Journal Of Energy Conversion
Volume: 8, Issue: 2, 2021

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۸، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰

طراحی فنی و اقتصادی نیروگاه تولید پراکنده خورشیدی-بادی به همراه باتری برای منطقه دور از شبکه سراسری برق در شهرستان اهواز

فائزه یوسفوند[۱]، سجاد یوسفوند[۲]، مرضیه لطفی[۳و*]، محمد فیروززاده[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، shadi.yousefvand74@gmail.com
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق، موسسه جویندگان علم کوهدشت، sajaduosefvand@yahoo.com
*۳- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول،marzyeh.lotfi@gmail.com
۴- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، Mohammad.firooz@jsu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۵، بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۰۹، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۰

چکیده

در این مقاله طراحی یک نیروگاه مقیاس کوچک خورشیدی - بادی به همراه ذخیره‌ساز باتری جدا از شبکه سراسری برق برای منطقه‌ای دور از شبکه سراسری برق در حومه شهرستان اهواز با هدف حداقل‌سازی هزینه‌های اجرای طرح انجام شده است. برای دستیابی به این هدف، از نرم‌افزار Homer استفاده شده است. میزان بار مصرفی، شدت تابش خورشید و سرعت باد در منطقه با استفاده از این نرم افزار و با توجه به مختصات جغرافیایی منطقه موردنظر به‌دست‌آمده است. سپس انتخاب اندازه منابع انرژی تولید پراکنده در نیروگاه، برای این منطقه به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی و بـا در نظر گرفتن قیود قابلیت اطمینان سیستم تعریف شد. برای حل مسئله بهینه‌سازی نیز، الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) مورداستفاده قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که در طرح ارائه شده، تقریباً ۴۵٪ از هزینه کلی سیستم صرف خرید، نگهداری و تعویض باتری می‌شود درحالی‌که سهم منابع خورشیدی و بادی از هزینه کل، به ترتیب حدود ۱۵٪ و ۲۰٪ می‌باشد. هزینه مبدل-ها و زمین نیز تقریباً ۵٪ و ۱۵٪ را به خود اختصاص می‌دهند.

* **عهده‌دار مکاتبات:** marzyeh.lotfi@gmail.com

کلمات کلیدی: طراحی نیروگاه مقیاس کوچک، فتوولتائیک، توربین بادی، باتری، کاهش هزینه.

۱- مقدمه

تأمین انرژی موردنیاز صنایع و همین‌طور واحدهای مسکونی، یکی از دغدغه‌های دولت‌ها در سراسر جهان می‌باشد. طی سال‌هایی طولانی، این انرژی با احتراق سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شد که منجر به ایجاد مشکلات زیست‌محیطی فراوانی در جهان شد. ازاین‌رو، کشورهای جهان در سال ۱۹۹۲ در پیمانی که به پیمان کیوتو معروف شد، متعهد شدند تا در راستای کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای گام بردارند[۱, ۲]. برای تحقق این هدف، بهترین راه، استفاده از فناوری‌های نو و پاک در تولید الکتریسیته است. انرژی خورشید [۳, ۴]، باد [۵, ۶]، زمین‌گرمایی [۷, ۸]، زیست‌توده [۹, ۱۰]و امواج دریا [۱۱] از مهم‌ترین راه‌های تولید پاک الکتریسیته هستند که در سال‌های اخیر بسیار موردتوجه بوده‌اند. کشور ایران نیز به دلیل موقعیت جغرافیایی فوق‌العاده‌ای، این پتانسیل را دارد که تا سال ۲۰۳۰ بتواند کل انرژی موردنیاز خود را از طریق روش‌های تجدیدپذیر

نحوه استناد به این مقاله: فائزه یوسفوند، سجاد یوسفوند، مرضیه لطفی، محمد فیروززاده. طراحی فنی و اقتصادی نیروگاه تولید پراکنده خورشیدی-بادی به همراه باتری برای منطقه دور از شبکه سراسری برق در شهرستان اهواز. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۰; ۸ (۲) :۵۲-۶۴

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.5.1]

تأمین نماید [۱۲]. از بین انواع مختلف روش‌هایی که ذکر شد، تمرکز بر استفاده از دو منبع انرژی فتوولتائیک و باد در جهان، بیش از سایر روش‌هاست. از همین‌رو، تحقیقات بسیاری جهت بهینه‌سازی آن‌ها در حال انجام است [۱۳-۱۸].

تأمین برق موردنیاز برای روستاهای دور از شبکه سراسری برق، یکی از مشکلات اساسی برای شرکت‌های توزیع برق می‌باشد. زیرا باید خطوطی طولانی جهت انتقال برق احداث شده تا برق مورد نیاز تعداد کمی خانوار تأمین شود. این کار از لحاظ اقتصادی به‌صرفه نبوده و همچنین از دیدگاه فنی به دلیل افزایش طول مسیر، افزایش تلفات، کاهش قابلیت اطمینان و کیفیت توان، نیز مورد تأیید نمی‌باشد. در نتیجه برای چنین مناطقی مناسب است از منابع انرژی تولید پراکنده استفاده شود [۱۹]. از طرفی اکثر مناطق دور از شبکه سراسری برق، صعب‌العبور بوده و تأمین سوخت برای تولید برق برای آن‌ها، بسیار دشوار است. برای چنین مناطقی، مناسب است که از منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر همچون منابع خورشیدی و بادی استفاده شود. اما موضوعی که اهمیت بالایی دارد، طراحی اقتصادی و فنی سیستم هیبرید تولید توان با در نظر گرفتن محدودیت‌های ریزشبکه می‌باشد.

