طراحی بهینه سیستم ترکیبی فتوولتائیک-بادی-باتری با در نظر گرفتن هزینه و قابلیت اطمینان: مورد نمونه برای تهران

اکبر اصغرزاده بناب
استادیار گروه مطالعات علم و فناوری، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران(نویسنده مسئول)
Akbar.asgharzadeh@casu.ac.ir

رضا سپهوند
استادیار گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی پرواز، دانشگاه امام علی(ع)، تهران، ایران
Reza_sepahvand@yahoo.com

مجتبی رضایی
پژوهشگر گروه مطالعات علم و فناوری، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران
m.rezaei@casu.ac.ir

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۴/۲۷

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۱۰/۱۷

کلمات کلیدی:
سیستم هیبرید
کاهش هزینه
قابلیت اطمینان
الگوریتم عقاب طاس

چکیده

در این مقاله، طراحی بهینه برای یک سیستم ترکیبی فتوولتائیک-بادی با ذخیره باتری در یک منطقه دور افتاده از شبکه سراسری برق در استان تهران و با استفاده از نسخه اصلاح شده الگوریتم پیشنهادی عقاب طاس (MBES) انجام شده است و در آن یک تابع هدف ابتکاری پیشنهاد می‌شود که این تابع ترکیبی از هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه تعمیر و نگهداری و جریمه انرژی تامین نشده است. شاخص از دست دادن قابلیت اطمینان احتمال تغذیه (LPSP) نیز به عنوان یکی از محدودیت‌های اصلی طراحی بهینه در آن نظر گرفته شده است. شبیه‌سازی‌ها در دو سناریو با مقادیر LPSP برابر با ۲٪ و ۵٪ انجام شد و نتایج بدست آمده از بهینه‌سازی توسط الگوریتم MBES پیشنهادی در این مقاله با الگوریتم بازپخت شبیه‌سازی گسسته (DSA)، جستجوی هارمونی گسسته (DHS) و همچنین نسخه اولیه الگوریتم عقاب طاس (BES) مقایسه شده‌اند. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که هزینه سیستم در LPSP=۲٪ حدود ۱۹٪ بیشتر از LPSP=۵٪ است. همچنین نتایج شبیه‌سازی تائید می‌کنند که الگوریتم پیشنهادی MBES در هر دو سناریو بهتر از سه الگوریتم دیگر عمل کرده و هزینه طراحی آن کمتر از سایر الگوریتم‌ها بدست آمده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

۱. مقدمه

تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز مشترکین دور از شبکه برق سراسری یکی از دغدغه‌های اصلی شرکت های توزیع برق است. برای این مشترکین نیاز به اجرای یک فیدر توزیع بسیار طولانی است که به هیچ عنوان مقرون به صرفه نمی‌باشد (دینگ[۱] و دیگران،۲۰۲۱). هم‌چنین فیدر توزیع انرزی الکتریکی بلند به سبب تلفات بالای انرژی، قابلیت اطمینان و کیفیت توان پایین از نظر فنی مورد تایید نمی‌باشند. بنابراین، تولیدات پراکنده می‌توانند بهترین انتخاب برای مشترکین مناطق دوردست باشند (فومیخای[۲] و دیگران،۲۰۲۲). از سوی دیگر، مناطق دور از شبکه سراسری برق اغلب صعب العبور هستند و تامین سوخت برای منابع تجدید ناپذیر بسیار دشوار است (ناصر[۳] و دیگران،۲۰۲۲). بنابراین، استفاده از انرژی های تجدیدپذیر برای تامین برق در این مناطق بهترین گزینه است. استفاده از سیستم ترکیبی از منابع تجدیدپذیر فتوولتائیک[۴] (PV) و توربین بادی[۵] (WT) به همراه ذخیره‌سازی باتری می‌تواند بهترین گزینه برای تامین برق در مناطق دوردست باشد (ماولیک[۶] و دیگران،۲۰۱۹). در این صورت، طراحی بهینه سیستم ترکیبی برای کاهش هزینه‌های طراحی از اهمیت بالایی برخوردار است (قایتهان[۷] و دیگران،۲۰۲۲).

ایده منابع انرژی تجدیدپذیر ترکیبی بهترین انتخاب برای مناطق روستایی دور از شبکه برق است. در (آرکی[۸] و دیگران،۲۰۲۲)، طراحی فنی و اقتصادی یک سیستم ترکیبی فتوولتائیک–بادی و باتری برای یک منطقه روستایی در کارناتاکا، هند انجام شده است. در این مقاله از چندین نوع باتری استفاده شده و عملکرد آنها با یکدیگر مقایسه شد. نتایج شبیه‌سازی در این مقاله نشان داد که برای کاهش هزینه بر اساس میزان بار می‌توان نوع باتری را تغییر داد. باتری‌های زینک بروماید بهترین انتخاب برای ریزشبکه بارهای کم می‌باشند. در (فارس[۹] و دیگران،۲۰۲۲)، عملکرد چندین الگوریتم هوشمند مانند بازپخت شبیه‌سازی شده (SA)، جستجوی هارمونی (HS)، الگوریتم جستجوی فاخته (CSA)، الگوریتم گرده افشانی گل (FPA) و الگوریتم ژنتیک (GA) برای طراحی بهینه سیستم ترکیبی فتوولتائیک–بادی و باتری مقایسه شده است. همچنین مجموع خالص بهای تمام شده فعلی به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. در (فی[۱۰] و دیگران،۲۰۲۲)، ساختارهای مختلف سیستم ترکیبی تجدیدپذیر با دیزل ژنراتور و باتری از نظر هزینه با یکدیگیر مقایسه شدند. مطالعات مربوط به جزیره‌ای دورافتاده در چینگدائو چین است. نتایج مطالعات نشان داد که استفاده از باتری در سیستم قدرت ترکیبی می تواند مصرف سوخت و انتشار CO^2 را کاهش دهد. در (عماد[۱۱] و دیگران،۲۰۲۱)، یک مدل ریاضی برای اندازه سیستم ترکیبی فتوولتائیک–بادی و باتری ارائه شده است. این روش برای یک منطقه دور افتاده در منطقه سینا در کشور مصر انجام شده است. همچنین از الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری (GWO) برای اندازه‌گیری بهینه

