



جلد ۱، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴

تأمین بار مصرفی یک کارخانه با استفاده سیستم‌های تجدیدپذیر ترکیبی به صورت منفصل از شبکه

حانیه رستم‌زاده^{۱*}، رضا شهرکی شهدآبادی^۲

۱- گروه مهندسی مکانیک- دانشکده مهندسی- دانشگاه بزرگمهر قائنات- قائن- ایران

۲- گروه مهندسی مکانیک- دانشکده مهندسی مکانیک- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تهران- تهران- ایران.

چکیده

ریزشبکه‌ها با منابع انرژی تجدیدپذیر ترکیبی در حال افزایش هستند و این یک راه حل امیدوارکننده برای برقرسانی به مناطق دورافتاده است که در آن، گسترش شبکه توزیع امکان‌پذیر نیست یا مقرون به صرفه نیست. ریزشبکه‌های مستقل با منابع انرژی هیبریدی سازگار با محیط زیست، یک راه حل مقرون به صرفه است که قابلیت اطمینان سیستم و امنیت انرژی را تضمین می‌کند. در همین راستا در این پژوهش به تأمین بار مصرفی یک کارخانه با استفاده از سیستم‌های تجدیدپذیر ترکیبی به صورت منفصل از شبکه پرداخته شده است. بار مصرفی این کارخانه به طور میانگین روزانه ۲۵ مگاوات است و اوج بار مصرفی آن ۱۹۱۲ کیلووات است. مقدار نرخ بهره در این پژوهش ۸٪ در نظر گرفته شده و طول عمر پروژه نیز ۲۵ سال است. سیستم پیشنهادی شامل دیزل ژنراتور، توربین بادی، پنل خورشیدی، باتری و اینورتر است. نتایج نشان می‌دهد که بهینه‌ترین سیستم برای تأمین بار مصرفی این کارخانه ۲۵۶۶ کیلووات پنل خورشیدی، ۲ عدد توربین بادی ۱۵ مگاوات، ۲۲۰۰ کیلووات دیزل ژنراتور، ۵۸ عدد باتری ۱۰۰ کیلوواتی و ۱۱۶۱ کیلووات اینورتر است. هزینه تولید هر کیلووات انرژی توسط این سیستم ۰/۲۵۶ دلار است و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه ۱۳/۸ میلیون دلار خواهد بود. همچنین میزان

سوخت مصرفی این ژنراتور ۶۱۰۹۴۱ لیتر در سال است و ساعات عملکرد آن نیز ۲۳۵۵ ساعت خواهد بود.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷

واژه‌های کلیدی:

انرژی‌های تجدیدپذیر، نیروگاه هیبریدی، امکان‌سنجی، نرم‌افزار هومر پرو.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: h.r.1997@gmail.com



۱. مقدمه

سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر ترکیبی در حال محبوب شدن هستند. به عنوان سیستم‌های قدرت مستقل برای تأمین برق در مناطق دور افتاده به دلیل پیشرفت در انرژی تجدیدپذیر فن‌آوری‌ها و افزایش قیمت‌های بعدی نفت. محصولات یک سیستم انرژی ترکیبی، یا قدرت ترکیبی، معمولاً از دو یا چند منبع انرژی تجدیدپذیر استفاده می‌شود که برای تأمین بازده سیستم و همچنین تعادل بیشتر در تأمین انرژی، با هم استفاده می‌شوند. نیروگاه هیبریدی کاملاً تجدیدپذیر شامل انرژی‌های خورشیدی، بادی، زیست توده و پیل سوختی، یک نیروگاه هیبریدی متشکل از این چهار منبع انرژی تجدیدپذیر است که می‌توان به وسیله استفاده مناسب از این منابع با یک شیوه کاملاً کنترل شده آن را به بهره‌برداری رساند. در ادامه به بررسی پژوهش‌های انجام شده در این زمینه پرداخته شده است.