مازئو و همکاران [۲۰] تعیین ظرفیت بهینه منابع را با هدف کاهش هزینه و با رعایت ملاحظاتی همچون افزایش قابلیت اطمینان، حفظ تعادل بین عرضه و تقاضای توان اکتیو و راکتیو موردبررسی قراردادند. جاود و همکاران [۲۱] نیز تعیین اندازه بهینه منابع با رویکرد کاهش هزینه‌های طراحی و اجرای طرح را با در نظر گرفتن محدودیت انتشار دی‌اکسید کربن به‌عنوان قید مسئله، در زمینه طراحی بهینه ریزشبکه‌ها را مورد ارزیابی قرار دادند. آکوئنا و همکاران [۲۲]به طراحی بهینه ریزشبکه درحالت متصل به شبکه سراسری برق با هدف کاهش هزینه و آلایندگی زیست‌محیطی پرداختند. در این مرجع، هزینه آلایندگی زیست‌محیطی در تابع هدف وارد شده است. ملکی و عسکر زاده [۲۳]در زمینه مقایسه‌ی استفاده از یک دیزل ژنراتور با یک سیستم ترکیبی فتوولتائیک - بادی واقع در شهر رفسنجان، مطالعاتی انجام دادند. پژوهش مذکور مبتنی بر دو دیدگاه اقتصادی و زیست‌محیطی بود. لی و همکاران [۲۴]یک ریزشبکه متصل به شبکه سراسری برق را برای انجام مطالعات انتخاب کردند و با در نظر گرفتن توانایی فروش برق به شبکه بالادست، طراحی ریزشبکه انجام شد. همچنین تعیین اندازه بهینه منابع پراکنده انرژی از طریق کاهش هزینه‌ها و با در نظر گرفتن محدودیت‌های توان تولیدی توربین‌های بادی انجام شد.

نشان داده شد که اندازه‌ی سیستم ترکیبی فتوولتائیک – بادی، می‌تواند به‌گونه‌ای تعیین شود که علاوه بر تأمین انرژی مورد نیاز، کمترین اثرات زیست‌محیطی و بهترین توجیه‌پذیری اقتصادی را به همراه داشته باشد [۲۵]. هوو و همکاران، به‌منظور افزایش دقت در شبیه‌سازی‌ها، اثرات تغییر چگالی هوا و راندمان تبدیل انرژی در صفحات خورشیدی را نیز در محاسبات خود در نظر گرفتند[۲۶]. رادور و پاتیدار [۲۷] نیز در پژوهش خود، افزایش قابلیت اطمینان سیستم را به‌عنوان یک قید لحاظ نمودند. متغیرهای تصمیم‌گیری در پژوهش مذکور شامل تعداد آرایه‌های خورشیدی، تعداد توربین‌های بادی، ارتفاع نصب توربین‌ها و زاویه شیب صفحات خورشیدی بوده است. ساتانارایانا و داهیا [۲۸] در مطالعات خود، ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده را با استفاده از روش بهینه‌سازی پاسخ سطحی و با کمترین هزینه و کمترین احتمال از دست رفتن بار تعیین کردند.

در این مقاله، طراحی بهینه یک نیروگاه مقیاس کوچک با منابع تولید پراکنده خورشیدی - بادی به‌همراه ذخیره‌ساز باتری برای منطقه دور از شبکه سراسری برق در شهرستان اهواز با رویکرد کاهش هزینه و با در نظر گرفتن قیود قابلیت اطمینان، توسط نسخه اصلاح‌شده الگوریتم ازدحام ذرات انجام‌شده است. یکی از مواردی که در محاسبات و ملاحضاتِ این پژوهش وجود دارد، این است که ظرفیت هر یک از منابع با توجه به اقلیم منطقه موردنظر، توسط الگوریتم پیشنهادی ازدحام ذرات[1] (PSO) به‌گونه‌ای انتخاب شوند که کمترین میزان هزینه طراحی به دست آید.

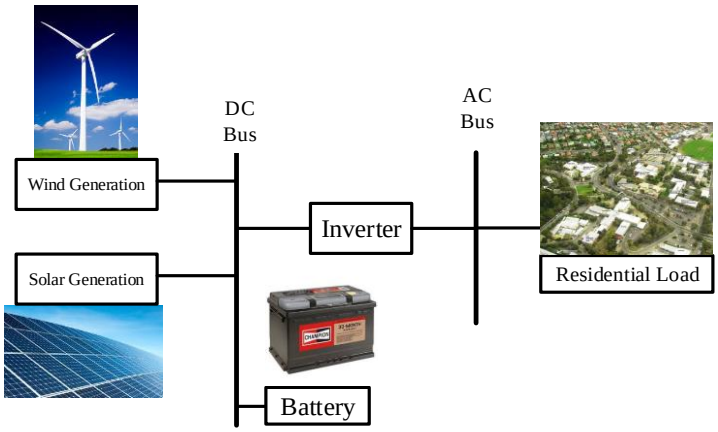
[1] Particle Swarm Optimization Algorithm

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.5.1]

۲- مدل‌سازی نیروگاه ترکیبی مقیاس کوچک

خورشید و باد از عمومی‌ترین منابع تجدیدپذیر انرژی می‌باشند و سیستم‌های ترکیبی متشکل از پنل‌های خورشیدی و توربین بادی می‌تواند به‌طور وسیع و مناسبی نیازهای شبکه را تأمین نماید. از طرفی به دلیل عدم قطعیت تابش خورشید و سرعت باد، انرژی تولیدی آن‌ها غیرقابل پیش‌بینی بوده و بنابراین بایستی جهت افزایش قابلیت اطمینان و تأمین پیوسته بار، ظرفیت این نیروگاه‌ها و سیستم‌های ذخیره‌ساز آن‌ها بیشتر از مقدار تقاضای بار در نظر گرفته شود. در سیستم‌های ترکیبی، با ترکیب کردن دو یا چند منبع، قابلیت پیش‌بینی تولید افزایش می‌یابد و درواقع این منابع کمبودهای یکدیگر را تا حدودی پوشش می‌دهند. سیستم هیبرید موردمطالعه در تحقیق حاضر، سیستم ترکیبی فتوولتائیک-بادی به همراه ذخیره‌ساز باتری می‌باشد که ساختاری مشابه شکل (۱) دارد.

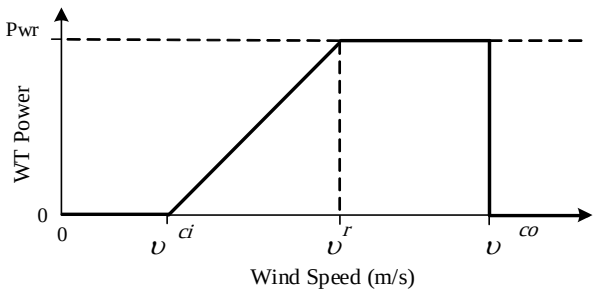


شکل ۱- ساختار سیستم هیبرید بادی، خورشیدی و باتری[۲۹]

توان خروجی هر آرایه خورشیدی را می‌توان از رابطه (۱) به دست آورد [۲۹]:

$$P_{PV}^{t} = N_{PV}\left(f_{PV} P_{PV-r}\left[\frac{G}{G_{STC}} + \alpha_T (T - T_{STC})\right]\right) \qquad (۱)$$