۱. Ding
۲. Phommixay
۳. Nasser
۴. Photovoltaic
۵. Wind turbine
۶. Maulik
۷. Ghaithan
۸. RK
۹. Fares
۱۰. Qi
۱۱. Emad

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

مولفه سیستم ترکیبی برای دستیابی به حداقل هزینه استفاده شده است. نتایج الگوریتم GWO با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم ژنتیک (GA) مقایسه شد. نتایج بهینه‌سازی عملکرد بهتر GWO را نسبت به دو الگوریتم دیگر ثابت کرد. در (الهواری[۱] و دیگران،۲۰۲۱)، تأثیر حضور منابع تجدیدپذیر انرژی بر اقتصادی و همچنین محیط زیست بررسی شده است. در این مقاله از نرم افزار HOMER برای تعیین اندازه سیستم هیبرید استفاده شد و شبیه‌سازی برای ۲۴ مکان مختلف انجام شده است. در (آموس[۲] و دیگران،۲۰۲۲)، یک مدل ریاضی برای تجزیه و تحلیل اثر منابع تجدیدپذیر بر هزینه کل، اندازه باتری، وضعیت شارژ باتری (SOC) و قابلیت اطمینان سیستم پیشنهاد شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که برای ریزشبکه تحت مطالعه، سیستم بادی- باتری دارای عملکرد بهتری نسبت به سیستم فتولتائیک- باتری دارد. همچنین، تجزیه و تحلیل آنالیز حساسیت نشان می‌دهد که WT و هزینه باتری نسبت به سایر پارامترها تأثیر معناداری بر هزینه کل دارد. در (بونکیل[۳] و دیگران،۲۰۲۲)، تأثیر اندازه PV و WT بر طول عمر باتری و همچنین تأثیر اندازه باتری بر هزینه تولید بررسی شده است. نتایج تحقیق گویای این است که باتری بزرگ، طول عمر بیشتری را فراهم می‌کند و هزینه تولید را برای موارد طولانی مدت کاهش می‌دهد. در (برکت[۴] و دیگران،۲۰۲۰)، تعیین ظرفیت بهینه منابع با هدف کاهش هزینه‌ها و با در نظر گرفتن ملاحظاتی از جمله افزایش قابلیت اطمینان، حفظ تعادل بین عرضه و تقاضای توان اکتیو و توان راکتیو مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از موضوعات مهمی که تاثیر زیادی بر قیمت تمام شده سیستم ترکیبی دارد، میزان شاخص‌های قابلیت اطمینان است. بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان با کاهش خاموشی همراه است که این موضوع با افزایش هزینه طراحی سیستم ترکیبی همراه خواهد شد.

در این مقاله، طراحی فنی- اقتصادی سیستم ترکیبی بادی و فتوولتائیک با ذخیره باتری با در نظر گرفتن قیود قابلیت اطمینان ریزشبکه مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین، یک تابع هدف جامع بر اساس هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های تعمیر و نگهداری، هزینه‌های جایگزینی و جریمه انرژی تامین نشده (ENS) پیشنهاد شده است. همچنین، نسخه اصلاح شده الگوریتم جستجوی عقاب طاس (MBES) برای حل مسئله بهینه‌سازی و تعیین اندازه بهینه منابع تجدیدپذیر و ذخیره‌سازی‌ها پیشنهاد شده است.

در ادامه مقاله، در بخش دو فرمول‌بندی مسئله آورده شده است. در این بخش ریزشبکه مورد مطالعه معرفی شده و سپس مدل‌های اجزای آن شرح داده شده است. در بخش سوم نیز تابع هدف پیشنهادی و محدودیت‌های طراحی ارائه شده است. در بخش چهارم، الگوریتم پیشنهادی جستجوی عقاب طاس اصلاح شده به اختصار معرفی می‌شود. در بخش پنجم، نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده در قالب دو سناریو مورد ارزیابی قرار گرفته است و در نهایت، این مقاله با نتیجه گیری و پیشنهاداتی برای مطالعات آتی در بخش پنجم به پایان می رسد.

۲. فرمولبندی مسئله

منطقه فر ضی مورد مطالعه واقع در ا ستان تهران (ایران) با مخت صات جغرافیایی ″۲۱′۴۱°۳۵ شمالی ″۲۰ ′۲۳ °۵۱ شرقی می‌با شد. داده‌های هوا شنا سی مورد نیاز مانند اطلاعات تابش و سرعت باد تو سط نرم افزار Homer تعیین شده ا ست. در شکل (۱) سیستم مورد مطالعه نشان داده شده است.

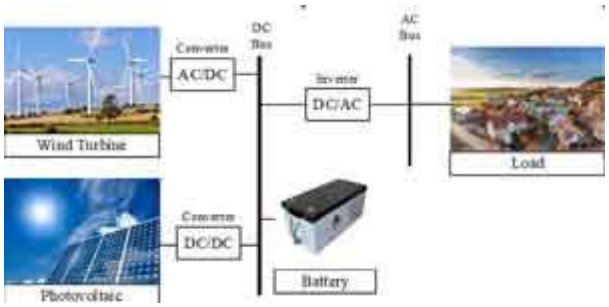
۱. El-houari

۲. Ammous

۳. Bonkile

۴. Barakat

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]



شکل (۱): سیستم مورد مطالعه

حدود ۲۵ م صرف کننده م سکونی در منطقه مورد مطالعه وجود دارند. فرض بر این ا ست که نیاز م صرفی هر م صرف کننده ۳,۵ کیلو وات است. در ادامه مدل ریاضی اجزای ریزشبکه مانند آرایه فتوولتائیک، توربین بادی و باتری معرفی شده است.

۱-۲. مدل آرایه فتوولتائیک

توان تولیدی یک آرایه فتوولتائیک به شـــدت تابش خورشـــیدی و دمای آرایه بســـتگی دارد. بنابراین، توان تولیدی هر آرایه فتوولتائیک را می‌توان توسط رابطه (۱) محاسبه کرد (داس[۱] و دیگران،۲۰۱۸).

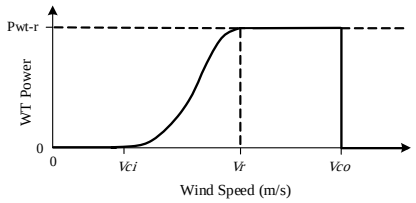
$$P_{PV-Each}(t)=f_P P_{PV-r}[G(t)/G_{STC}+\alpha_T(T(t)-T_{STC})] \quad (۱)$$

که در آن $P_{PV-r}(t)$ توان نامی آرایه، f_{p_v} عاملی برای در نظر گرفتن تلفات و کاهش تولید برق به دلیل پوشـــش برف و یخ یا گرد و غبار، G_{STC}=۱۰۰۰ w/m۲ و T_{STC}=۲۵ Co به ترتیب مقدار ا ستاندارد تابش و دما می‌با شند. همچنین G(t) شدت تابش خور شیدی و T(t) دمای آرایه در زمان t ا ست. αT نیز ضریب تاثیر دمای بر توان آرایه فتوولتائیک می‌با شد. اگر N_{PV} به عنوان تعداد آرایه‌های فتوولتائیک در نظر گرفته شود، توان خروجی کلی سیستم PV را می‌توان توسط رابطه (۲) محاسبه کرد.

$$P_{PV}(t)=N_{PV}\times P_{PV-Each}(t) \quad (۲)$$

۲-۲. مدل توربین بادی

توان تولید توربین بادی وابسته به سرعت باد در منطقه می‌با شد. در شکل (۲) ظرفیت توان تولیدی یک WT برای سرعت‌های مختلف باد نشان داده شده است (سان[۲] و دیگران،۲۰۲۰).



شکل (۲): ظرفیت تولید توربین بادی برای سرعت های مختلف باد

مطابق شکل (۲)، توان تولیدی یک توربین بادی را می‌توان به صورت رابطه (۳) فرموله کرد.

