

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۵

سامانه یکپارچه مدیریت انرژی الکتریکی کلبه سبز: آزمون فنی اقتصادی

مصطفی اسماعیلی شایان^۱، غلامحسین نجفی^{۲*}، صحرا اسماعیلی شایان^۳

^۱ دانش‌آموخته دکتری، مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

e.mostafa@modares.ac.ir

^۲ استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

g.najafi@modares.ac.ir

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، مدیریت صنعتی - کیفیت و بهره‌وری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

sahra.e.shayan@ut.ac.ir

چکیده: ماهیت تناوب انرژی تمایل به استفاده از سامانه‌های ترکیبی را افزایش داده و کنترل بهینه این سامانه‌ها از نظر هزینه و قابلیت اطمینان با افزایش استفاده از سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر ترکیبی، به‌ویژه در برق‌رسانی از راه دور، از اهمیت بالایی برخوردار شده است. در این پژوهش، مدیریت انرژی با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری پویا و کنترل‌کننده هوشمند انجام شده است. این سامانه به‌طور خودکار و پویا با تغییرات خروجی منبع خورشیدی و انرژی بادی و باتری‌ها تطبیق یافته و قادر به پاسخ‌گویی درخواست‌های بیرونی، مانند سیگنال‌های ولتاژ و محدودیت‌های سامانه قدرت یا درخواست‌های اپراتور است. نتایج نشان داد چنانچه نفوذ انرژی تجدیدپذیر ۲۳/۸٪ باشد، با میانگین مصرف سوخت فسیلی سالانه ۴۰۷ لیتر، انرژی تولیدی سامانه تبدیل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی معادل ۱۶۹۷ kWh/yr بوده و خالص ارزش فعلی برابر ۵۵۳/۶۸ دلار و نرخ بازگشت سرمایه داخلی برابر ۲۱/۴۹٪ با دوره بازگشت سرمایه ۱۵/۷۱ سال است. با افزایش نفوذ انرژی تجدیدپذیر به ۵۴٪، مصرف سوخت فسیلی، سالانه ۲۵۳ لیتر شده و انرژی تولیدی معادل ۱۶۵۲ kWh/yr و نرخ بازگشت سرمایه برابر ۱۹/۵٪ با دوره بازگشت سرمایه ۱۷/۶۱ سال محاسبه می‌شود. مدیریت انرژی کلبه سبز با نفوذ ۱۰۰٪ انرژی تجدیدپذیر، ۱۹۳۳ kWh/yr انرژی بدون انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی و خالص ارزش فعلی ۳۷۲/۰۹- دلار را همراه دارد. از دید سیاست‌گذاری انرژی، چنانچه تعرفه خرید برق تجدیدپذیر به بیش از ۰۶ دلار افزایش یابد، اجرای این روش اقتصادی خواهد باشد.

واژه‌های کلیدی: منابع انرژی، تصمیم‌گیری پویا، کلبه سبز، انرژی‌های تجدیدپذیر، مدیریت انرژی.

* نویسنده مسئول

۱. مقدمه

با رشد جمعیت و صنعتی شدن سریع، تقاضا برای انرژی با سرعت افزایش یافته و با توجه به منابع محدود آن، پوشش تقاضا از طریق سامانه‌های انرژی سنتی محقق نمی‌شود [۱]؛ حال آنکه ارتباط مستقیمی بین مصرف انرژی و شاخص کیفیت زندگی وجود دارد [۲]. سازمان جهانی انرژی پیش‌بینی کرده است ذخایر سوخت‌های فسیلی که بیش از ۷۹٪ از انرژی اولیه جهان را تشکیل می‌دهند، به سرعت در حال کاهش‌اند و قسمت عمده آن معادل ۵۷٪ در بخش حمل‌ونقل به‌کارگیری شده است [۳]. سوخت‌های فسیلی زغال‌سنگ، نفت و گاز با ایجاد چالش‌های زیست‌محیطی، دارای ذخایر محدودی هستند و هم‌زمان با افزایش تقاضای انرژی و کاهش منابع آن‌ها اقتصاد کشورها ناپایدار خواهد شد. بنابراین، بهره‌گیری از منابع انرژی محلی و تجدیدپذیر حیاتی خواهد بود [۴].

منابع انرژی تجدیدپذیر ممکن است در نواحی جغرافیایی دارای نوسان و تناوب غیرقابل اعتماد باشند [۵]. تأمین توان الکتریکی از طریق سامانه‌های فتوولتائیک^۱ در شب مقدور نبوده و ممکن است در ساعاتی از روز سامانه انرژی بادی^۲ فعال نباشد. بنابراین، طراحی و ادغام منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه فتوولتائیک - باد تحت سامانه‌های ترکیبی و بهره‌گیری از سامانه‌های مطلوب ذخیره و پشتیبان می‌تواند موجب افزایش تمایل به بهره‌گیری از سامانه‌های تجدیدپذیر شود و مسئله ماهیت تناوب انرژی را مدیریت کند [۶]. طراحی بهینه سامانه‌های ترکیبی از نظر هزینه و قابلیت اطمینان با افزایش استفاده از سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر ترکیبی، به‌ویژه در برق‌رسانی از راه دور، از اهمیت بالایی برخوردار است. طی چند دهه گذشته، کنترل‌کننده سامانه‌های تجدیدپذیر ترکیبی از دغدغه‌های اساسی پژوهشگران حوزه انرژی بوده است [۷ و ۸]. سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر ترکیبی نسبت به سامانه‌های منفرد، قابلیت‌های عمده‌ای دارند که در پژوهش‌های مختلف بررسی شده‌اند [۹-۱۳]. در پژوهشی، پروفایل تقاضای ساعتی انرژی الکتریکی از ۲۰۰۰ خانوار سوئدی اندازه‌گیری شد. بازخورد بین سیستم تولید برق مرکزی و سرمایه‌گذاری‌های خانگی در سامانه ترکیبی خورشیدی و باتری‌ها مثبت بود و بازار به سرمایه‌گذاری این تکنولوژی در خانه‌های تک خانواری روی آورده است [۶].

در بُعد کنترل هوشمند، مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۱ سامانه کنترل

منطق فازی سامانه فتوولتائیک مستقل با ذخیره باتری را پیشنهاد کرد [۱۴]. در مطالعه دیگری در سال ۲۰۲۱ یک روش کنترل هوشمند نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک با اتصال مستقیم و دنبال‌کننده پیشنهاد شده است [۱۵]. با این حال، پژوهش‌هایی که به‌تازگی منتشر شده، تمرکز بیشتری بر سامانه‌های ترکیبی متصل به شبکه و الگوریتم‌های زمان واقعی دارند. برای مثال، در سال ۲۰۲۰، سلیمان و همکاران یک سامانه ترکیبی فتوولتائیک خورشیدی متصل به شبکه را با استفاده از شبیه‌ساز دیجیتال در زمان واقعی ایجاد کردند [۱۶]. همچنین لی و همکاران در سال ۲۰۱۸ عملکرد سامانه ترکیبی انرژی خورشیدی و باتری در منازل مسکونی متصل به شبکه با هدف مدیریت مصرف و اصلاح اوج را در ژاپن بررسی کردند [۱۷]. پتروزل و همکاران در سال ۲۰۱۸ همچنین کنترل هماهنگ برای ادغام شبکه یک‌آرایه فتوولتائیک، ذخیره باتری و خازن را مطالعه کردند [۱۸]. در این پژوهش‌ها خوشه‌بندی اختراع و روند تکامل باتری‌های خورشیدی بررسی شده است. معرفی و همکاران در سال ۲۰۲۱، یک سامانه کنترل هوشمند انرژی تجدیدپذیر ترکیبی را توسعه دادند. در این سامانه، فرایند تولید برق برای به دست آوردن بیشینه قدرت سودآور با کمینه هزینه عملکرد سامانه قدرت کنترل می‌شد. روش کنترل به شرایط محیطی متکی بود. سامانه تولید انرژی، شرایط مناسب برای دستیابی به بیشینه سود را مدل‌سازی کرد. عملکرد سیستم پیشنهادی با استفاده از معیارهای سود عملیاتی، عامل عدم تعادل، پیش‌بینی موفقیت‌آمیز عملیات و تأخیر زمانی تجزیه و تحلیل شد [۱۹].