در رابطه فوق، N_{PV} تعداد آرایه‌های خورشیدی، f_{PV} ضریبی برای در نظر گرفتن تلفات و کاهش تولید توان مثلاً به دلیل پوشش برف و یخ، P_{PV-r} توان خروجی نامی آرایه خورشیدی برحسب وات، G_{STC} و T_{STC} به ترتیب میزان تابش و دمای خورشید روی سلول فتوولتائیک در شرایط استاندارد هستند. همچنین G و T به ترتیب میزان تابش و دمای خورشید در زمان جاری و α_T ضریب دمای توان آرایه فتوولتائیک می‌باشند. شکل (۲) نمودار توان خروجی یک توربین بادی را نمایش می‌دهد که می‌توان برای آن، رابطه (۲) را بیان کرد [۳۰]:



شکل ۲- نمودار توان خروجی یک توربین بادی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.5.1]

$$P_{wt}^{t}=\begin{cases}0 & V_w<V_{ci} \quad or \quad V_w>V_{co}\\ N_{wt}P_{wt-r}\dfrac{V_w-V_{ci}}{V_r-V_{ci}} & V_{ci}<V_w<V_r\\ N_{wt}P_{wt-r} & V_r<V_w<V_{co}\end{cases} \qquad (۲)$$

در رابطه (۲)، Pwt-r توان خروجی نامی توربین بادی برحسب کیلووات، Vw سرعت باد برحسب متر بر ثانیه، Vr سرعت نامی باد برحسب متر بر ثانیه، Vci و Vco به ترتیب سرعت‌های قطع پایین و قطع بالای توربین بادی برحسب متر بر ثانیه می‌باشند. برای تأمین بار در هر لحظه باید توان تولیدی توسط منابع بادی و خورشیدی با میزان بار مقایسه گردد که بر این اساس، سه حالت زیر را می‌توان برای شارژ و دشارژ باتری‌ها در نظر گرفت:

حالت اول: اگر توان خروجی کل توربین‌های بادی و پنل‌های فتوولتائیک برابر با توان بار باشد، ظرفیت باتری تغییر نخواهد کرد و تنها به دلیل مصرف داخلی، به‌اندازه کمی دشارژ خواهد شد [۳۰]:

$$P_{Batt}^{t}=P_{Batt}^{t-1}\times(1-\sigma) \qquad (۳)$$

در رابطه فوق P_{batt}^{t-1} و P_{batt}^{t} به ترتیب کمیت‌های شارژ و دشارژ بانک باتری در زمان t-1 و t و σ نرخ دشارژ داخلی باتری می‌باشند.

حالت دوم: وقتی مجموع توان خروجی توربین‌های بادی و پنل‌های خورشیدی بیشتر از توان بار باشد، بانک باتری در حالت شارژ قرار خواهد گرفت و می‌تواند تا مقدار بیشینه خود شارژ گردد.

حالت سوم: اگر مجموع توان خروجی توربین‌های بادی و پنل‌های فتوولتائیک کمتر از توان درخواستی بار باشند، باتری در حالت دشارژ قرار خواهد گرفت و با توجه به ظرفیت نامی خود تا مقداری محدود دشارژ می‌شود [۳۰]: مقدار شارژ یا دشارژ باتری در زمان t از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P_{Batt}^{t}=P_{Batt}^{t-1}\times(1-\sigma)+[P_{PV}^{t}+P_{wt}^{t}-\frac{P_{L}^{t}}{\eta_{inv}}] \qquad (۴)$$

در رابطه (۴)، انرژی تقاضا شده در زمان مشخص t و η_{inv} بازده اینورتر می‌باشند. همچنین P_{PV} و P_{wt} به ترتیب توان خورشیدی و بادی در زمان t می‌باشند.

۳- تابع هدف و محدودیت‌ها

در این مقاله، هدف اصلی، طراحی بهینه سیستم ترکیبی بادی - خورشیدی به همراه باتری جهت تأمین مطمئن بار با کمترین هزینه و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات است. تابع هدف پیشنهادی مطابق با رابطه (۵) می‌باشد [۳۰].

$$Cost=C_{inv}+C_{main}+C_{ENS} \qquad (۵)$$

که در رابطه فوق، Cinv هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، Cmain هزینه تعمیر و نگهداری و CENS جریمه انرژی تأمین است. هزینه سرمایه گذاری اولیه به صورت رابطه (۶) محاسبه می‌شود [۳۰]:

$$C_{inv}=(N_{wt}\times C_{wt})+(N_{PV}\times C_{PV})+(N_{Batt}\times C_{Batt})+(N_{inv}\times C_{inv})+C_{gnd} \qquad (۶)$$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.5.1]

که NWt و CWt به ترتیب تعداد توربین‌های بادی و هزینه خرید و نصب هر توربین بادی است. NPV و CPV به ترتیب تعداد پنل‌های خورشیدی و هزینه واحد خرید و نصب پنل می‌باشد. NBatt تعداد باتری‌ها و Ninv تعداد اینورترهای مورد استفاده است. هزینه زمین برای نصب منابع از رابطه (۷) بدست می‌آید [۳۰].

$$C_{gnd} = [(\frac{N_{PV} \times A_{PV}}{\alpha_{PV}}) + (N_{Batt} \times A_{Batt}) + (P_{wt-r} \times \alpha_{gnd} \times 1.2)] \times T_{gnd} \quad (۷)$$

که APV و ABatt به ترتیب مساحت هر پنل خورشیدی و مساحت اشغال شده توسط هر باتری هستند. پارامتر T_{gnd} نیز قیمت هرمتر مربع زمین می باشد. براساس اطلاعات اخذ شده از سازمان انرژی‌های نو، برای نصب توربین‌های بادی، بازای هر مگاوات توربین بادی یک هکتار زمین تخصیص داده می‌شود. از این‌رو ضریب ، نسبت تخصیص هر متر مربع زمین برای هر توربین بادی با توان نامی یک مگاوات است و ضریب ۱/۲، ضریب بالاسری برای در نظرگرفتن جاده ارتباطی بین توربین‌های بادی است. همچنین در این معادله ضریب ، برای در نظرگرفتن اثر سایه در پنل‌های خورشیدی می‌باشد. در این تحقیق، طول دوره‌ی برنامه‌ریزی ۲۰ ساله می‌باشد. باتری و اینورتر، در طول دوره برنامه‌ریزی چندین بار جایگزین می‌شوند. زیرا طول عمر آن‌ها کمتر از دوره برنامه‌ریزی شده می‌باشد. هزینه این تجهیزات با توجه به روابط (۸) و (۹) محاسبه می‌شود [۳۰]:

