استراتژی کنترلی نوین در سیستم‌های انرژی ترکیبی بادی– خورشیدی برمبنای تعیین محدوده‌های بهینه شارژ و دشارژ باتری‌ها در بازه‌های زمانی مختلف

علی‌رضا ابراهیمی[۱]، عباس دیدبان[۲،*] و رضا کی‌پور[۳]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۳/۲۰
پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۲۶

واژگان کلیدی:
سیستم‌های انرژی ترکیبی،
منابع تجدیدپذیر،
هزینه سالیانه سیستم،
الگوریتم ازدحام ذرّات.

چکیده

بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های انرژی ترکیبی با در نظر گرفتن اهداف مختلفی نظیر هزینهٔ بهره‌برداری، میزان آلودگی و استفاده گسترده از منابع تجدیدپذیر در این حوزه، موردتوجه بسیاری از جوامع پیشرفته قرار گرفته است. در این مقاله، سعی شده با ارائه یک ایده مدیریت توان به‌منظور بهره‌برداری مناسب از باتری و دیزل ژنراتور، اهداف اقتصادی، آلودگی و افزایش قابلیت اطمینان به‌طور هم‌زمان بهبود یابند. ابتدا ظرفیت اجزای سیستم در نرم‌افزار HOMER بهینه‌سازی می‌شود. سپس با در نظر گرفتن هزینه‌های سیستم و هزینه ناشی از جریمه خاموشی، ظرفیت دیزل ژنراتور با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرّات بهینه‌سازی شده است. در استراتژی کنترلی ارائه‌شده، با توجه به تولید و مصرف متغیر و نامتناسب در سیستم‌های هایبریدی، به‌جای استفاده از حد پایین و بالای ثابت میزان شارژ در طول شبانه‌روز، از حدود متغیر برای ساعت مختلف شبانه روز استفاده شده است. نتایج، حاکی از مؤثر بودن ایده مدیریت توان در کاهش هزینه تولید برق، قابلیت اطمینان و مسائل زیست‌محیطی است.

۱- مقدّمه

نگرانی‌های زیست‌محیطی جهانی و افزایش نیاز به استفاده از انرژی، همراه با پیشرفت پایدار در زمینه فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر، باعث ایجاد قالب‌های جدید برای استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر شده است. به‌ویژه پیشرفت در زمینهٔ فناوری بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌کارگیری این منابع انرژی را برای تولید برق به‌صورت جدا از شبکه و متصل به آن، افزایش داده است. سهم منابع انرژی فسیلی در بین سایر منابع انرژی برای تولید برق در سیستم‌های متمرکز، بسیار قابل‌توجه است، بزرگ بودن واحدهای تولیدی، دور بودن مراکز تولید از مصرف و نیز آلایندگی زیاد محیط‌زیست، از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم‌های مرسوم تولید برق است. بحران انرژی در سال ۱۹۷۳ بشر را بیش از پیش به اهمیت و سودمندی به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر به‌منظور تولید برق، سوق داد. فناوری‌های استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، هر روز رشد و تکامل می‌یابند و در اغلب موارد، ترکیبی از این منابع در کاربردهای جدا از شبکه و مناطق دورافتاده استفاده می‌شود.

گروهی از سیستم‌های تولید برق که از منابع مختلف انرژی

*پست الکترونیک نویسندهٔ مسئول: adideban@semnan.ac.ir
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد کنترل، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان
۲. دانشیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان
۳. استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان

تغذیه می‌شوند و به‌صورت ترکیبی و مکمل یکدیگر کار می‌کنند، به‌عنوان سیستم‌های ترکیبی شناخته می‌شوند. از آنجا که این سیستم‌ها از دو یا چند منبع مختلف انرژی تغذیه می‌شوند، در مقایسه با سیستم‌هایی که یک منبع برای تولید برق دارند، از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردار هستند [۱]. مهم‌ترین مشکلات منابع انرژی نو، هزینهٔ بسیار بالای تولید انرژی و عدم‌قطعیت (قابلیت اطمینان پایین) در این‌گونه منابع است. امروزه با استفاده از فنّاوری جدید می‌توان هزینهٔ تولید برق را بسیار کاهش داد و با ترکیب چند منبع انرژی و ایجاد سبد تولید انرژی (ترکیب منابع تجدیدپذیر)، قابلیت اطمینان آن را بهبود بخشید. با توجه به وابستگی شدید توان خروجی صفحه خورشیدی و توربین بادی به شرایط جوی و تصادفی بودن سرعت باد، معمولاً در این سیستم‌ها از ذخیره‌کننده‌های انرژی، چون باتری و همچنین از دیزل ژنراتور استفاده می‌شود. در ساعاتی از روز که توربین بادی و صفحه‌های خورشیدی به‌تنهایی قادر به تأمین بار نیستند، باتری‌ها با تولید برق در تأمین بار مصرفی، سهیم‌اند. همچنین بسیاری از سیستم‌های ترکیبی برای پاسخگویی به پیک بار در زمان کوتاهی که انرژی تولیدشده از منابع انرژی موجود، قادر به تأمین تقاضا نیستند به دیزل ژنراتور مجهز شده‌اند. اما همچنان سیستم‌های ترکیبی انرژی نو بهترین گزینه برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی هستند. این سیستم‌ها سبب کاهش آلودگی و افزایش قابلیت اطمینان برای تغذیهٔ سیستم قدرت خواهند شد.

هزینه‌های سیستم، قابلیت اطمینان سیستم و مسائل محیط‌زیست مهم‌ترین پارامترها در طراحی و ارزیابی سیستم‌های انرژی ترکیبی هستند. از جمله موضوعات حائز اهمیت در سیستم‌های تولید پراکنده، مدیریت توان انرژی است، به قسمی که با انتخاب سهم مناسب اجزای این ساختار در تأمین توان موردنیاز شبکه، تابع هدف مسئله بهینه‌سازی مدیریت انرژی، ماکزیمم شده، عملاً سبب گردیده زیرساختارهای این سیستم در ناحیه ماکزیمم بازده خود مورد بهره‌برداری قرار گیرند. با توجه به اهمیت موضوع بازده، مسئله یادشده یکی از موضوعات موردعلاقه محققان است و تاکنون تلاش شده استراتژی‌های کنترلی متعددی در این خصوص معرفی شده، موردارزیابی قرار گیرند. در این مقاله ضمن مرور و تحلیل روش‌های مدیریت انرژی در ساختارهای هایبرید، به دسته‌بندی استراتژی مدیریت انرژی معرفی‌شده در ۴ گروه استراتژی‌های تجربی، استاتیکی، هوشمند و دینامیکی پرداخته شده است [۲]. در مطالعه انجام‌شده در این مقاله، توضیحاتی در زمینه استراتژی مدیریت توان استاتیکی ارائه شده است. در ادامه، به توضیح بیشتر مدیریت توان استاتیکی پرداخته می‌شود.