یانگ و همکاران در سال ۲۰۲۰ سامانه کنترل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی با روش پیش‌بینی بیشترین بار را توسعه دادند. این سامانه جریان متناوب و تصادفی انرژی‌های تجدیدپذیر را به‌طوری که قابلیت اطمینان بار افزایش یابد، کنترل می‌کرد. رویکرد کنترل حالت کشویی مرتبه کسری تطبیقی، و سامانه ذخیره انرژی مغناطیسی ابررسانا برای بهبود پاسخ‌های دینامیکی در برابر شرایط مختلف کار بود. نتایج نشان داد فقط جریان‌های محور dq نیاز به اندازه‌گیری دارند و برآورد اغتشاش به‌راحتی با هزینه‌های کنترل مناسب است. عملکرد کنترل معمولی متناسب با انتگرال - مشتق^۳ PID کنترل، اتصال و انتساب کنترل مبتنی بر انفعال مقایسه شده است. آن‌ها نشان دادند، خطای توان فعال در سامانه PID کمینه است. در این پژوهش یک آزمایش سخت‌افزار مبتنی بر dSpace برای بررسی عملی بودن در شرایط مختلف اجرا شده است [۱۵].

1. Photo-Voltaic (PV)
2. Wind Energy

ترکیبی فتولتائیک خورشیدی متصل به شبکه را با استفاده از شبیه‌ساز دیجیتال در زمان واقعی ایجاد کردند [۲۵]. همچنین لی و همکاران در سال ۲۰۱۸ م عملکرد سامانه ترکیبی انرژی خورشیدی و باتری در منازل مسکونی متصل به شبکه را با هدف افزایش مصرف و اوج اصلاح در ژاپن بررسی کردند [۱۷]. پترولز و همکاران در سال ۲۰۱۸ همچنین کنترل هماهنگ برای ادغام شبکه یک‌آزایه فتولتائیک، ذخیره باتری و خازن را مطالعه کردند [۱۸]. یانگ و همکاران در سال ۲۰۰۸ م اندازه‌گیری مطلوب یک سامانه ترکیبی را بر اساس الگوریتم ژنتیک پیشنهاد داده‌اند. این الگوریتم توانایی دستیابی به بهینه جهانی با مقدار کافی سادگی محاسباتی را دارد. آن‌ها در کار خود غیر از تعداد ماژول‌های فتولتائیک، توربین بادی و باتری‌ها، زاویه شیب ماژول فتولتائیک و ارتفاع توربین بادی را به‌عنوان متغیرهای بهینه‌سازی انتخاب کرده‌اند [۲۶].

تحقیقات دیگری [۲۷ و ۲۸] از نرم‌افزار هومر برای اندازه‌گیری بهینه فنی و اقتصادی سامانه‌های ترکیبی تجدیدپذیر استفاده کرده‌اند. الگوریتم‌های بهینه‌سازی و تحلیل دقیق هومر به کاربر این اجازه را می‌دهد تا امکان اقتصادی و فنی تعداد زیادی از گزینه‌های فناوری را ارزیابی کند و همچنین عدم اطمینان از هزینه‌های فناوری، در دسترس بودن منابع انرژی و سایر متغیرها را حساب کند.

خلاً اصلی پژوهش‌های موجود، عدم تعیین اندازه اقتصادی سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر ترکیبی با تأکید بر کنترل‌کننده انرژی است. هدف از پژوهش حاضر طراحی نوآورانه سامانه مدیریت انرژی تجدیدپذیر ترکیبی با الگوریتم تصمیم‌گیری پویا برای بهینه کردن نفوذ انرژی تجدیدپذیر محلی است. این سامانه از طریق کنترل‌کننده هوشمند، با الگوریتم هزینه کمینه برق تقاضای توان الکتریکی یک کلبه سبز را تأمین می‌کند. بررسی تجربی اثر متغیرهای محیطی بر توان سامانه و ارائه روش‌های تأمین توان الکتریکی کلبه سبز، شرایط موجود را روشن و راهنمای مناسبی برای تصمیم‌گیری استفاده از انواع شبکه‌های تأمین برق ارائه می‌دهد.

در این پژوهش از توربین بادی محور افقی و سامانه فتولتائیک به‌عنوان منابع اولیه انرژی و از ژنراتور بنزینی به‌عنوان منبع انرژی پشتیبان استفاده می‌شود. علاوه بر این، یک بانک باتری به‌عنوان منبع ذخیره انرژی استفاده شده است. باتری‌ها برای ذخیره انرژی مازاد در زمان تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر مورد نیازند. مادامی که تولید برق از منابع تجدیدپذیر ناتوان در تأمین تقاضای برق باشد، از برق پشتیبان (باتری) استفاده می‌شود. ژنراتور برای اطمینان از

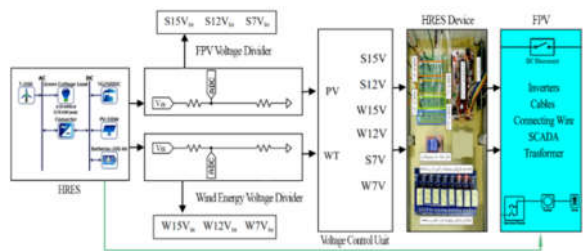
پراوین و همکاران در سال ۲۰۲۰ م یک چهارچوب برنامه‌ریزی و کنترل واکنشی برای ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر با یک سامانه پیل سوختی مبتنی بر اصلاح‌کننده و یک دستگاه ذخیره انرژی را طراحی کردند. در این پژوهش سعی شده است تا با ماهیت متناوب احتمالی انرژی‌های خورشیدی و بادی با اتکا به سامانه ذخیره مناسب اقدام شود. یک لایه زمان‌بندی مناسب که برنامه مفصلی از سهم بهینه منابع مختلف برق موجود را ارائه می‌دهد، در طول مدت یک هفته (۷ روز) در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری نوسانات یا عدم قطعیت‌های احتمالی در منابع انرژی تجدیدپذیر دریافت و عملکرد صحیح سیستم تولید برق از طریق تصمیم‌گیری مناسب در مورد تولید از طریق اصلاح‌کننده مستقر ثبت شد. نتایج نشان داد عملکرد سامانه کنترلی برنامه‌ریزی شده توانست بار با تعادل مناسب برای منابع انرژی تجدیدپذیر ایجاد کند [۲۰].

دانگ و همکاران در سال ۲۰۲۰ م عملکرد پیشینه سامانه خنک‌کننده، گرمایش و قدرت ترکیبی انرژی تجدیدپذیر بر اساس مدل کنترل پیش‌بینی به کارگیری کردند. بار تولیدی سامانه می‌تواند برای تأمین انرژی حرارتی یا انرژی خنک‌کننده کاربران استفاده شود. با توجه به ویژگی‌های دینامیکی واحد ذخیره انرژی، یک مدل بهینه‌سازی انرژی با خطای پیش‌بینی ارائه شده است. بر این اساس، یک راهبرد عملیاتی بهینه‌سازی هزینه سیستم به‌عنوان عملکرد هدف در نظر گرفته شده است. با بهینه‌سازی خروجی هر دستگاه، هزینه تحت حداکثر خطای پیش‌بینی، به حداقل رسیده است [۲۱].

نوقریان و کوفیگر در سال ۲۰۲۰ م کنترل توان سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر ترکیبی باد، فتولتائیک و باتری با استفاده از استراتژی سیستم‌های سوئیچ شده را طراحی کردند. در این سامانه، استراتژی کنترل انطباقی برای تأمین کل تقاضای برق در شرایط مختلف تحت کلیدزنی خودکار ارائه شد. قانون کنترل پیشنهادی بدون نیاز به اندازه‌گیری انرژی باد فقط به سرعت و جریان زاویه‌ای وابسته بود. نتایج شبیه‌سازی برای نشان دادن عملکرد روش پیشنهادی برای یک سیستم انرژی ترکیبی معمولی ارائه و بحث شد [۲۲].