$$C_{Batt} = P_{Batt} \times (1 + \frac{(1+r)^5}{(1+i)^5} + \frac{(1+r)^{10}}{(1+i)^{10}} + \frac{(1+r)^{15}}{(1+i)^{15}}) \quad (۸)$$

$$C_{inv} = P_{inv} \times (1 + \frac{(1+r)^{10}}{(1+i)^{10}}) \quad (۹)$$

طول عمر باتری و اینورتر به ترتیب ۵ سال و ۱۰ سال در نظر گرفته شده است. در روابط فوق، r و i به ترتیب نرخ تورم و نرخ بهره می‌باشند. نرخ تورم و انگیزه به ترتیب ۱۰٪ و ۵٪ در نظر گرفته شده است [۳۰]. هزینه تعمیرات و نگهداری برای توربین بادی به ازای هر مگاوات ساعت توان تولیدی آن محاسبه می‌شود، ولی برای پنل‌های خورشیدی هزینه تعمیر و نگهداری شامل هزینه شستشوی آن‌ها و جایگزینی مقدار استهلاک آن در طول سال است. هزینه تعمیر و نگهداری برای توربین‌های بادی و آرایه‌های خورشیدی با استفاده از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود [۳۰].

$$C_{main} = [(C_{main}^{wt} \times P^{wt}) + N_{PV} + A_{PV} \times C_{PV}] \quad (۱۰)$$

در رابطه فوق C_{main}^{wt} ، هزینه تعمیرات و نگهداری به ازای هر کیلووات ساعت انرژی توان تولیدی، توسط توربین بادی است. CPV ، هزینه شستشوی و تعمیر و نگهداری پنل‌های خورشیدی توسط سیستم‌های پرفشار به ازای هر متر مربع می‌باشد [۳۰].

در صورت عدم تأمین انرژی مورد نیاز مشترکین، جریمه‌ای در نظر گرفته شده است که مقدار این جریمه توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{ENS} = ENS \times \pi \quad (۱۱)$$

که در رابطه فوق ENS، میزان انرژی تأمین نشده و π ، هزینه هر کیلووات انرژی تأمین نشده می‌باشد. در ادامه، محدودیت‌های حاکم بر مسئله معرفی شده‌اند. در زمان t، مقدار شارژ بانک باتری باید در محدوده‌ی $P_{Batt}^{\min} \le P_{Batt}^{t} \le P_{Batt}^{\max}$ باشد که در رابطه‌ی گفته شده، $P_{Batt}^{\max}$ و $P_{Batt}^{\min}$ به ترتیب بیشینه مقدار شارژ بانک باتری و کمینه مقدار شارژ بانک باتری هستند. همچنین محدودیتی برای قابلیت

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.5.1]

اطمینان سیستم نیز در نظر گرفته شد. شاخص قابلیت اطمینان (LPSP)، میزان احتمال از دست رفتن توان می‌باشد که به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود [۳۰]:

$$LPSP = \frac{\sum_{t=1}^{T} P_{defict}(t)}{\sum_{t=1}^{T} P_L(t)} \qquad (۱۲)$$

در رابطه فوق، $P_{defict}(t)$ مقدار توانی است که سیستم موفق به تولید آن نشده است و $P_L(t)$ مقدار توان بار مصرفی می‌باشد. بایستی شاخص LPSP[1] در سیستم مورد مطالعه کمتر از ۲٪ باشد.

۴- الگوریتم ازدحام ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در سال ۱۹۹۵ توسط جیمز کندی و راسل ابرهارت معرفی گردید [۳۱]. در الگوریتم PSO تعدادی از ذرات در فضای جستجوی پخش شده‌اند. هر ذره مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضا که در آن قرار گرفته است محاسبه می کند. سپس با ترکیب اطلاعات محل فعلی‌اش و بهترین محلی که قبلاً در آن بوده است و همچنین اطلاعات یک یا چند ذره از بهترین ذرات موجود در جمع، جهتی را برای حرکت انتخاب می کند. پس از انجام حرکت جمعی، یک مرحله از الگوریتم به پایان می‌رسد. این مراحل چندین بار تکرار می شوند تا جواب مورد نظر به دست آید. ذره i ام در فضا دارای پنج خاصیت است:

۱) موقعیت ذره i در لحظه t ($x^i[t]$) ۲) تابع هدف متناظر با آن موقعیت

۳) سرعت ذره i در لحظه t ($v^i[t]$) ۴) بهترین موقعیت تجربه شده توسط ذره i ام در لحظه t ($x^{ibest}[t]$)

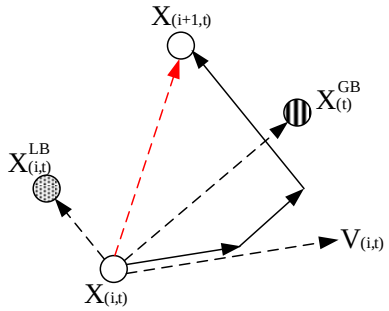
۵) مقدار تابع هدف متناظر با این بهترین موقعیت

بر این اساس سرعت و موقعیت ذره i ام در هر تکرار توسط روابط زیر به‌روزرسانی می‌شوند [۳۱]:

$$V^i[t+1] = D.w.v^i[t] + c_1 r_1 (x^{ibest}[t] - x^i[t]) + c_2 r_2 (x^{gbest}[t] - x^i[t]) \qquad (۱۳)$$

$$x^i[t+1] = x^i[t] + v^i[t+1] \qquad (۱۴)$$

در رابطه (۱۳) $x^{gbest}[t]$ بهترین مکان تجربه شده توسط جمعیت تا لحظه t است. w ضریب وزنی است و D ثابت میرایی در هر تکرار می‌باشد. r1 و r2 اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت می‌باشند. c1 و c2 به ترتیب ضرایب یادگیری شخصی و جمعی می‌باشند.