۱. Das

۲. Sun

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

$$P_{wt-Each}(t)=\begin{cases}0 & v(t)<v_{ci} \quad or \quad v(t)>v_{co}\\ P_{wt-r}\times\dfrac{v(t)^3-v_{ci}^3}{v_r^3-v_{ci}^3} & v_{ci}<v(t)<v_r\\ P_{wt-r} & v_r<v(t)<v_{co}\end{cases} \quad (۳)$$

که در آن تولید $P_{Wt-Each}(t)$ تولیدی هر توربین در زمان t، توان نامی WT، vci، vco و vr به ترتیب P_{Wt-r} سرعت قطع پایین، سرعت قطع بالا و سرعت نامی WT می‌باشند. توان خروجی یک مزرعه بادی با تعداد توربین بادی توسط (۴) محاسبه N_{wt} می‌شود.

$$P_{wt}(t)=N_{wt}\times P_{wt-Each}(t) \quad (۴)$$

۳-۲. مدل ذخیره سازی باتری

برای تعیین میزان شارژ یا دشارژ باتری در هر بازه زمانی، بایستی توان الکتریکی تولید شده توسط منابع WT و PV با مقدار انرژی الکتریکی درخواستی توسط مشترکین مقایسه شود. بنابراین، سه حالت زیر را می‌توان برای شارژ یا دشارژ باتری‌ها در نظر گرفت (آمله[۱] و دیگران،۲۰۲۰).

حالت ۱. اگر توان تولید شده توسط منابع تجدید پذیر برابر با تقاضای الکتریکی باشد، باتری شارژ یا دشارژ نمی‌شود. در این صورت باتری به دلیل مصرف داخلی کمی دشارژ می‌شود.

$$E_{Bat}(t)=(1-\sigma)\times E_{Bat}(t-1) \quad (۵)$$

که در آن سطح $E_{Bat}(t)$ شارژ باتری در زمان t و σ نرخ دشارژ داخلی باتری است.

حالت ۲. اگر توان تولیدی منابع انرژی تجدیدپذیر بیش از تقاضای الکتریکی باشد، باتری شارژ خواهد شد. در این حالت میزان شارژ باتری را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$E_{Bat}(t)=(1-\sigma)\times E_{Bat}(t-1)+P_{Bat-Ch}(t) \quad (۶)$$

$$P_{Bat-Ch}(t)=(P_{PV}(t)\times\eta_{Con}+P_{WT}(t)\times\eta_{Rec})-\frac{P_{Load}(t)-ENS(t)}{\eta_{Inv}} \quad (۷)$$

که در آن، $P_{Load}(t)$ مقدار تقاضای الکتریکی در زمان t، ENS(t) انرژی تامین نشده در ساعت t و η_{Con}، η_{Rec} و η_{Inv} به ترتیب بازده مبدل PV، بازده یکسو کننده WT و بازده اینورتر می‌باشند.

حالت ۳. اگر توان تولید شده توسط منابع تجدید پذیر انرژی برای تقاضای الکتریکی در سیستم کافی نباشد، باتری دشارژ می شود. بنابراین، میزان شارژ باتری را می‌توان توسط رابطه (۸) محاسبه کرد.

$$E_{Bat}(t)=(1-\sigma)\times E_{Bat}(t-1)-P_{Bat-dCh}(t) \quad (۸)$$

$$P_{Bat-dCh}(t)=\frac{P_{Load}(t)-ENS(t)}{\eta_{Inv}}-(P_{PV}(t)\times\eta_{Con}+P_{WT}(t)\times\eta_{Rec}) \quad (۹)$$

۳.تابع هدف و محدودیت‌های طراحی

عملکرد مطمئن و اقتصادی ریزشبکه، یکی از مسائل اصلی برای انتخاب اجزای آن است. هدف اصلی این مقاله، طراحی بهینه و مقرون به صرفه یک سیستم ترکیبی WT، PV و باتری برای یک منطقه دور افتاده است. بنابراین، تابع هدف پیشنهادی شامل هزینه سرمایه گذاری اولیه (C_{Inv})، هزینه تعمیر و نگهداری (C_{Main}) و جریمه برای تامین انرژی (C_{ENS}) است. تابع هدف را می‌توان به صورت رابطه (۱۰) فرموله کرد.

۱. Amleh

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

$$Cost = C_{Inv} + C_{main} + C_{ENS} \quad (۱۰)$$

هزینه سرمایه‌گذاری را می‌توان با رابطه (۱۱) محاسبه کرد.

$$C_{Inv} = [(N_{wt} \times C_{wt}) + (N_{pv} \times C_{pv}) + (N_{Bat} \times C_{Bat}) + (N_{Inv} \times C_{Inv}) + (N_{\mathrm{Rec}} \times C_{\mathrm{Rec}}) + (N_{Conv} \times C_{Conv}) + C_{\mathrm{ln}d}] \quad (۱۱)$$

که در آن، هزینه واحد C_{Wt} خرید و نصب WT، CPV هزینه واحد خرید و نصب PV و C_{Bat} هزینه واحد خرید و نصب باتری است. همچنین C_{Con}، C_{Rec} و $C_{Inverter}$ به ترتیب هزینه خرید و نصب مبدل PV، یکسوساز WT و اینورتر می‌باشند. در این مقاله طول عمر سیستم هیبریدی ۲۰ سال در نظر گرفته شده است. در این صورت باتری‌ها و مبدل‌ها به ترتیب دارای طول عمر ۵ سال و ۱۰ سال می‌باشند و در طول عمر پروژه نیاز به تعویض دارند. هزینه باتری و مبدل‌ها توسط روابط (۱۲) تا (۱۵) محاسبه می‌شود (عسگرزاده[۱] و دیگران،۲۰۱۳):

$$C_{Bat} = C_{Bat}^{Init} \times (1 + \frac{(1+r)^5}{(1+i)^5} + \frac{(1+r)^{10}}{(1+i)^{10}} + \frac{(1+r)^{15}}{(1+i)^{15}}) \quad (۱۲)$$

$$C_{Con} = C_{Con}^{Init} \times (1 + \frac{(1+r)^{10}}{(1+i)^{10}}) \quad (۱۳)$$

$$C_{\mathrm{Rec}} = C_{\mathrm{Rec}}^{Init} \times (1 + \frac{(1+r)^{10}}{(1+i)^{10}}) \quad (۱۴)$$

$$C_{Inverter} = C_{Inverter}^{Init} \times (1 + \frac{(1+r)^{10}}{(1+i)^{10}}) \quad (۱۵)$$

که در روابط فوق، r نرخ تورم، i نرخ بهره، C_{Bat}^{Init}، C_{Con}^{Init}، C_{Rec}^{Init} و $C_{Inverter}^{Init}$ به ترتیب هزینه واحد اولیه خرید و نصب باتری، مبدل PV، یکسو کننده WT و اینورتر است. همچنین هزینه زمین برای نصب تجهیزات نیز توسط رابطه (۱۶) بدست می‌آید.