رضایی و همکاران [۱] به بررسی شهرهای ایزدخواست، اقلید، صفاشهر، باوانات، ارسنجان، استهبان و فیروزآباد با توجه به شاخص‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی و آب و هوایی برای احداث نیروگاه هیبریدی بادی و خورشیدی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که اقلید به عنوان بهترین شهرستان برای ساخت نیروگاه بادی-خورشیدی است. گروهی و همکاران [۲] به طراحی سیستم هیبریدی با توجه سیستم هیبریدی بادی و خورشیدی و پیل سوختی و دیزل ژنراتور برای ایسلند پرداختند و سیستم بهینه برای این منطقه را برای تأمین بار ۳۸۱۲۳ کیلووات ساعت در روز به دست آوردند. لی و همکاران [۳] به طراحی سیستم هیبریدی با استفاده از پیل سوختی، انرژی بادی و خورشیدی برای تأمین بار ۱۰۰ منزل مسکونی به صورت مستقل از شبکه پرداختند و سیستم بهینه برای تأمین بار را به دست آوردند. همچنین، پس از تحلیل‌های اقتصادی با توجه به سیستم پیشنهادی، هزینه هر کیلووات برق تولیدی ۱/۵۵ دلار است. خماری و همکاران [۴] به بررسی سیستم هیبریدی متشکل از انرژی بادی، پیل سوختی، الکتروایزر و انرژی خورشیدی به صورت مستقل از شبکه برای تأمین بار ۷۰ کیلووات ساعت در روز پرداختند؛ هزینه این سیستم را ۵۷۰۰۰ دلار ارزیابی کردند و همچنین هزینه هر کیلووات برق تولیدی ۰/۱۹۶ دلار است. گالوز و همکاران [۵] به طراحی سیستم هیبریدی متشکل از پیل سوختی، توربین بادی، باتری، سلول خورشیدی و دیزل ژنراتور در مناطق روستایی کشور کوبا برای تأمین بار ۱۴۵ کیلووات ساعت در روز به صورت مستقل از شبکه پرداختند و هزینه سیستم بهینه پیشنهادی توسط آن‌ها به ازای تولید هر کیلووات برق ۰/۶۲ دلار بود. وزیری و همکاران [۶] برای تأمین برق مناطق روستایی در شمال غربی

کشور ایران پرداختند. سیستمی متشکل از پیل سوختی، توربین بادی، دیزل ژنراتور و بیوگاز طراحی کردند و این سیستم را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که وجود پیل سوختی در این سیستم باعث افزایش ۳۳ درصدی هزینه احداث می‌شود که بیشترین تأثیر را در هزینه پروژه دارد. از طرفی هزینه هر کیلووات برق تولیدی توسط سیستم بهینه را ۰/۲۳ دلار به دست آوردند. آملی و همکاران [۷] به بررسی و مدل‌سازی و کنترل یک سیستم برق ترکیبی مبتنی بر سیستم پیل سوختی و توربین بادی مبتنی بر ژنراتور القایی پرداختند. برای بهبود عملکرد سیستم انرژی ترکیبی، یک سیستم ذخیره‌سازی با یک سلول سوختی در ارتباط است که قادر به تغییر سریع تقاضای بار نیست. در این حالت، الگوریتم مدیریت انرژی باید برای تقسیم انرژی بین سه عنصر منبع به منظور تأمین تقاضای انرژی بار استفاده شود. نتایج شبیه‌سازی، اثربخشی استراتژی کنترل پیشنهادی و الگوریتم مدیریت انرژی را نشان می‌دهد. دوریم و همکاران [۸] به ترکیب صفحات خورشیدی فتوولتائیک، توربین بادی در مقیاس کوچک، الکتروایزر و سیستم ترکیبی سلول سوختی غشای تبادل پروتون برای تولید برق برای یک خانه متوسط ۱۵۰ مترمربع واقع در آنکارا (ترکیه) پرداختند. از انرژی خورشیدی و باد به عنوان منابع اولیه، و از سلول سوختی غشای تبادل پروتون، به عنوان قدرت پشتیبان استفاده شده است. سیستم ترکیبی مدل‌سازی شده و نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که استفاده از توربین بادی انتخاب شده با ظرفیت ۳ کیلووات به همراه پانل‌های فتوولتائیک با مساحت ۱۷/۹۷ متر مربع برای تأمین ۵ ساعت کار الکتروایزر کافی است، که به نوبه خود هیدروژن لازم را تأمین می‌کند. روشندل و همکارانش [۹] به بررسی سیستم ترکیبی پیل سوختی-توربین بادی برای تأمین تقاضای الکتریکی مناطق با وزش باد موسمی پرداختند. این سیستم ترکیبی مورد تحلیل انرژی قرار گرفته است. برای منطقه‌ای از کشور با فراوانی بادهای موسمی، این سیستم مورد بررسی قرار گرفته و اتلاف انرژی و امکان کاستن از آن مورد توجه بوده است. نتایج آن‌ها نشان داد که با توجه به اطلاعات باد منطقه مورد نظر برای تأمین تقاضا، مشخصات اجزا تعیین و مدلی توسعه داده می‌شود که بتواند مازاد یا کمبود توان و میزان انرژی تولیدی در هر بازه از سال را برآورد کند. در منطقه مورد بررسی نمونه (ابرقوه)، با توجه به مدل توسعه داده شده، ۵۶٪ از تقاضا توسط توربین بادی و ۴۴٪ توسط پیل سوختی تأمین می‌شود. براتی و همکارانش [۱۰] به بررسی کنترل فرکانس در یک سیستم ترکیبی مبتنی بر توربین بادی/فتوولتائیک/پیل سوختی و ابرخازن پرداختند. روش پیشنهادی، ترکیبی از کنترل بار-فرکانس و کنترل ولتاژ ابرخازن است. برای مشخص کردن مراجع