بسیاری از تحقیقات در شاخه مدیریت انرژی، بر اساس مدل‌سازی استاتیکی سیستم‌های هایبرید صورت گرفته است و مبتنی بر توابع هدف و جداول عددی یک یا چند بُعدی است که استراتژی‌های کنترلی پیشنهادی بر مبنای کمینه یا بیشینه کردن آن‌ها طراحی شده‌اند. بر این اساس، در استراتژی‌های کنترلی بسط‌یافته‌تر نسبت به استراتژی-های تجربی، تعیین نقاط کار زیرسیستم توسط روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر مدل استاتیکی این زیرسیستم‌ها صورت می‌پذیرد که اطلاعات آن‌ها بر مبنای نتایج آزمایش‌هایی دقیق است که در قالب جداول عددی ارائه شده است. در ادامه، ۳ استراتژی استاتیکی بیان می‌شود:

۱. استراتژی بدون شارژ: در این استراتژی، منابع ذخیره‌کننده توان، توسط منبع پشتیان سیستم شارژ نمی‌شوند. بنابراین، نقطه تنظیم سطح شارژ باتری صفر درصد در نظر گرفته شده است.

۲. استراتژی سیکل شارژ کامل: در این استراتژی، منابع ذخیره‌کننده توان، هر زمان که منبع پشتیان سیستم روشن باشد، تا ۱۰۰ درصد ظرفیتشان شارژ می‌شوند.

۳. استراتژی سیکل کنترلی پیش‌گویانه: در این استراتژی، شارژ منابع ذخیره‌کننده توان وابسته به پیش‌بینی بار و سهم انرژی تأمین‌شده توسط منابع تجدیدپذیر است. با این استراتژی، تلفات انرژی منابع تجدیدپذیر کاهش می‌یابد.

در ادامه، به بررسی مطالعات صورت‌گرفته در زمینه استراتژی مدیریت توان استاتیکی پرداخته شده است.

در مرجع [۳] به کمک الگوریتم چندهدفه ژنتیک به بهینه‌سازی سیستم انرژی تجدیدپذیر ترکیبی پرداخته شده است. مقاله ذکرشده به بررسی ساختارهای مختلف سیستم‌های انرژی ترکیبی تجدیدپذیر پرداخته است. ترکیب ساختارهای متشکل سلول خورشیدی، توربین بادی، باتری و دیزل ژنراتور در نظر گرفته است. هدف این مقاله، بهینه‌سازی هم‌زمان هزینه، قابلیت اطمینان سیستم و کاهش کمبود انرژی تجدیدپذیر است. در مرجع [۴] انواع

مختلف الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرّات (PSO[1]) برای بهینه‌سازی سیستم انرژی ترکیبی با هدف کاهش LCC[2] انجام و قابلیت اطمینان سیستم به‌عنوان یک قید در مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است. در مرجع [۵] بیان شده که دو مفهوم عدم‌قطعیت (قابلیت اطمینان) و هزینه در منابع تجدیدپذیر بسیار مهم هستند. این مقاله روش الگوریتم ژنتیک را برای یافتن شکل بهینه قابلیت اطمینان و هزینه سیستم ترکیبی ارائه کرده است. در مرجع [۶] با بیان دو مشکل اساسی تأمین برق از منابع تجدیدپذیر مستقل (قابلیت اطمینان و هزینه)، به حل این دو مشکل با استفاده از ترکیب منابع تجدیدپذیر پرداخته است. روشی که در این مقاله قیود محدود ($\varepsilon-$ constraint) است، برای کمینه کردن همزمان هزینه سیستم، بار تأمین‌نشده و آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی است. این بهینه‌سازی همان روش ساده‌شده اجتماع ذرّات چندهدفه است. در مرجع [۷] یک روش برای تعیین ظرفیت و مدیریت انرژی سیستم انرژی ترکیبی ارائه شده است. سیستم موردنظر متشکل از سلول خورشیدی و توربین بادی برای تأمین بخش اصلی انرژی است. علاوه براین، باتری و دیزل ژنراتور برای تأمین بارهای اضطراری استفاده شده است. این مقاله به بحث درمورد استراتژی مدیریت توان و بهینه‌سازی هزینه سیستم انرژی ترکیبی پرداخته شده است. مرجع [۸] به ارائه و مطالعه یک سیستم انرژی ترکیبی می‌پردازد. هدف از این مقاله، بهینه‌سازی انرژی تولیدشده توسط دیزل ژنراتور و تأمین ۱۰۰٪ بار مصرفی است. هدف دیگر بهینه‌سازی، کاهش تعداد دفعات روشن و خاموش شدن دیزل ژنراتور با توجه به سطح شارژ باتری (SOC[3]) است. بدیهی است با بهینه‌سازی انرژی تولیدشده توسط دیزل ژنراتور، تعداد دفعات راه‌اندازی دیزل ژنراتور و انرژی مازاد سیستم کاهش پیدا می‌کند.

مطالعات انجام‌شده در زمینه سیستم‌های انرژی ترکیبی، سعی در بهینه‌سازی ظرفیت سیستم به‌منظور کاهش هزینه‌های سیستم و افزایش قابلیت اطمینان سیستم دارند. در مطالعات، استراتژی مدیریت توان برای تأمین توان ثابت است و از استراتژی مدیریت توان شارژ کامل یا شارژ صفر استفاده می‌شود.

بیشتر مطالعات انجام‌گرفته در زمینه سیستم‌های انرژی ترکیبی، از مدیریت توان ثابت که ذکر شد، بهره می‌برند؛ یعنی از مدیریت توان شارژ صفر یا مدیریت توان شارژ صفر استفاده می‌کنند. هدف اصلی این پژوهش، به‌کارگیری مدیریت توان جدید به‌منظور استفاده بهینه از باتری و دیزل‌ژنراتور با هدف کاهش هزینه‌های سیستم است. در این استراتژی، حد شارژ کمینه و بیشینه باتری به‌ترتیب برابر حد شارژ کمینه و بیشینه مجاز قرار نمی‌گیرد. حد شارژ کمینه و بیشینه باتری به‌ترتیب می‌توانند مقادیری بیشتر از حد شارژ کمینه مجاز و کمتر از حد شارژ بیشینه مجاز اختیار کنند. همچنین مقادیر سطح شارژ کمینه و بیشینه در طول روز نیز متغیر است. به‌کارگیری این استراتژی برای کاهش هزینه‌های تولید برق است. هدف اصلی از ایده مدیریت توان، در ادامه توضیح داده شده است.