$$C_{\mathrm{ln}d} = [(N_{PV} \times A_{PV}) + (N_{WT} \times A_{WT} \times 1.2) + (N_{Bat} \times A_{Bat})] \times T_{\mathrm{ln}d} \quad (۱۶)$$

که در آن، ، و به A_{Pv} A_{WT} A_{Bat} ترتیب مساحت آرایه فتوولتائیک، توربین بادی و باتری و $T_{\mathrm{ln}d}$ قیمت هر متر مربع زمین در منطقه است. هزینه تعمیر و نگهداری WT به ازای هر کیلووات ظرفیت تولید محا سبه می شود و هزینه نگهداری باتری به ازای هر کیلووات شارژ یا د شارژ محا سبه می شود، اما هزینه نگهداری PV بر ا ساس مساحت آرایه PV ا ست. هزینه تعمیر و نگهداری PV به ازای هر متر مربع هزینه تمیز کردن و هزینه تعمیر می‌باشد. C_{main} را می‌توان توسط رابطه (۱۷) محاسبه کرد (عسگرزاده و دیگران،۲۰۱۳).

$$C_{main} = [(C_{main}^{wt} \times P_{WT}) + (C_{main}^{Bat} \times P_{Bat}) + (N_{PV} \times A_{PV} \times C_{PV})] \quad (۱۷)$$

در صورت عدم تامین انرژی مورد نیاز م صرف‌کنندگان در منطقه، جریمه در نظر گرفته می شود. هزینه انرژی تامین ن شده (ENS) تو سط رابطه (۱۸) محاسبه می‌شود.

$$C_{ENS} = \sum_{y=1}^{20} ENS(y) \times \pi(y) \quad (۱۸)$$

که در آن، ENS(y) مقدار انرژی تامین نشده و π(y) جریمه هر کیلووات انرژی تامین نشده است. برای طراحی بهینه یک سیستم ترکیبی تولید برق برای یک منطقه دورافتاده، محدودیت‌هایی باید در نظر گرفته شود. تعداد توربین‌های بادی، آرایه‌های PV و باتری‌ها از نوع عدد صحیح بوده و تعداد آنها نیز محدود است. حداکثر تعداد مجاز برای نصب این منابع بر اساس محدودیت‌های فنی، سرمایه‌گذاری و مساحت زمین اختصاص داده شده برای هر منبع است.

$$N_{pv} \le N_{pv}^{\max} \quad (۱۹)$$

$$N_{Wt} \le N_{Wt}^{\max} \quad (۲۰)$$

۱. Askarzadeh

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

$$N_{Batt} \le N_{Bat}^{Max} \quad (۲۱)$$

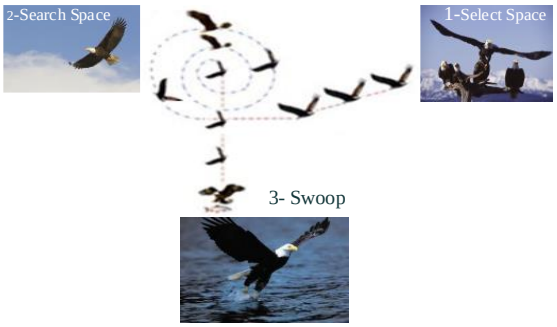
که در روابط فوق، $N_{pv}^{\max}$، $N_{Wt}^{\max}$ و N_{Bat}^{Max} حداکثر تعداد آرایه PV، WT و باتری می‌باشند. محدودیت بعدی در نظر گرفته شده برای انجام طراحی بهینه سیستم هیبرید، شاخص قابلیت اطمینان احتمال از دست دادن منبع تغذیه (LPSP) است که به صورت رابطه (۲۲) محاسبه می‌شود. در نظر گرفتن این معیار از افزایش بیش از حد کسری توان الکتریکی در ریزشبکه جلوگیری می‌کند.

$$LPSP = \frac{\sum_{t=1}^{T} P_{deficit}(t)}{\sum_{t=1}^{T} P_L(t)} \quad (۲۲)$$

که در آن $P_{deficit}(t)$ مقدار تقاضای الکتریکی است که سیستم هیبریدی موفق به تولید آن نشده است و $P_L(t)$ مقدار کل تقاضای الکتریکی در منطقه است.(در این مطالعه LPSP کمتر از ۲٪ و ۵٪ در نظر گرفته شده است)

٤. الگوریتم اصلاح شده جستجوی عقاب طاس

الگوریتم جستجوی عقاب طاس (BES) بر اساس رفتار عقاب‌های بومی آمریکا برای شکار مدل شده است. شکار عقاب‌های طاس دارای سه مرحله انتخاب فضا، فضای جستجو و در نهایت شیرجه است که در شکل (۳) نشان داده شده است (آلستار[۱] و دیگران،۲۰۲۰).



شکل (۳): مراحل شکار عقاب طاس

انتخاب فضا: در مرحله اول عقاب های طاس بهترین فضا را برای شکار انتخاب می‌کنند. این مرحله را می‌توان با توسط (۲۳) فرموله کرد.

$$P_{new}, i = P_{best} + \alpha \times r(P_{mean} - P_i) \quad (۲۳)$$

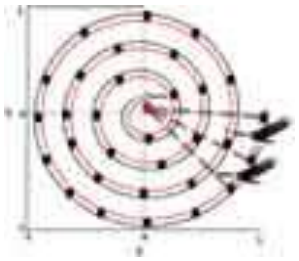
که در رابطه فوق، α پارامتری برای تغییرات موقعیت است که مقداری بین ۱,۵ تا ۲ دارد. P_{best} بهترین منطقه جستجو با ارزش غذایی بالا و P_{mean} میانگین فضاهای انتخابی توسط عقاب‌ها در تکرارهای قبل می‌باشد. در نسخه اصلاح شده الگوریتم BES، ضریب α پویا و در هر تکرار متغیر است. استفاده از ضریب دینامیکی α باعث افزایش دقت الگوریتم شده است. بدین صورت که در هر تکرار مقدار ضریب α توسط رابطه (۲۴)، محاسبه می‌شود.

$$P_{new}, i = P_{best} + \alpha \times r(P_{mean} - P_i) \quad (۲۴)$$

مرحله جستجو: در این مرحله عقاب‌های طاس در یک مسیر مارپیچی در داخل فضای انتخاب شده حرکت می‌کنند و به دنبال طعمه می‌گردند. شکل (۴) این موضوع را به نمایش درآورده است.