در بُعد کنترل هوشمند، مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۹ م سامانه کنترل منطق فازی سامانه فتولتائیک مستقل با ذخیره باتری را پیشنهاد کرد [۲۳]. در مطالعه دیگری در سال ۲۰۱۲ یک روش کنترل از الکترولیزر، سامانه فتولتائیک با اتصال مستقیم مستقل شد [۲۴]. با این حال، پژوهش‌هایی که به‌تازگی منتشر شده، تمرکز بیشتری بر سامانه‌های ترکیبی متصل به شبکه و الگوریتم‌های زمان واقعی دارند. برای مثال، در سال ۲۰۱۴ م، سریندهار و میرا یک سامانه

شارژ یا تخلیه منبع باتری را مطابق با الگوریتم تصمیم‌گیری پویا مدیریت کرده و ولتاژهای خروجی تنظیم شده ۷ تا ۱۲ ولت و ۱۲ تا ۱۵ ولت را از منابع انرژی تجدیدپذیر خورشیدی و بادی به ولتاژ ۲۳۰ ولت مصرف‌کننده بار در کلبه سبز می‌رساند. هوشناسی منطقه آزمون از طریق سامانه کنترلی، در بازه زمانی هر ۱ ساعت به مدت یک سال (در مجموع ۸۷۶۰ ساعت) اندازه‌گیری شده و از طریق مدل^۱ USB4711 در LabVIEW^۲ و سپس در Excel ثبت شده است. مدیریت انرژی توسط کنترل‌کننده هوشمند انجام می‌شود. این سامانه به‌طور خودکار و پویا با تغییرات خروجی منبع خورشیدی و انرژی بادی و باتری‌ها تطبیق یافته و قادر به پاسخ‌گویی درخواست‌های بیرونی، مثل سیگنال‌های ولتاژ و محدودیت‌های سامانه قدرت یا درخواست‌های اپراتور است. شکل (۲) مدل خود مداخله مبتنی بر ولتاژ و سخت‌افزار سامانه کنترلی را نشان می‌دهد.



شکل (۲): سخت‌افزار سامانه و بلوک دیاگرام مدل کنترل ولتاژ سامانه انرژی تجدیدپذیر ترکیبی جریان مستقیم

ساختار کنترل سامانه انرژی تجدیدپذیر ترکیبی جریان مستقیم در زمان واقعی به الگوی کنترل تمرکز، توزیع و ترکیبی طبقه‌بندی شده است. در هر سه پارادایم کنترل، منابع انرژی تجدیدپذیر به یک کنترل‌کننده متصل می‌شوند که کارایی و عملکرد بهینه همه زیرسامانه‌ها را تعیین می‌کند.

الگوی تمرکز، ولتاژهای خروجی تنظیم‌شده را از تمام منابع انرژی تجدیدپذیر موجود اندازه‌گیری کرده و یک سیگنال کنترل فعال‌سازی به کنترل‌کننده می‌فرستد. کنترل‌کننده مبتنی بر ولتاژ با هدف بهینه‌سازی استفاده از ولتاژهای خروجی منابع انرژی تجدیدپذیر برای تأمین بار و شارژ منبع ذخیره انرژی باتری، تصمیم‌گیری را انجام می‌دهد. کنترل‌کننده پایه ولتاژ، میزان ولتاژهای خروجی تنظیم‌شده را از منابع تجدیدپذیر اندازه‌گیری کرده و یک سیگنال به واحد تصمیم‌گیری ارسال می‌کند. نوآوری این الگو در دریافت اطلاعات کنترل‌کننده مبتنی بر ولتاژ است.

کیفیت خدمت شبکه برق هنگامی که خروجی از سایر واحدها کم است یا تقاضا زیاد است، استفاده می‌شود. هدف از این پژوهش، طراحی و ساخت سامانه کنترل و مدیریت هوشمند تبدیل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی متصل به شبکه برای تأمین برق یک کلبه سبز و بررسی متغیرهای محیطی بر روی توان سامانه است.

۲. مواد و روش‌ها

کلبه سبز در ارتفاع ۱۳۵۲ متری سطح دریا قرار گرفته است. کمینه دمای هوا در این محل ۱/۰- درجه سلسیوس و بیشینه آن به ۴۲/۷+ درجه سلسیوس می‌رسد. متوسط دریافت انرژی خورشیدی در موقعیت این کلبه برابر با ۴/۹ KWh/m²/day است. میانگین سالانه دمای محیط در ارزیابی موقعیت جغرافیایی و متغیرهای هوشناسی با استفاده از داده‌های هوشناسی اندازه‌گیری شده برابر ۲۱/۲ درجه سلسیوس است. شکل (۱) نمای بیرونی سامانه تبدیل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی با اتصال زیرسامانه‌های خورشیدی و بادی را نشان می‌دهد.



شکل (۱): سامانه تجدیدپذیر ترکیبی و تجهیزات کنترلی

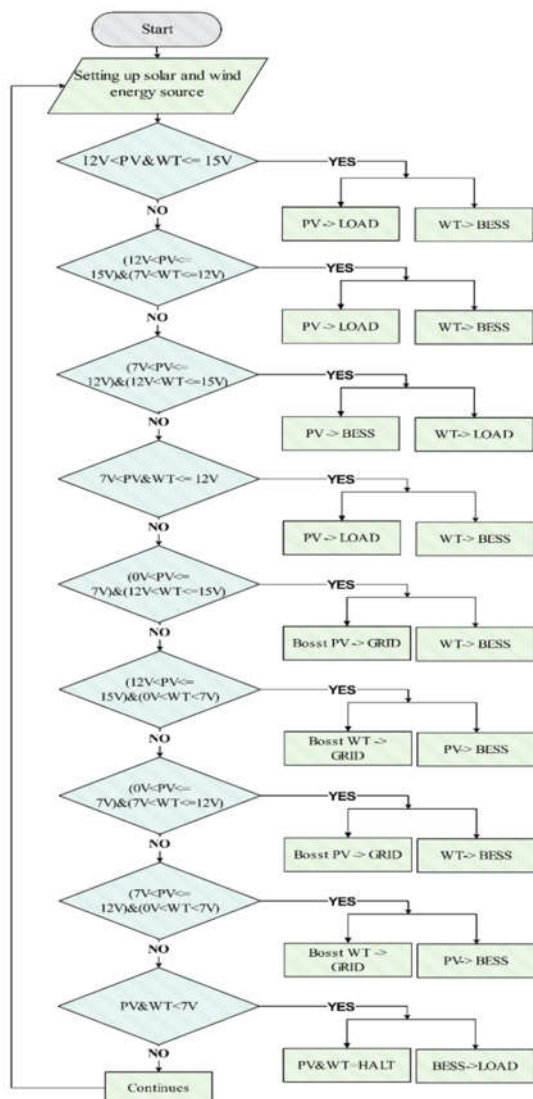
اجزای تشکیل‌دهنده سامانه تبدیل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی در زمان واقعی شامل، مدارهای الکترونیک، زیرسامانه خورشیدی و بادی، کنترل‌کننده شارژ، بانک باتری، حسگرها، مدارهای آماده‌سازی، مدارهای ایمنی، مبدل‌ها، مدارهای مداخله ولتاژ، مدارهای کلیدزنی رله، اینورتر، دیتالاگر و رایانه است. یکپارچه‌سازی و ساخت سخت‌افزار سامانه هوشمند تبدیل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی جریان مستقیم برای آزمایش سامانه در زمان واقعی انجام شده و بر روی کلبه سبز نصب شده است. داده‌های هوشناسی همزمان توسط ابزار اندازه‌گیری دریافت و قابلیت تولید توان در هر زیرسامانه، پیش‌بینی می‌شود. این سامانه بار منبع تغذیه باتری را به بار متناوب متصل به مصرف‌کننده کلبه سبز به‌صورت بهینه می‌رساند. همچنین سامانه کنترلی انرژی تجدیدپذیر ترکیبی در زمان واقعی به‌طور مداوم فرایند

1. Advantech USB-4711

2. Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

می‌یابد. چنانچه شارژ بانک باتری به زیر ۴۰٪ برسد و منبع تجدیدپذیر برای اتصال نباشد، سامانه کنترلی ژنراتور بنزینی را برای تأمین شارژ باتری‌ها وارد مدار می‌کند. پس از کامل شدن شارژ باتری یا اتصال منبع انرژی تجدیدپذیر، ژنراتور بنزینی خاموش و فرایند تکرار می‌شود.

