی‌های صورت گرفته توسط نرم‌افزار HOMER^۱ به دست آورده می‌شود. خروجی این نرم‌افزار بهترین ترکیب منابع موجود برای تعقیب مطمئن نمایه بار در کل طول سال با کمترین هزینه تولید انرژی است. در ادامه، یک سیستم مدیریت انرژی برای سیستم معرفی شده طراحی می‌شود. در سیستم مدیریت انرژی معرفی شده در این مقاله، از نمایه بار و پیش‌بینی شدت تابش خورشید در روز پیش رو برای مدیریت بهینه انرژی استفاده می‌شود. همان‌طور که نشان داده می‌شود، با استفاده از سیستم معرفی شده در این مقاله، ساعت کار ژنراتور به کمترین مقدار خود رسیده و همواره در مقدار نامی کار می‌کند. این مسئله منجر به کاهش زیادی در مصرف سوخت ژنراتور می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود که با استفاده از روش معرفی شده، امکان استفاده از باتری با ظرفیت‌های کمتر از مقادیر محاسبه شده در HOMER میسر می‌شود. همچنین در روش معرفی شده، برای نمایه‌های بار با مصرف کم‌توان در طول روز، برخلاف روش مورد استفاده در HOMER، نیاز به تلف انرژی در بارهای زائد از بین رفته که منجر به افزایش راندمان سیستم می‌شود، نیست. به حداقل رساندن تلفات شبکه و مصرف سوخت ژنراتور با حذف نیاز به بارهای زائد و کاهش ظرفیت باتری با استفاده از سیستم مدیریت انرژی ایده‌های اصلی ارائه شده در این مقاله‌اند.



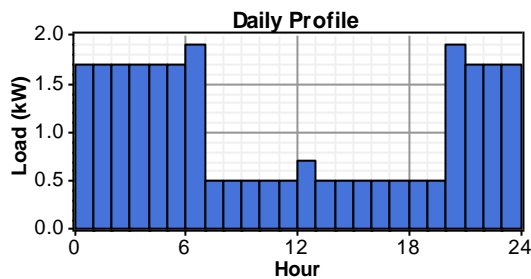
شکل (۱): مشخصات سیستم مورد مطالعه



(ب) فروردین



(پ) اردیبهشت



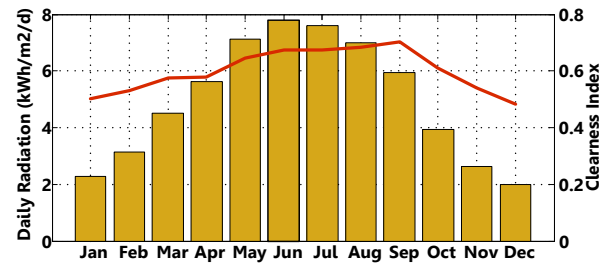
(ت) خرداد، تیر، مرداد، شهریور

شکل (۳): نمایه بار سالیانه شبکه برای ماه‌های مختلف سال

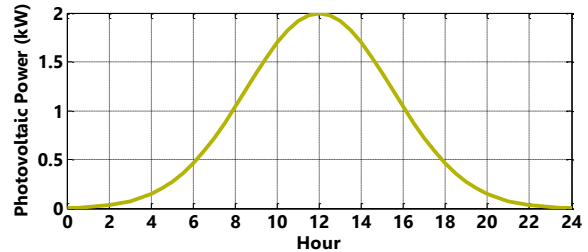
جدول (۱): اطلاعات اجزای سیستم

مقدار	متغیر
۲۰۰۰ دلار بر کیلووات	هزینه خرید و نصب ژنراتور
۰/۰۱ دلار بر ساعت	هزینه نگهداری ژنراتور
۳۰٪	حداقل بار ژنراتور نسبت به بار نامی
۷۰ دلار بر کیلووات	هزینه اینورتر
۲۰ دلار بر سال	هزینه نگهداری اینورتر
۱۵ سال	طول عمر اینورتر
۴۰ دلار	قیمت هر واحد باتری
۲۰۰۰ دلار بر کیلووات	قیمت سیستم فتوولتائیک

در اینجا قیمت سوخت ژنراتور برابر با ۰/۴۵ دلار بر لیتر فرض شده است. شایان ذکر است که هزینه حمل و نقل سوخت نیز در این قیمت لحاظ شده است. اطلاعات سیستم در جدول (۱) لیست شده است.



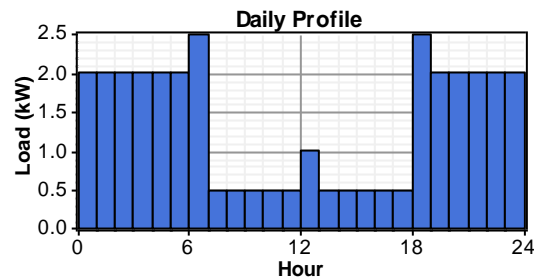
(الف) انرژی خورشیدی برای هر ماه



(ب) منحنی توان ساعتی سیستم فتوولتائیک

شکل (۲): نمایه تابش سالیانه شهرستان سلماس

نمایه بار روزانه برای ماه‌های مختلف سال در شبکه جزیره‌ای به صورت نشان داده شده در شکل (۳) است. در این شکل، کل سال به ۴ بخش مختلف در شکل (۳) تقسیم شده است. در سیستم مورد مطالعه در این مقاله، سیستم‌های روشنایی مانند پروژکتورها اصلی‌ترین بخش بار را تشکیل می‌دهند. بنابراین، همان‌طور که در نمایه‌های بار نشان داده شده در شکل (۳) مشخص شده است، مقدار بار در ساعات شب بیشتر از مقدار بار در روز خواهد بود. با وجود این، برخلاف نمایه بار، توان خورشید تنها در طول روز موجود بوده و در طول شب توانی وجود ندارد. در این شرایط، برای عملکرد مطلوب سیستم و تأمین توان بار در طول ۲۴ ساعت، لازم است از ظرفیت‌های بالاتری برای سیستم ذخیره‌ساز انرژی استفاده شود. به این ترتیب، به دلیل ظرفیت بالای سیستم ذخیره‌ساز انرژی، امکان جذب توان مازاد انرژی وجود خواهد داشت. پس استفاده از ظرفیت‌های بالای باتری، منجر به افزایش هزینه سرمایه‌گذاری سیستم می‌شود. همچنین، در صورتی که باتری در نزدیکی شارژ کامل قرار داشته باشد، قادر به جذب انرژی نبوده و لازم است از بارهای زائد برای تلف انرژی اضافی سیستم فتوولتائیک استفاده شود.