۱. Alsattar

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]



شکل (۴): مرحله جستجوی BES با حرکت مارپیچی

حرکت‌های مارپیچی بهترین موقعیت را برای شیرجه و شکار ایجاد می‌کنند. نمایش ریا ضی این حرکت از ویژگی طراحی قطبی ا ستفاده می‌کند. در نتیجه الگوریتم عقاب طاس قادر اسـت با ضـرب اختلاف بین نقاط، فضـاهای جدید را کشـف کند. جریان و بعدی توسـط نقطه قطبی در محور عمودی و با اضـــافه کردن اختلاف بین نقاط فعلی و مرکزی با نقاط قطبی در محور افقی، تغییرات را افزایش می‌دهد و از محلول متوسط در نقطه جستجو به نقطه مرکزی حرکت می‌کند. این مرحله را می توان با رابطه (۲۵) فرموله کرد.

$$
\begin{aligned}
&P_{i,new} = P_i + y(i) * (P_i - P_{i+1}) + x(i) * (P_i - P_{mean}) \\
&x(i) = \frac{xr(i)}{\max(|xr|)} \quad , \quad y(i) = \frac{yr(i)}{\max(|yr|)} && (a) \\
&xr(i) = r(i) * \sin(\theta(i)), \quad yr(i) = r(i) * \cos(\theta(i)) && (b) \\
&\theta(i) = a * \pi * rand && (c) \\
&r(i) = \theta(i) + R * rand && (d)
\end{aligned}
\qquad (۲۵)
$$

که در روابط فوق، پارامتر a زاویه بین نقطه جـستجو و نقطه مرکزی را مـشخص می‌کند که مقدار آن بین ۵ تا ۱۰ می‌با شد. پارامتر R برای تعیین تعداد چرخه های جستجو است که مقدار آن بین ۰,۵ تا ۲ انتخاب می‌شود. عقاب-های طاس هنگام جستجو در اطراف نقطه مرکزی حرکت می‌کنند. بنابراین، زمانی که تغییری در پارامترهای a و R وجود دارد، الگوریتم تغییرات را افزایش می‌دهد تا از نقاط بهینه محلی فرار کند و به طور دائم از یک راه‌حل مناسب به نتیجه مطلوب دست یابد.

مرحله شـیرجه: در این مرحله، عقاب‌های طاس بالای هدف می‌چرخند و از بهترین موقعیت در فضـای جسـتجو به سـمت هدف شـیرجه می‌زنند. رابطه (۲۶)، معادله ریاضی آن را نشان می‌دهد.

$$
\begin{aligned}
&P_{i,new} = rand * P_{best} + x1(i) * (P_i - c1 * P_{mean}) + y1(i) * (P_i - c2 * P_{best}) \\
&x1(i) = \frac{xr(i)}{\max(|xr|)} \ , \quad y1(i) = \frac{yr(i)}{\max(|yr|)} && (a) \\
&xr(i) = r(i) * \sinh(\theta(i)), \quad yr(i) = r(i) * \cos h(\theta(i)) && (b) \\
&\theta(i) = a * \pi * rand && (c) \\
&r(i) = \theta(i) \ \text{where } c1, c2 \in [1,2] && (d)
\end{aligned}
\qquad (۲۶)
$$

حرکت عقاب‌های طاس توسط یک معادله قطبی ترسیم می‌شود. همچنین بهترین موقعیت را می‌توان با ضرب نقطه مرکزی و تقسیم نقطه فعلی قطب برای محور x و ضرب بهترین نقطه و تق سیم نقطه فعلی در محور y پیدا کرد. پارامترهای c^1 و c^2 سرعت حرکت جـ ستجوی عقاب طاس را افزایش می‌دهند.

۵. نتایج شبیه‌سازی

در این بخش نتایج بد ست آمده از شبیه سازی‌های انجام شده در نرم افزار MATLAB، مورد تحلیل و برر سی قرار گرفته ا ست. فرض بر این ا ست که ۲۵ م صرف کننده م سکونی با حداکثر ۸۷ کیلووات تقا ضای برق تو سط سی ستم هیبریدی تغذیه شوند. م شخ صات فنی و

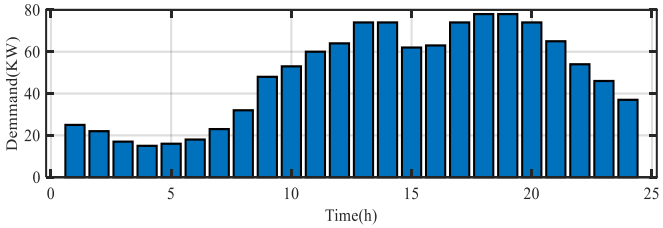
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

اقتصادی منابع تولید پراکنده و تجهیزات مورد استفاده در ریز شبکه در جدول (۱) آورده شده است (ژانگ[۱] و دیگران،۲۰۲۱). فرض بر این است که توربین‌های بادی محور عمودی هستند و فضای مورد نیاز برای نصب هر توربین حدود ۳,۱۴ متر مربع است.

جدول (۱): داده های فنی و اقتصادی اجزاء

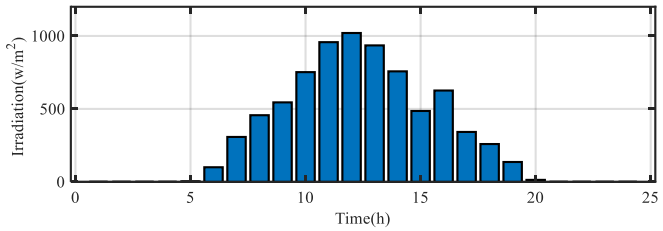
توربین بادی	Investment ۳۲۰۰ $	M&R ۱۰۰ $/year	Life span ۲۰ years	P_{wt-r} ۱ kW	v_r ۱۱ m/s	v_{ci} ۲,۵ m/s	v_{co} ۱۳ m/s
آرایه فتوولتائیک	Investment ۲۰۰۰ $	M&R ۳۲ $/year	Life span ۲۰ years	P_{pv-r} ۱ kW	A_{pv} ۱,۶۴ m^2	f_p ۸۵٪	α_t -۰,۰۴
باتری	Investment ۱۰۰ $	DOD ۰,۲	Life span ۵ years	S_{Bat} ۱ kWh	A_{Bat} ۰,۱۲۵ m^2	σ ۰,۰۰۲	η_{Bat} ۸۵٪
اینورتر/مبدل/ یکسوساز	Investment ۷۰۰ $	H ۹۵٪	Life span ۱۰ years	S ۱ kWh			

بر اساس پروفیل بار استاندارد، میزان انرژی الکتریکی درخواستی مشترکان در طول ۲۴ ساعت مطالعه محاسبه شده و در شکل (۵)، نشان داده شده است. حداکثر توان آن حدود ۷۸ کیلووات در ساعت ۱۸ و ۱۹ است. حداقل انرژی مورد نیاز حدود ۱۸ کیلو وات است.



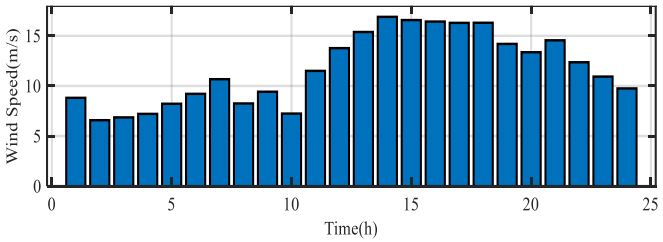
شکل (۵): تقاضای انرژی الکتریکی در منطقه برای ۲۴ ساعت

شکل (۶)، شدت تابش خورشید در منطقه را نشان می‌دهد. حداکثر شدت تابش خورشیدی در حدود ۱۰۲۰ W/m^2 در ساعت ۱۲ است. همچنین امکان دریافت انرژی خورشیدی از ساعت ۶ تا ۲۰ وجود دارد.