شکل ۳- دیاگرام برداری معادلات در حالت دوبعدی

[1] Loss of power supply probability

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.5.1]

۵- شبیه‌سازی و تحلیل نتایج

سیستم موردمطالعه، منطقه‌ای در حومه شهر اهواز با مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی می‌باشد. در شکل (۴)، موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه در نقشه نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که اطلاعات هواشناسی نظیر اطلاعات تابش و سرعت باد، توسط نرم افزار Homer تهیه شده است. مقادیر سرعت باد و تابش خورشیدی برای بازه زمانی ۲۴ ساعت در یک روز که اوج مصرف برق بوده است، محاسبه شده است. در شبیه‌سازی‌ها فرض شده است که ۲۵ مشترک در منطقه مورد مطالعه حضور دارند که با در نظر گرفتن امتیاز خریداری شده توسط هر مشترک با دیماند ۳/۵ کیلوولت آمپر (۱۶ آمپر)، مقدار حداکثر توان الکتریکی بدون در نظر گرفتن ضریب همزمانی به ۸۷ کیلووات خواهد رسید. مشخصات فنی و اقتصادی منابع تولید پراکنده و تجهیزات بکار گرفته شده در ریزشبکه در جداول (۱تا۴) خلاصه شده است.



شکل ۴- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

جدول ۱- اطلاعات فنی و اقتصادی توربین بادی

v_{ci}	v_i	v_{co}	$P_{wt\text{-}r}$	طول عمر	هزینه سرمایه اولیه	هزینه تعمیر و نگهداری
۳ *m/s*	۱۱ *m/s*	۲۵ *m/s*	۱ *kW*	۲۰ سال	۳۲۰۰$	***۱۰۰ $/year***

جدول ۲- اطلاعات فنی و اقتصادی پنل خورشیدی

T_{STC}	A_{pv}	$P_{pv\text{-}r}$	f_{pv}	G_{STC}	α_{pv}	طول عمر	هزینه سرمایه اولیه	هزینه تعمیر و نگهداری
۲۵ ^oC	۱/۶۴ m^2	۱ kW	۸۵ ٪	۱۰۰۰ W/m^2	۸۰ ٪	۲۰ سال	۲۰۰۰ $	**۳۳ $/year**

جدول ۳- اطلاعات فنی و اقتصادی باتری

DOD	S_{Batt}	Σ	η_{BC}	η_{BF}	*طول عمر*	A_{Batt}	هزینه سرمایه اولیه
۰/۲۵	۱ *kW*	۰/۰۰۲	۹۵ ٪	۱۰۰ ٪	۵ سال	۰/۱۲۵۲ m^2	***۱۰۰ $***

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.5.1]

جدول ۴- اطاعات فنی و اقتصادی اینورتر و شارژر

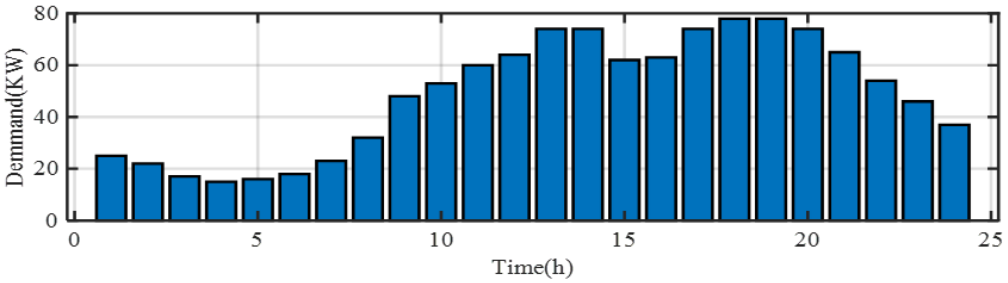
هزینه سرمایه اولیه	طول عمر	η_{invt}	S_{invt}
۷۰۰$	۱۰ سال	۸۵٪	۱ kW

برای راستی آزمایی نتایج بهینه‌سازی، علاوه بر الگوریتم ازدحام ذرات، از الگوریتم ژنتیک نیز جهت مقایسه استفاده شده است. پارامترهای الگوریتم‌های بهینه‌سازی بکار گرفته شده در جدول (۵) ذکر شده است.

جدول ۵- پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک

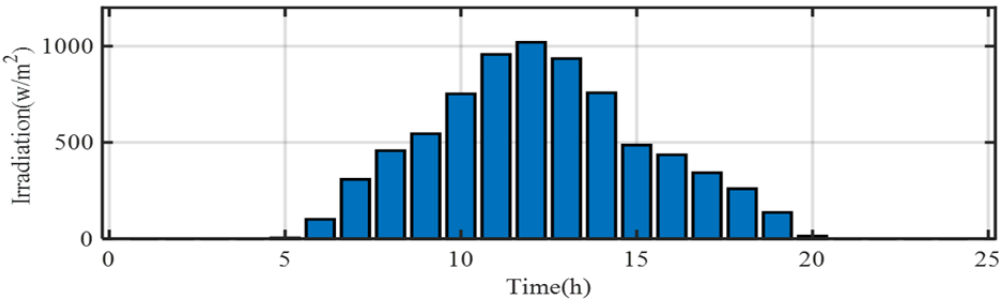
	تعداد جمعیت	تکرارهای الگوریتم	C_1	C_2	ω_{min}	ω_{max}	P_c	P_m
الگوریتم ازدحام ذرات	۱۰۰	۵۰	۲/۱	۲/۱	۰/۶	۰/۹	–	–
الگوریتم ژنتیک	۱۰۰	۵۰	–	–	–	–	۰/۲	۰/۸

تابع هدف مسئله حداقل‌سازی هزینه‌ها است که پارامترهای ورودی برای انجام بهینه‌سازی شامل اطلاعات آب و هوایی، میزان مصرف و هزینه تعمیر و نگهداری می‌باشد. میزان انرژی الکتریکی در خواست شده از سوی مشترکین در تاریخ ۲۶ جولای ۲۰۱۸ (چهارم مرداد ۱۳۹۷) در شکل (۵)، نشان داده شده است.



