فصلنامه علمی – ترویجی «نشریه انرژی ایران»
دوره ۲۰، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، صفحه ۱۰۴-۸۷

طراحی و بهره برداری بهینه سیستم ترکیبی بادی، خورشیدی و برق آبی بر پایه ذخیره سازی باتری با هدف افزایش شاخص قابلیت اطمینان و کاهش هزینه سیستم توسط الگوریتم GSO

[۱]حامد موسی زاده* ، [۲]منصور حسینی فیروز

تاریخ دریافت:
۱۳۹۴/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۵/۱۱/۲

کلمات کلیدی:
نیروگاه بادی
سیستم فتوولتاییک
نیروگاه برق آبی کوچک
شاخص قابلیت اطمینان
الگوریتم GSO

چکیده

در این مطالعه امکان‌سنجی استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق دورافتاده بصورت مستقل از شبکه توزیع برق و با هدف تأمین برق با هزینه کمتر و با درنظرگرفتن تأمین مطمئن بار به‌همراه بررسی شاخص قابلیت اطمینان سیستم صورت می‌گیرد. عموما هدف اصلی طراحی وتوسعه شبکه‌های توزیع، پاسخ به رشد مصرف برق با حداکثر کارایی اقتصادی به نحوی است که محدودیت های حاکم برسیستم نقض نگردد. وجود اِلمانهای زیاد درشبکه های توزیع و فوق توزیع که متغیرهای تصمیم گیری زیادی را به دنبال دارد، مسأله طراحی و توسعهٔ این شبکه‌ها را با مشکل روبرو کرده است. پیدایش منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع ضمن تغییر مراحل بهره برداری از این سیستم ها، این امکان را برای این شرکت‌ها فراهم نموده است تا بتوانند سیستم هایی با هزینه پایین‌تر را طراحی نمایند. در این مطالعه هدف، کمینه سازی هزینه‌های سیستم ترکیبی برق آبی، بادی، خورشیدی و باتری به همراه محاسبه شاخص LPSP سیستم توسط الگوریتم GSO اجرا شده است. مساله برای طراحی بلند مدت شبکه و در طول ۲۰ سال طراحی و اجرا می‌گردد.

۱. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل (نویسنده مسئول) h.mousazadeh.epe@gmail.com
۲. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

۱. مقدمه

در چند دهه اخیر، حضور منابع تولید پراکنده (DG) در شبکه‌های توزیع با روند رو بـه رشـدی مواجـه بوده است. مخصوصاً با افزایش منابع جدید انرژی که دارای توان کوچک و ولتاژ پایین می‌باشـند، ایـن مسئله به شدت افزایش یافته است. استفاده از منابع تولید پراکنده تجدید پذیر به دلیل مزایای فراوان از جمله قیمت مناسب، عدم آلودگی و غیره به شدت مورد استقبال قرار گرفته است. اما به دلیل مشکلاتی همچون در دسترس نبودن همیشگی و عدم بازدهی مناسب استفاده از این منابع بـا مشـکلاتی همـراه بوده است طراحان برای حل این مشکل از سیستم‌های ترکیبی شامل چندین منبع تجدید پذیر اسـتفاده کرده اند تا بر این مشکلات نیز غلبه کنند. از مشکلات عمده استفاده از منـابع تجدیدپـذیر میتـوان بـه منقطع بودن شدت وزش باد درطول روز و عدم استفاده از انرژی خورشیدی در هنگام شب اشـاره کـرد که برای حل این مشکل از ترکیب سیستم‌های بادی و خورشیدی استفاده می‌شود که این سیسـتم نیـز در جای خود دارای مشکلات دیگری همچون پایین بودن قابلیت اطمینان سیستم و عدم تامین بـار در زمان پیک درطول سال از سوی سیستم می‌شود.

در این تحقیق اطلاعات مربوط به یکی از روستاهای استان اردبیل به عنوان منطقه مورد بررسـی انتخاب شده که به دلیل صعب–العبور بودن منطقه، فاصله آن تا نزدیک ترین شبکه برق‌رسـانی حـدود ۱۸ کیلومتر و حداکثر بار مصرفی روزانه آن ۵۰ کیلووات می‌باشد. در حال حاضر به منظور تأمین برق در این روستا از دیزل ژنراتور که باعث انتشار گازهای آلاینده مانند CO_2 می– شود، استفاده می‌گردد که نتیجه آن آلودگی محیط زیست بوده و بیماری‌های تنفسی را در بلندمدت به دنبال خواهد داشت.