انرژی مصرفی موردنظر مربوط به منطقه‌ای دور از شبکه سراسری برق است. در این مناطق هزینه انرژی، مهم‌ترین چالش تولید انرژی است. اگر بتوان هزینه‌های سیستم را با در نظر گرفتن قید قابلیت اطمینان سیستم، کاهش داد، سیستم تولید پراکنده برای منطقه موردنظر مقرون‌به‌صرفه خواهد بود. استفاده از دیزل ژنراتور با ظرفیت برابر ماکزیمم پیک‌بار، موجب افزایش هزینه‌های اولیه و بهره‌برداری از سیستم می‌شود. برای مناطق دورافتاده، هزینه‌های انتقال سوخت، تجهیزات و متخصص به‌منظور تعمیر و نگهداری، به هزینه‌های سیستم اضافه می‌شود. در سیستم انرژی ترکیبی مفروض، دیزل ژنراتور باید قادر باشد تمام توان موردنیاز شبکه را تأمین کند [۹] (به‌دلیل ماهیت تصادفی تولید انرژی منابع تجدیدپذیر) و کاهش ظرفیت واحد پشتیبان، منجر به افزایش خاموشی را می‌شود، اما می‌توان با اعمال محدودیت در دشارژ باتری احتمال خاموشی را کاهش داد.

در کنار کاهش ظرفیت دیزل‌ژنراتور، مدیریت توان جدید به‌منظور استفاده بهینه از باتری و دیزل‌ژنراتور ارائه می‌شود. در این استراتژی، حد شارژ کمینه و بیشینه باتری به‌ترتیب برابر حد شارژ کمینه و بیشینه مجاز قرار نمی‌گیرد. حد شارژ کمینه و بیشینه باتری به‌ترتیب می‌توانند مقادیری بیشتر از حد شارژ کمینه مجاز و کمتر از حد شارژ بیشینه مجاز اختیار کنند. همچنین مقادیر سطح شارژ کمینه و بیشینه در طول روز نیز متغیر است. استفاده از استراتژی

[1].Particle Swarm Optimization
[2].Life Cycle Cost
[3].State Of Charge

مدیریت توان ثابت (استراتژی کنترلی شارژ کامل یا استراتژی شارژ صفر) برای سیستم انرژی ترکیبی با توجه به اینکه تولید و مصرف در شبانه‌روز متغیر است، ممکن است موجب افزایش هزینه‌های سیستم شود. در این پژوهش، با توجه به شرایط تولید و مصرف در ساعات مختلف شبانه‌روز، یک شبانه‌روز به ۵ بازه زمانی تقسیم‌بندی می‌شود. در این ۵ بازه، سطوح شارژ کمینه و بیشینه به‌منظور روشن و خاموش شدن دیزل ژنراتور در نظرگرفته می‌شود.

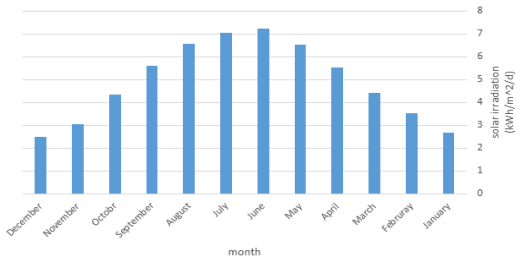
به‌طور خلاصه، دو هدف در تحقیق دنبال می‌شود؛ ابتدا برای کاهش هزینه‌های سیستم، ظرفیت دیزل ژنراتور کمتر از ظرفیت مجاز آن در نظر گرفته می‌شود. کاهش ظرفیت دیزل ژنراتور، موجب افزایش احتمال خاموشی سیستم می‌شود. برای کاهش خاموشی احتمالی ناشی از کاهش ظرفیت دیزل ژنراتور، مدیریت توان جدید به‌منظور استفاده بهینه از باتری و دیزل ژنراتور برای کاهش خاموشی احتمالی سیستم و کاهش هزینه‌های سیستم، ارائه می‌گردد.

در ادامه، ابتدا ظرفیت اجزای سیستم با استفاده از نرم‌افزار هومر محاسبه شده، سپس در قسمت بعد با ارائه مدل رفتاری اجزای سیستم، با بیان استراتژی کنترلی، نقش هریک در هزینه تولید انرژی مشخص می‌شود. در انتها نیز پس از بررسی نتایج اعمال استراتژی مدیریت توان ارائه‌شده، به جمع‌بندی مطالب پرداخته خواهد شد.

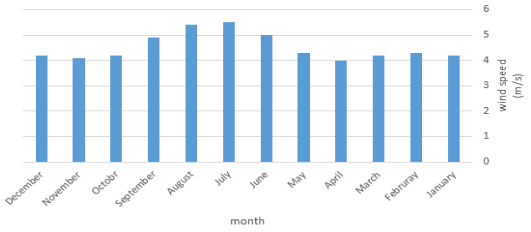
۲- ارزیابی اقتصادی سیستم با نرم‌افزار هومر

از نرم‌افزار هومر به‌منظور شبیه‌سازی و ارزیابی فنی و اقتصادی سیستم‌های ترکیبی استفاده می‌شود. این نرم‌افزار توسط آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر ایالت متحده آمریکا ایجاد شده و توسعه یافته است. نرم‌افزار هومر، کاربران را قادر می‌سازد گزینه‌های طراحی متفاوت را بر اساس مبانی فنی و اقتصادی مقایسه کنند. همچنین امکان اعمال تغییرات و عدم قاطعیت‌ها را در ورودی‌ها فراهم می‌کند.

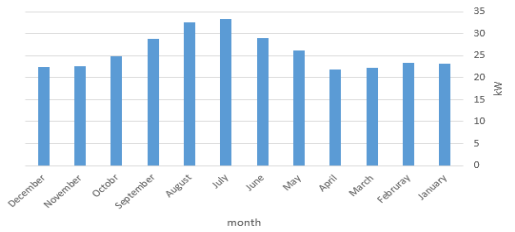
مطالعه انجام‌شده برای شبیه‌سازی سیستم انرژی ترکیبی موردنظر برای منطقه دیزباد نیشابور انجام شده است. این منطقه در موقعیت جغرافیایی 36N و 59E قرار دارد. میانگین ماهیانه تابش خورشید، سرعت باد و بار مصرفی در ادامه نشان داده شده است.(شکل‌های ۱ تا ۳)



شکل ۱- میانگین روزانه تابش خورشید درماه‌های مختلف سال



شکل۲- میانگین ماهیانه سرعت باد



شکل۳- میانگین بار مصرفی ساعتی ماه‌های مختلف سال

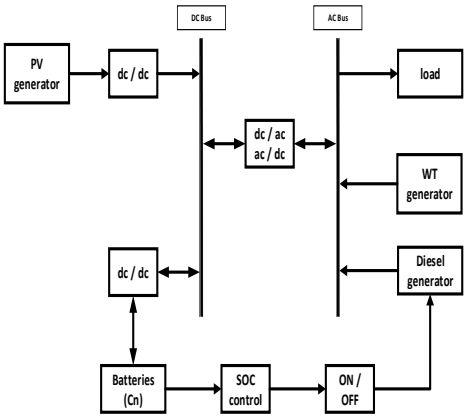
نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار هومر در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول۱- مشخصات سیستم بهینه‌شده توسط نرم‌افزار هومر

اجزای سیستم	ظرفیت (kw)	انرژی تولیدی (kwh/yr)	درصد تولید انرژی
توربین بادی	۵۰	۱۳۸,۷۳۱	۴۶,۱۸
سلول خورشیدی	۴۰	۵۴,۵۰۹	۱۸,۱۴
دیزل ژنراتور	۴۰	۱۰۷,۱۹۵	۳۵,۶۸
باتری	۱۶۰	---	---
مجموع	---	۳۰۰,۳۴۳	۱۰۰

۳- مدل‌سازی واحدهای سیستم انرژی ترکیبی

شکل (۴) ساختار سیستم پیشنهادی را نشان می‌دهد. سیستم مختلط موردمطالعه از ۴ جزء توربین بادی، سلول خورشیدی، باتری و دیزل ژنراتور تشکیل شده است.