شکل ۵- میزان انرژی تقاضا شده

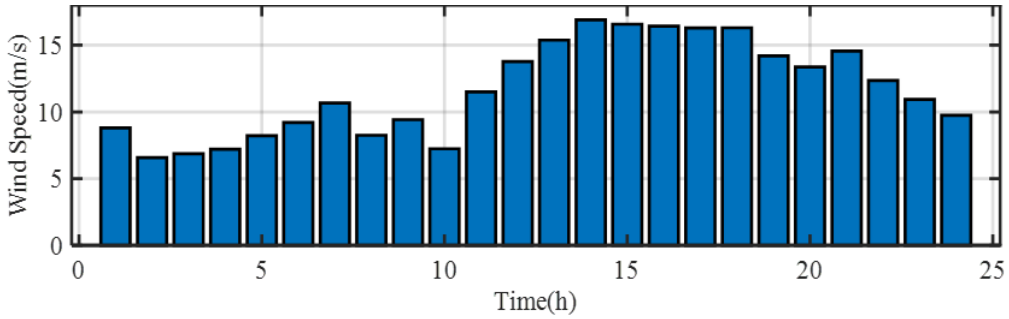
کل انرژی الکتریکی تقاضا شده در این روز، حدود ۱۱۷۲ کیلووات ساعت و حداکثر میزان بار حدود ۷۸ کیلووات در ساعات ۱۸ و ۱۹ تعیین شده است. کمترین میزان انرژی درخواستی در این روز، حدود ۱۸ کیلووات می‌باشد. این روز، اوج مصرف برق در طول سال می‌باشد. در صورتی که نیروگاه مقیاس کوچک بتواند در چنین روزی انرژی الکتریکی مورد نیاز را تامین کند در سایر روزها مشکلی نخواهد داشت. در شکل (۶) شدت تابش خورشید در منطقه به نمایش درآمده است. حداکثر شدت تابش خورشید در این روز حدود ۱۰۲۰ وات بر متر مربع در ساعت ۱۲ می‌باشد. لازم به ذکر است که در منطقه مورد مطالعه با توجه به تاریخ ذکر شده، از ساعت ۶ الی ۲۰ امکان استحصال انرژی خورشیدی وجود دارد.



شکل ۶- شدت تابش خورشید در منطقه موردمطالعه

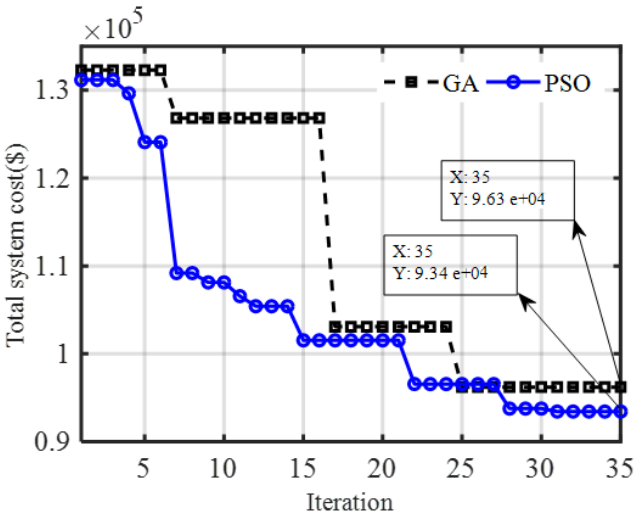
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.5.1]

در شکل(۷) نیز سرعت باد در منطقه مورد نظر، در طول روز نشان داده شده است.



شکل ۷- سرعت باد در منطقه مورد مطالعه

در این روز، حداقل سرعت باد به ۶ متر بر ثانیه رسیده است. حداکثر سرعت باد در این روز، به حدود ۱۸ متر بر ثانیه رسیده است. لازم به ذکر است که در تمامی ساعات، سرعت باد کمتر از سرعت قطع بالا در توربین بادی بوده است و در نتیجه در تمامی ساعات، انرژی الکتریکی از این طریق در دسترس می‌باشد. از دو الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات به منظور طراحی سیستم هیبرید تولید توان در ریزشبکه مورد مطالعه، استفاده شده است. در شکل (۸)، روند همگرایی دو الگوریتم در طراحی بهینه اندازه سیستم ترکیبی خورشیدی - بادی و باتری به نمایش درآمده است.



شکل ۸- همگرایی الگوریتم در روند بهینه‌سازی

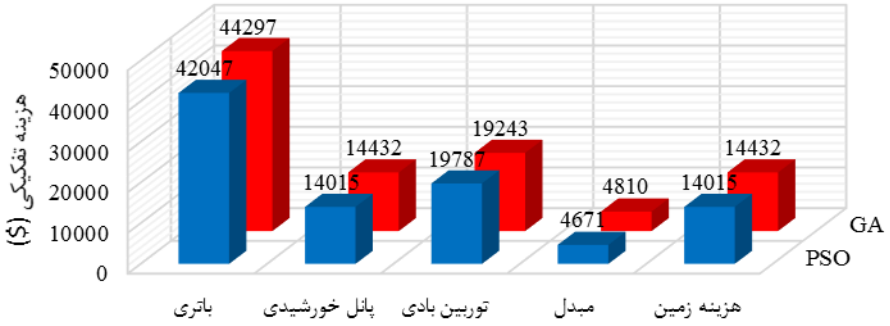
هزینه نهایی سیستم هیبرید خورشیدی و بادی با ذخیره‌ساز باتری در ریزشبکه، با در نظر گرفتن شاخص قابلیت اطمینان LPSP=2% مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، تقریباً برابر با ۹۶/۲۲ هزار دلار محاسبه شده است؛ در صورتیکه هزینه سیستم هیبرید تولید توان توسط الگوریتم ازدحام ذرات، تقریباً ۹۳/۴۴ هزار دلار محاسبه شد. در جدول (۶)، نتایج به دست آمده از طراحی بهینه سیستم‌های هیبرید توسط دو الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات آورده شده است.

جدول ۶- نتایج بهینه‌سازی

الگوریتم	LPSP	N_{Bat}	N_{WT}	N_{PV}	هزینه کلی($)
ازدحام ذرات	٪۲	۲۷۳	۳۴	۹۵	۹۳۴۳۹
ژنتیک	٪۲	۲۸۶	۳۲	۱۰۴	۹۶۲۱۷

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.5.1]

با در نظر گرفتن LPSP=2%، در صورت طراحی بهینه سیستم هیبریدی خورشیدی-بادی و باتری، توسط الگوریتم ژنتیک، تعداد ۲۸۶ ذخیره‌ساز باتری به همراه ۳۲ توربین بادی و ۱۰۴ پنل خورشیدی انتخاب شده‌اند که هزینه اجرای این سیستم ۹۶۲۱۷ دلار تخمین زده شد. درحالی‌که تعداد توربین‌های بادی، پنل‌های خورشیدی و باتری‌های پیشنهاد داده شده توسط الگوریتم ازدحام ذرات در این شرایط به ترتیب برابر با ۹۵، ۳۴ و ۲۷۳ عدد تعیین شد که در نتیجه هزینه اجرای آن ۹۳۴۳۹ دلار شده است. مقادیر هزینه تفکیک شده در سیستم ترکیبی خورشیدی-بادی و باتری برای دو الگوریتم در شکل (۹) آورده شده است.