برای تعیین آمپرساعت باتری ۱۲ ولت، چنانچه در بخش روشنایی ۲ لامپ با مصرف ۱۰ وات و ۱ عدد با مصرف ۷/۵ وات استفاده شود و مصرف بخش روشنایی با ولتاژ باتری ۱۲ ولت قبل از اینورتر، معادل ۲/۲۹ آمپرساعت در هر روز و اگر هر ۳ لامپ به مدت ۵ ساعت روشن نگه داشته شود، آنگاه این زمان ۱۱/۴۵ آمپرساعت نیاز به باتری ۱۲ ولتی دارد.



شکل (۳) الگوریتم تصمیم‌گیری پویا سامانه مدیریت انرژی کلبه سبز

جدول (۱) مصرف‌کننده‌های برقی کلبه سبز را نشان می‌دهد.

پارادایم توزیع، سیگنال فعال‌سازی را از کنترل‌کننده مبتنی بر ولتاژ دریافت کرده و مطابقت می‌دهد تا منابع انرژی تجدیدپذیر متصل به کنترل‌کننده ولتاژ در سامانه متصل باشند. کلیدزنی ولتاژ با قطع‌کننده مدار و کنترل‌کننده شرایط منابع انرژی ارتباط برقرار می‌کند تا تصمیم فعال‌سازی را بر اساس سیگنال دریافتی ایجاد کند. با این قابلیت، امکان مدیریت مؤثر منابع انرژی تجدیدپذیر بر اساس محاسبات کنترل‌کننده فراهم شده و خروجی هر منبع انرژی تجدیدپذیر بهینه می‌شود.

الگوی ترکیب، از الگوی کنترل توزیع تشکیل شده است تا تمام زیرسامانه‌های مربوطه در زمان واقعی مدیریت شود. منابع انرژی تجدیدپذیر به‌طور مشروط به‌عنوان یک واحد در زیرسامانه گروه‌بندی می‌شوند. کلیدزنی قطع‌کننده مدار و شرایط گروه در زیرسامانه برای مدیریت و هماهنگی مؤثر ولتاژهای خروجی از منابع انرژی تجدیدپذیر به بار متصل شده یا برای شارژ منبع ذخیره انرژی باتری استفاده می‌شوند. در سطح عملیاتی، الگوی ترکیب، تصمیم‌گیری‌های زیادی انجام می‌دهد. شکل (۳) الگوریتم تصمیم‌گیری پویا سامانه مدیریت انرژی کلبه سبز را نشان می‌دهد. الگوریتم تصمیم‌گیری پویا ۹ شرایط مختلف را بررسی می‌کند که به منابع انرژی تجدیدپذیر خورشیدی و بادی اجازه می‌دهد منبع تقاضای الکتریکی کلبه سبز یا منبع ذخیره انرژی باتری برای فرایند شارژ را متصل کند. در این پیکربندی‌ها، هنگامی که یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر قادر به تأمین ولتاژ خروجی باشد، از این ولتاژ برای شارژ منبع ذخیره باتری‌ها استفاده می‌شود که به‌عنوان منبع تغذیه ثانویه در هنگام در دسترس نبودن منابع انرژی تجدیدپذیر خورشیدی-بادی برای تولید خروجی ولتاژ از آن یا ژنراتور بنزینی استفاده می‌شود. هشت واحد کلیدزنی و کنترل رله به ولتاژهای خروجی تنظیم‌شده از منابع انرژی تجدیدپذیر خورشیدی و باد متصل‌اند و هشت واحد کنترل و رله دیگر نیز برای انجام فرایند شارژ یا تخلیه به منبع ذخیره انرژی باتری متصل‌اند. اگرچه تمام واحدهای کلیدزنی و کنترل رله به درگاه‌های ورودی یا خروجی میکروکنترلر PIC16F877A^۱ متصل‌اند، هر یک از آن‌ها بر اساس سیگنال فعال‌شده HIGH از الگوریتم تصمیم‌گیری پویا، به‌صورت جداگانه پیروی می‌کنند. هر یک از واحدهای کلیدزنی و کنترل رله به‌عنوان یک درگاه خروجی در میکروکنترلر متصل شده‌اند. در زمان نبود منابع انرژی تجدیدپذیر، تخلیه شارژ از بانک باتری B و باتری A آغاز شده و تخلیه شارژ تا وضعیت ۴۰٪ به‌صورت متناوب ادامه

جدول (۱): مصرف کننده‌های برقی کلبه سبز [۲۹].

بخش	مصرف (W)	جریان (A)	زمان (ساعت)	ولتاژ (ولت)	آمپر ساعت روزانه (Ah)
پخت و پز	۸۰-۴۰	۸/۳۳	۱	۲۲۰	۸/۳۳
سرگرمی	۱۰۰-۱۷	۲/۵	۲		۵
روشنایی	۱۰-۵	۰/۸۳	۵		۱۱/۴۵
		۰/۶۲	۵		
		۰/۸۳	۵		
رایانه	۵۰	۴/۱۶	۸		۳۳/۲۸
نگهداری	۱۰۰-۲۰	۳/۳۳	۲۴	۷۹/۹	
جمع	۱۰۶-۱۳۲	۲۰/۶	-	-	۱۳۷/۹۶

۳. نتایج و بحث

با در نظر گرفتن ترکیب انرژی خورشیدی، بادی و استفاده از پشتیبان باتری و ژنراتور بنزینی، ۱۳ حالت منطقی برای آرایش زیرسامانه‌ها محاسبه شده است. ترکیبی که از همه زیرسامانه‌ها استفاده می‌کند و هزینه تولید انرژی الکتریکی (COE) ۰/۳۸۱ دلار به ازای هر کیلووات ساعت داشته باشد، دارای ۰/۲۰۵ کیلووات زیرسامانه خورشیدی (با هزینه اولیه ۴۱۰ دلار) با ۱ توربین بادی مدل i500 (هزینه اولیه ۱۰۰۰ دلار) و ژنراتور بنزینی (موتور برق) مدل TG2500DC با ظرفیت اسمی ۰/۸۹۰ کیلووات و ۲ عدد باتری ۱۰۰ آمپرساعتی است. این سامانه دارای نفوذ ۵۴ درصدی انرژی تجدیدپذیر بوده و سالانه ۲۵۳ لیتر سوخت مصرف کرده است. همچنین موتور برق در این آرایش ۱۳۴۵ ساعت کار کرده تا ۶۷۵ کیلووات ساعت انرژی تولید کند. توان جبران باتری در این آرایش ۷/۰۳ ساعت بوده و کل انرژی سالانه گذرا از منبع ذخیره انرژی باتری ۴۹۹ کیلووات ساعت است. نقاط بهینه ترکیب زیرسامانه‌ها در جدول (۲) گزارش شده است.

شکل (۴) تولید و مصرف برق کلبه سبز طی دوره یکساله را نشان می‌دهد. نتایج مصرف برق کلبه سبز نشان می‌دهد الگوی مصرف برق خانگی با پیک شبانه از غروب آفتاب تا ۳ ساعت پس از آن خواهد بود. بیشینه مصرف برق در برخی از روزهای سال به ۲/۰۹ کیلووات ساعت رسیده است. کمینه مصرف در ساعات خاموشی و معادل ۰/۰۱ کیلووات ساعت ثبت شد. در زمان طلوع خورشید، شروع مصرف برق در کلبه سبز ۰/۳۳ کیلووات خواهد بود و تا زمان غروب آفتاب به صورت میانگین سالانه ۰/۴۷ کیلووات اندازه‌گیری شد. از دید مهندسی برق ضریب بار کلبه سبز ۲۲٪ محاسبه شد. در بهینه‌سازی سامانه تبدیل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی، تمام آرایش‌های مختلف تأمین برق کلبه سبز با توجه به محدودیت‌ها و داده‌های واقعی برای دستیابی به اقتصادی‌ترین حالت برای هزینه چرخه عمر بررسی شد. برای مدل‌سازی این سامانه اطلاعات منبع خورشیدی و میزان سرعت

در مجموع روزانه ۱۳۸ آمپرساعت تقاضای انرژی کلبه سبز خواهد بود. این مقدار در محدوده منطقی مصرف کلبه‌های کوچک (۱۰۰ تا ۲۰۰ آمپرساعت) است [۳۰]. چنانچه مجموع توان مصرفی در حالت بحرانی ۲۴۷ وات و تخلیه کامل باتری‌ها ۲۰۰ آمپرساعت در ولتاژ ۱۲ ولت ورودی اینورتر باشد، آنگاه حداقل زمانی پشتیبانی ۴۰۸/۱۰ دقیقه محاسبه شد. این شرایط زمانی رخ می‌دهد که منابع انرژی تجدیدپذیر موجود نبوده و ژنراتور بنزینی به سامانه متصل نباشد؛ به طوری که الگوریتم کنترلی اجازه نخواهد داد ذخیره انرژی باتری به ۴۰٪ این مقدار برسد و سامانه پشتیبان وارد شبکه خواهد شد.