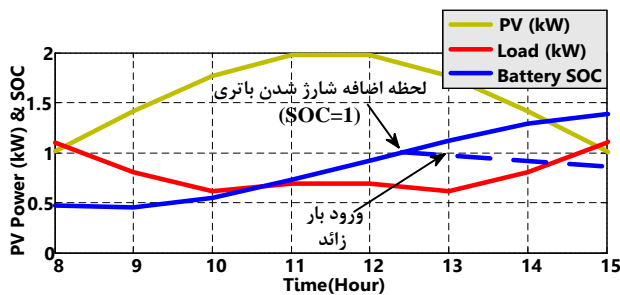


(الف) مهر، آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند

۲. طراحی سیستم مدیریت انرژی

با توجه به منحنی بازدهی ژنراتور در بارهای مختلف که در شکل (۴) نشان داده شده است، به این نتیجه می‌توان رسید که ژنراتور در بار نامی بیشترین بازدهی را دارد. پس برای افزایش راندمان سیستم و بالطبع کاهش مصرف سوخت، لازم است ژنراتور یا خاموش باشد یا در حالت بار کامل کار کند. با وجود این، ژنراتور باید همواره نمایه توان بار را تعقیب کند، از این رو نمی‌تواند تنها در حالت بار نامی و یا خاموش کار کند. به این منظور می‌توان از سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی در کنار ژنراتور به منظور افزایش راندمان آن استفاده کرد. در این حالت، از باتری برای ایجاد تعادل بین توان تولیدی ژنراتور و توان مصرفی بار استفاده می‌شود. در حالتی که باتری که شارژ قرار دارد، انرژی موردنیاز بار توسط باتری تأمین می‌شود. در این حالت ژنراتور در حالت خاموش قرار دارد. با مصرف انرژی ذخیره‌شده باتری توسط بار، شارژ باتری شروع به کاهش می‌کند. هنگامی که شارژ باتری به حداقل مقدار خود رسید، ژنراتور با توان نامی و در نتیجه، بیشترین بازدهی شروع به کار کرده و توان مصرفی بار و توان موردنیاز باتری برای شارژ را تأمین می‌کند. پس از رسیدن باتری به شارژ حداکثر، ژنراتور خاموش شده و چرخه مذکور دوباره تکرار می‌شود.

فتوولتاییک مطابق با شکل (۵)، بزرگ‌تر از توان مصرفی بار باشد. در این حالت، ژنراتور خاموش می‌شود، اما برای برقراری تعادل توان لازم است باتری بخشی از توان سیستم فتوولتاییک را نیز جذب کند. در این حالت، باتری وارد حالت اور شارژ شده و قادر نخواهد بود بیشتری را جذب کند. در این حالت، همان‌طور که در شکل (۵) نشان داده شده، اجباراً لازم است بخشی از توان سیستم فتوولتاییک در بارهای زائد تلف شود که منجر به کاهش راندمان نهایی سیستم می‌شود.



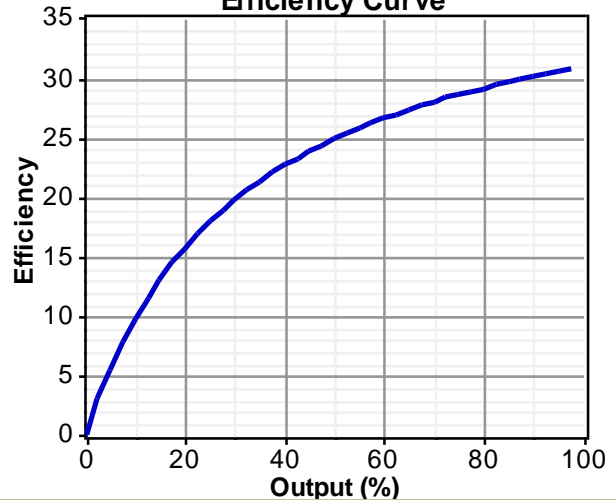
شکل (۵): عملکرد سیستم در طول روز با توان اضافی تولیدی در سیستم فتوولتاییک

برای افزایش راندمان سیستم و همچنین عدم نیاز به استفاده از بارهای تلفاتی، در این قسمت یک سیستم مدیریت انرژی برای استفاده حداقلی از ژنراتور معرفی می‌شود. در این سیستم مدیریت انرژی، از نمایه متوسط بار در هر ساعت و همچنین نمایه شدت تابش متوسط خورشید در هر ساعت روز استفاده می‌شود. در این سیستم مدیریت انرژی، توان تولیدی یا مصرفی باتری در هر ساعت از شبانه‌روز پیش رو، به‌نحوی تنظیم می‌شود که در آن، از ژنراتور کمترین استفاده به عمل آید و همچنین شارژ باتری همواره در بازه بین حداقل و حداکثر تعیین شده بدون نیاز به استفاده از بار زائد باقی بماند. از آنجایی که در این روش، استفاده از بارهای زائد مرتفع شده است، می‌توان سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری را حتی در ظرفیت‌های کوچک‌تر از مقدار محاسبه‌شده در HOMER نیز در نظر گرفت.