شکل ۹- هزینه به تفکیک نیروگاه مقیاس کوچک پیشنهادی

بیشترین سهم در این بخش نیز مربوط به خرید، نگهداری و تعویض باتری بوده و پس‌ازآن، هزینه خرید توربین‌های بادی سهم بیشتری از هزینه کل سیستم را به خود اختصاص داده است. هزینه کلی بدست آمده در صورت بهینه‌سازی توسط الگوریتم ازدحام ذرات، مقدار کمتری نسبت به الگوریتم ژنتیک داشته است. دلیل این موضوع نیز، انتخاب صحیح و مناسب منابع و ذخیره‌ساز با در نظر گرفتن شرایط محیطی و میزان بار شبکه است.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

طراحی بهینه سیستم‌های تولید توان ترکیبی از منابع تولید پراکنده، از جنبه‌های مختلفی قابل بحث و بررسی می‌باشد. این رویکرد می‌تواند اقتصادی یا فنی باشد که هر کدام از این موارد به نوبه خود از درجه اهمیت بالایی برخوردار است. مسئله‌ای که در این میان از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است، موضوع طراحی بهینه منابع انرژی و ذخیره‌ساز در ریزشبکه با رویکرد کاهش هزینه و بهبود قابلیت اطمینان می‌باشد. در ریزشبکه تعدادی منابع تولید توان و منابع ذخیره‌ساز وجود دارند که هر کدام دارای هزینه‌ها و محدودیت‌های خاص خود می‌باشند. بایستی به‌گونه‌ای این منابع را طراحی کرد تا هزینه‌های تولید انرژی و بهره‌برداری در آن با در نظر گرفتن محدودیت‌ها حداقل شود. در این مقاله، طراحی یک سیستم هیبرید خورشیدی-بادی و باتری در یک منطقه از توابع شهرستان اهواز، انجام شد. بدین منظور اطلاعات هواشناسی نظیر اطلاعات تابش و سرعت باد توسط نرم افزار Homer تهیه گردید. ۲۵ مشترک در منطقه مورد مطالعه حضور دارند. طراحی‌ها با در نظر گرفتن شاخص قابلیت اطمینان LPSP برابر با ۲٪ انجام شد و از الگوریتم‌های ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات برای طراحی بهینه استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده‌ی این است که با توجه به طراحی‌های انجام شده، تقریباً ۴۵٪ از هزینه کلی سیستم صرف خرید، نگهداری و تعویض باتری شده است درحالی‌که سهم منابع خورشیدی و بادی از هزینه کل، به ترتیب حدود ۱۵٪ و ۲۰٪ تعیین شده است. هزینه مبدل‌ها و زمین مورد نیاز برای احداث نیز تقریباً ۵٪ و ۱۵٪ را به خود اختصاص دادند. از سویی در هزینه نهایی به‌دست‌آمده برای الگوریتم ازدحام ذرات کمتر از الگوریتم ژنتیک حاصل شده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.5.1]

جدول اختصارات

حروف لاتین

P	توان
N	تعداد توربین بادی
f	میزان کثیفی سطح پانل
A	سطح پانل خورشیدی
C	هزینه واحد
i	نرخ انگیزه
v	سرعت باد
DOD	حداقل سطح دشارژ
c	ضریب حرکت در مسیر بهترین خاطره شخصی و جمعی
r	نرخ تورم
t	اپراتور زمان
LPSP	احتمال از دست رفتن توان

حروف یونانی

η	راندمان
ω	ضریب وزنی حرکت در مسیر قبل
α	ضریب دمایی پانل خورشیدی
ơ	نزخ دشارژ داخلی باتری
π	هزینه هر کیلووات انرژی تامین نشده

زیرنویس و بالانویس

min	حداقل
max	حداکثر
Batt	باتری
ibest	بهترین پاسخ فردی
gbest	بهترین پاسخ جمعی
PV	فتوولتائیک
wt	توربین بادی
inv	اینورتر
gnd	زمین
ENS	انرزی تامین نشده
main	هزینه تعمیر و نگهداری
ci	قطع پایین سرعت باد
co	قطع بالای سرعت باد
inv	هزینه سرمایه گذاری
deficit	نقصان توان
STC	شرایط استاندارد
BF	راندمان باتری
BC	هزینه مبدل باتری

منابع

[1] Kargari N, Mastouri R. Comparison of GHG Emission in Different Kinds of Power Plants by LCA Approach. Iranian Journal of Energy. 2010;13(2):67-78.

[2] Shiravi AH, Firoozzadeh M. Energy Payback Time and Environmental Assessment on a 7 MW Photovoltaic Power Plant in Hamedan Province, Iran. Journal of Solar Energy Research. 2019;4(4):280-6.

[3] Khanjari Y, Kasaeian A, Pourfayaz FJATE. Evaluating the environmental parameters affecting the performance of photovoltaic thermal system using nanofluid. 2017;115:178-87.

[4] Firoozzadeh M, Shiravi AH, Lotfi M, Aidarova S, Sharipova A. Optimum Concentration of Carbon Black Aqueous Nanofluid as Coolant of Photovoltaic Modules: A Case Study. Energy. 2021;225:120219.

[5] Erfani A, Ghasempour R, Oraee HJJoEM, Technology. Issue in the Technology Selection for a Wind Farm in Iran. 2017;1(1):71-8.

[6] Dezhdar A, Assareh E. Modeling, Optimization and exergoeconomic analysis a multiple energy production system based on solar Energy, Wind Energy and Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) in the onshore region. Journal of Energy Conversion. 2020;7(3):81-94.

[7] Yousefi H, Ármannsson H, Roumi S, Tabasi S, Mansoori H, Hosseinzadeh MJG. Feasibility study and economical evaluations of geothermal heat pumps in Iran. 2018;72:64-73.

[8] Norouzi N, Fani M. Modeling of a Geothermal Cycle Condenser in a Combined Diesel Power Cycle: Case Study of 42 MW Diesel Power Plant in Moghan and Ardabil. Iranian Journal of Energy. 2019;22(3):73-94.