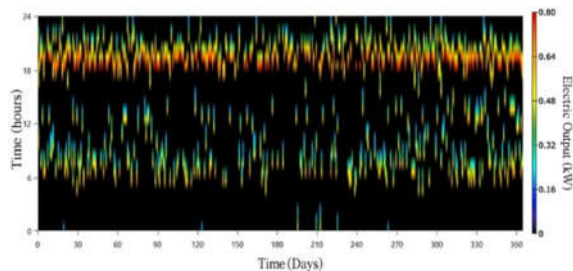
در ارزیابی اقتصادی سامانه، معیارهای خالص ارزش فعلی (NPV)، نرخ بازده داخلی (IRR) و دوره بازگشت سرمایه (PP) محاسبه شده است. ارزش فعلی مجموعه‌ای از جریان‌ها و جوه نقد آینده از طریق رابطه (۱) محاسبه شده است [۳۱].

$$NPV = NCF_0 + \frac{NCF_1}{(1+i)} + \frac{NCF_2}{(1+i)^2} + \frac{NCF_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

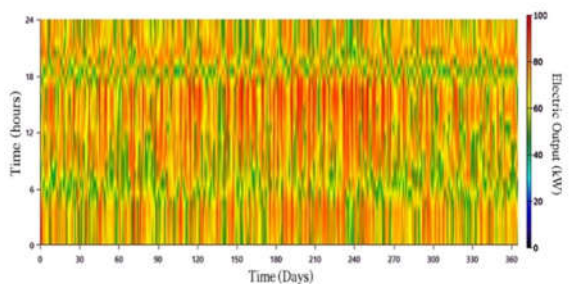
که در آن، NPV برابر خالص ارزش فعلی، NCF برابر خالص جوه نقد، i برابر نرخ تنزیل و t برابر دوره مالی است. IRR نرخ تنزیلی است که بر اساس آن، ارزش خالص فعلی پروژه (NPV) برابر صفر است. اگر NPV پروژه مثبت باشد، IRR آن پروژه از نرخ بازدهی که برای سرمایه‌گذاری به کار برده شده، بیشتر است. در محاسبه NPV فرض بر این است که نرخ تنزیل مشخص است و NPV پروژه تعیین می‌شود. در محاسبه IRR، NPV پروژه معادل صفر قرار گرفته و نرخ تنزیل که همان IRR پروژه است، تعیین شده است. با استفاده از معیار دوره بازگشت سرمایه (PP)، دوره‌ای که در آن مجموع درآمد سالیانه با هزینه سرمایه‌گذاری برابر می‌گردد. آزمون آماری بر مبنای طرح آزمایشی

1. Payback Period

تولید سالانه زیرسامانه خورشیدی با نفوذ ۲۰٪ برابر ۳۳۱ کیلووات ساعت در سال و زیرسامانه بادی با نفوذ ۴۰/۸٪ برابر ۶۷۵ کیلووات ساعت در سال و ژنراتور بنزینی با نفوذ ۳۹/۲٪ برابر ۶۴۷ کیلووات ساعت در سال خواهد بود. عملکرد ژنراتور بنزینی نشان می‌دهد، کل انرژی تولیدی این واحد ۶۷۵ کیلووات ساعت در سال بوده و خروجی الکتریکی این سامانه ۵/۵۰۲ کیلووات (کمینه ۰/۲۲۳ و بیشینه ۰/۷۹۸) ثبت شد. این واحد با آرایش ترکیبی ۲ از جدول (۲) نیاز به ۲۵۳ لیتر سوخت دارد و تقاضای ویژه سوخت در ازای تولید توان برابر ۰/۳۷۶ لیتر به کیلووات ساعت بوده است. همچنین تعداد شروع به کار (استارت) این واحد ۵۸۹ بار در سال با عمر مفید ۱۱/۲ سال خواهد بود. عملکرد اسمی این واحد در نهایت ۲۷/۱٪ محاسبه شد. شکل (۵) کارکرد سامانه پشتیبان و ذخیره را نشان می‌دهد. کارکرد این دستگاه در محدوده ساعات ۶ تا ۱۰ صبح و ۱۸ تا ۲۰ به منظور تأمین تقاضای برق کلبه سبز ثبت شد؛ به طوری که وضعیت شارژ و تخلیه باتری‌ها در تمام طول سال و ساعات روز یکسان بوده است.



الف. کارکرد ژنراتور بنزینی طی یک سال



ب. وضعیت شارژ منبع ذخیره انرژی باتری

شکل (۵): کارکرد سامانه پشتیبان و ذخیره

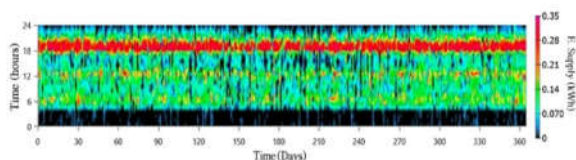
استفاده از منبع ذخیره انرژی باتری نشان می‌دهد ولتاژ اسمی ۱۲ ولت مناسب بوده و هزینه میانگین تولید انرژی این منبع ۰/۰۹۷۷ دلار به ازای هر کیلووات ساعت خواهد بود. انرژی وارد شده به منبع ذخیره باتری ۵۷۷ و انرژی خارج شده از این منبع ۴۴۶ کیلووات ساعت در سال بوده است. افت توان ۱۱۱ کیلووات ساعت در سال و کل انرژی گذرا از باتری‌ها ۴۹۹ کیلووات ساعت در سال ثبت شد. همچنین استقلال منبع ذخیره انرژی باتری در تأمین تقاضای برق

باد منطقه به مدل افزوده شد. مدل گام‌های یک‌ساعته میزان انرژی منابع تجدیدپذیر را محاسبه کرده و برای انواع سامانه‌های انرژی کوچک، به ویژه سامانه‌هایی که دارای منابع انرژی تجدیدپذیر متناوب‌اند تحلیل مقیاس را انجام داده است. شکل (۴ ب) نشان می‌دهد مصرف بیشینه در محدوده ۲ کیلووات ساعت و در ساعات ۱۸ تا ۲۰ قرار دارد. با توجه به جدول (۱) و نبود تجهیزات سرمایشی و گرمایشی، الگوی مصرف برق کلبه سبز در تمام طول سال و فصل‌ها تقریباً برابر است.

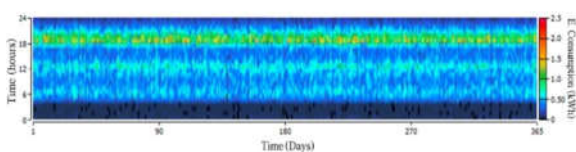
جدول (۲): ترکیب‌های بهینه سامانه تبدیل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی

سخت (L)	تولید تجدیدپذیر (%)	هزینه اولیه (\$)	هزینه برق (COE-\$)	باتری (100Ah)	TG2500 (kW)	بادی (1500)	خورشیدی (kW)	ژنر
۴۰۷	۲۳/۸	۱۲۲۲	۰/۳۷۹	۲	۰/۸۹۰	۰	۰/۳۶۸	۱
۲۵۳	۵۴	۱۸۸۸	۰/۳۸۱	۲	۰/۸۹۰	۱	۰/۲۰۵	۲
۳۵۹	۲۹/۹	۱۵۷۹	۰/۴۰۲	۳	۰/۸۹۰	۱	۰	۳
۵۸۵	۰	۶۹۵/۶	۰/۴۰۷	۴	۰/۸۹۰	۰	۰	۴
۰	۱۰۰	۳۳۷۸	۰/۴۴۶	۴	۰	۲	۰/۳۹۶	۵
۰	۱۰۰	۳۸۰۰	۰/۵۱۰	۵	۰	۳	۰	۶
۰	۱۰۰	۴۱۳۰	۰/۵۴۷	۱۱	۰	۰	۱/۴۲	۷
۱۰۸۰	۰	۲۸۵/۴۶	۰/۶۳۶	۰	۰/۸۹۰	۰	۰	۸
۱۰۸۰	۰	۲۸۹/۸۳	۰/۶۳۷	۰	۰/۸۹۰	۰	۰/۰۰۶۵۱	۹
۱۰۱۱	۰	۱۲۷۸	۰/۷۲۱	۰	۰/۸۹۰	۱	۰	۱۰
۱۰۱۷	۰	۱۳۲۵	۰/۷۱۷	۰	۰/۸۹۰	۱	۰/۰۰۳۴۸	۱۱
۰	۱۰۰	۱۴۰۸۳	۱/۸	۰	۰	۱۴	۰/۰۳۹۷	۱۲
۰	۱۰۰	۱۵۰۰۰	۱/۹۱	۰	۰	۱۵	۰	۱۳

اینورتر از مجموع ۷۲۳۹ ساعت کارکرد در سال توانسته است با دریافت ۹۱۷ کیلووات ساعت انرژی ۸۷۱ کیلووات ساعت انرژی در سال خارج کند؛ بنابراین با تبدیل بار AC به DC سامانه ۴۵/۸ کیلووات ساعت، معادل ۵٪ اتلاف انرژی داشته است.