در اینجا مقادیر نمایه بار و تابش در ۲۴ ساعت پیش رو به ترتیب با ماتریس‌های $P_{pv} * (1 \times 24)$ و $P_{Load} * (1 \times 24)$ نمایش داده می‌شوند که در آن‌ها درایه $(i, 1)$ و $i = 1 - 24$ پیش‌بینی توان در ساعت $i-1$ تا ساعت i می‌باشد. همچنین، ماتریس $G * (1 \times 24)$ بیانگر وضعیت ژنراتور در هر ساعت از شبانه‌روز است که در آن، مؤلفه‌های آن مقادیر بین ۰ و ۱ می‌باشند. در اینجا ۰ به معنای خاموش بودن ژنراتور و ۱ به معنای روشن بودن ژنراتور در مدت یک ساعت در توان نامی است. همچنین توان متوسط تولیدشده در ژنراتور در هر ساعت برابر است با:

$$P_G = P_{Generator\ rating} \cdot G^* \quad (1)$$

Efficiency Curve



شکل (۴): منحنی بازدهی- بار ژنراتور

با استفاده از روش ذکرشده، راندمان سیستم به‌صورت مطلوبی افزایش پیدا می‌کند. با وجود این، به دلیل تولید توان کنترل‌نشده توسط سیستم فتوولتاییک، استفاده از روش مذکور برای یک سیستم فتوولتاییک-باتری-ژنراتور با مشکلاتی همراه خواهد بود. مهم‌ترین مشکل در استفاده از این روش در هنگامی رخ می‌دهد که در آن، باتری به شارژ حداکثر خود برسد و توان تولیدی در سیستم

به منظور عدم نیاز به بارهای زائد، لازم است ظرفیت باتری به اندازه‌ای انتخاب شود که قادر باشد کل انرژی اضافی سیستم فتوولتائیک را بدون عبور از شارژ حداکثر تأمین کند. به این منظور، ظرفیت موردنیاز باتری از طریق نامساوی معادله (۶) به دست آورده می‌شود.

$$S_{Battery} \geq \frac{E_S}{SOC_{max-critical} - SOC_{min-critical}} \quad (6)$$

که در آن، E_S انرژی مصرف‌نشده سیستم فتوولتائیک در بار است و از طریق رابطه (۷) به دست می‌آید.

$$E_S = \sum_{i=s}^f (P_{PV}(i) - P_{Load}(i)) \quad (7)$$

در رابطه (۷)، s و f به ترتیب ساعات شروع و پایان بازه‌ای است که توان سیستم فتوولتائیک از بار بیشتر می‌باشد.

برای جلوگیری از عبور باتری از شارژ کامل، لازم است در ساعت $i=s$ مقدار شارژ به اندازه‌ای کم باشد تا قبل از ساعت $i=f$ به شارژ کامل نرسد. همچنین، مقدار شارژ باتری از مقدار $SOC_{min-critical}$ نیز نباید کمتر باشد. لذا شارژ باتری در ساعت $i=s$ باید در نامساوی (۸) صدق کند.

$$SOC_{min-critical} < SOC(s) < SOC_{max-critical} - \frac{E_S}{S_{Battery}} \quad (8)$$

با تعیین ظرفیت مناسب برای باتری از طریق رابطه (۶)، همواره مقداری برای $SOC(s)$ در رابطه (۸) وجود خواهد داشت.

۳. بهینه‌سازی و ارزیابی عملکرد سیستم

در حالتی که ژنراتور به‌تنهایی توان بار را تأمین می‌کند، مقدار مصرف سوخت ژنراتور در طول ۲۴ ساعت، هزینه تولید انرژی و هزینه عملکرد سالانه به ترتیب برابر با ۵/۴۶۷ لیتر، ۰/۴۵۱ دلار بر کیلووات ساعت و ۴/۱۷۷ دلار بر سال است. در این قسمت سعی بر آن است که با معرفی یک سیستم ترکیبی فتوولتائیک-باتری-دیزل ژنراتور هزینه‌های ذکر شده و مصرف سوخت کاهش یابد.

در این قسمت، یک سیستم فتوولتائیک-باتری-دیزل ژنراتور، براساس اطلاعات موجود در جدول (۱) توسط نرم‌افزار HOMER ارزیابی اقتصادی می‌شود. به این منظور ساختار نشان داده شده در شکل (۶) در نرم‌افزار HOMER مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

با توجه به برقراری تعادل توان بین تولید و مصرف، مقدار توان تولیدی پیش‌بینی شده توسط باتری در هر ساعت از شبانه‌روز از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$P_b^* = P_{Load}^* - P_{PV}^* - P_G \quad (2)$$

وضعیت شارژ باتری $SOC(i)$ در پایان ساعت i از طریق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$SOC(i+1) = SOC(i) - P_b(i) / S_b \quad (3)$$

که در آن، S_b ، $P_b(i)$ و $SOC(i+1)$ به ترتیب بیانگر حداکثر ظرفیت باتری برحسب (Watt.Hour)، توان تولیدی باتری در ساعت i و وضعیت شارژ باتری در پایان ساعت i است.

مدت‌زمان روشن بودن ژنراتور (C_G) در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$C_G = \sum_{i=1}^{24} G(i) \quad (4)$$

شایان ذکر است در طول عملکرد سیستم، همواره باید شارژ باتری بین مقادیر حداکثر SOC_{max} و حداقل SOC_{min} به صورت نشان داده شده در (۵) قرار داشته باشد.

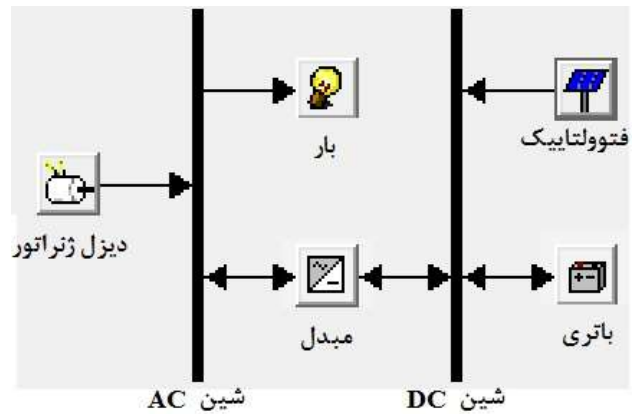
$$SOC_{min} < SOC(i) < SOC_{max}, \quad i = 1-24 \quad (5)$$

همچنین لازم است در طول عملکرد سیستم، توان باتری همواره محدود به مقدار نامی آن به صورت نشان داده شده در معادله (۶) باقی بماند.