شکل۴- شکل سیستم‌های انرژی ترکیبی

۳-۱- مدل‌سازی آرایه خورشیدی

انرژی خورشیدی توسط سلول خورشیدی به انرژی برق تبدیل می‌شود. روابط زیر، توان تولیدی توسط سلول خورشیدی را بیان می‌کند.

$$E_{PV} = E_{rated} \cdot \left(\frac{G}{G_{ref}}\right) . [1 + K_T(T_C - T_{ref})] \quad (۱)$$

$$T_C = T_{amb} + 0.025 * G \quad (۲)$$

E_{PV} و E_{rated} به‌ترتیب، انرژی تولیدی و حداکثر توان تولیدی سلول خورشیدی است. T_C دمای سلول خورشیدی و T_{ref} دمای سلول خورشیدی مبنا، T_{amb} بیان‌کننده دمای محیط، G میزان تابش خورشید روی سطح سلول خورشیدی برحسب $\left(\frac{w}{m^{\wedge}2}\right)$ و K_T ضریب دمایی بازده سلول خورشیدی است.

آرایه‌های خورشیدی معمولاً به سیستم ردیاب نقطه بیشینه توان (MPPT[1]) مجهزند. استفاده از این سیستم، باعث افزایش توان تولیدشده از سلول خورشیدی شده، استفاده از آن در سیستم‌های مختلف، از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است.

۳-۲- مدل‌سازی توربین بادی

توربین بادی وسیله‌ای است که انرژی باد را به انرژی الکتریسیته تبدیل می‌کند. رابطه (۳) بیان می‌کند که در سرعت‌های کمتر از سرعت قطع پایین (V_C) و بیشتر از سرعت قطع بالا (V_F)، توان تولید توربین صفر است. در سرعت‌های بیشتر از V_C و کمتر از سرعت نامی (V_R)، توان تولیدی توربین متغیر بوده، در سرعت‌های بیشتر از V_R و کمتر از V_F توان تأمین برابر حداکثر توان توربین بادی (P_R) است.

$$P_{WG} = \begin{cases} 0 & V < V_C \\ P_R \cdot \left(\frac{V - V_C}{V_R - V_C}\right) & V_C \le V < V_R \\ P_R & V_R \le V < V_F \\ 0 & V_F \le V \end{cases} \quad (۳)$$

۳-۳- دیزل ژنراتور

رابطه (۴) مقدار سوخت مصرفی دیزل ژنراتور ($Fuel_{cons}$) را محاسبه می‌کند. در این رابطه، α_{DG} ضریب منحنی مصرف سوخت است که در مرجع [۶] مقدار آن $۰/۰۸۱۴۵(1/Kwh)$ در نظر گرفته شده است. β_{DG} نیز ضریب منحنی مصرف سوخت است که در این مرجع برابر $۰/۲۴۶۱(1/Kwh)$ در نظر گرفته شده است. در این رابطه P_{n-DG} ظرفیت نامی دیزل ژنراتور و P_{a-DG} توان خروجی دیزل ژنراتور است.

$$Fuel_{cons} = \alpha_{DG} . P_{n-DG} + \beta_{DG} . P_{a-DG} \quad (۴)$$

۳-۴- مدل‌سازی باتری

باتری به‌عنوان سیستم ذخیره‌کننده در سیستم‌های انرژی ترکیبی برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم به کار می‌رود. در ساعاتی از شبانه‌روز که انرژی مازاد داشته باشیم، باتری شارژ خواهد شد و در ساعاتی که با کمبود توان مواجه هستیم، باتری در صورت امکان به تأمین کمبود توان خواهد پرداخت. نکته قابل‌توجه در استفاده از باتری اینکه سطح شارژ باتری (SOC) همواره باید بین سطح شارژ بیشینه (SOC_{max}) و کمینه (SOC_{min}) قرار بگیرد. سطح بیشینه و کمینه باتری با پارامتر عمق تخلیه (DOD)[2] باتری با هم مرتبط هستند.

$$SOC_{min} = (1 - DOD) * SOC_{max} \quad (۵)$$

طول عمر باتری، بستگی به تعداد سیکل شارژ و دشارژ و DOD دارد. به هر میزان DOD بیشتر باشد، عمر باتری کمتر می‌شود.

۴- استراتژی مدیریت توان

هر سیستم تولید انرژی، یک استراتژی برای تأمین توان در نظر می‌گیرد. در سیستم‌های انرژی ترکیبی که دارای منابع مختلفی برای تأمین توان هستند، هرکدام از این منابع با توجه به شرایط سیستم، از منظر تأمین توان موردنیاز سیستم اقدام به تولید توان می‌کنند. سیستم درنظرگرفته‌شده شامل توربین بادی، سلول خورشیدی،

[1].Maximum Power Point Tracking

[2].Depth Of Discharge

دیزل ژنراتور و باتری است. بدیهی است توربین بادی و سلول خورشیدی همواره به تولید توان می‌پردازند. در ادامه، استراتژی کنترلی که در مرجع [۱۰] برای تأمین توان توسط اجزای سیستم انرژی ترکیبی ذکر شده است، می‌آید. اگر انرژی تولیدی (انرژی تولیدی توسط سلول خورشیدی و توربین بادی) و انرژی مصرفی برابر باشد، حالت سیستم تغییر نمی‌کند. اگر انرژی تولیدی بیشتر از انرژی مصرفی باشد، مازاد انرژی صرف شارژ باتری خواهد شد. باتری قادر است تا سطح شارژ بیشینه، شارژ شود. در مواقعی که سطح شارژ باتری برابر با سطح شارژ بیشینه شود، تفاوت انرژی تولیدی و مصرفی بدون استفاده خواهد ماند.

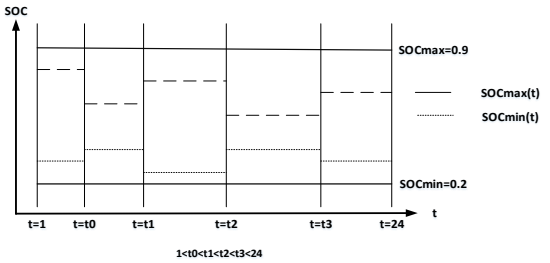
اگر انرژی مصرفی بیشتر از انرژی تولیدی باشد، طبق استراتژی زیر، باتری و/یا دیزل ژنراتور، کمبود توان را تأمین خواهند کرد.