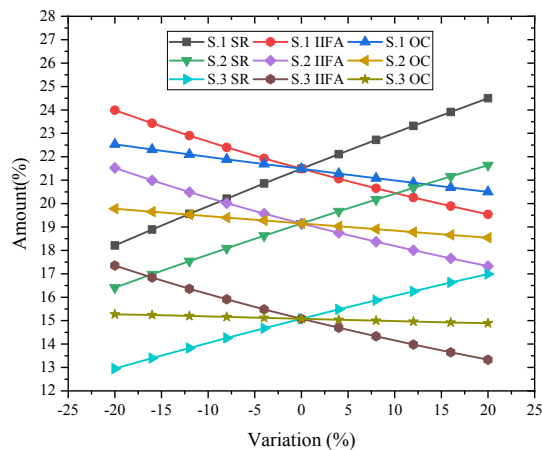
الف. تولید برق سامانه تبدیل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی



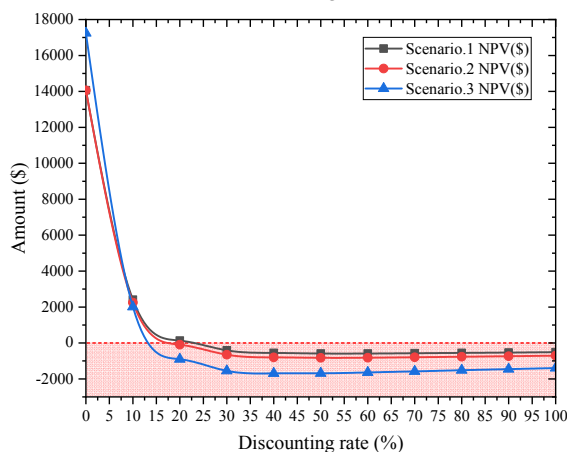
ب. مصرف برق کلبه سبز

شکل (۴): تولید و مصرف برق کلبه سبز طی دوره یک‌ساله

انرژی تجدیدناپذیر با مصرف ۴۰۷ لیتر سوخت بنزین است. در روش دوم با مصرف سوخت ۲۵۳ لیتر میزان نفوذ منابع انرژی تجدیدپذیر (خورشیدی و بادی) ۵۴٪ با هدف «تجدیدپذیر و اقتصادی» است. روش سوم به دنبال تأمین کل انرژی کلبه سبز از طریق منابع انرژی تجدیدپذیر است. بنابراین سوخت‌های فسیلی صفر بوده و از پشتیبان انرژی باتری تقاضای برق کلبه سبز تأمین شده است.



الف. تحلیل حساسیت سه روش

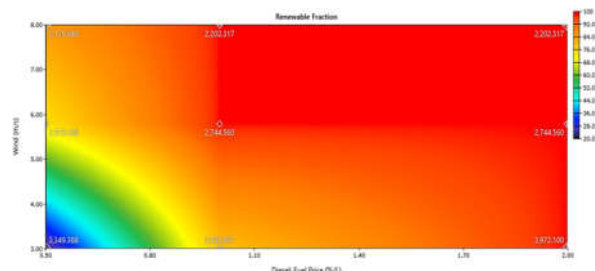


ب. اثر نرخ تنزیل بر روی سه روش

شکل (۷): بررسی متغیرهای مالی سامانه: الف. تحلیل حساسیت سه روش؛ ب. اثر نرخ تنزیل بر روی سه روش

در روش اول، انرژی تولیدی سالانه کلبه سبز معادل kWh/yr ۱۶۹۷ است. همچنین ارزش فعلی خالص برابر ۵۵۳/۶۸ دلار و نرخ بازگشت سرمایه داخلی برابر ۲۱/۴۹٪ است. در پایان برنامه فروش برق به کلبه سبز در سال ۲۰۳۹ در مجموع ۲۷۱۰/۷۹ دلار انرژی فروخته شده است. دوره بازگشت سرمایه در حالت طبیعی ۹/۱۰ سال (سال ۲۰۲۹) و در حالت دینامیک ۱۵/۷۱ سال است. تحلیل حساسیت شکل (۷) نشان داد بیشترین اثر مربوط به درآمد فروش و

کلبه سبز ۷/۰۳ ساعت و هزینه تولید ۰/۱۱۲ دلار به ازای هر کیلووات ساعت گزارش شد. سامانه هوشمند تبدیل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی، بیشترین سهم از تأمین تقاضای توان الکتریکی کلبه سبز را مدیریت می‌کند. شکل (۶) امکان نفوذ انرژی‌های تجدیدپذیر با مؤلفه تصمیم‌گیری پویا و خالص ارزش سرمایه‌گذاری را نشان می‌دهد. با افزایش میانگین سرعت باد و با کاهش قیمت سوخت، خالص ارزش سرمایه‌گذاری کاهش می‌یابد. با خالص ارزش سرمایه‌گذاری ۳۳۴۹/۳ دلار می‌توان سهم نفوذ ۳۸٪ انرژی تجدیدپذیر به نسبت بار را داشت، به طوری که میانگین سرعت باد مطلوب و در محدوده ۵ متر بر ثانیه و قیمت سوخت ۰/۶ دلار، سامانه دارای خالص ارزش فعلی ۲۶۰۰ دلار خواهد بود. همچنین این تحلیل نشان می‌دهد برای کاهش مصرف سوخت بنزین در ژنراتور باید تجهیزات تجدیدپذیر مانند توربین بادی و منبع انرژی خورشیدی افزایش یابد، اما جنبه هزینه‌های سرمایه‌گذاری به نفع نفوذ کمتر انرژی تجدیدپذیر خواهد رفت. در این چالش، مصرف‌کننده و ناظر (محیط‌زیست) باید با توجه به هدف، تصمیم نهایی را اتخاذ کنند.



شکل (۶): نفوذ انرژی‌های تجدیدپذیر با مؤلفه تصمیم‌گیری پویا و خالص ارزش سرمایه‌گذاری

افزایش سرمایه‌گذاری از ۳۳۰۰ دلار به بالا غیرمنطقی بوده و هزینه تولید انرژی را به صورت خطی افزایش می‌دهد با در نظر گرفتن میانگین سرعت باد ۳ متر بر ثانیه و خارج کردن ژنراتور بنزینی از ترکیب، استفاده از ۳ باتری و افزایش ظرفیت زیرسامانه خورشیدی و بادی می‌توان هزینه تولید برق تجدیدپذیر را تا ۰/۴۰۲ دلار به ازای هر کیلووات ساعت کاهش داد.

ارزیابی هزینه-فایده برای سه روش جدول (۲) انجام شده است. سامانه برای دوره ۲۰ سال با فرض نرخ تنزیل ۱۶/۷٪، تعرفه خرید برق تجدیدپذیر ۰/۰۵ دلار، قیمت بنزین ۳۰۰۰۰ ریال (۰/۱۲ دلار) متوسط تورم حامل‌های انرژی ۱۰٪ است. زمان مورد نیاز برای راه‌اندازی پروژه‌ها ۱ ماه و از سال ۲۰۲۰ تا مستهلک در سال ۲۰۴۰ فرض شده است. روش اول به منظور تأمین برق کلبه سبز با هدف «اقتصادی» است. در این روش، میزان نفوذ انرژی تجدیدپذیر ۲۳/۸٪ و

مقیاس کوچک (۴۰۰ وات) بیش از ۴ متر بر ثانیه و در محدوده ۸ متر بر ثانیه ثبت شده است.