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: h.r.1997@gmail.com



گزینه، در این تحقیق است. دیموندکه و همکاران [۱۳] یک توپوگرافی بهینه از سیستم‌های انرژی هیبریدی را با در نظر گرفتن ذخیره انرژی یا ژنراتور پشتیبان مبتنی بر پیل خورشیدی و توربین باید برای شش مکان در جنوب نیجریه انجام دادند. انرژی هیبریدی با استفاده از نرم‌افزار هومر و روش تاپسیس با استانداردهای اقتصادی، زیست‌محیطی، فرهنگی، فنی و اجتماعی مورد مطالعه قرار گرفته است. بهترین سیستم‌های هیبریدی برای مکان‌های موجود به شرح زیر است: ژنراتورهای دیزل، توربین بادی، سلول خورشیدی و باتری‌ها برای سایت‌هایی در یانگاوا، شهر بنین و بندر هارکورت پیشنهاد شده‌اند. علاوه بر این، یک باتری هیبریدی، سیستم توربین بادی و سلول خورشیدی برای مکان‌های Oyo، Vari و Kalabar توصیه می‌شود.

نیروگاه هیبریدی کاملاً تجدیدپذیر شامل انرژی‌های خورشیدی، بادی، زیست توده و پیل سوختی، یک نیروگاه هیبریدی متشکل از این چهار منبع انرژی تجدیدپذیر است که می‌توان به وسیله استفاده مناسب از این منابع با یک شیوه کاملاً کنترل شده آن را به بهره‌برداری رساند. در همین راستا، در این پژوهش به تأمین بار مصرفی یک کارخانه واقع در شهر مشهد پرداخته خواهد شد. سیستم طراحی شده شامل توربین بادی، دیزل ژنراتور، پیل خورشیدی، باتری و اینورتر پرداخته شده است و به شبکه سراسری برق دسترسی ندارد. دیزل ژنراتور در مواقعی شروع به کار خواهد کرد که سیستم تجدیدپذیر و باتری، قادر به تأمین بار مصرفی کارخانه نباشد تا بیشتر از منابع تجدیدپذیر استفاده شده و در مواقع کمبود بار، صرفاً از دیزل ژنراتور استفاده شود.

۲. بار مصرفی و سیستم پیشنهادی

شکل شماره ۱، میزان بار مصرفی در طول سال را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که حداکثر بار مصرفی ۱۱۸۰ کیلووات بر ساعت است که در ساعت ۱۰ شب رخ خواهد داد. همچنین در ساعات ۰۰:۰۰ تا ۰۳:۰۰ بامداد کم‌ترین میزان بار مصرفی را کارخانه خواهد داشت.



شکل ۱: میزان بار مصرفی.

توان از کنترل‌کننده PI و کنترل‌کننده شیب افقی استفاده شده است. عملکرد سیستم، براساس اطلاعات سرعت باد، تابش خورشید و منحنی تقاضای بار مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در کنترل به روش شیب افقی ناشی از ارسال فرمان کنترلی مناسب‌تر به واحدهای تولیدی جهت ایجاد تعادل در شبکه، در میراسازی انحرافات فرکانس بهتر عمل کرده است. برای شبیه‌سازی کامپیوتری از محیط نرم‌افزاری MATLAB/Simulink استفاده شده است. پیرکندی و همکاران [۱۱] به شبیه‌سازی ترمودینامیکی یک سیستم هیبریدی توربین باد و پیل سوختی پلیمری مستقل از شبکه برای به‌کارگیری در چهار شهر تهران، مشهد، منجیل و زابل می‌باشد. با توجه به اهمیت پیل سوختی در کاهش نوسانات توان خروجی توربین بادی و همچنین انعطاف‌پذیری سیستم هیبریدی در مقابل تغییرات شرایط جوی و نوسانات توان مصرفی، از چند پیل سوختی و الکترولایزر با توان مناسب جهت به‌کارگیری در سیستم هیبریدی استفاده شده است. هدف اولیه این پژوهش، این است که توربین بادی تا چه حدی می‌تواند پاسخگوی توان مصرفی واحدهای مسکونی باشد؟ و در صورت عدم تأمین توان لازم برای تعداد واحدهای بالاتر، چند پیل سوختی و الکترولایزر مورد نیاز است؟ نتایج بیانگر آن است که سیستم هیبریدی برای شهر تهران، برای تعداد واحدهای کم، قادر به تأمین توان مصرفی می‌باشد، این در حالی است که برای شهر منجیل و زابل، تعداد واحدهای تحت پوشش به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد. همچنین، به دلیل سرعت پایین باد در شهر مشهد، سیستم هیبریدی به هیچ عنوان پاسخگوی توان مصرفی واحدهای معرفی شده نمی‌باشد. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش تعداد واحدهای مسکونی، سهم تأمین توان توسط پیل سوختی افزایش می‌یابد. سیستم هیبریدی پیشنهادی برای شهرهای تهران، منجیل و زابل به ترتیب ۶، ۶۸ و ۳۴ واحد مسکونی قادر به تأمین توان مصرفی بوده و برای این تعداد واحد مسکونی سهم پیل سوختی به ترتیب ۲/۱۰، ۳/۱۱ و ۳۱/۸ درصد از توان تولیدی می‌باشد. همچنین، هزینه راه‌اندازی سیستم هیبریدی معرفی شده در مقایسه با نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با سوخت فسیلی تقریباً یکسان می‌باشد. ینگ و همکاران [۱۲] جایگزینی همه بویلرها با فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر را در دانمارک تا سال ۲۰۲۵ مطالعه کردند. یازده پارامتر با جنبه‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی شناسایی و استفاده شده است. سه فناوری گرمایش خورشیدی، پمپ حرارتی و دیگ گلوله چوب با استفاده از تاپسیس، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تجزیه و تحلیل نشان داد که گرمایش خورشیدی، بهترین گزینه، پمپ حرارتی، دومین گزینه، و گلوله چوب، بدترین