- درصورتی‌که باتری قادر به تأمین کمبود توان سیستم باشد، باتری دشارژ خواهد شد. شایان ذکر است باتری قادر خواهد بود تا سطح شارژ کمینه دشارژ شود.
- اگر باتری قادر به تأمین کمبود توان موردنیاز سیستم نباشد، دیزل ژنراتور روشن خواهد شد. دیزل ژنراتور در زمان روشن بودن، در صورت امکان علاوه بر تأمین کمبود توان، باتری را شارژ خواهد کرد.
- اگر دیزل ژنراتور نیز قادر به تأمین کمبود توان نباشد، باتری علاوه بر دیزل ژنراتور، کمبود توان را تأمین خواهد کرد. در اینجا اولویت تأمین توان توسط دیزل ژنراتور خواهد بود، به طوری که دیزل ژنراتور در سطح نامی خود کار خواهد کرد و بقیهٔ توان توسط باتری تأمین خواهد شد.

همان طور که مشخص است، در شرایط مختلف جوّی و ساعات مختلف شبانه‌روز، تولید انرژی توسط واحدهای تجدیدپذیر و میزان انرژی مصرفی، متفاوت است.

منابع ذخیره‌کننده انرژی قادر به شارژ و دشارژ تا ظرفیت بیشینه و کمینه خود هستند. لازمهٔ روشن و خاموش شدن دیزل ژنراتور، به‌ترتیب، قرار گرفتن سطح شارژ باتری در سطح شارژ کمینه و بیشینه خود است.

در این مقاله به‌منظور استفاده بهینه از باتری و دیزل ژنراتور، سطوح شارژ بیشینه و کمینه باتری در ساعات مختلف شبانه‌روز، متغیر در نظر گرفته می‌شود. در نظر گرفتن سطح شارژ متغیر با ساعات شبانه‌روز برای باتری باید با درنظرگرفتن انرژی تولیدی و مصرفی در ساعات مختلف شبانه‌روز انجام شود. در این تحقیق، با توجه به منحنی تغییرات میزان انرژی تولیدی و مصرفی در طول شبانه‌روز، یک روز به ۵ قسمت تقسیم‌بندی می‌شود. میزان سطوح شارژ باتری که لازمهٔ روشن و خاموش شدن دیزل ژنراتور است، در این ۵ بازه زمانی، متفاوت است. شکل (۵) محدوده زمانی و میزان حداقل و حداکثر سطح شارژ باتری‌ها را نمایش می‌دهد.



شکل۵- محدوده شارژ و دشارژ باتری‌ها

خاموشی یا عدم تولید برق، همانند تولید برق هزینه دارد. خاموشی، موجب واردشدن خسارات به مصرف‌کنندگان برق می‌شود. در مرجع [۱۱] هزینه سالیانهٔ ناشی از عدم تولید برق (ACDC[1]) محاسبه شده است. هزینه ناشی از خاموشی به تعداد ساعت خاموشی و میزان خاموشی (کیلووات ساعت) بستگی دارد. با استفاده از رابطه (۶) خسارت سالیانه واردشده بر مصرف‌کنندگان به‌دلیل عدم تولید برق، محاسبه می‌شود.

$$\mathrm{ACDC} = \frac{\mathrm{TUL_P}}{1000} * [(0.1738 * (\mathrm{TUL_h})^2) + (0.6083 * \mathrm{TUL_h}) - 0.3001] \qquad (۶)$$

$$\mathrm{TUL_h} = \sum_{T=1}^{T=8760} \mathrm{LOL_h}$$

$$\mathrm{TUL_P} = \sum_{T=1}^{T=8760} \mathrm{LOL_P}$$

$\mathrm{TUL_h}$ تعداد ساعات خاموشی واردشده بر سیستم را بیان می‌کند. درصورتی‌که تولید برق با اختلال همراه باشد و برق به‌طور کامل تولید نشود، مقدار $\mathrm{LOL_h}$ برابر ۱ و در غیر این صورت، برابر صفر است. $\mathrm{TUL_P}$ میزان خاموشی سیستم را در طول یک سال برحسب وات بیان می‌کند. $\mathrm{LOL_P}$ برابر میزان خاموشی در بازه‌های زمانی یک‌ساعته برحسب وات است.

[1].Annual Customer Damage Cost

مرجع [۱۲] به بررسی مزایای سیستم‌های تولید پراکنده از جنبه محیط‌زیست پرداخته است. دیزل ژنراتور تنها واحد تولیدکننده آلودگی در سیستم انرژی ترکیبی موردنظر است. گازهای منتشرشده ناشی از عملکرد دیزل ژنراتور SO_2 ، NO_x ، CO_2 و CO است. ابتدا با استفاده از رابطه (۷) میزان گاز منتشرشده محاسبه می‌شود و سپس به کمک رابطه (۸)، هزینه آلودگی به دست می‌آید.

$$Q = C * \sum E_dg \qquad (۷)$$

$$C_e = (Q * V_e + V_P) \qquad (۸)$$

E_dg و C به‌ترتیب، انرژی تولیدشده توسط دیزل ژنراتور برحسب (Kwh) و مقدار آلودگی منتشرشده از دیزل ژنراتور برحسب ($^{Kg}/_{Kwh}$) است. V_e هزینه تولید آلودگی و V_P جریمه تولید آلودگی که برحسب ($^{\$}/_{Kg}$) است.

۵- تابع هزینه سیستم

هزینه‌های سیستم در شبیه‌سازی انجام‌شده ناشی از هزینه مسائل اقتصادی است. هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری از سیستم انرژی ترکیبی، تشکیل‌دهنده هزینه‌های ناشی از مسائل اقتصادی است.

۵-۱- هزینه‌های اقتصادی

هزینه اقتصادی تحمیل‌شده بر سیستم انرژی ترکیبی ناشی از هزینه‌های اولیه (هزینه‌هایی که برای خرید و نصب تجهیزات صرف می‌شود) و هزینه بهره‌برداری (هزینه‌هایی که برای استفاده از محصول صرف می‌شود، همچون هزینه تعمیر و نگهداری، هزینه سوخت و...) است. سیستم انرژی ترکیبی مفروض متشکل از ۴ جزء توربین بادی، سلول خورشیدی، دیزل ژنراتور و باتری است. هزینه اولیه توربین بادی و سلول خورشیدی بالاست، در حالی که هزینه تعمیر و نگهداری این منابع تولید انرژی، قابل صرف‌نظر کردن است. این منابع مصرف سوخت و آلودگی نیز ندارند. دیزل ژنراتور دارای هزینه اولیه پایین، اما هزینه تعمیر و نگهداری بالایی است و مصرف سوخت و تولید گازهای گلخانه‌ای نیز دارد. در ادامه خواهیم دید که ایده کنترلی ارائه‌شده، موجب کاهش هزینه‌های سیستم می‌شود. این کاهش هزینه غالباً ناشی از کاهش هزینه‌های بهره‌برداری سیستم است اگرچه در بخشی از شبیه‌سازی‌ها با کاهش حجم دیزل ژنراتور، هزینه اولیه و هزینه تمام‌شده انرژی را کاهش می‌دهیم. هزینه‌های درنظرگرفته برای هزینه سالیانه سیستم شامل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، تعمیر و نگهداری، سوخت مصرفی است.