۴. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این تحقیق به منظور طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه تبدیل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی جریان مستقیم در زمان واقعی برای نظارت، مدیریت و منابع انرژی موجود با هدف بهینه‌سازی انرژی انجام شده است. الگوریتم کنترل پویا که در سامانه تبدیل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی بارگذاری شده، با موفقیت بهینه‌سازی ورودی و خروجی منابع انرژی تجدیدپذیر را مطابق با اقدامات ذیل انجام داده است:

- حس و اندازه‌گیری ولتاژ و انجام محاسبات ریاضی ولتاژ تنظیم‌شده منابع انرژی تجدیدپذیر خورشیدی و بادی؛
- انجام محاسبات ریاضی برای ارائه وضعیت ولتاژ اندازه‌گیری‌شده سامانه ذخیره انرژی باتری و گزارش آن به درصد بر روی صفحه نمایشگر؛
- نظارت، هماهنگی، مدیریت و کنترل واحدهای کلیدزنی رله برای منابع انرژی تجدیدپذیر خورشیدی و بادی و مدارهای کلیدزنی شارژ/ تخلیه برای سامانه ذخیره انرژی باتری بر اساس وضعیت شارژ.

نتایج ارزیابی هزینه-فایده اجرای روش‌های تأمین برق کلبه سبز بیشترین اتلاف توان را مربوط به اثر دما با ۱۵/۸٪ و کمترین را مربوط به سیم‌کشی زیرسامانه‌ها گزارش می‌کند. بیشترین مصرف برق کلبه سبز ۲/۰۹ کیلووات ساعت و کمینه آن ۰/۰۱ کیلووات ساعت ثبت شد. در زمان طلوع خورشید، مصرف برق کلبه آغاز و به ۰/۳۳ کیلووات ساعت رسیده است. به صورت میانگین ضریب بار کلبه سبز ۲۲٪ محاسبه شد.

با تغییر تعرفه فروش تجدیدپذیر از مبلغ پایه ۰/۰۵ دلار به ۰/۰۶ دلار مطابق با تحلیل حساسیت شکل (۷)، شرایط هزینه-فایده طرح سامانه تبدیل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی تغییر خواهد کرد. در این حالت، در نرخ تنزیل ۱۶/۷٪، NPV در حالت بحرانی برابر ۷۰/۹۳ دلار و IRR معادل ۱۶/۹۹ خواهد بود. همچنین دوره بازگشت سرمایه در حالت طبیعی، ۱۰/۶۸ سال و با احتساب نرخ تنزیل (دینامیک) ۲۰/۵۲ سال خواهد بود. در این حالت، نسبت هزینه-فایده معادل ۱/۰۳ محاسبه شد. بنابراین روش اول با نفوذ انرژی تجدیدپذیر ۲۳/۸٪ اقتصادی‌ترین، روش دوم دارای توجیه اقتصادی با ضریب نفوذ انرژی تجدیدپذیر ۵۴٪ و اجرای روش سوم با نفوذ انرژی تجدیدپذیر ۱۰٪ در ایران اقتصادی نیست، اما با رعایت اثرات اجتماعی و زیست‌محیطی، اجرای این روش به دلیل

پس از آن مربوط به هزینه‌های عملیاتی است و نسبت هزینه-فایده معادل ۱/۳۸ است. از لحاظ زیست‌محیطی، روش ۱ سالانه ۴۰۷ لیتر بنزین معادل ۱۰۶۵ کیلوگرم در سال دی‌اکسید کربن برای تأمین برق از طریق ژنراتور بنزینی به کار گرفته است.

در روش دوم، انرژی تولیدی سالانه سامانه تبدیل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی معادل ۱۶۵۲ kWh/yr است. همچنین ارزش فعلی خالص برابر ۳۴۱/۴۷ دلار و نرخ بازگشت سرمایه داخلی برابر ۱۹/۵٪ خواهد بود. در پایان برنامه فروش برق کلبه سبز در سال ۲۰۳۹ در مجموع ۲۶۳۸/۹۰ دلار انرژی فروخته شده است. دوره بازگشت سرمایه در حالت طبیعی ۹/۸ سال و در حالت دینامیک ۱۷/۶۱ سال است. نسبت هزینه-فایده معادل ۱/۲۱ است و بیشترین اثر مربوط به درآمد فروش و پس از آن مربوط به افزایش دارایی‌های ثابت است. از لحاظ زیست‌محیطی، روش دوم سالانه ۲۵۳/۴۴ لیتر بنزین معادل ۶۳۳ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در سال برای تأمین برق به کار گرفته است. در روش سوم انرژی تولیدی معادل ۱۹۳۳ kWh/yr است. NPV برابر ۳۷۹/۰۹ - دلار و IRR برابر ۱۵/۰۸٪ است. در پایان برنامه فروش برق کلبه سبز در سال ۲۰۳۹ در مجموع ۳۰۸۷/۷۷ دلار انرژی فروخته شده است. چنان‌که از منفی بودن NPV مشخص است، اجرای پروژه توجیه اقتصادی ندارد و دوره استهلاک و بازگشت سرمایه خارج از طول عمر پروژه است. بیشترین اثر مربوط به درآمد فروش و پس از آن مربوط به افزایش دارایی‌های ثابت بوده و اجرای این روش انتشار گازهای گلخانه‌ای ندارد.

تحلیل آماری متغیرهای اثرگذار بر توان و عملکرد سامانه نشان داد تابش خورشیدی در محدوده ۰ تا ۱۲۰۰ وات بر مترمربع، همواره اثر مثبت بر روی توان سامانه خواهد داشت. با طلوع خورشید و افزایش شدت تابش تا 900 W.m^{-2} اثر زیاد و از سطح 900 W.m^{-2} تا 1200 W.m^{-2} اثر با شیب کمتر اما مثبت بر توان سامانه خواهد بود. اثر دما بر عملکرد سامانه‌های خورشیدی فتوولتائیک منفی بوده و با افزایش مقاومت داخلی و خارجی، کاهش توان سامانه را موجب می‌شود. این فاکتور تأثیر محدودتر بر توان سامانه دارد. اما افزایش دمای سطح سلول‌های خورشیدی بیش از ۸۰ درجه سلسیوس، اثر بیشتری بر کاهش توان سامانه خواهد داشت. فاکتور سرعت باد اثر مستقیم و مثبت بر عملکرد سامانه تبدیل انرژی تجدیدپذیر ترکیبی دارد. زیرسامانه بادی به وسیله توربین بادی در محدوده ۴ تا ۸ متر بر ثانیه به حد مطلوب تولید توان خواهد رسید. سرعت باد مطلوب برای استفاده از توربین‌های بادی

اقتصادی بودن طرح‌ها و پس از آن کاهش هزینه‌های عملیاتی است. کمترین اثر مربوط به عامل افزایش دارایی‌های ثابت است. آلاینده‌های زیست‌محیطی اجرای روش اول معادل ۱۰۶۵ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در سال و اجرای روش دوم تولید سالانه ۶۳۳ کیلوگرم دی‌اکسید کربن است.

فهرست علائم

مشخصه	علامت / نشانه	واحد
دما	T	$^{\circ}\text{C}$
زاویه آزیموت	γ	درجه
انرژی تابشی خورشید	Q	W.m^2
سرعت بادی	V	m.s^{-1}
توان الکتریکی	P	W
ارزش خالص فعلی	NPV	\$
بازگشت سرمایه داخلی	IRR	%

عدم استفاده از ژنراتور بنزینی و مصرف سوخت‌های فسیلی، آلاینده زیست‌محیطی ندارد.