در تحقیقات به‌عمل آمده، این منطقه دارای پتانسیل بسیار خوبی به لحاظ منـابع آبـی بـه منظـور احداث نیروگاه برق‌آبی کوچک و نیز میزان دریافت مناسب انرژی خورشیدی و بادخیز بودن منطقـه بـه منظور نصب توربین‌های بادی می‌باشد [۱]. بنابراین علاوه بر اینکه منطقه بـه لحـاظ شـرایط اقلیمـی، مناسب برای احداث نیروگاه ترکیبی برق‌آبی و خورشیدی و بادی به صورت مستقل از شبکه برق‌رسانی است، باعث کاهش آلودگی زیست‌محیطی ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی می‌شود. اطلاعات آب و هوایی منطقه برای یک سال از اداره هواشناسی منطقه گرفته شده و در شبیه سازی مورد استفاده قرار

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

می‌گیرد. سیستم موردنظر با طول عمر ۲۰ ساله و با هدف کم ترین هزینه عملیاتی و بهره‌برداری و به منظور تأمین مطمئن بار منطقه پیاده‌سازی می‌شود.

در این زمینه مطالعات زیادی صورت پذیرفته از جمله در [۱] به مطالعهٔ امکان سنجی فنی و اقتصادی یک سیستم هیبرید از طریق نرم افزار هومر می پردازند. مرجع [۲] بدترین حالات جهت قابلیت اطمینان را درنظر گرفته، مسألهٔ چند هدفهٔ هزینه و قابلیت اطمینان را به صورت یک تابع تک هدفه مطرح و بهینه سازی می کند. در [۳] تعداد بهینهٔ اجزا را با روش مبتنی بر صافی دیفرانسیلی، با استفاده از الگوریتم ژنتیک و فرمول بندی مسأله و با قید تامین بار بدست می آورند. در [۴] از نرم افزار HOMER برای شبیه‌سازی سیستم هیبریدی خورشیدی و نیروگاه برق‌آبی کوچک در منطقه شمال آفریقا استفاده شده است. هزینه بالای احداث نیروگاه به جهت ترکیب نامناسب اجزای سیستم، از معایب عمده این مقاله محسوب می‌شد. در [۵] از نرم افزار HOMER جهت کمینه‌سازی هزینه نیروگاه‌های مختلط بادی، خورشیدی و میکروهیدروالکتریکی و دیزلی در کشور مالزی استفاده شده است. از معایب عمده این مقاله نیز می‌توان به عدم بررسی قابلیت اطمینان سیستم و استفاده از دیزل ژنراتور که باعث افزایش آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌شود، اشاره کرد. در مقاله [۶] شبیه سازی و آنالیز یک سیستم متشکل از یک توربین بادی، یک الکترولایزر و یک سلول سوختی را که به منظور تامین انرژی الکتریکی ثابت در طول یک سال با هم کار می‌کنند، ارائه می‌کند. کل سیستم بنابر دو استراتژی بهره برداری متفاوت که عمدتا روی عملکرد الکترولایزر در توان نامی ثابت یا با تغییر ۲۰ درصد از عملکرد نامی متمرکز هستند، شبیه سازی می‌شود. ابعاد و آرایش‌های مختلف هر مولفه ی سیستم مورد آزمایش قرار می‌گیرد. کل مجموعه با استفاده از TRNSYS 15 ساخته شده است که امکان شبیه سازی کلی و آنالیز رفتاری را فراهم می‌کند. با استفاده از این ابزار امکان پذیر بودن آن بر مبنای جنبه‌های اقتصادی و فنی مشخص خواهد شد. عدم محاسبات شاخص قابلیت اطمینان از معایب این مقاله می‌باشد.در مقاله [۷] ، برای اولین بار، یک طراحی سه هدفه از سیستم‌های ترکیبی ایزوله برای کاهش هم زمان هزینه ی نصب در طول بازه ی عمر مفید، انتشار آلودگی دی اکسید کربن و بار تامین نشده را ارائه می‌کند. به این منظور یک الگوریتم تکاملی چند هدفه و الگوریتم ژنتیک به منظور پیدا کردن بهترین ترکیب‌های سیستم هیبرید و استراتژی‌های کنترلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان یک مثال کاربردی، یک سیستم باتری–هیدروژنی– دیزلی– بادی– خورشیدی طراحی شده است