$$ASC = AC_{PV} + AC_{WT} + AC_{DG} + AC_{Bat} + AEC + ACDC \qquad (۱۰)$$

رابطه (۱۰) هزینه‌های سالیانه سیستم (ASC[1])، به‌ترتیب برابر مجموع هزینه‌های سالیانه آرایه خورشیدی (AC_{PV})، توربین بادی (AC_{WT})، دیزل ژنراتور (AC_{DG})، باتری (AC_{Bat})، آلودگی (AEC[2]) و عدم تأمین برق ($ACDC$[3]) است. این هزینه ناشی از هزینه سالیانه اجزای تشکیل‌دهنده سیستم است.

نسبت هزینه سالیانه سیستم به مجموع بار مصرفی برابر هزینه انرژی (COE[4]) است.

$$COE\left(^{\$}/_{Kwh}\right)\frac{ASC}{L} \qquad (۱۱)$$

۶- قابلیت اطمینان

شاخص LLP به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم در نظر گرفته شده است. به هر میزان شاخص LLP افزایش یابد، قابلیت اطمینان سیستم افزایش می‌یابد و برعکس [۶].

$$LLP = \frac{\sum_{t=1}^{8760} Shortage(t)}{\sum_{t=1}^{8760} D(t)} \qquad (۱۲)$$

$Shortage\ (t)$ و $D(t)$ به‌ترتیب بار تأمین‌نشده در ساعت t و تقاضای بار در ساعت t هستند.

۷- بهینه‌سازی ظرفیت دیزل با الگوریتم PSO

اجتماع ذرّات الگوریتمی گروهی بوده که در آن دسته‌ای از ذرّات به‌منظور یافتن پاسخ بهینه یک تابع هدف، به جست‌وجو در فضای ممکن مسئله می‌پردازند. هر جزء با سرعتی قابل تنظیم در فضای جست‌وجو حرکت کرده، بهترین موقعیتی را که تاکنون به دست آورده، در حافظه خود نگه می‌دارد. بهترین موقعیت به‌دست‌آمده توسط کل گروه نیز بین تمامی اعضا مخابره می‌شود. درواقع، این‌گونه فرض می‌شود که هر جزء، از بهترین موقعیتی که تا آن لحظه توسط کل گروه به دست آمده، اطلاع دارد.

فرض می‌شود فضای جست‌وجو شامل n بعد است، آن‌گاه می‌توان جز iام را با دو بردار nبعدی موقعیت (X_i) و سرعت

[1].Annual System Cost
[2].Annual Emission Cost
[3].Annual Customer Damage Cost
[4].Cost Of Energy

(V_i) به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$X_i = [X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, \dots, X_{in}]^T$$

$$V_i = [V_{i1}, V_{i2}, V_{i3}, \dots, V_{in}]^T$$

که در روابط فوق، $i=1,2,\dots,N$ و N برابر تعداد اعضای گروه و بالانویس T نیز عملگر ترانهاده است.

در الگوریتم ازدحام ذرّات، جز iام بهترین موقعیتی را که تاکنون به دست آورده است، تحت نام بردار $P_i = [P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \dots, P_{in}]^T$ در حافظه خود ذخیره می‌کند. منظور از بردار $G = [g_1, g_2, g_3, \dots, g_n]^T$ بهترین موقعیتی است که تاکنون توسط کل اعضای گروه به دست آمده است. موقعیت جز iام در تکرار $t+1$ توسط روابط زیر قابل‌تعریف است:

$$V_i(t+1) = \omega(t) * V_i(t) + c_1(t) * r_1 * \big(P_i(t) - X_i(t)\big) + c_2(t) * r_2 * (G(t) - X_i(t)) \quad (۱۳)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + \chi * V_i(t+1) \quad (۱۴)$$

در روابط بالا، ω ضریب اینر سی بوده که ن شان‌دهنده اثر بردار سرعت قبلی، بر تکرار فعلی ا ستد. χ ضریب انقباض اســـت که به‌منظور محدود کردن اثر بردار ســـرعت، وارد معادلات فوق می‌شـــود. c_1 و c_2، به‌ترتیب، پارامترهای شناختی (شتاب محلی) و اجتماعی (شتاب سراسری) است و r_1 و r_2 نیز دو عدد حقیقی‌اند که به‌صورت تصادفی و بر اســـاس یک تابع توزیع یکنوا خت بین ۰ و ۱ انتخاب می‌شوند.

۸- شبیه‌سازی و تحلیل نتایج

ابتدا ظرفیت واحدهای سیستم انرژی ترکیبی به‌جز دیزل ژنراتور برابر نتایج هومر در نظر گرفته می‌شود. ایده مدیریت توان در این تحقیق، شامل ۲ بخش مجزا است:

۱. استفاده از استراتژی مدیریت توان ثابت برای سیستم انرژی ترکیبی؛ با توجه به اینکه تولید و مصرف در شبانه‌روز متغیر است، ممکن است موجب افزایش هزینه‌های سیستم شود. در این تحقیق، با توجه به شرایط تولید و مصرف در ساعات مختلف شبانه‌روز، یک شبانه‌روز به ۵ بازه زمانی مختلف تقسیم‌بندی می‌شود. در این ۵ بازه سطوح شارژ کمینه و بیشینه به‌منظور روشن و خاموش شدن دیزل ژنراتور در نظرگرفته می‌شود.

۲. در سیستم انرژی ترکیبی مفروض، دیزل ژنراتور باید قادر باشد تمام توان موردنیاز شبکه را تأمین کند. با این شرط، احتمال خاموشی سیستم صفر می‌شود (با فرض عدم خرابی تجهیزات). در نظر گرفتن ظرفیت بالای دیزل ژنراتور، موجب افزایش هزینه‌های اولیه سیستم و بهره‌برداری می‌شود، به‌ویژه برای مناطق دورافتاده که هزینه‌های انتقال سوخت، تجهیزات و متخصص به‌منظور تعمیر و نگه‌داری به هزینه‌های سیستم اضافه می‌گردد. تحقیقات نشان می‌دهد پیک بار در ۵٪ زمان رخ می‌دهد. می‌توان با ارائه یک مدیریت توان صحیح از ظرفیت باتری از خاموشی احتمالی در پیک بار جلوگیری کرد، بدین صورت که از دشارژ بیش از حد باتری در زمان‌های قبل از پیک بار که تولید انرژی تجدیدپذیر کاهش می‌یابد، جلوگیری کرد.