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: h.r.1997@gmail.com



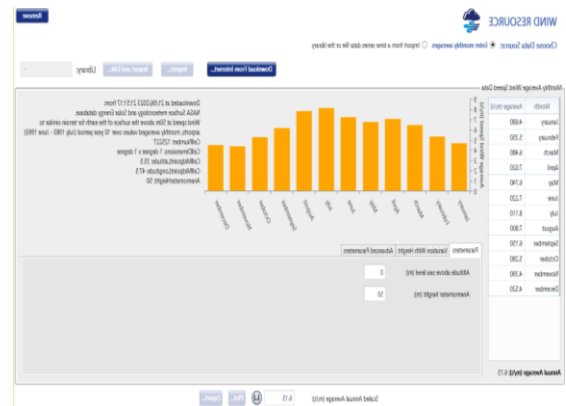
شکل ۴: میانگین دما در منطقه مورد مطالعه.

استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به دلیل فراوانی و رایگان بودن آن برای تولید برق، همواره مورد توجه بشر بوده است. اگرچه مشکلاتی مانند غیرقابل پیش‌بینی بودن این منابع، وابستگی آن به تغییرات اقلیمی و قابلیت اطمینان پایین، استفاده از این منابع را دشوار می‌کند، اما ترکیب مناسب این منابع می‌تواند تا حد زیادی این مشکلات را برطرف کند. ترکیب این سیستم‌ها اگرچه مشکل قابلیت اطمینان را بسیار کاهش می‌دهد، اما طراحی و اجرای بهینه الگوریتم کنترلی مناسب برای چنین سیستمی را دشوار می‌کند. شکل شماره ۵، شماتیکی از سیستم هیبریدی طراحی شده را نشان می‌دهد. سیستم هیبریدی طراحی شده از دو استراتژی HOMER Cycle Charging و HOMER Load Following استفاده می‌کند که هر کدام در زیر توضیح داده شده است.

HOMER Cycle Charging: استراتژی شارژ چرخه یک استراتژی توزیع است که به موجب آن هر زمان که یک ژنراتور برای خدمت به بار اولیه نیاز به کار داشته باشد، با توان خروجی کامل کار می‌کند. مازاد تولید الکتریسیته به سمت اهداف با اولویت پایین‌تر، از جمله به ترتیب اولویت کاهش می‌رود: سرویس بار قابل تعویق، شارژ بانک ذخیره‌سازی و سرویس الکترولیز.

HOMER Load Following: استراتژی زیر بارگذاری یک استراتژی توزیع است که به موجب آن هر زمان که یک ژنراتور کار می‌کند، تنها توان کافی برای پاسخگویی به بار اولیه را تولید می‌کند. اهداف با اولویت پایین‌تر، مانند شارژ بانک ذخیره یا ارائه بار معوق به منابع انرژی تجدیدپذیر واگذار می‌شود. اگر از نظر اقتصادی سودمند باشد، ژنراتور ممکن است همچنان افزایش یابد و برق را به شبکه بفروشد.

شکل شماره ۲، سرعت باد را در ماه‌های سال برای منطقه انتخاب شده نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در تیرماه، میانگین سرعت باید برابر با $8/2$ متر بر ثانیه باشد که برای استفاده از توربین‌های بادی بسیار مناسب است. همچنین کم‌ترین سرعت باد را در ماه دسامبر دارد که برابر با $4/3$ متر بر ثانیه است. شکل شماره ۲، پتانسیل باد منطقه را برای استفاده از توربین بادی نشان می‌دهد.