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

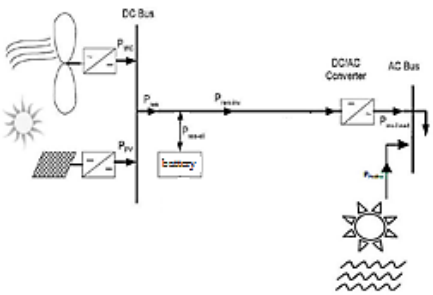
که برای آن یک مجموعه از پاسخ‌های ممکن به دست خواهد آمد (دسته ی پیشتاز). نتایج حاصله، استفاده ی عملی از روش طراحی توسعه یافته را نشان می‌دهد. عدم مقایسه نتایج با سایر الگوریتم‌های هوشمند از معایب این مقاله می‌باشد. در مقاله [۸] جزیره‌های مستقل، معمولا ژنراتورهای دیزلی انرژی الکتریکی را تامین می‌کنند. اما مشکلاتی چون سوخت فسیلی و آلودگی محیطی و غیره وجود دارند. بنابراین جزیره ی مستقل مانند میاکو، نیروگاه‌های تولید توان تجدیدپذیر را نصب می‌کنند. اما تولید توان از انرژی‌های تجدید پذیر بسیار پرهزینه است. این مقاله یک آرایش بهینه ی سیستم قدرت در جزیره ی ایزوله شده با در نظر گرفتن امکان نصب نیروگاه‌های تجدیدپذیر را ارائه می‌کند. سیستم تولید شامل ژنراتور دیزلی، ژنراتورهای توربین بادی، سیستم فتوولتائیک و باتری‌ها می‌شود. با استفاده از روش پیشنهاد شده، هزینه ی بهره برداری تا ۱۰ درصد در مقایسه ی با ژنراتورهای دیزلی کاهش خواهد یافت. مقاله [۹] بعنوان یک مشارکت در برنامه ی توسعه ی نواحی شهری فلسطین، قصد دارد سه منبع انرژی را برای یک روستای دوردست در قالب سیستم فتوولتائیک ، ژنراتور دیزلی و شبکه ارائه کند. در این مقاله طراحی این سیستم‌ها و هزینه‌های استفاده از آن‌ها نشان داده می‌شوند.

اضافه کردن سیستم برق‌آبی کوچک و سیستم ذخیره سازی با استفاده از باتری به ترکیب توربین بادی و خورشیدی، قابلیت اطمینان سیستم را تا حد بسیار بالایی افزایش و تقاضای مصرف کننده در زمان اوج بار را در طول سال تامین می‌کند. ضمن این که هزینه کل احداث نیروگاه در این حالت بسیار پایین‌تر از حالت ترکیبی باد و خورشید بود که این به سبب ارزان‌تر بودن ژنراتورهای برق آبی نسبت به پنل‌های فتوولتائیک و توربین های بادی می‌باشد.

۲. تشریح سیستم ترکیبی برق آبی، بادی، خورشیدی بر پایه ذخیره‌سازی هیدروژن به همراه محاسبه شاخص قابلیت اطمینان و اندازه‌یابی سیستم

استفاده از پتانسیل آبی و انرژی قابل استحصال بادی وخورشیدی مناسب منطقه، به خوبی پاسخگوی تقاضای برق مصرف‌کنندگان می‌باشد. سیستم پیشنهادی متشکل از پنل فتوولتائیک، ژنراتورآبی، توربین‌بادی و پیل سوختی جهت ذخیره‌سازی انرژی و نیز یک مبدل DC/AC جهت تأمین برق موردنیاز مصرف‌کنندگان می‌باشد. با توجه به شکل (۱)، PV ، WG ،الکترولیزر به باس DC متصل می‌شوند که توسط مبدل DC/AC به باس AC متصل می‌شوند ولی خروجی ژنراتورآبی مستقیماً به باس AC متصل می‌شوند. خروجی باس AC نیز مستقیماً جهت تامین بار مصرف‌کنندگان استفاده می‌شود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]



شکل ۱. شماتیک کلی سیستم هیبریدی

سیستم برق‌آبی کوچک

برای محل مورد نظر ۲ پارامتر اصلی ارتفاع آب (که به صورت متغییر در ۶ ارتفاع قابل دسترس مشخص گردیده است) و فلوی آب ۶۰ L/s یا ۰/۰۶ m3/s اندازه‌گیری شده است. پتانسیل قابل دسترسی توان الکتریکی توسط منابع آبی از رابطه زیر بدست آمده است:

$$P_{Total} = p_h \times \eta_t \times \eta_g \qquad (۱)$$

که در آن η_t راندمان توربین، η_g راندمان ژنراتور و Ph توان هیدرولیکی می‌باشد. توان خروجی تئوری با توجه به محل استقرار توربین توسط رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P_h = \rho \times h \times r \times g \times k \qquad (۲)$$

که در رابطه فوق، Ph توان برحسب وات ، ρ چگالی آب (~1000 kg/m3)، h ارتفاع برحب متر ، r میزان جریان برحسب متر مکعب در ثانیه ،g شتاب گرانش و ضریب بهره وری در محدوده از ۰ تا ۱ است. با توجه به توپولوژی و خواص هیدرولوژیکی منطقه توربین نوع کاپلان (اندازه کوچک و سرعت بیشتر) می‌توان استفاده کرد. با توجه به نوع توربین و مشخصات فنی آن بازده توربین را ۸۵٪ در نظر می‌گیریم و بر اساس ارتفاع مورد نیاز نوع توربین را تعیین می‌کنیم. برای تولید سرعت متغیر از ژنراتور القایی به علت مشخصه سرعت روتور متغیر آن نسبت به ژنراتور سنکرون استفاده می‌شود. بازده ژنراتور نیز معمولاً بالای ۹٪ درنظر گرفته می‌شود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