در اینجا هدف از طراحی سیستم مدیریت انرژی، رسیدن به کمترین مقدار C_G در رابطه (۴) با رعایت ۲۴ قید ذکر شده در روابط (۵) است.

با وجود این، در مواقع بحرانی، مانند شرایط نشان داده شده در شکل (۵) که در آن توان سیستم فتوولتائیک برای یک مدت زمان طولانی بیشتر از توان بار است، لازم است قید ذکر شده در نامساوی (۵) در نظر گرفته نشود. در این حالت، لازم است باتری حداکثر مقدار انرژی ممکن را از سیستم فتوولتائیک بدون عبور از شارژ کامل جذب کند. در این شرایط، از مقادیر حداکثر بحرانی^۱ و حداقل بحرانی^۲ که به ترتیب برابر با $SOC_{max-critical}$ و $SOC_{min-critical}$ می‌باشند به جای مقادیر SOC_{max} و SOC_{min} استفاده می‌شود. شایان ذکر است که مقادیر بحرانی تنها در ساعاتی که توان سیستم فتوولتائیک بیشتر از بار است، قابل قبول می‌باشند. در اینجا مقادیر $SOC_{max-critical}$ و $SOC_{min-critical}$ به ترتیب برابر با ۰/۰۵ و ۱ فرض شده است.

1. State of Charge
2. Critical Maximum State of Charge
3. Critical Minimum State of Charge



شکل (۶): سیستم تشکیل شده در نرم افزار HOMER

در حال حاضر، توان مورد نیاز بارهای شبکه توسط یک ژنراتور ۳ کیلووات در حال تغذیه است. از این رو در اینجا مقدار ظرفیت ژنراتور برابر با مقدار معلوم ۳ کیلووات در نظر گرفته می شود. نتیجه بهینه سازی ظرفیت اجزای سیستم در جدول (۲) لیست شده است. با استفاده از ظرفیت باتری ۷۷/۲ کیلووات ساعت نشان داده شده در جدول (۲)، هیچ گاه نیازی به استفاده از بارهای تلفاتی وجود نخواهد داشت. همچنین، ظرفیت بهینه برای سیستم فتوولتاییک برابر با ۲ کیلووات محاسبه شده است. از آنجایی که امکان انتخاب ظرفیت ۰ نیز برای سیستم فتوولتاییک موجود است، تعیین ظرفیت ۲ کیلووات برای سیستم فتوولتاییک، به معنی اقتصادی بودن استفاده از سیستم فتوولتاییک-باتری دیزل ژنراتور می باشد.

در مقایسه با سیستم مبتنی بر دیزل ژنراتور، به ترتیب مقادیر ۰/۳۶، ۰/۲۰ و ۰/۳۲ از مصرف سوخت، هزینه تولید انرژی و هزینه عملکرد سالانه سیستم کاسته می شود.

جدول (۲): نتایج تعیین ظرفیت سیستم

متغیر	مقدار
ظرفیت سیستم فتوولتاییک	۲ کیلووات
ظرفیت باتری	۷۷/۲ کیلووات ساعت
ظرفیت اینورتر	۵ کیلووات
هزینه تولید انرژی	۰/۳۶۴ دلار بر کیلووات ساعت
هزینه عملکرد	۲/۸۳ دلار بر ساعت
مصرف سوخت متوسط روزانه	۳/۵۲ لیتر

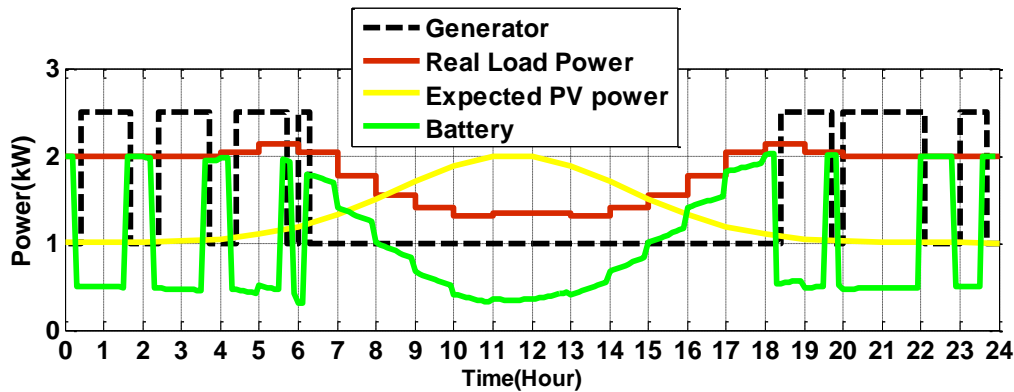
همان طور که دیده می شود، سیستم معرفی شده منجر به تولید توان ارزان تر و مصرف سوخت کمتر می شود، با وجود این به ظرفیت بالای باتری نیازمند است. به منظور عملکرد بهینه سیستم همراه با ظرفیت پایین تر باتری و عدم نیاز به بارهای زائد، سیستم مدیریت انرژی