شکل ۲: سرعت باد در منطقه مورد مطالعه.

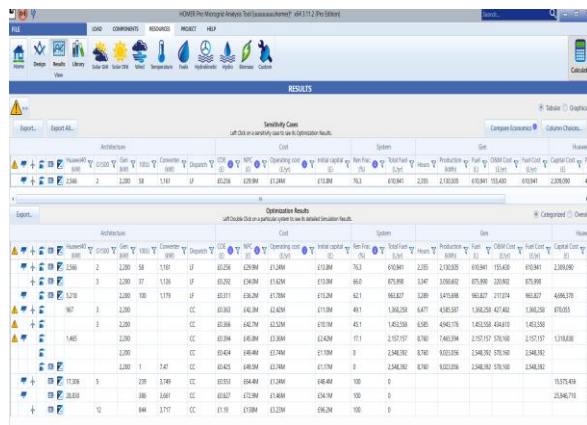
در شکل شماره ۳، میزان تابش خورشیدی در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که تابش خورشیدی در فصل تابستان برای استفاده از پنل خورشیدی بسیار مناسب است اما در فصل زمستان از شدت آن کاسته خواهد شد. مشاهده می‌شود که بیشترین میزان تابش خورد نزدیک به ۸ کیلووات ساعت در متر مربع است که نشان از پتانسیل بالای منطقه دارد.



شکل ۳: میزان تابش خورشید و شفافیت آسمان.

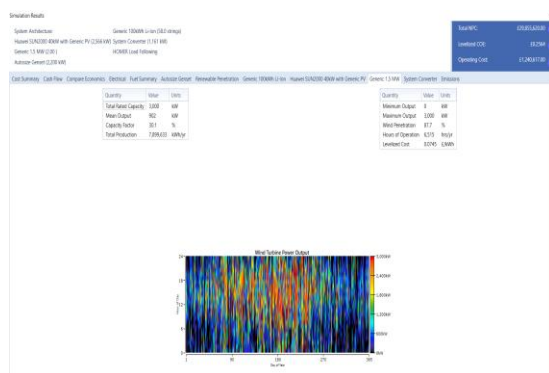
شکل شماره ۴، ناحیه دما را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که دمای هوا در ماه جولای حدود $23/5$ درجه سانتی‌گراد است که بر توان خروجی پنل‌های خورشیدی تأثیر می‌گذارد. همچنین، کم‌ترین دما در ماه ژانویه رخ خواهد داد که برابر با 3 درجه سانتی‌گراد است.

با توان ۱۱۶۱ کیلووات و ۵۸ عدد باتری ۱۰۰ کیلوواتی است. هزینه سرمایه‌گذاری این سیستم ۲۹,۹ میلیون یورو است و هزینه تولید هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی ۰/۲۵۶ یورو است. این سیستم سالیانه ۲۱۳۰ مگاوات انرژی الکتریکی تولید می‌کند که ۷۶/۳٪ آن توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود.



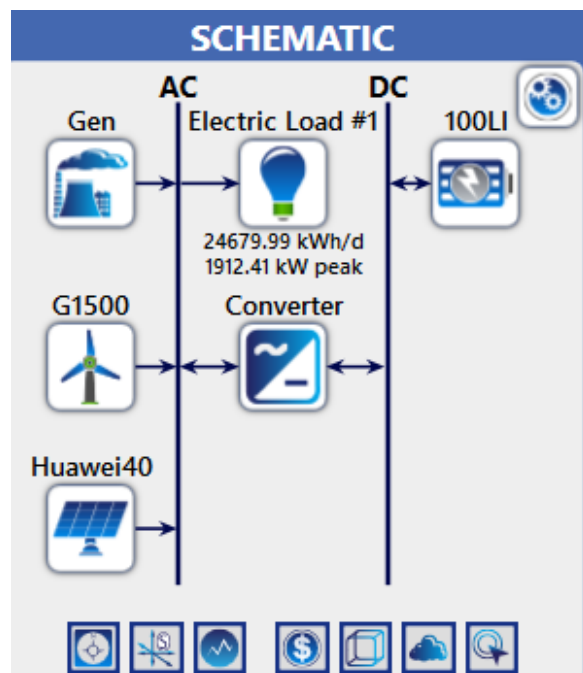
شکل ۶: سیستم بهینه پیشنهادی توسط نرم‌افزار هومر.

در شکل شماره ۷، اطلاعات کامل توربین بادی نشان داده شده است. توان نامی این توربین بادی ۱۵۰۰ کیلووات است و میانگین انرژی الکتریکی خروجی از آن ۹۰۲ کیلووات است. تولید انرژی الکتریکی سالانه این توربین بادی برابر با ۷۹۰۰ مگاوات است و ساعات عملکرد این توربین بادی ۶۵۱۵ ساعت در طول سال است. همچنین هزینه تولید هر کیلووات انرژی الکتریکی توسط این توربین بادی ۰/۷۴۵ یورو است.