پیشنهاد‌های ذیل برای نزدیک شدن به الگوی توسعه پایدار مدیریت مصرف انرژی پیشنهاد می‌گردد:

۱. استفاده از توربین‌های بادی مقیاس کوچک (کمتر از ۴۰۰ وات) در سرعت باد بیش از ۴ متر بر ثانیه مناسب است.
۲. بر اساس الگوی بهینه دریافت انرژی تجدیدپذیر محیطی، بهترین زاویه شیب بام کلبه سبز در عرض جغرافیایی ۳۴ درجه، معادل ۳۰/۲ درجه و بهترین جهت‌گیری شهرهای متناسب با این الگو در نیمکره شمالی، کاملاً به سمت جنوب تا ۱۵ درجه انحراف انتخاب شود.
۳. اثرات مخرب زیست‌محیطی حذف یا کمینه شود.
۴. تعرفه خرید تضمینی برق از تجدیدپذیرها (در بخش خانگی) افزایش یابد. حد بحرانی این تعرفه ۰/۰۶ دلار محاسبه شده است.

در بُعد سیاست‌گذاری مطابق با تحلیل حساسیت روش‌ها، افزایش قیمت فروش انرژی از منابع تجدیدپذیر مهم‌ترین عامل در

مراجع

- [1] Green, M.A., Hishikawa, Y., Dunlop, E.D., Levi, D.H., Hohl-Ebinger, J. and Ho-Baillie, A.W.Y. Solar cell efficiency tables (version 51). Prog Photovoltaics Res Appl, Vol. 26, pp. 3–12, 2003.
- [2] Cai, W., Li, X., Maleki, A., Pourfayaz, F., Rosen, M.A., Alhuyi Nazari, M., et al. "Optimal sizing and location based on economic parameters for an off-grid application of a hybrid system with photovoltaic, battery and diesel technology". Energy, Vol. 201, pp. 117480, 2020.
- [3] Awad, OI., Ali, OM., Mamat, R., Abdullah, AA., Najafi, G., Kamarulzaman, MK., et al. "Using fusel oil as a blend in gasoline to improve SI engine efficiencies: A comprehensive review". Renew Sustain Energy Rev, Vol. 69, pp. 32–42, 2017.
- [4] Esmaili shayan, M., Najafi, G., Gorjian, S. Design Principles and Applications of Solar Power Systems (In Persian). First Edit. Tehran: ACECR Publication- Amirkabir University of Technology Branch; 2020.
- [5] Zhong, RZ., Cheng, L., Wang, YQ., Sun, XZ., Luo, DW., Fang, Y., et al. "Effects of anthelmintic treatment on ewe feed intake, digestion, milk production and lamb growth", SPRINGER Verlag, SINGAPOR, Vol. 155, 2017.
- [6] Esmaili shayan, M., Najafi, G., Banakar, A. "Power quality in flexible photovoltaic system on curved surfaces". J Energy Plan Policy Res, Vol. 3, pp. 36–105, 2017.
- [7] Jouda, A., Elyes, F., Rabhi, A., Abdelkader, M. "Optimization of scaling factors of fuzzy-mppt controller for stand-alone photovoltaic system by particle swarm optimization". Energy Procedia, a Vol. 111, pp. 63–95, 2017.
- [8] Girija, S., Joshi, A. "Fast hybrid PSO-APF algorithm for path planning in obstacle rich environment". Elsevier B.V, IFAC-PapersOnLine, Vol. 52, pp. 25–30, 2019.
- [9] Sorensen, B. Solar energy storage. Academic Press; 2015.
- [10] Salmani1, A., Sadeghzadeh, S., Naseh, MR. "Optimization and sensitivity analysis of a hybrid system in KISH_IRAN". Int J Emerg Technol Adv

- Eng, Vol. 4, pp. 49–55, 2014.
- [11] Alabdul Salam, M., Aziz, A., Alwaeli, AHA., Kazem, HA. "Optimal sizing of photovoltaic systems using HOMER for Sohar, Oman". Int J Renew ENERGY Res 2013.
- [12] Aghaei, J., Karami, M., Muttaqi, KM., Shayanfar, HA., Ahmadi, A. "MIP-based stochastic security-constrained daily hydrothermal generation scheduling". IEEE Syst J, Vol. 9, pp. 28–61, 2015.
- [13] Sinha, S., Chandel, SS. "Review of software tools for hybrid renewable energy systems". Renew Sustain Energy Rev, Vol. 32, pp. 192–205, 2014.
- [14] Esmaeili Shayan, M., Esmaeili Shayan, S., Nazari, A. "Possibility of supplying energy to border villages by solar energy sources". Energy Equip Syst, Vol. 9, pp. 279–289, 2021.
- [15] Yang, B., Wang, J., Zhang, X., Yu, L., Shu, H., Yu, T., et al. "Control of SMES systems in distribution networks with renewable energy integration: A perturbation estimation approach". Energy, Vol. 202, pp. 3–12, 2020.
- [16] Sulaeman, S., Brown, E., Quispe-Abad, R., Müller, N. "Floating PV system as an alternative pathway to the amazon dam underproduction". Renew Sustain Energy Rev 2021; 135: 110082.
- [17] Li, Y., Gao, W., Ruan, Y. "Performance investigation of grid-connected residential PV-battery system focusing on enhancing self-consumption and peak shaving in Kyushu, Japan". Renew Energy, Vol. 127, pp. 514–523, 2018.
- [18] Petrollese, M., Cau, G., Cocco, D. "Use of weather forecast for increasing the self-consumption rate of home solar systems: An Italian case study". Appl Energy, Vol. 2012, pp. 746–758, 2018.
- [19] Alarifí, A., Ali, AlZubi, A., Alfarraj, O., Alwadain, A. "Automated control scheduling to improve the operative performance of smart renewable energy systems". Sustain Energy Technol Assessments, Vol. 45, pp. 3–12, 2021.
- [20] Pravin, PS., Misra, S., Bhartiya, S., Gudi, RD. "A reactive scheduling and control framework for integration of renewable energy sources with a reformer-based fuel cell system and an energy storage device". J Process Control, Vol. 87, pp. 147–165, 2020.
- [21] Dong, X., Lu, J., Sun, B. "Min-max operation optimization of renewable energy combined cooling, heating, and power systems based on model predictive control". IFAC-PapersOnLine, Vol. 53, pp. 12809–14, 2020.
- [22] Noghreian, E., Koofgar, HR. "Power control of hybrid energy systems with renewable sources (wind-photovoltaic) using switched systems strategy". Sustain Energy, Grids Networks, Vol. 21, pp. 3–12, 2020.
- [23] Lalouni, S., Rekioua, D., Rekioua, T., Matagne, E. "Fuzzy logic control of stand-alone photovoltaic system with battery storage". J Power Sources, Vol. 193, pp. 899–907, 2009.
- [24] Maeda, T., Ito, H., Hasegawa, Y., Zhou, Z., Ishida, M. "Study on control method of the stand-alone direct-coupling photovoltaic - Water electrolyzer". Int J Hydrogen Energy, Vol. 37, pp. 4819–28, 2012.
- [25] Sridhar, H., Meera, KS. "Study of grid connected solar photovoltaic system using real time digital simulator". 2014 Int. Conf. Adv. Electron. Comput. Commun. ICAECC 2014, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2015.
- [26] Yang, H., Zhou, W., Lu, L., Fang, Z. "Optimal sizing method for stand-alone hybrid solar-wind system with LPSP technology by using genetic algorithm". Sol Energy, Vol. 82, pp. 354–67, 2008. .
- [27] Azadbakht, M., Esmaeili Shayan, M. Jafari, H. "Investigation of Long Shaft Failure in John Deere 955 Grain Combine Harvester under Static Load". Univers J Agric Res, , Vol. 1, pp. 70–73, 2013.
- [28] Esameili Shayan, M., Najafi, G., Esameili shayan, S. "Design of an Integrated Photovoltaic Site: Case of Isfahan's Jarghouyeh photovoltaic plant". J Energy Plan Policy Res, , Vol. 6, pp. 229–250, 2021.
- [29] Esmaeili Shayan, M., Najafi, G., Lorenzini, G. "Phase change material mixed with chloride salt graphite foam infiltration for latent heat storage applications at higher temperatures and pressures". Int J Energy Environ Eng, Vol. 13, pp. 739–749, 2022.

- [30] Esmaeili Shayan, M., Najafi, G., Ghobadian, B., Gorjian, S., Mazlan, M. "*Sustainable design of a Near-Zero-Emissions building assisted by a smart hybrid renewable microgrid*". Int J Renew Energy Dev, Vol. 11, pp. 741–780, 2022.
- [31] Ghasemzadeh, F., Esmaeili Shayan, M. Nanotechnology in the Service of Solar Energy Systems. Nanotechnol. Environ., London: IntechOpen; 2020.