معرفی شده در این مقاله مورد ارزیابی قرار می گیرد. در سیستم مدیریت انرژی معرفی شده، با استفاده از نمایه های بار روزانه و تابش خورشید، ظرفیت باتری مناسب با توجه به رابطه (۶) محاسبه می شود. با توجه به شکل و رابطه (۷)، مقدار $ES = 6063$ است. با توجه به شکل (۷)، در معادله (۶) مقدار $s = 9$ و $f = 15$ است. قابل ذکر است، نمایه های نشان داده شده در شکل (۷) مربوط به بدترین حالتی هستند که در آن بیشترین مقدار ES حاصل شده است. با توجه به رابطه (۶) مقدار ظرفیت باتری در اینجا برابر با $6/5$ کیلووات ساعت به دست می آید. همان طور که مشاهده می شود، این ظرفیت ۹۰٪ کمتر از مقدار محاسبه شده توسط نرم افزار HOMER است. پس استفاده از ظرفیت باتری محاسبه شده در رابطه (۶)، به هیچ عنوان برای استفاده در سیستمی که بدون سیستم مدیریت انرژی کنترل می شود مناسب نیست و منجر به استفاده از بارهای زائد زیاد و در نتیجه کاهش راندمان می شود. بنابراین، با استفاده از این ظرفیت محاسبه شده در کنار سیستم مدیریت انرژی، مشکل تعادل توان حل شده و نیازی به بارهای زائد وجود نخواهد داشت. با توجه به رابطه (۸) و فرض $SOC_{min-critical} = 0/05$ و $SOC_{max-critical} = 1$ لازم است در ساعت $s = 9$ مقدار $SOC(9) = 0/067$ در نظر گرفته شود.

پس از محاسبه مقدار ظرفیت باتری در ساعت s لازم است نمایه بهینه ای برای ژنراتور با حداقل ساعت کار به دست آورده شود. در نمایه محاسبه شده، لازم است با رعایت قیود ذکر شده در روابط (۵) و (۸)، تابع هدف C_G در رابطه (۴) بهینه شود. برای محاسبه قید ذکر شده در رابطه (۵) و تابع هدف رابطه (۴)، از معادلات ذکر شده در روابط (۱) تا (۳) استفاده می شود.

به منظور بهینه سازی معادله (۴) با قیود مربوط، می توان از الگوریتم های بهینه سازی مختلفی استفاده کرد. در اینجا از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک به منظور بهینه سازی معادله (۴) استفاده شده است. همچنین در اینجا برای شارژ حداکثر و حداقل باتری داریم: $0/2$ ، $SOC_{min} = 0/08$ و $SOC_{max} = 0/8$. گفتنی است که انتظار می رود شارژ باتری همواره به استثنای ساعت s در بازه بین SOC_{min} و SOC_{max} باقی بماند.

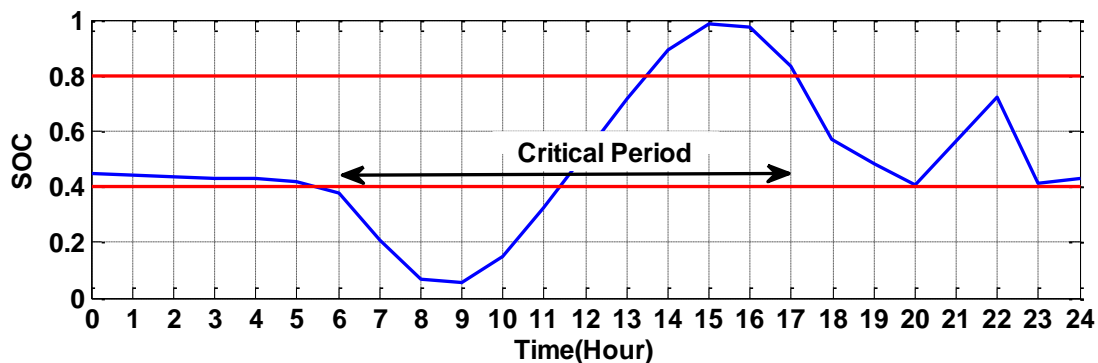
نمایه توان ژنراتور بهینه شده در شکل (۷)، برای مدت ۲۴ ساعت نشان داده شده است. در این حالت، در طول ۲۴ ساعت، از ژنراتور به مدت $7/725$ ساعت و در بار نامی استفاده شده است. همچنین نمایه توان باتری برای برقراری تعادل بین توان تولیدی و مصرفی نیز در شکل (۷) نمایش داده شده است. این نمایه به صورتی است که در آن، شارژ باتری همواره در مقادیر مجاز قرار داشته باشد.



شکل (۷): نمایه ژنراتور بهینه‌سازی شده

بارهای زائد و تلف توان استفاده شده است. در سایر شرایط، به منظور افزایش طول عمر باتری، شارژ همواره زیر $0/8$ در نظر گرفته شده است. همچنین برای افزایش قابلیت اطمینان، مقدار شارژ از $0/4$ کمتر نمی‌شود. در این شرایط، بروز اختلال و خرابی در سیستم ژنراتور، با قطعی فوری برق همراه نخواهد شد.

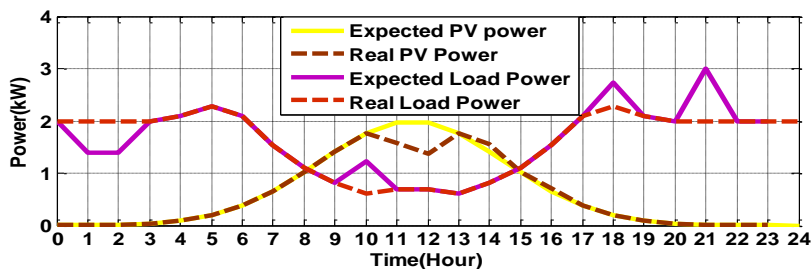
مقدار شارژ باتری در شکل (۸) نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، همواره نمایه شارژ باتری در بازه مجاز بوده و عبور از شارژ کامل در آن دیده نمی‌شود. در شرایط بحرانی مشخص شده، قید مربوط به شارژ باتری که در رابطه (۵) بیان شد، رعایت نشده است. نقض معادله (۵) تنها برای پرهیز از استفاده از