مشخصه‌های اصلی ژنراتور مطرح شده در جدول (۱) نشان داده شده است :

جدول ۱. مشخصات فنی ژنراتور

نوع	ژنراتور القایی
توان نامی	Kw ۱۱
بازده	۰٫۸۵
فرکانس	۵۰ Hz
ضریب قدرت	۰٫۸
سرعت سنکرون	۱۵۰۰ rpm
سرعت روتور	۱۵۶۰ rpm

سیستم فتوولتائیک

توان تولید شده توسط هر آرایه خورشیدی نسبت به انرژی خورشیدی تابیده شده از رابطه ۴-۱ بدست می آید :

$$P_{PV} = \frac{G}{1000} \times P_{PV\,(rated)} \times \eta_{PV} \qquad (۳)$$

که در این رابطه :

G : تابش عمود بر سطح هر آرایه $^{W}/_{m2}$

P_{pv} : توان نامی هر آرایه بوده که به ازای $G = 1000\ ^{W}/_{m2}$ بدست می‌آید.

η_{pv} : برابر با بازدهی مبدل $^{DC}/_{DC}$ نصب شده بین هر آرایه و باس بار DC می‌باشد.

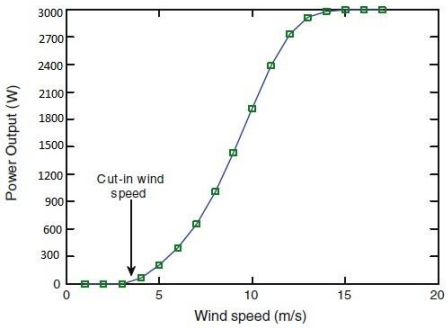
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

مدل توربین باد

توان تولید شده توسط هر توربین بادی بر حسب سرعت باد، توسط کارخانه سازنده آن مشخص می شود .توربین بادی استفاده شده در این مقاله دارای توان نامی۳ KW مـی‌باشـد. منحنـی تـوان خروجـی توربین بادی (P_{WG}) برحسب سرعت باد (V_{WS}) در شکل ۴-۲ نشان داده شده است که با رابطه زیـر تقریب زده می‌شود :

$$P_{WG}=\begin{cases}0 & V_{WS}\langle V_{Cutin}\ ,\ \ V_{WS}\rangle V_{Cutin}\\ P_{WG\max}\times\left(\dfrac{V_{WS}-V_{Cut-in}}{V_{rated}-V_{Cut-in}}\right)^{3} & V_{Cutin}\le V_{WS}\le V_{rated}\\ P_{WG\max} & V_{rated}\le V_{WS}\le V_{Cutout}\end{cases} \qquad (۴)$$

که در آن V_{cutin} و V_{cutout} و V_{rated} به ترتیب سرعت قطع پایین، سرعت قطع بالا و سرعت نـامی توربین m/s بوده و $P_{WG\max}$ بیشینه توان خروجی توربین (KW) می‌باشد.



شکل ۲. مشخصه توان خروجی توربین بادی در مقابل سرعت باد

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

مدل باتری

بانک باتری که معمولا از نوع سرب – اسید است برای ذخیره انرژی الکتریکی اضافی برای تنظیم کردن ولتاژ سیستم و برای عرضه توان به بار در مواقع سرعت باد کم و یا شرایط خورشیدی پایین بـه کـاربرده می‌شود. باتری های سرب – اسید که در سیستم های ترکیبی خورشید – باد به کار می‌روند تحت شرایط خیلی خاص عمل می‌کنند. بنابراین پیش بینی زمانی که انرژی از باتری استخراج خواهد شد یا به باتری عرضه خواهد شد، مشکل می‌شود. انرژی هنگامی کـه تـوان تولیـد شـده توسـط تـوربین بـاد و آرایـه فتوولتاییک بیشتر از بار است در باتری ذخیره خواهد شد. هنگامی که توان تولیدی نمی–تواند نیازهـای بار را تامین کند، انرژی از باتری استخراج خواهد شد و هنگامی که تولید توان توسط هم تـوربین بـاد و هم آرایه فتوولتاییک ناکافی است و ذخیره نیز تمام شده است بار قطع از طریق t و ساعت i خواهد شـد. از رابطه زیر می‌توان استفاده کرد.

$$Ebat(i, t) = V_{bat} .C_{bat}(SOC(i, t -1) - SOC(i, t)) \quad (۵)$$

Cbat ظرفیت نامی باتری (AH) ، Vbat ولتاژ نامی باتری، SOC سطح شارژ باتری می‌باشد.