با اعمال مدیریت توان جدید، DOD و تعداد دفعات شارژ و دشارژ باتری در بازه‌های زمانی مختلف و همچنین تعداد دفعات روشن شدن دیزل‌ژنراتور، تغییر می‌یابد. بنابراین، به‌منظور تحلیل دقیق‌تر نتایج برخلاف بیشتر مقالات، مدل طول عمر باتری براساس DOD و تعداد سیکل استفاده‌شده از باتری است. همچنین هزینه راه‌اندازی برای دیزل ژنراتور فرض شده است. ابتدا ظرفیت واحدهای سیستم انرژی ترکیبی به‌جز دیزل ژنراتور برابر نتایج هومر در نظر گرفته می‌شود.

در این مرحله به کمک الگوریتم ازدحام ذرّات، ظرفیت دیزل ژنراتور را بهینه می‌کنیم. دقت شود در این مرحله از شبیه‌سازی، سطوح شارژ بیشینه و کمینه باتری به‌ترتیب برابر ۰,۹ و ۰,۲ در نظر گرفته‌شده است. سپس برای بهبود هزینه بهره‌برداری سیستم، ایده مدیریت توان، تغییر داده می‌شود.

با مشاهده جدول ۲ مشخص می‌شود که در اثر تغییر ایده مدیریت توان، هزینه‌های سیستم کاهش پیدا کرده است. روش متداول بیان‌شده در جدول به‌معنای ثابت بودن سطح شارژ کمینه و بیشینه باتری است. با کاهش ظرفیت دیزل ژنراتور، خاموشی سیستم افزایش پیدا می‌کند. خاموشی سیستم با دیزل ژنراتور ۴۰kw برابر صفر و برای ظرفیت بهینه‌شده ۲۷ kw غیر صفر است. با اعمال ایده بیان‌شده، هزینه تمام‌شده انرژی کاهش پیدا می‌کند. دلیل این کاهش را می‌توان عدم شارژ بی‌مورد باتری با استفاده از دیزل ژنراتور و ممانعت از وقوع خاموشی به علت ظرفیت پایین انتخاب‌شده دیزل ژنراتور دانست.

جدول۲-نتایج بهینه‌سازی تابع هزینه سیستم

استراتژی مدیریت توان	ظرفیت دیزل ژنراتور (Kw)	هزینه انرژی ($/kwh)
نرم افزار هومر	۴۰	۰,۴۵
روش متداول	۲۷	۰,۲۶
ایده بیان‌شده	۲۷	۰,۲۴

در جدول ۳، مقادیر بهینه به‌دست‌آمده برای حداقل و حداکثر شارژ باتری در ایده مدیریت توان و بازه‌های زمانی اعمال محدودیت در شارژ و دشارژ باتری با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرّات نشان داده شده است. پیک بار معمولا ظهر و اوایل شب رخ می‌دهد (ساعت پیک‌بار با توجه به فصول مختلف سال و شرایط آب‌وهوایی منطقه متغیر است؛ برای مثال، در مناطق کویری پیک بار در تابستان ساعت ۱۳تا ۱۵ که هوا بسیار گرم است، پیک بار رخ می‌دهد). نکته قابل توجه، نتایج اعمال محدودیت در استفاده از باتری برای بازه زمانی ۱۸- ۱۵ است. این بازه زمانی قبل از آغاز شب است (اگرچه برای ماه‌های سرد سال با ساعات اولیه شب تطابق دارد)، بنابراین، با توجه به ظرفیت دیزل ژنراتور که قادر به تأمین پیک‌بار نیست، از دشارژ بی‌رویه باتری جلوگیری می‌شود (سطح شارژ کمینه برابر ۰,۴۷ به دست آمده است) تا با خاموشی در پیک بار مواجه نشویم. این محدودیت، باعث افزایش قابلیت اطمینان سیستم و از طرفی موجب تغییر در نحوه استفاده از باتری و دیزل‌ژنراتور می‌شود. همان طور که ذکر شد، هزینه‌های این تغییرات در تابع هزینه سیستم در نظر گرفته شده است. برای مثال، در نظرگرفتن سطح شارژ کمینه ۰,۴۷ برای باتری موجب می‌شود در صورت نیاز، دیزل ژنراتور زودتر روشن شود. نکتهٔ شایان ذکر دیگر، متغیر بودن ساعات پیک بار در ماه‌های مختلف سال و همچنین تصادفی بودن ماهیت سرعت باد و تغییر در ساعات طلوع و غروب خورشید در فصل‌های متختلف سال (تغییر در میزان انرژی تجدیدپذیر) است. با توجه به این نکات، نتایج به‌دست‌آمده برای بازه‌های زمانی اعمال محدودیت در استفاده از باتری و میزان استفاده از باتری با توجه به ماه‌های مختلف سال، متغیر است. بنابراین، نتایج به‌دست‌آمده با درنظرگرفتن روزها و ساعات مختلف شبانه‌روز سال است (به‌دلیل تغییر شرایط آب‌وهوایی در روزهای مختلف سال و همچنین تغییر در ساعت طلوع و غروب خورشید، بهتر است بهینه‌سازی برای بخش‌های مختلف سال که شرایط آب‌وهوایی نزدیک به هم دارند، به‌طور جداگانه‌ای انجام شود). از دیگر نکات مثبت جدول (۳)، سطح شارژ بهینه ۰,۵۹ برای بازه زمانی ۱۴-۱۰ است. به‌دلیل وجود انرژی خورشیدی قابل‌ملاحضه در این بازه زمانی، از شارژ بی‌رویه باتری توسط دیزل ژنراتور جلوگیری و از انرژی خورشیدی برای شارژ باتری استفاده می‌شود. دو تحلیلی که بر نتایج اعمال شد، باعث کاهش هزینه‌های سیستم و افزایش قابلیت اطمینان سیستم (با در نظر گرفتن ظرفیت kw ۲۷ برای دیزل ژنراتور) می‌شود.

جدول۳- نتایج بهینه‌سازی ایده مدیریت توان

بازه زمانی	SOCmin	SOCmax
۳-۰	۰,۴۲	۰,۸۲
۹-۴	۰,۲۰	۰,۶۵
۱۴-۱۰	۰,۲۳	۰,۵۹
۱۸-۱۵	۰,۴۷	۰,۶۸
۲۳-۱۹	۰,۲۶	۰,۶۴

همان طور که ذکر شد، با ارائه ایده مدیریت توان، میزان استفاده از ظرفیت باتری و دیزل ژنراتور تغییر می‌کند. جدول ۴ تغییرات استفاده از باتری و دیزل ژنراتور را نشان می‌دهد. روش شبیه‌سازی ۱ بیان‌کننده شبیه‌سازی با مدیریت توان ثابت و روش ۲، شبیه‌سازی با ایده مدیریت توان است. ظرفیت دیزل ژنراتور در دو مرحله شبیه‌سازی برابر kw ۲۷ است.