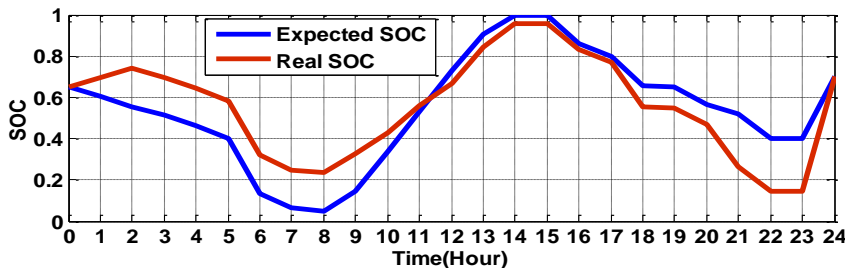
شکل (۸): شارژ باتری در طول شبانه‌روز

قرار داشته باشد، لازم است از بارهای تلفاتی استفاده شود. در حالت بروز خطا در نمایه‌های پیش‌بینی شده، ژنراتور به مقداری توان تولید می‌کند که شارژ باتری به مقدار شارژ مورد انتظار در نمایه ازپیش تعیین شده شکل (۸) برساند. در شکل (۹-الف) این‌طور فرض شده است که نمایه پیش‌بینی شده بار و سیستم فتوولتائیک از مقادیر پیش‌بینی شده پیروی نکرده و با مقداری خطا همراه است. در این حالت، در صورت عملکرد ژنراتور بر اساس نمایه ازپیش تعیین شده، در طول ۲۴ ساعت روز شارژ باتری مطابق با شکل (۹-ب) تغییر خواهد کرد. همان‌طور که دیده می‌شود، در این حالت شارژ باتری در محدوده مجاز بوده و سیستم دچار مشکل نمی‌شود.

در روش معرفی شده، دقت نمایه‌های بار و فتوولتائیک در نحوه عملکرد سیستم مؤثر است. در صورتی که پیش‌بینی نمایه‌های صورت گرفته با مقادیر واقعی اختلاف داشته باشند، ممکن است شارژ باتری از محدوده مجاز خارج شده و عملکرد سیستم را با مشکل مواجه می‌کند. به این منظور در سیستم کنترل معرفی شده، هرگاه شارژ باتری از محدوده $[0/2-1]$ خارج شود، توان تولیدی ژنراتور از حالت مشخص شده در نمایه خارج می‌شود. در اینجا از ظرفیت $0/2$ به عنوان حد پایین شارژ باتری در حالتی که شارژ باتری از مقدار مطلوب فاصله می‌گیرد، استفاده شده است. در این حالت، هرگاه شارژ ژنراتور به $0/2$ برسد، ژنراتور روشن و هرگاه به ۱ برسد ژنراتور خاموش می‌شود. همچنین اگر با خاموش شدن ژنراتور، باتری همچنان در حالت شارژ



(الف) توان‌های پیش‌بینی شده و حقیقی

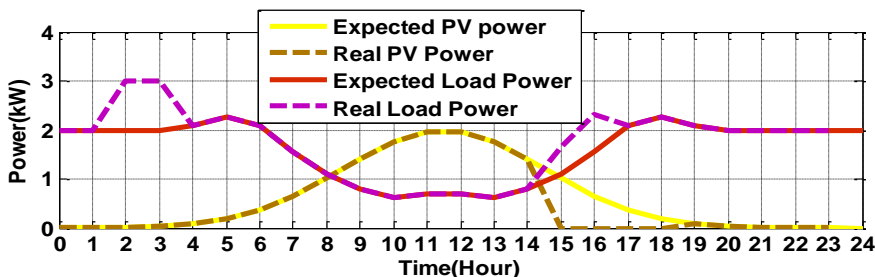


(ب) شارژ باتری در حالت پیش‌بینی شده و واقعی

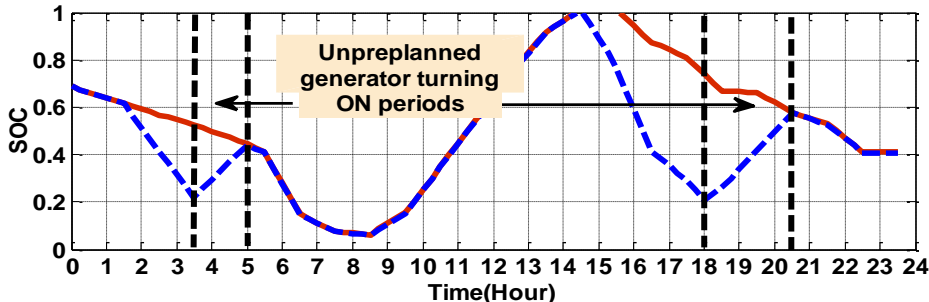
شکل (۹): عملکرد سیستم با وجود خطا در تخمین نمایه

برای رساندن مجدد شارژ باتری به نمایه روشن نگه می‌دارد. در نهایت، در ساعت ۵ شارژ باتری به مقدار مطلوب بازمی‌گردد. همچنین در ساعت ۱۴ مقدار توان فتوولتاییک به صورت ناگهانی به صفر می‌رسد. در این شرایط شارژ باتری به سرعت شروع به کاهش می‌کند تا اینکه در ساعت ۱۸ به مقدار ۰/۲ می‌رسد. در این حالت، مجدداً سیستم کنترل از تعقیب نمایه توان خارج شده و برای رساندن شارژ باتری به مقدار مطلوب ژنراتور را همواره روشن نگه می‌دارد. در نهایت، در ساعت ۲۰:۳۰، منحنی شارژ به مقدار مطلوب بازمی‌گردد.