شکل (۶): شدت تابش خورشید به مدت ۲۴ ساعت

در شکل (۷)، سرعت باد برای ۲۴ ساعت مطالعه نشان داده شده است. حداقل سرعت باد بیش از ۶ متر بر ثانیه و حداکثر سرعت باد حدود ۱۸ متر بر ثانیه است.



۱. Zhang

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

شکل (۷): سرعت باد به مدت ۲۴ ساعت

برای طراحی بهینه سیستم ترکیبی، علاوه بر الگوریتم پیشنهادی جستجوی عقاب طاس اصلاح شده (MBES)، الگوریتم بازپخت شبیه‌سازی شده گسسته(DSA) (ژانگ و دیگران،۲۰۲۱)، جستجوی هارمونی گسسته (DHS) (مازو[۱] و دیگران،۲۰۲۱) و همچنین نسخه اولیه جستجوی عقاب طاس (BES) نیز استفاده شده است. شد. ضرایب الگوریتم‌های بهینه‌سازی در جدول (۲) آورده شده است.

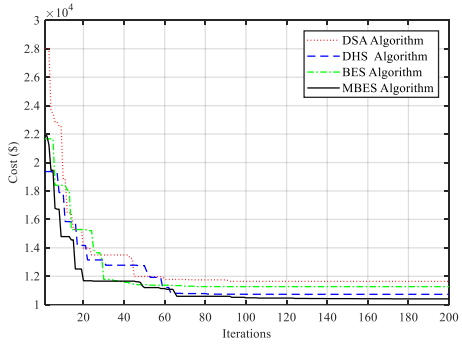
جدول (۲): ضرایب الگوریتم‌های بهینه‌سازی

DHS	N_h	$Iter_{max}$	$HMCR$	Par_{max}	Par_{min}	bw_{max}	bw_{min}
	۱۰۰	۲۰۰	۰,۹	۰,۷	۰,۱	۱	۰,۰۱
DSA	T_0	$Iter_{max}$	s	wf			
	۱۰۰	۲۰۰	۰,۹۷	۵			
BES	Pop	$Iter_{max}$	α	$c_1=c_2$	R		
	۱۰۰	۲۰۰	۱,۷	۲,۰۵	۱,۵		
MBES	Pop	$Iter_{max}$	α	$c_1=c_2$	R	P_m	ρ
	۱۰۰	۲۰۰	۱,۷	۲,۰۵	۱,۵	۰,۴	۰,۰۵

از الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای طراحی سیستم هیبریدی فتوولتائیک-بادی و باتری با در نظر گرفتن محدودیت قابلیت اطمینان LPSP=۲٪ و LPSP=۵٪ در قالب دو سناریو استفاده شد.

۱-۵. تحلیل نتایج سناریوی اول

در سناریوی اول، LPSP=۲٪ فرض شده است. شکل (۹)، منحنی همگرایی الگوریتم‌های بهینه‌سازی در این سناریو را نشان می‌دهد.



شکل (۸): منحنی همگرایی الگوریتم‌های بهینه‌سازی در سناریو اول (LPSP = ۲٪)

مطابق شکل (۸)، هزینه‌های کلی طراحی و اجرای سیستم ترکیبی تولید توان با در نظر گرفتن LPSP = ۲٪ و در صورت بهینه‌سازی توسط الگوریتم‌های DHS، DSA و BES به ترتیب ۱۰۷۳۰ دلار، ۱۱۶۴۰ دلار و ۱۱۲۷۰ دلار می‌باشد. اما در صورتیکه از الگوریتم پیشنهادی MBES برای طراحی استفاده شود، هزینه سیستم هیبریدی حدود ۱۰۴۱۰ دلار خواهد شد. کمترین هزینه در بین الگوریتم‌های بهینه‌سازی مربوط به الگوریتم MBES ا ست. هزینه طراحی الگوریتم MBES حدود ۱۰ در صد کمتر از هزینه کل الگوریتم DSA بد ست آمده ا ست. در جدول (۳)، تعداد بهینه اجزای سیستم ترکیبی پیشنهاد شده توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی آورده شده است. لازم به ذکر است که تعداد یکسوکننده‌ها، مبدل‌ها و اینورترها با توجه به ظرفیت تولید و مصرف تعداد انتخاب می‌شوند و نیازی به الگوریتم برای تعیین تعداد بهینه آنها نیست.

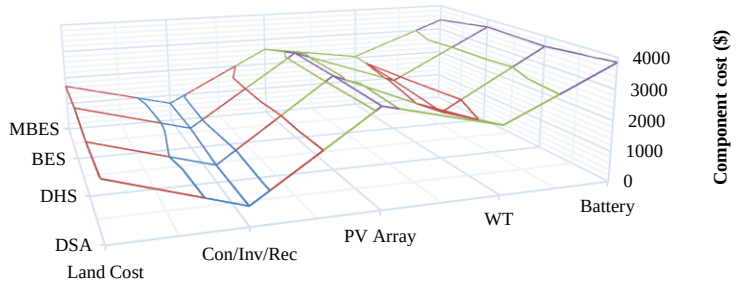
جدول (۳): مقادیر بهینه اجزای سیستم هیبریدی با LPSP=۲٪

۱. Mazzeo

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

Algorithm	PV array	WT	Battery
DHS	۹۹	۳۵	۲۷۸
DSA	۱۰۷	۲۸	۲۸٦
BES	۱۰٤	۳۱	۲۸۰
MBES	۹۳	۳٦	۲۷۲

هزینه اجزای سیستم هیبریدی به صورت تفکیکی در شکل (۹) نشان داده شده است.

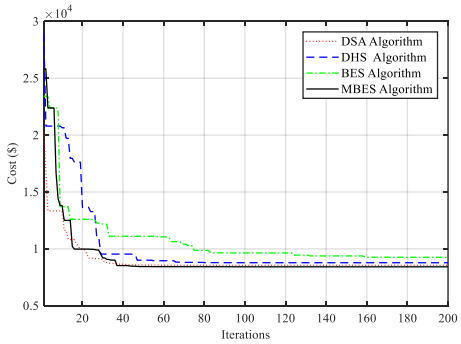


شکل (۹): هزینه قطعات (LPSP = ۲٪)

همانطور که در شکل (۱۰) نشان داده شده است، حداکثر سهم از کل هزینه یک سیستم هیبریدی به هزینه خرید، تعمیر و نگهداری باتری و پس از آن هزینه آرایه‌های فتوولتائیک اختصاص می‌یابد.