سطح شارژ باتری:

$$SOC(i,t) = SOC(i,t-1).(1-\sigma) - \frac{I_{bat}(i,t).\Delta t.(\eta_{ch})^k}{C_{bat}} \quad (۶)$$

σ میزان خوددشارژی ساعتی باتری

η_{ch} K راندمان شارژ باتری

K متغیر وضعیت شارژ باتری که برای حالت شارژ باتری برابر با ۱ و برای حالت دشارژ باتری برابـر بـا صفر می‌باشد.

جریان شارژ و دشارژ باتری

$$I_{bat}(i,t) = \frac{PL(i,t)/\eta_{inv}}{V_{bat}} - \frac{P_{pv}(i,t)}{V_{bat}} - \frac{p_w(i,t)}{V_{bat}} \quad (۷)$$

SOC باتری به عنوان متغیر طرح برای کنترل حفاظت های اضافه شارژ و دشـارژ بـاتری بـه کـار برده می‌شود. حالت اضافه شارژ ممکن است اتفـاق بیافتـد هنگـامی کـه تـوان بیشـتری توسـط آرایـه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

فتوولتاییک و توربین باد تولید می‌شود یا هنگامی که تقاضای بارکمی وجود دارد. در چنین موردی هنگامی که SOC باتری به مقدار ماکزیمم خود یعنی یک می‌رسد. سیستم کنترل مداخله می‌کند و فرایند شارژ را متوقف می‌کند. به عبارت دیگر اگر حالت شارژ به یک سطح مینیمم کاهش یابد SOCmin = 1 - DOD سیستم کنترل، بار را قطع می‌کند. زیرا این مسئله که از کوتاه سازی طول عمر باتری‌ها یا حتی ویرانگری شان پیشگیری شود، بسیار مهم است. باید توجه شود که DODعمق دشارژ باتری می‌باشد.

مبدل DC/AC

مبدل DC/AC به منظور تبدیل توان DC کل نیروگاه ترکیبی به AC با فرکانس مطلوب مورد استفاده قرار می گیرد. توان برق تأمین شده بار توسط مبدل نیز این چنین محاسبه می شود:

$$P_{inv-load} = (P_{FC-inv} \times P_{ren-inv}) \times \eta_{inv} \quad (۸)$$

که η_{inv} بازده مبدل می‌باشد.

شاخص قابلیت اطمینان LPSP

یک سیستم توان الکتریکی مطمئن یعنی یک سیستمی که توان الکتریکی کافی برای تامین تقاضای بار را در طول یک دوره خاص دارد یا به عبارت دیگر، سیستمی که احتمال تلفات عرضه توان (LPSP) کمی دارد .

LPSP احتمالی است برای هنگامی که عرضه توان ناکافی اتفاق می‌افتد و سیستم هیبرید نتواند تقاضای بار را تامین نماید. مقدار LPSP از زمان صفر تا T از فرمول زیر محاسبه می‌شود :

$$LPSP = \frac{\sum_{t=0}^{T} Power.failure.time}{T} = \frac{\sum_{t=0}^{T} Time(P_{available}(t) < P_{needed}(t)}{T} \quad (۹)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

تابع هدف ریاضی مسئله

هدف اصلی در این مقاله تعیین مقادیر بهینه توربین باد، پنل خورشیدی، میکرو هیدرو توربین و پیل سوختی تامین بار مورد نظر با بهبود دو هدف می‌باشد که این اهداف عبارتند از: ۱) قابلیت اطمینان سیستم مورد مطالعه ۲) تابع هزینه کل سیستم.

تابع هدف ریاضی مسئله سیستم مورد مطالعه در رابطه زیر مشخص می‌باشد که a1 و a2 ضرایب وزنی رابطه می‌باشند.

$$F_{TOTAL}(X) = a1 * T(X) + a2 * LPSP(X) \quad (۱۰)$$

در رابطه فوق T(x) مربوط به تابع هزینه می‌باشد. این قسمت از تابع هدف خود به دو قسمت تقسیم می‌شود که قسمت اول آن مربوط به هزینه‌های ثابت است که این هزینه‌ها شامل هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه می‌باشد که در ابتدا دوره برنامه- ریزی می‌بایستی صرف شود و قسمت دوم که مربوط به هزینه‌های متغیر می‌باشد، شامل هزینه‌های تعمیر و نگهداری و بهره برداری از DG ها می‌گردد که این هزینه خود در طول دوره برنامه ریزی در سیستم صرف می‌شود. در حالت کلی تابع هزینه شامل سه بخش می‌شود که طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد که قیود مورد استفاده در آن عبارتند از :

$$N_{pv} \geq 0 \ , \ N_{wg} \geq 0 \ , H_{hydro} \geq 0$$
$$M_{\min} < M_{Tank} < M_{\max} \ , P_{supply}(i,x) \geq P_{demand} \quad (۱۱)$$