شکل ۷: اطلاعات کامل توربین بادی.

در شکل شماره ۸، تحلیل اقتصادی پژوهش صورت گرفته توسط نرم‌افزار هومر نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که بیشترین هزینه مربوط به دیزل ژنراتور است که در زمان نبود خورشید و باد به تأمین بار می‌پردازد. هزینه سرمایه‌گذاری این سیستم ۲۹/۹



شکل ۵: شماتیک سیستم هیبریدی طراحی شده.

در جدول شماره ۱، اطلاعات اقتصادی و اجزا استفاده در سیستم پیشنهادی نشان داده شده است.

جدول ۱: اطلاعات اقتصادی.

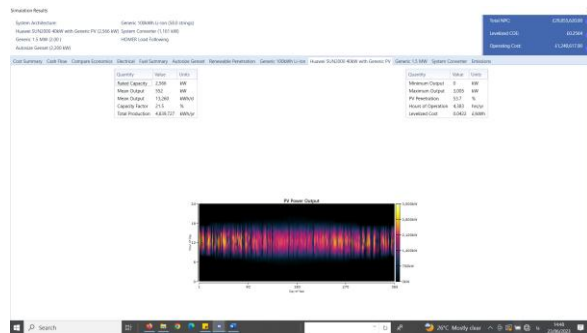
مدل	قیمت	توان	نام اجزا
-	۳ میلیون دلار	۱,۵ مگاوات	توربین بادی
هواوای ۴۰	۱۵۰۰ دلار به	با توجه به	پنل خورشیدی
-	۵۰۰ دلار به	با توجه به	سیستم متغیر است
-	ازای هر کیلووات	سیستم متغیر است	دیزل ژنراتور
لیتیوم یون	۷۰,۰۰۰ دلار	۱۰۰ کیلووات	باتری
-	۳۰۰ دلار به	با توجه به	اینورتر
-	ازای هر کیلووات	سیستم متغیر است	

۳. نتایج

در شکل شماره ۶، نتایج شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار هومر نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که سیستم بهینه پیشنهادی توسط نرم‌افزار هومر ۲ عدد توربین بادی ۱۵۰۰ کیلوواتی، اینورتر

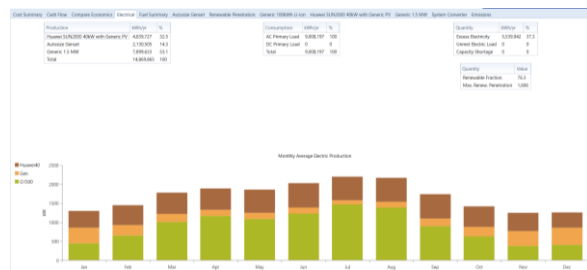
* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: h.r.1997@gmail.com

لازم به ذکر است که نرخ توان نامی پنل‌های خورشیدی ۲۵۶۶ کیلووات ساعت است.



شکل ۱۰: اطلاعات کامل خروجی از پنل‌های خورشیدی.

شکل شماره ۱۱، اطلاعات کامل انرژی الکتریکی تولید شده توسط سیستم پیشنهادی، نشان داده شده است. این سیستم، سالانه ۱۴۸۶۹۸۶۵ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی تولید می‌کند که ۹۰۰۸۱۹۷ کیلووات سالانه انرژی مورد نیاز است و ۳۷/۳٪ انرژی الکتریکی می‌تواند به شبکه سراسری برق فروخته شود. بیش‌ترین سهم تولید انرژی الکتریکی را توربین بادی با ۵۳/۱٪ انجام خواهد داد.



شکل ۱۱: اطلاعات کامل انرژی الکتریکی تولید شده.

در شکل شماره ۱۲، آنالیز حساسیت برای تغییرات قیمت سوخت از ۰/۵ یورو تا ۱/۵ یورو برای هر لیتر بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که با تغییرات قیمت سوخت سیستم بهینه نیز دچار تغییراتی خواهد شد. مشاهده می‌شود که با افزایش قیمت سوخت میزان استفاده از باتری و انرژی‌های تجدید افزایش می‌یابد و با کاهش قیمت سوخت، میزان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به عدم صرفه اقتصادی افزایش خواهد یافت.

میلیون یورو است که ۱۲/۳ میلیون یورو از آن مربوط به دیزل ژنراتور است و هزینه توربین بادی نیز ۷/۸ میلیون یورو برآورد شده است.



شکل ۸: تحلیل اقتصادی.