۲-۵. تحلیل نتایج سناریوی دوم

در بخش دوم شبیه سازی‌های انجام شده، طراحی بهینه سیستم هیبریدی با در نظر گرفتن LPSP=۰٪ تو سط الگوریتم‌های بهینه سازی انجام شده است. شکل (۱۰)، منحنی همگرایی الگوریتم‌های بهینه‌سازی در این سناریو را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰): منحنی همگرایی الگوریتم‌های بهینه‌سازی در سناریو دوم (LPSP = ۰٪)

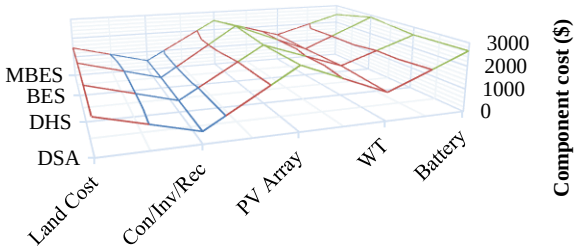
همانطور که در شکل (۱۱) نشان داده شده است، در صورت در نظر گرفتن، احتمال کمبود توان بیشتر (LPSP=۰٪)، هزینه کل طراحی کاهش می‌یابد. مقادیر نهایی تابع هدف پس از انجام بهینه‌سازی توسط DSA، DHS، BES و MBES به ترتیب ۸۵۶۰ دلار، ۸۷۸۰ دلار، ۹۲۶۰ دلار و ۸۴۲۰ دلار بدست آمده است. تعداد بهینه سیستم هیبریدی در شرایط LPSP=۰٪ در جدول (۴) آورده شده است.

جدول (۴): مقادیر بهینه اجزای سیستم هیبریدی با LPSP=۰٪

Algorithm	PV array	WT	Battery
DHS	۸۳	۲٤	۲۳۸
DSA	۸۰	۲۷	۲۳۲
BES	۸۵	۲٦	۲٤۰
MBES	۷۸	۲۹	۲۲۸

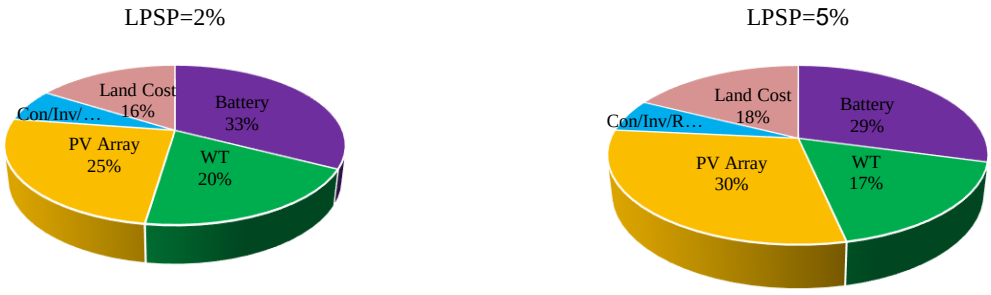
نتایج جدول (۴) نشان می دهد که تعداد اجزای سیستم هیبریدی با در نظر گرفتن LPSP=۰ درصد کاهش یافته است. بنابراین هزینه کل برای LPSP=۰٪ کمتر از LPSP=۲٪ است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]



شکل (۱۱): هزینه قطعات (LPSP = ۵٪)

مشابه نتایج شبیه سازی قبلی (LPSP=۲٪)، بیشترین سهم از کل هزینه مربوط به هزینه خرید، نگهداری و تعویض باتری و پس از آن به آرایه PV اختصاص یافته است. به منظور ارزیابی دقیق‌تر هزینه‌ها، درصد سهم هر بخش برای LPSP=۲٪ و LPSP=۵٪ توسط نمودارهای دایره‌ای در شکل (۱۲) نشان داده شده است.



(a) (b)

شکل (۱۲): درصد سهم هزینه هر جزء (a. LPSP = ۲٪، b. LPSP = ۵٪)

برای هر دو سناریو، هزینه خرید و نگهداری آرایه فتوولتائیک و همچنین خرید، هزینه نگهداری و جایگزینی باتری بیشتر از سایر موارد است. به منظور کاهش هزینه کلی ساخت یک سیستم هیبریدی، بهتر است هزینه باتری‌ها و آرایه‌های فتوولتائیک را کاهش داد. همچنین، نتایج شکل (۱۲)، نشان می‌دهد که وقتی LPSP=%۲ است، نیاز به باتری بیشتری برای کاهش کمبود برق وجود دارد.

٦. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله، طراحی بهینه یک سیستم تولید برق هیبریدی متشکل از منابع فتوولتائیک و توربین بادی به همراه ذخیره‌سازی باتری برای یک منطقه دورافتاده در تهران (ایران) مورد بررسی قرار گرفته است. بدین‌روی یک تابع هدف ترکیبی بر اساس هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه تعمیر و نگهداری و جریمه برای انرژی تامین نشده پیشنهاد شد. همچنین، برای حل مسئله بهینه‌سازی، نسخه اصلاح شده از الگوریتم جستجوی عقاب طاس برای طراحی بهینه سیستم تولید ارائه شد. با استفاده از داده‌های هواشناسی منطقه و در نرم افزار متلب، طراحی بهینه برای دو شرایط LPSP=۲٪ و LPSP=۵٪ انجام پذیرفت. نتایج شبیه‌سازی، حاکی از آن است که برای کاهش کمبود توان الکتریکی (LPSP = ۲٪) باید تعداد منابع و ذخیره‌سازی را افزایش یابد که هزینه کل سیستم را افزایش می‌دهد. کل هزینه پیاده‌سازی و راه‌اندازی سیستم تولید برق هیبریدی با در نظر گرفتن LPSP=۲٪ تقریباً ۹٪ بیشتر از زمانی خواهد بود که شاخص LPSP برابر با ۵٪ در نظر گرفته شود. همچنین بیشترین سهم از کل هزینه یک سیستم تولید برق هیبریدی مربوط به باتری است. اگر بتوان هزینه‌های باتری را کاهش داد یا عمر آن را افزایش داد، هزینه کل سیستم هیبریدی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. در نهایت، نتایج بهینه‌سازی توسط الگوریتم‌های مختلف، دقت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

بالای الگوریتم MBES پیشنهادی را در مقایسه با سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی تایید می‌کند. برای مطالعات آینده برای افزایش دقت طراحی، پیشنهاد می‌شود که عدم قطعیت بار و عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر در طراحی در نظر گرفته شوند.

منابع

[۱] Alsattar, H.A., Zaidan, A.A. and Zaidan, B.B., ۲۰۲۰. Novel meta-heuristic bald eagle search optimisation algorithm. *Artificial Intelligence Review*, *53*(۳), pp.۲۲۳۷-۲۲٦٤.

[۲] Amleh, N., AlMuhaini, M. and Khalid, M., ۲۰۲۰. Impact of Smart Restoration and Energy Storage Systems on the Reliability of Electric Microgrid. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *45*(۳), pp.۱۹۱۱-۱۹۲٥.

[۳] Ammous, A., Alsaedi, A., Alahmadi, A.N. and Ammous, K., ۲۰۲۲. Energy Efficiency of Low Voltage Direct Current Supplies Including Photovoltaic Sources for Future Homes. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, pp.۱-۱۲.