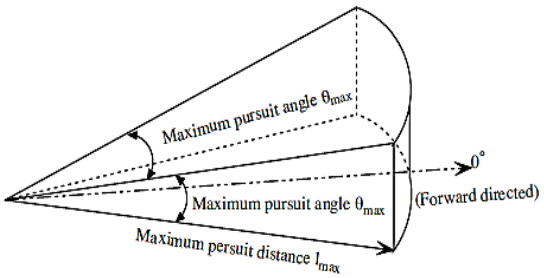
قیود اصلی مسأله، توانایی یا عدم توانایی ترکیب بدست آمده برای سیستم، و نیز بررسی میزان قابلیت اطمینان سیستم در پاسخگویی به تقاضای مصرف‌کننده را بررسی می‌کنند.

۳. الگوریتم GSO (group search optimizer)

برای بهینه سازی مساله از الگوریتم GSO استفاده می‌شود که یک روش بهینه سازی الهام گرفته شده از رفتار جستجوی حیوانات می‌باشد که براساس مدل producer-scrounger پیاده سازی شده است. شایان ذکر است که براساس الگوی مذکور مکانیزم‌های اسکن حیوانات بطور نمادین در این الگوریتم برای حل مسائل بهینه سازی مدنظر قرار گرفته اند. موجودات زنده برای پیداکردن غذا با حرکت هایی که در حین جابجایی از نقطه ای به نقطه ی دیگر از خود نشان می‌دهند به سمت منبع عالی غذا نزدیک می‌شوند وتشخیص این که منبع مورد نظر بهترین منابع باشد با اختصاص دادن توابع هدف قابل ارزیابی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

است. بهینه سازی که درحقیقت همان پیداکردن نقطه بهینه دریک فضـای جسـتجو مـی‌باشـد بـا فراینـد جستجوی منابع حیوانات قابل قیاس است. الگـوریتم GSO کـه از یـک منطـق population-based بهره می‌برد گزینه ی مناسبی برای بهینه سازی‌های حوزه مهندسی برق می‌باشد.



شکل۳. میدان دید در فضای سه بعدی در الگوریتم **GSO**

٤. مطالعات عددی

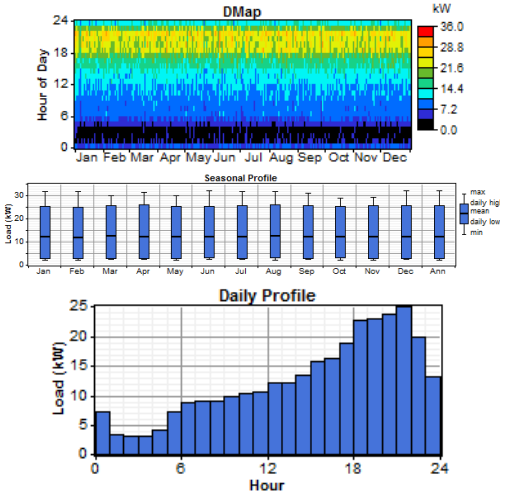
در این تحقیق برای نشان دادن میزان کارایی الگوریتم پیشنهادی، مساله را بر روی یک منطقه واقعـی که مربوط به یکی از روستاهای شهر اردبیل می‌باشد، که دسترسی به منابع آبی نیز دارد (شکل۱) انجام گرفته شده و حداکثر بار مصرفی روزانه آن ۲۵ کیلووات می‌باشد، انتخاب شده است. علت اصلی انتخاب این روستا صعب العبور بودن مسیر این روستا و دور از دسترس بودن آن از شبکه برق سراسری و هزینه بر بودن اتصال آن به شبکه سراسری می‌باشد. منحنی بار روزانه این روستا در شکل ۵ ارایه شده است. این منطقه به لحاظ شرایط اقلیمی، مناسب برای احداث نیروگاه ترکیبی خورشیدی و بـادی بـا سیسـتم باتری به صورت مستقل از شبکه برق‌رسانی است، که این خود باعث کاهش آلـودگی زیسـت‌محیطـی ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی می‌شود. در واقع برق این روستا از طریق یک دیزل ژنراتور تامین می‌گردد که در حال حاضر با توجه به افـزایش تقاضـا در ایـن روسـتا و پاسـخگو نبـودن ایـن ژنراتـور می‌بایستی ساز و کارهای جدیدی جهت تامین بارهای این روستا اندیشید. از طرفی دسترسی روستا بـه منابع آبی مربوط به سد یامچی باعث شده تا برای تامین انرژی مـورد نیـاز میکروتوربین‌هـای آبـی بـه عنوان یکی از آیتم‌های طراحی در نظر گرفته شوند. در همین راستا ما برای تامین بارهای ایـن روسـتا یک نیروگاه هیبریدی متشکل از میکروتوربین آبی، توربین‌هـای بـادی، پنل‌هـای خورشـیدی و بـاتری طراحی می‌کنیم. اطلاعات آب و هوایی منطقه برای یک سال از اداره هواشناسی منطقه گرفتـه شـده و

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

در شبیه سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم موردنظر با طول عمر ۲۰ ساله و با هدف کاهش هزینه‌های مربوطه و افزایش شاخص احتمال تلفات عرضه توان (LPSP) مورد نظر اجرا شده است.