در شکل (۱۰)، عملکرد سیستم در حالتی بررسی می‌شود که در آن نمایه‌های سیستم به‌نحوی با خطا همراه باشند که شارژ باتری از محدوده مجاز عبور کند. به این منظور فرض شده است که نمایه توان بار و سیستم فتوولتاییک به صورت نشان داده شده در شکل (۱۰-الف) باشند. در این حالت، در ساعت ۱، نمایه بار از مقدار پیش‌بینی شده فاصله گرفته و منجر به دور شدن شارژ باتری از مقدار مطلوب نمایش داده شده در شکل (۱۰-ب) می‌شود. در ساعت ۳:۳۰، این تغییر پیش‌بینی نشده بار منجر به کاهش ظرفیت باتری به مقدار ۰/۲ می‌شود. در این حالت، سیستم کنترل تابعیت خود از نمایه توان را از دست می‌دهد و ژنراتور را



(الف) توان‌های بار و سیستم فتوولتاییک پیش‌بینی شده و حقیقی

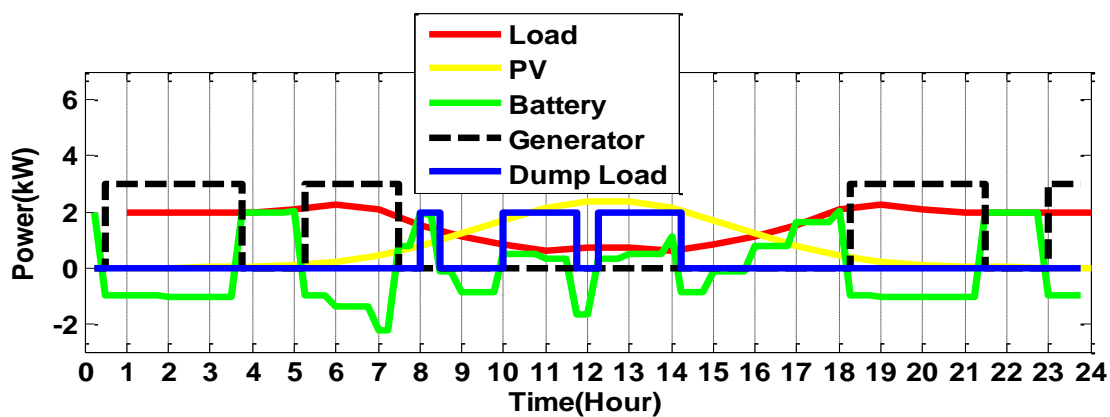


(ب) شارژ باتری پیش‌بینی شده و واقعی

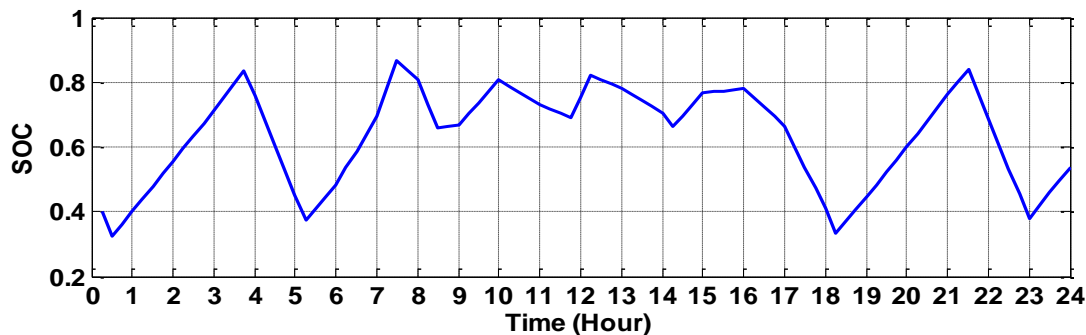
شکل (۱۰): عملکرد سیستم با خطای پیش‌بینی نمایه بار و سیستم فتوولتاییک

سیستم به روش کنترل ذکر شده در شکل (۱۱) بررسی شده است. همان طور که دیده می‌شود، در این حالت در ساعات ۸، ۱۰ و ۱۲، به دلیل رسیدن باتری به شارژ کامل که در شکل (۱۲) نشان داده شده، اجباراً از بارهای زائد ۲ کیلووات استفاده شده است. همچنین در شکل (۱۱)، ساعات کار ژنراتور برابر با ۹/۷۵ ساعت می‌باشد که ۲۶٪ از حالت بهینه‌شده در شکل (۷) بیشتر است. شارژ باتری در این حالت در شکل (۱۲) نشان داده شده است. با استفاده از بارهای زائد و ژنراتور، شارژ باتری همواره بین مقادیر حداقل و حداکثر ذکر شده باقی خواهد ماند.

برای مقایسه عملکرد سیستم با ظرفیت باتری ۶/۵ کیلووات ساعت با الگوریتم به‌کار رفته شده در HOMER، از ارزیابی عملکرد سیستم توسط شکل (۱۱) استفاده می‌شود. در این شکل، هرگاه شارژ باتری از ۸۰٪ فراتر رود، ژنراتور خاموش شده و هنگامی که شارژ باتری از ۴۰٪ کمتر شود، ژنراتور روشن شده و شارژ باتری را تا ۸۰٪ افزایش داده و در نهایت خاموش می‌شود. با وجود این، در شرایطی که توان تولیدی فتوولتائیک از بار بیشتر شود، خاموش کردن ژنراتور منجر به بازگشت شارژ از ۸۰٪ نشده و منجر به اضافه شارژ باتری می‌شود. در این شرایط، بار زائد وارد مدار شده و تعادل توان را برقرار می‌کند. در اینجا مقدار توان بار زائد برابر با در نظر گرفته شده است. عملکرد



شکل (۱۱): توان اجزای سیستم در روش به‌کاررفته در HOMER



شکل (۱۲): شارژ باتری در روش به‌کاررفته در HOMER

تابش متوسط خورشید برای ماه‌های مختلف سال در منطقه مورد بررسی استفاده شد. در سیستم مورد مطالعه قرار گرفته، نمایه بار و شدت تابش خورشید عملکرد معکوسی دارند. در طول روز که توان تولید خورشید بیشتر است، نمایه بار کاهش یافته و منجر به نیاز به ظرفیت بالایی برای سیستم باتری می‌شود. به‌منظور کاهش ظرفیت باتری، عدم نیاز به بارهای زائد برای برقراری تعادل توان در شرایط شارژ کامل باتری و کاهش ساعات کار ژنراتور، یک سیستم مدیریت انرژی بر مبنای نمایه بار و شدت تابش خورشید در روز پیش رو

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک سیستم ترکیبی فتوولتائیک-باتری-دیزل ژنراتور برای تغذیه یک شبکه جزیره‌ای دورافتاده در شمال غرب کشور طراحی و بهینه‌سازی شد. همان‌طور که توسط نرم‌افزار HOMER نشان داده شد، سیستم فتوولتائیک-باتری-دیزل ژنراتور معرفی شده از نظر اقتصادی موجه بوده و منجر به کاهش هزینه تولید انرژی و مصرف سوخت می‌شود. برای طراحی سیستم، از اطلاعات بار و

که نشان داده شد، استفاده از روش معرفی شده منجر به ۲۶٪ صرفه‌جویی در ساعت کار ژنراتور و ۹۰٪ کاهش در ظرفیت باتری منجر شد.