در شکل شماره ۹، مشخصات کامل باتری مورد استفاده در این پژوهش نشان داده شده است. باتری در نظر گرفته شده، طول عمر ۱۴/۴ ساله دارد و انرژی ورودی به باتری برابر با ۱۲۶۹ مگاوات ساعت در سال است. میزان تلفات این باتری در سال ۱۲۷ مگاوات در سال است. ولتاژ این باتری که به صورت سری بهم متصل می‌شوند تا حدود ۶۰۰ ولت خواهد رسید.



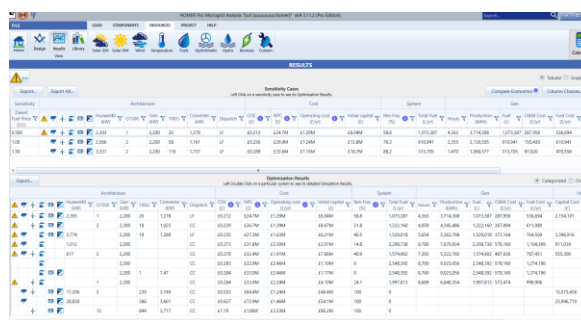
شکل ۹: اطلاعات کامل باتری.

در شکل شماره ۱۰، اطلاعات کامل پنل خورشیدی نشان داده شده است. پنل‌ها به طور میانگین ۵۵۲ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی تولید می‌کنند و ساعات عملکرد سالانه آن‌ها ۴۳۸۳ کیلووات است. هزینه هر کیلووات انرژی الکتریکی تولید شده توسط پنل‌های خورشیدی ۰/۴۲۲ یورو است. پنل‌های خورشیدی در این پروژه ۲۱/۴٪ از کل بار مصرفی کارخانه را تأمین خواهند کرد. همچنین،

پنل‌های خورشیدی ۰/۰۴۲۲ یورو است. پنل‌های خورشیدی در این پروژه، ۲۱/۴٪ از کل بار مصرفی کارخانه را تأمین خواهند کرد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که با تغییرات قیمت سوخت سیستم بهینه نیز دچار تغییراتی خواهد شد. مشاهده می‌شود که با افزایش قیمت سوخت میزان استفاده از باتری و انرژی‌های تجدید افزایش می‌یابد و با کاهش قیمت سوخت، میزان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به عدم صرفه اقتصادی افزایش خواهد یافت.

منابع

- [1]. M. Rezaei, et al, "Investigation of the optimal location design of a hybrid wind-solar plant: A case study" International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 43, no. 1, pp. 100-114, 2018.
- [2]. D. Groppi, et al, "Analysing economic and environmental sustainability related to the use of battery and hydrogen energy storages for increasing the energy independence of small islands," Energy Conversion and Management, pp. 64-76, 2018.
- [3]. C. Li, "Techno-economic study of off-grid hybrid photovoltaic/battery and photovoltaic/battery/fuel cell power systems in Kunming," China. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, Vol. 41, no. 13, pp. 1588-1604, 2019.
- [4]. G. Resch, et al, "Potentials and prospects for renewable energies at global scale," Energy policy, Vol. 36, no. 11, pp. 4048-4056, 2008.
- [5]. G. Hernández Galvez, et al, "Selection of hybrid systems with hydrogen storage based on multiple criteria: application to autonomous systems and connected to the electrical grid," International journal of energy research, Vol. 38, no. 6, pp. 702-713, 2014.
- [6]. M. A. V. Rad, et al, "Techno-economic analysis of a hybrid power system based on the cost-effective hydrogen production method for rural electrification," a case study in Iran. Energy, no. 190, pp. 116421, 2020.
- [7]. A. Kadri, et al, "Energy management and control strategy for a DFIG wind turbine/fuel cell hybrid system with super capacitor storage system," Energy, no. 192, pp. 116518, 2020.
- [8]. Y. Devrim, L. Bilir, "Performance investigation of a wind turbine-solar photovoltaic panels-fuel cell hybrid



شکل ۱۲: آنالیز حساسیت برای قیمت سوخت.