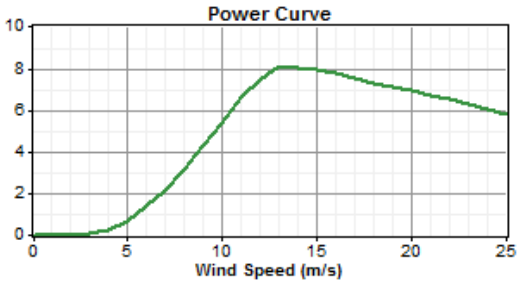
شکل ۴. شمای ماهواره ای منطقه مورد مطالعه



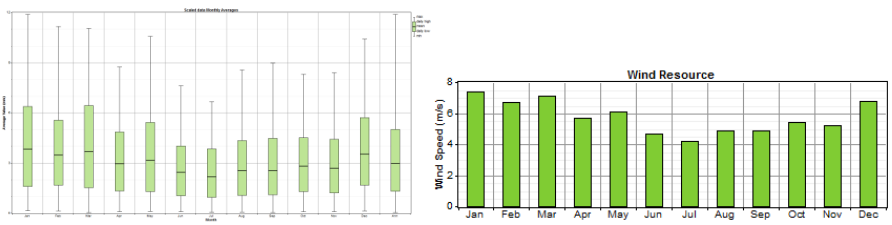
شکل ۵. اطلاعات بار مصرفی روزانه و در ماهانه شبکه مورد مطالعه

در این سیستم از بین توربین های مختلف با مقادیر مختلف، توربین WES5T ulipo را انتخاب کردیم که در شکل ۷ نمودار توان – سرعت این توربین ارایه گردیده است و همچنین میانگین سرعت وزش باد در ماه‌های مختلف سال در منطقه مورد نظر که از سازمان هوا شناسی برای منطقه گرفته شده است نیز در شکل ۸ نمایش داده شده است و در جدول ۱ نیز هزینه‌های مختلف مربوط به این توربین نیز ارایه شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]



شکل ۶. منحنی توان بر مبنای سرعت باد



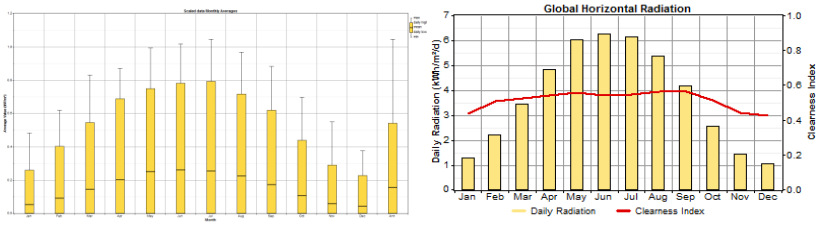
شکل ۷. میانگین سرعت وزش باد در ماه‌های مختلف سال

جدول ۲) هزینه توربین بادی

مقدار	هزینه اولیه یا احداث ($)	هزینه جایگزینی($)	تعمیرات و نگهداری($)
۳ کیلو وات	۷۵۰۰	۷۲۰۰	۱۰

داده های خورشیدی را برای هر روز هفته هر ده دقیقه یک بار برای مدت یک سال از سازمان انرژی های نو ایران (سانا) و سایت ناسا برای منطقه مورد نظر گرفتیم سپس میانگین داده‌ها برای ماه های مختلف سال محاسبه و طبق شکل ۵ ارایه شده است. همچنین در جدول ۲ هزینه‌های مختلف مربوط به این پنل خورشیدی و ظرفیت مورد استفاده در این مدل سازی نیز ارایه شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]



شکل ۸. میانگین ساعات آفتابی در ماه‌های مختلف سال

جدول ۳. اطلاعات ورودی مربوط به پنل‌های خورشیدی

اندازه بر حسب کیلو وات	۰و۵و۱۰و۱۵و۲۱
طول عمر	۲۵
ضریب بازده	٪۹۰
زاویه پنل	۳۵
قابلیت انعکاس زمین	٪۲۰

جدول ۴. هزینه پانل خورشیدی

مقدار	هزینه اولیه	هزینه جایگزینی	تعمیرات و نگهداری
۱ کیلو وات	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۰

در این تحقیق از باتری ۴ ولت با ظرفیت ۶۰ آمپر ساعت که خروجی آن ۰,۲۵ کیلو وات ساعت با عمر مفید ۴ سال استفاده شده است. مشخصات دیگر باتری در جدول ۴ ارایه شده است. همچنین مبدل استفاده شده در این تحقیق نیز به صورت ضریبی از۴ کیلو وات می‌باشد که سایر اطلاعات مربوط به آن در جدول ۵ ارایه گردیده است.