جدول۴- مقایسه استفاده از باتری و دیزل ژنراتور در ۲ مدیریت توان مختلف

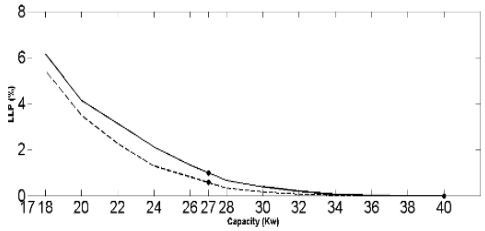
روش شبیه‌سازی	۱	۲
متوسط عمق تخلیه باتری	۰,۲۸	۰,۲۲
تعداد سیکل استفاده از باتری	۶۸۷	۷۳۴
سوخت مصرفی (هزار لیتر)	۱۹,۲	۱۸,۶
تعداد راه‌اندازی دیزل ژنراتور	۲۸۴	۳۷۰
تعداد ساعات عملکرد دیزل ژنراتور	۱۹۲۳	۱۷۹۴
هزینه انرژی ($/kwh)	۰,۲۶	۰,۲۴

به‌کارگیری سطوح شارژ کمینه و بیشینه متفاوت در طول روز و نابرابر با سطوح شارژ مجاز، موجب تغییر در استفاده از دیزل ژنراتور و باتری نسبت به مدیریت توان ثابت در روز می‌شود. با به‌کارگیری مدیریت توان جدید، تعداد راه‌اندازی دیزل ژنراتور افزایش و ساعات عملکرد دیزل ژنراتور کاهش می‌یابد. همچنین تعداد سیکل استفاده از باتری، افزایش و عمق تخلیه باتری کاهش یافته است.

ایده مدیریت توان بیان‌شده، سعی در کاهش هزینه‌های

بهره‌برداری از دیزل ژنراتور دارد. در این تحقیق، ابتدا ظرفیت دیزل ژنراتور به‌منظور کاهش هزینه‌های سرمایه گذاری کاهش داده شد و سپس با ارائه ایده مدیریت توان، هزینه‌های بهره‌برداری سیستم کاهش پیدا کرد.

شکل(۶)، قابلیت اطمینان سیستم در ظرفیت‌های متفاوت دیزل ژنراتور را نشان می‌دهد. نمودار ممتد مربوط به ایده متداول (استراتژی شارژ کامل) و نمودار خط‌چین مربوط به ایده بیان‌شده در این مقاله است. واضح است که مدیریت توان ارائه‌شده، موجب بهبود قابلیت اطمینان سیستم می‌شود.



شکل۶-قابلیت اطمینان سیستم در ظرفیت های متفاوت دیزل ژنراتور

می‌توان در کارهای آینده، با توابع هدف بیان‌شده، به بهینه‌سازی هم‌زمان ظرفیت اجزای سیستم و ایده مدیریت توان با روش‌های هوش مصنوعی پرداخت.

۹- نتیجه‌گیری

با توجه به روند افزایشی قیمت نفت و هزینه‌های زیست‌محیطی در بازار جهانی که منجر به افزایش هزینه برق و گاز شبکه سراسری می‌شود و با درنظرگرفتن پیشرفت فنّاوری که در سال‌های آینده باعث کاهش قیمت سرمایه‌گذاری اولیه منابع تجدیدپذیر خواهد شد، اهمیت استفاده از منابع تجدیدپذیر بیشتر نمایان می‌شود. همچنین احداث خطوط توزیع انرژی الکتریکی در مناطقی که دارای شبکه برق سراسری نیستند، با توجه به هزینه‌های بسیار زیاد آن‌ها در مقایسه با احداث نیروگاه بر پایه منابع تجدیدپذیر، مقرون‌به‌صرفه نیست. پیشنهاد می‌شود در این موارد، از سیستم‌های ترکیبی تولید توان بهره‌گیری شود. در این تحقیق، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار هومر، ظرفیت واحدهای سیستم انرژی ترکیبی را محاسبه کرده، سپس برای کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری سیستم، ظرفیت دیزل ژنراتور را با استفاده از الگوریتم PSO بهینه می‌کنیم. در انتها با ارائه یک استراتژی مدیریت توان که سبب انتخاب مقادیر مختلف حداقل و حداکثر برای سطح شارژ باتری در ساعات مختلف شبانه‌روز می‌شود، هزینه‌های بهره‌برداری سیستم کاهش داده شده است.

مراجع

[1] E. Koutroulis, A. Kolokosta and K. Kalaitzakis, "Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms", Solar Energy, Vol. 80, No. 9, 2006, pp. 1072–1088.

[۲] علی جوادی، سعید زمانی و محسن محمدیان، «بررسی استراتژی مدیریت توان در مولدهای قدرت هایبریدی تولید پراکنده»، بیست‌وششمین کنفرانس بین‌المللی برق، ۱۳۹۰.

[3] S. Belgana, A. Dabib , H. Bilil and M. Maaroun, “Hybrid renewable energy system design using multiobjective optimization”, International Conference on Renewable Energy Research and Applications, Madrid, Spain, 2013..

[4] A. Askarzadeh and L. Dos Santos Coelho, "A novel framework for optimization of a grid independent hybrid renewable energy system: A case study of Iran". Solar Energy, Vol. 112, 2015, pp. 383–396.

[5] A. Yang, W. Zhou, L. Lu and Z. Fang, "Optimal sizing method for stand-alone hybrid solar–wind system with LPSP technology by using genetic algorithm", Solar Energy, Vol. 82, No. 4, 2008, pp. 354–367.

[6] M. Sharafi and T.Y. Elmekkawy, "Multi-objective optimal design of hybrid renewable energy systems using PSO-simulation based approach", Renewable Energy, Vol. 68, 2014, pp. 67–79.

[7] P. Gajbhiye and P. Suhane, "Methodology for Optimal Sizing & Power Management of Hybrid Energy System", International Journal of Electrical, Electronics and Computer Engineering, Vol. 3, No. 2, 2014, p. 7.

[8] T.M. Layadi, M. Mostefai, G. Champenois and D. Abbes, “Dimensioning a hybrid electrification system (PV/ WT / DG + battery) using a dynamic simulation”, International Conference on Electrical Engineering and Software Applications, Hammamet, Tunisia, March 2013.

[9] B. Binayak, L. Kyung-Tae, L. Gil-Young, C. Young-Man and A. Sung-Hoon, "Optimization of hybrid renewable energy power systems: A review", International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, Vol. 2, No. 1, 2015, pp. 99–112.

[10] A. Daud and M. Ismail, "Design of isolated hybrid systems minimizing costs and pollutant emissions", Renewable Energy, Vol. 44, 2012, pp. 215–224.

[11] R. Khare and Y. Kumar, “Techno economic analysis for PV-wind-DG- battery IHRES with SGA”, International Conference on Power, Delhi, India, December 2014.

[12] R. Qian, C. Zhou and Y. Yuan, “Analysis of environment benefits of distributed generation”, Power and Energy Society General Meeting, Pittsburgh, United States of *America*, july 2008.