معرفی شد. در روش معرفی شده، با ظرفیت باتری بسیار کمتر از مقدار محاسبه شده توسط HOMER، امکان تأمین توان بار بدون نیاز به بارهای زائد و با کمترین ساعت کار ژنراتور فراهم است. در نهایت، عملکرد سیستم معرفی شده با سیستم معمول مقایسه شد. همان‌طور

مراجع

- [1] Sao, C. K., Lehn, P. W., "Control and Power Management of Converter Fed Micro Grids", IEEE Trans. Power Syst., Vol. 23, No. 3, pp. 1088–1098, Aug. 2008.
- [2] Nayar, C., "Innovative Remote Micro-Grid Systems", International Journal of Environment and Sustainability, Vol. 1, No. 3, pp. 53-65, 2012.
- [3] Datta, M., Senjyu, T., Yona, A., Funabashi, T., Kim, C. H., "A Frequency-Control Approach by Photovoltaic Generator in a PV–Diesel Hybrid Power System", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 26, No. 2, pp. 559-571, June 2011.
- [4] Pelland, S., Turcotte, D., Colgate, G., Swingler, A., "Nemiah Valley Photovoltaic-Diesel Mini-Grid: System Performance and Fuel Saving Based on One Year of Monitored Data", IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 3, pp. 167-175, 2012.
- [5] Malosh, J. B., Johnson, R., Bubendorf, S., "Part-Load of Diesel-Electric Generators", State of Alaska, Department of Transportation and Public Facilities, 1985.
- [6] Makarov, Y. V., Du, P., Kintner-Meyer, M., Jin, C., Illian, H., "Sizing Energy Storage to Accommodate High Penetration of Variable Energy Resources", IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 3, No. 1, pp. 34-40, 2012.
- [7] Tonkoski, R., "Impact of High Penetration of Photovoltaics on Low Voltage Systems and Remedial Actions," Ph.D. Dissertation, Concordia University Montreal, Quebec, Canada, 2011.
- [8] Bachi, M. D., "Economic Dispatch and Demand Side Management in Diesel Hybrid", Montreal, Quebec, 2012.
- [9] Kroposki, B., Burman, K., Keller, J., Kandt, A., "Integrating High Levels of Renewables into the Lanai Electric Grid," NREL, 2012.
- [10] Pradhan, A. K., Kar, S. K., Mohanty, M. K., "Modeling, Simulation and Economic Analysis of Off Grid Hybrid Renewable Power System for an Un Electrified Village in Odisha", in Proc: Electrical, Electronics, Signals, Communication and Optimization (EESCO), pp. 1-6, 2015.
- [11] Bhandari, Y., Chalise, S., Sternhagen, J., Tonkoski, R., "Reducing Fuel Consumption in Microgrids Using PV, Batteries, and Generator Cycling", In Proc: Electro/Information Technology (EIT), pp. 1-4, 2013.
- [12] Tudu, B., Mandal, K. K., Chakraborty, N., Mukherjee, I., "Stand-alone Hybrid Renewable Energy System-An Alternative to Increased Energy Demand", In Proc: Control, Instrumentation, Energy & Communication, pp. 335-339, 2014.
- [13] Belila, A., Tabbache, B., "A Control Strategy of Hybrid System Diesel-Photovoltaic-Battery for Stand-alone Applications", IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), pp. 860-865, 2015.
- [14] Kusakana, K., "Daily Operation cost Minimization of Photovoltaic Diesel-Battery Hybrid Systems Using Different Control Strategies", Industrial Electronics Society, IECON, 41st Annual Conference of the IEEE, pp. 3609-3613, 2015.
- [15] Pelland, S., Turcotte, D., Colgate, G., Swingler, A., "Nemiah Valley Photovoltaic-Diesel Mini-Grid: System Performance and Fuel Saving Based on One Year of Monitored Data", IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 3, pp. 167-175, 2012.
- [16] Lopes, L., Katiraei, F., Mauch, K., Vandenberg, M. A., "PV Hybrid Mini-Grids: Applicable Control Methods for Various Situations", IEA, Task 11, Subtask 20, Activity 21, 2012.
- [17] Tutkun, N., Can, O., "Optimal Load Management in a Low Power off-Grid Wind-Photovoltaic Microhybrid System", IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), pp. 1-5, 2016.
- [18] Liu, X., Wang, P., Loh, P. C., "A Hybrid AC/DC Microgrid and Its Coordination Control", IEEE Trans. Smart Grid, Vol. 2, No. 2, pp. 278–286, 2011.
- [19] NASA Surface Meteorology and Solar Energy: Data Subset, [Online]. Available:

طراحی و بهینه‌سازی یک سیستم ترکیبی فتوولتاییک-باتری-دیزل ژنراتور... ۲۵

[https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-](https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/subset.cgi?email=skip%40larc.nasa.gov&latmin=38)

[bin/sse/subset.cgi?email=skip%40larc.nasa.gov&latmin=38](https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/subset.cgi?email=skip%40larc.nasa.gov&latmin=38)

[&lonmin=45&latmax=12&lonmax=46&month=1&tenyear](https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/subset.cgi?email=skip%40larc.nasa.gov&latmin=38&lonmin=45&latmax=12&lonmax=46&month=1&tenyear)

[=avg_dnr&grid=clr_sky&submit=Submit](https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/subset.cgi?email=skip%40larc.nasa.gov&latmin=38&lonmin=45&latmax=12&lonmax=46&month=1&tenyear)