[9] Adigun O, Oninla V, Babarinde NAJIJoE, Resources W. Application of sugarcane leaves as biomass in the removal of cadmium (II), lead (II) and zinc (II) ions from polluted water. 2019;3(2):141-52.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.5.1]

[10] Karimi Alavijeh M, Yaghmaei S. Appropriate Agricultural Residues in Iran for the Second Generation Biofuel Production. Iranian Journal of Energy. 2017;19(4):0-.
[11] Hashemi Aslani Z, Niksokhan MH, Montazeri Namin MJEE, Research E. Assessment of the potential of harnessing tidal energy in the Khowr-e Musa estuary in the Persian Gulf. 2017;1(1):15-22.
[12] Aghahosseini A, Bogdanov D, Ghorbani N, Breyer CJIjoes, technology. Analysis of 100% renewable energy for Iran in 2030: integrating solar PV, wind energy and storage. 2018;15(1):17-36.
[13] Firoozzadeh M, Shiravi AHJIJoE, Environment. Experimental and Analytical Study on Enhancing the Efficiency of the Photovoltaic Panels by Using the Polyethylene-Glycol 600 (PEG 600) as a Phase Change Material. 2019;10(1):23-32.
[14] Ghobadi M, Ahmadipari MJEE, Research E. Environmental Planning for Wind Power Plant Site Selection using a Fuzzy PROMETHEE-Based Outranking Method in Geographical Information System. 2018;2(2):75-87.
[15] Firoozzadeh M, Shiravi A, Shafiee MJJoSER. Experimental study on photovoltaic cooling system integrated with carbon nano fluid. 2018;3(4):287-92.
[16] Jadallah A, Er Z, Abdulqader ZJIJoES, Technology. Performance analysis of a hybrid wind/photovoltaic power generation system for water pumping. 2019;16(9):5295-304.
[17] Shiravi AH, Firoozzadeh MJJoA, Mechanics C. Thermodynamic and Environmental Assessment of Mounting Fin at the Back Surface of Photovoltaic Panels. 2020.
[18] Firoozzadeh M, Shiravi AH, Shafiee MJJOTA, CALORIMETRY. Thermodynamics assessment on cooling photovoltaic modules by phase change materials (PCMs) in critical operating temperature. 2020.
[19] Mirzapour F, Lakzaei M, Varamini G, Teimourian M, Ghadimi NJJoAI, Computing H. A new prediction model of battery and wind-solar output in hybrid power system. 2019;10(1):77-87.
[20] Mazzeo D, Oliveti G, Baglivo C, Congedo PMJE. Energy reliability-constrained method for the multi-objective optimization of a photovoltaic-wind hybrid system with battery storage. 2018;156:688-708.
[21] Javed MS, Song A, Ma TJE. Techno-economic assessment of a stand-alone hybrid solar-wind-battery system for a remote island using genetic algorithm. 2019;176:704-17.
[22] Acuña LG, Lake M, Padilla RV, Lim YY, Ponzón EG, Too YCSJEc, et al. Modelling autonomous hybrid photovoltaic-wind energy systems under a new reliability approach. 2018;172:357-69.
[23] Maleki A, Askarzadeh AJSET, Assessments. Optimal sizing of a PV/wind/diesel system with battery storage for electrification to an off-grid remote region: A case study of Rafsanjan, Iran. 2014;7:147-53.
[24] Li K, Zhang J, Che J, Wang F, Ren H, Mi Z. Capacity configuration optimization for stand-alone microgrid considering the uncertainties of wind and solar resource. Conference Capacity configuration optimization for stand-alone microgrid considering the uncertainties of wind and solar resource. IEEE, p. 1-5.
[25] Mbungu NT, Bansal RC, Naidoo RJTJoE. Smart energy coordination of a hybrid wind/PV with battery storage connected to grid. 2019;2019(18):5109-13.
[26] Hu J, Shan Y, Xu Y, Guerrero JMJIJoEP, Systems E. A coordinated control of hybrid ac/dc microgrids with PV-wind-battery under variable generation and load conditions. 2019;104:583-92.
[27] Rathore A, Patidar NJIJoEP, Systems E. Reliability assessment using probabilistic modelling of pumped storage hydro plant with PV-Wind based standalone microgrid. 2019;106:17-32.
[28] Satyanarayana T, Dahiya RJIJoAE. Autonomous battery storage energy system control of PV-wind-based DC microgrid. 2019:1-7.
[29] Ghorbani N, Kasaeian A, Toopshekan A, Bahrami L, Maghami AJE. Optimizing a hybrid wind-PV-battery system using GA-PSO and MOPSO for reducing cost and increasing reliability. 2018;154:581-91.
[30] Shivaie M, Mokhayeri M, Kiani-Moghaddam M, Ashouri-Zadeh AJSE. A reliability-constrained cost-effective model for optimal sizing of an autonomous hybrid solar/wind/diesel/battery energy system by a modified discrete bat search algorithm. 2019;189:344-56.
[31] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization. Conference Particle swarm optimization, vol. 4. IEEE, p. 1942-8.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.5.1]

چکیده انگلیسی:

Technical and economical design of solar-wind distributed generation power plant with battery storage for a zone far from the national electricity grid in Ahvaz

Faeze Usefvand[1], Sajjad Usefvand[1], Marzyeh Lotfi[1]*, Mohammad FirrozZadeh[2]

1- Department of Chemical Engineering, Jundi Shapur University Of Technology, Dezful, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Jundi Shapur University Of Technology, Dezful, Iran

Received: April 2021, Accepted: July 2021

Abstract

In this paper, a designate of a small scale solar-wind power plant, integrated with battery storage was performed in order to supply the energy demand of a suburb region of Ahvaz, Iran. The aim of this work was to minimize the expenses by help of Homer software with consideration of the amount of the consumed electricity, solar irradiation and wind velocity for the considered region. To optimize the system, Particle Swarm Optimization (PSO) method was used. The simulation results indicates that in the proposed plan, almost 45% of the costs are spent for purchasing, maintaining and replacing the batteries, while, the portion of solar and wind equipment are 15% and 20%, respectively.

Key words: Geothermal energy, hydrogen, thermoelectric, exergy.

*corresponding author: **marzyeh.lotfi@gmail.com**

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.5.1]

Cite this article as: Faeze Usefvand, Sajjad Usefvand, Marzyeh Lotfi, Mohammad FirrozZadeh, Technical and economical design of solar-wind distributed generation power plant with battery storage for a zone far from the national electricity grid in Ahvaz. Journal of Energy Conversion, 2021, 8(2), 52-64.