۴. نتیجه‌گیری کلی

امروزه تولید انرژی و استفاده پایدار، یکی از اصلی‌ترین مشکلات جوامع است. رشد سریع مصرف انرژی در جهان، افزایش تقاضای انرژی را به دنبال دارد، که با توجه به محدود بودن منابع سوخت‌های فسیلی و نیز روبرو بودن جامعه جهانی با مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، استفاده از منابع انرژی پاک، به امری مهم در قرن بیست و یکم تبدیل شده است. در همین راستا، در این پژوهش به تأمین بار مصرفی یک کارخانه با استفاده سیستم‌های تجدیدپذیر ترکیبی به صورت منفصل از شبکه پرداخته شده است. بار مصرفی این کارخانه به طور میانگین روزانه ۲۵ مگاوات است و اوج بار مصرفی آن ۱۹۱۲ کیلووات است. سیستم پیشنهادی، شامل دیزل ژنراتور، توربین بادی، پنل خورشیدی، باتری و اینورتر است. هزینه تولید هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی ۰/۲۵۶ یورو است. این سیستم سالیانه ۲۱۳۰ مگاوات انرژی الکتریکی تولید می‌کند که ۷۶/۳٪ آن توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود. هزینه خالص این سیستم در طول ۲۵ سال ۲۹/۹ میلیون یورو است که ۱۲،۳ میلیون یورو از آن مربوط به دیزل ژنراتور است و هزینه توربین بادی نیز ۷/۸ میلیون یورو برآورد شده است. توان نامی توربین بادی مورد استفاده ۱۵۰۰ کیلووات است و میانگین انرژی الکتریکی خروجی از آن ۹۰۲ کیلووات است. تولید انرژی الکتریکی سالانه این توربین بادی برابر با ۷۹۰۰ مگاوات است و ساعات عملکرد این توربین بادی، ۶۵۱۵ ساعت در طول سال است. این سیستم، سالانه ۱۴،۸۶۹،۸۶۵ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی تولید می‌کند که ۹،۰۰۸،۱۹۷ کیلووات سالانه انرژی مورد نیاز است و ۳۷/۳٪ انرژی الکتریکی می‌تواند به شبکه سراسری برق فروخته شود. بیش‌ترین سهم تولید انرژی الکتریکی را توربین بادی با ۵۳،۱٪ انجام خواهد داد. همچنین، پنل‌های خورشیدی به طور میانگین ۵۵۲ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی تولید می‌کنند و ساعات عملکرد سالانه آن‌ها ۴۳۸۳ کیلووات است. هزینه هر کیلووات انرژی الکتریکی تولید شده توسط

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: h.r.1997@gmail.com

system installed at İncek region-Ankara," Turkey. Energy Conversion and Management, no. 126, pp. 759-766, 2016.

[۹]. روشندل، "مدل سازی سیستم ترکیبی توربین بادی-پیل سوختی و سهم پیل سوختی در تأمین تقاضای الکتریکی در یک منطقه نمونه،" نشریه مهندسی و مدیریت انرژی، دوره ۳، شماره ۲، ص. ۱۹-۲۰، ۲۰۱۲.

[۱۰]. براتی، "کنترل توان و فرکانس بار مبتنی بر روش کنترلی شیب افقی بهبودیافته در سیستم ترکیبی توربین بادی، فتوولتائیک و پیل سوختی در ریزشبه های مستقل،" نشریه مهندسی و مدیریت انرژی، دوره ۱، شماره ۶، ص. ۲۸-۳۹، ۲۰۱۶.

[۱۱]. ج. پیرکندی، ح. منفرد، "شبیه سازی ترمودینامیکی یک سیستم هیبریدی توربین باد و پیل سوختی با کاربرد در یک سیستم مستقل از شبکه،" مدل سازی در مهندسی، دوره ۵۳، شماره ۱۶، ص. ۳۷-۲۵، ۲۰۱۸.

[12].Y. Yang, et al, "Using multi-criteria analysis to prioritize renewable energy home heating technologies," Sustainable Energy Technologies and Assessments, no. 29, pp. 36-43, 2018.

[13].E. Diemuodeke, et al, "Optimal mapping of hybrid renewable energy systems for locations using multi-criteria decision-making algorithm," Renewable Energy, no. 134, pp. 461-477, 2019.

Supplying the consumption load of a factory using hybrid renewable systems separately from the grid

Hanie Rostamzade^{1*}, Reza Shahraki Shahdabadi².

- 1- Department of Mechanical Engineering - Faculty of Engineering - Bozormehr Qaenat University - Qaen – Iran.
- 2- Department of Mechanical Engineering - Faculty of Mechanical Engineering – K.N.Toosi University of Technology Tehran - Tehran – Iran.

Abstract

Microgrids with combined renewable energy sources are on the rise and are a promising solution for electrifying remote areas where extending the distribution network is not feasible or cost-effective. Autonomous microgrids with environmentally friendly hybrid energy sources are a cost-effective solution that ensures system reliability and energy security. In this regard, in this research, the supply of consumption load of a factory using hybrid renewable systems has been discussed separately from the grid. The average daily consumption of this factory is 25 megawatts and its consumption is 1912 KW. The amount of interest rate in this study is 8% and the life of the project is 25 years. The proposed system includes diesel generator, wind turbine, solar panel, battery and inverter. The results show that the most optimal system for supplying the consumption load of this factory is 2566 KW solar panels, 215 MW wind turbines, 2200 KW diesel generators, 58100 KW batteries and 1161 KW inverters. The cost of producing each kilowatt of energy by this system is 0.256 dollars and the initial investment cost will be 13.8 million dollars. The amount of fuel consumed by this generator is 610941 liters per year and its working hours will be 2355 hours.

Keywords: renewable energy, hybrid power plant, Feasibility, Homer Pro software.