[٤] Askarzadeh, A., ۲۰۱۳. A discrete chaotic harmony search-based simulated annealing algorithm for optimum design of PV/wind hybrid system. *Solar Energy*, *97*, pp.۹۳-۱۰۱.

[٥] Barakat, S., Ibrahim, H. and Elbaset, A.A., ۲۰۲۰. Multi-objective optimization of grid-connected PV-wind hybrid system considering reliability, cost, and environmental aspects. *Sustainable Cities and Society*, *60*, p.۱۰۲۱۷۸.

[٦] Bonkile, M.P. and Ramadesigan, V., ۲۰۲۲. Effects of sizing on battery life and generation cost in PV-wind battery hybrid systems. *Journal of Cleaner Production*, p.۱۳۰۳٤۱.

[۷] Das, U.K., Tey, K.S., Seyedmahmoudian, M., Mekhilef, S., Idris, M.Y.I., Van Deventer, W., Horan, B. and Stojcevski, A., ۲۰۱۸. Forecasting of photovoltaic power generation and model optimization: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *81*, pp.۹۱۲-۹۲۸.

[۸] Ding, Z., Wen, X., Tan, Q., Yang, T., Fang, G., Lei, X., Zhang, Y. and Wang, H., ۲۰۲۱. A forecast-driven decision-making model for long-term operation of a hydro-wind-photovoltaic hybrid system. *Applied Energy*, *291*, p.۱۱٦۸۲۰.

[۹] El-houari, H., Allouhi, A., Salameh, T., Kousksou, T., Jamil, A. and El Amrani, B., ۲۰۲۱. Energy, Economic, Environment (۳E) analysis of WT-PV-Battery autonomous hybrid power plants in climatically varying regions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *43*, p.۱۰۰۹٦۱.

[۱۰] El-Nemr, M.K., Elgebaly, A. and Ghazala, A.I., ۲۰۲۲. Optimal Sizing of Standalone PV-Wind Hybrid Energy System in Rural Area North Egypt. *Journal of Engineering Research*, *5*(٤), pp.٤٦-٥٦.

[۱۱] Emad, D., El-Hameed, M.A. and El-Fergany, A.A., ۲۰۲۱. Optimal techno-economic design of hybrid PV/wind system comprising battery energy storage: Case study for a remote area. *Energy Conversion and Management*, *249*, p.۱۱٤۸٤۷.

[۱۲] Fares, D., Fathi, M. and Mekhilef, S., ۲۰۲۲. Performance evaluation of metaheuristic techniques for optimal sizing of a stand-alone hybrid PV/wind/battery system. *Applied Energy*, *305*, p.۱۱۷۸۲۳.

[۱۳] Ghaithan, A.M. and Mohammed, A., ۲۰۲۲. An Optimization Model for Sizing a Hybrid Photovoltaic-Wind-Grid-Connected System in Saudi Arabia. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, pp.۱-۱٦.

[۱٤] Hamanah, W.M., Abido, M.A. and Alhems, L.M., ۲۰۲۰. Optimum sizing of hybrid pv, wind, battery and diesel system using lightning search algorithm. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *45*(۳), pp.۱۸۷۱-۱۸۸۳.

[۱٥] Maulik, A. and Das, D., ۲۰۱۹. Determination of optimal reserve requirement for fuel cost minimization of a microgrid under load and generation uncertainties. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *44*(۳), pp.۲۰۰۳-۲۰۳۱.

[۱٦] Mazzeo, D., Herdem, M.S., Matera, N., Bonini, M., Wen, J.Z., Nathwani, J. and Oliveti, G., ۲۰۲۱. Artificial intelligence application for the performance prediction of a clean energy community. *Energy*, *232*, p.۱۲۰۹۹۹.

[۱۷] Nasser, M., Megahed, T.F., Ookawara, S. and Hassan, H., ۲۰۲۲. Techno-economic assessment of clean hydrogen production and storage using hybrid renewable energy system of PV/Wind under different climatic conditions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *52*, p.۱۰۲۱۹٥.

[۱۸] Phommixay, S., Doumbia, M.L. and Cui, Q., ۲۰۲۲. Comparative Analysis of Continuous and Hybrid Binary-Continuous Particle Swarm Optimization for Optimal Economic Operation of a Microgrid. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, *6*(۱), pp.۹۳-۱۱۱.

[۱۹] Qi, X., Wang, J., Królczyk, G., Gardoni, P. and Li, Z., ۲۰۲۲. Sustainability analysis of a hybrid renewable power system with battery storage for islands application. *Journal of Energy Storage*, *50*, p.۱۰٤٦۸۲.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

[۲۰]RK, D. and HN, S., ۲۰۲۲. Effects of different batteries and dispatch strategies on performance of standalone PV/WT/DG/battery system: A case study. *Energy Storage*, *4*(۲), p.e۳۰٦.

[۲۱]Sun, H., Qiu, C., Lu, L., Gao, X., Chen, J. and Yang, H., ۲۰۲۰. Wind turbine power modelling and optimization using artificial neural network with wind field experimental data. *Applied Energy*, *280*, p.۱۱٥۸۸۰.

[۲۲]Zhang, W., Maleki, A., Birjandi, A.K., Alhuyi Nazari, M. and Mohammadi, O., ۲۰۲۱. Discrete optimization algorithm for optimal design of a solar/wind/battery hybrid energy conversion scheme. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, *16*(۲), pp.۳۲٦-۳٤۰.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]

Optimal sizing of hybrid photovoltaic-wind-battery system considering cost and reliability: Case study for Tehran

Akbar Asgharzadeh-Bonab
Department of science and technology studies, AJA Command and Staff University, Tehran, Iran
Akbar.asgharzadeh@casu.ac.ir
(Corresponding Author)

Reza Sepahvand
Department of Electrical Engineering, Imam Ali University, Tehran, Iran
reza_sepahvand@yahoo.com

Mojtaba Rezaei
[۳] Department of science and technology studies, AJA command and staff university, Tehran, Iran
m.rezaei@casu.ac.ir

Received:
۲۰۲۲/۱۰/۲۲

Accepted:
۲۰۲۲/۰۲/۰۴

Keywords:
Hybrid system,
Cost reduction,
Reliability,
Modified bald eagle algorithm

Abstract:

In this paper, the optimal design of a hybrid photovoltaic-wind system with battery storage for a remote area in Tehran province has been done by a proposed modified version of the Bald Eagle algorithm (MBES). An innovative objective function is proposed which is a combination of the investment cost, maintenance cost and fines for energy not supply. Also, the loss of power supply probability (LPSP) reliability index is also considered as a main optimization constraint. The simulations are done in two scenarios with LPSP of ۲٪ and ۵٪ and the obtained results from the optimization by the proposed MBES algorithm are compared with the discrete simulated annealing (DSA), discrete harmony search (DHS) and also the initial version of the bald eagle search (BES). The simulation results showed that the system cost at LPSP=۲٪ is about ۱۹٪ higher than LPSP=۵٪. The results also proved that the proposed MBES performed better than the other three algorithms in both scenarios and its designing cost is lower than other.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-09-09]