جدول ۵. هزینه باتری

مقدار	هزینه اولیه	هزینه جایگزینی	تعمیرات و نگهداری
۲,۱۶کیلو وات	۶۰	۵۰	۴

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

جدول ۶. هزینه مبدل

مقدار	هزینه اولیه	هزینه جایگزینی	تعمیرات و نگهداری
۴ کیلو وات	۳۶۰۰	۳۶۰۰	۴۰

در این تحقیق از میکرو توربین‌های آبی برای تامین انرژی استفاده شده است که طول عمر این میکروتوربین‌ها ۲۰ سال می- باشد و از آب سد به عنوان منبع مخزن اصلی آن استفاده می‌گردد.

جدول ۶. هزینه میکرو توربین آبی

هزینه اولیه	هزینه جایگزینی	تعمیرات و نگهداری
۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۰۰

۵) نتایج حاصل از اجرای آزمایش

با اجرای مسئله مورد نظر برروی شبکه نمونه توسط الگوریتم GSO نتایج در جدول ارائه شده است. طراحی ترکیب بهینه در حضور واحدهای بادی، خورشیدی، میکرو هیدرو توربین و باتری به روش الگوریتم GSO با استفاده از نرم افزار مطلب و در نظر گرفتن ضرایب وزنی بصورت a1=0.85 و a2=0.15 (ضرایب وزنی نشان دهنده درصد تاثیر هریک از پارامترهای هزینه و شاخص قابلیت اطمینان می‌باشد.) صورت پذیرفته است با جمعیت اولیه‌ای برابر با ۶۰ نفر و ۲۰۰ تکرار انجام گرفت و ترکیب بهینه ارائه شده در جدول (۸) حاصل شد و در ذیل نتایج کار ارائه گردیده است. همچنین در این مسأله نرخ بهره ۰،۰۷ و نرخ تورم ۰،۱۲ می‌باشد. در این مرحله برای بررسی میزان تاثیر میکروتوربین آبی در سیستم یک بار مساله در حضور پنل‌های خورشیدی و بادی و باتری بدون در نظر گرفتن میکرتوربین آبی حل می‌گردد و در آزمایش دوم این مساله در حضور میکرتوربین آبی حل می‌گردد و نتایج به دست آمده مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

جدول ۷. نتایج به دست آمده توسط الگوریتم GSO حاصله از اجرای آزمایش

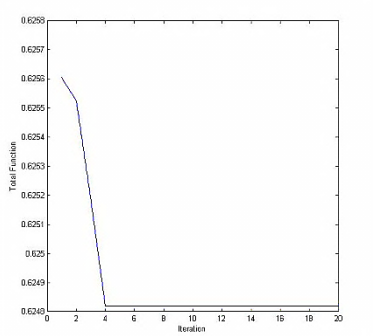
ردیف	آیتم	نتایج آزمایش اول	نتایج آزمایش دوم
۱	تعداد توربین‌های بادی انتخاب شده	۱۱	۱۰
۲	تعداد پنل‌های خورشیدی انتخاب شده	۴	۴
۳	تعداد باتری‌های نصب شده در سیستم	۵	۸
۴	هزینه احداث توربین‌های بادی نصب شده($)	۱۰۵۰۰۰	۹۴۵۰۰
۵	هزینه احداث پنل‌های خورشیدی نصب شده($)	۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰
۶	هزینه احداث و بهره برداری از میکرو توربین آبی($)	۰	۹۸۴۰
۷	ارتفاع انتخابی برای میکرو توربین ابی (m)	۰	۲۳
۸	توان تولیدی میکرو توربین ابی (KW)	۰	۸,۹۷۵
۹	هزینه احداث باتری‌های نصب شده($)	۳۰۰	۴۸۰
۱۰	هزینه احداث مبدل DC به AC نصب شده($)	۳۶۲۲۰	۳۶۱۴۷
۱۱	هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات نصب شده($)	۲۰۵۰,۴۳	۲۰۷۶,۰۶
۱۲	هزینه جایگزینی تجهیزات نصب شده ($)	۱۰۹۷۱,۸۶	۹۸۵۰,۳۴
۱۳	هزینه کل تجهیزات در طول دوره برنامه ریزی ($)	۱۷۴۵۴۲,۹	۱۷۳۰۷۰,۸
۱۴	احتمال تلفات عرضه توان	۰,۰۴۷۹۴	۰,۰۳۷۶۷
۱۵	مدت زمان خاموشی سیستم در سال (ساعت)	۴۲۰	۳۳۰

نتایج ارایه شده در جدول فوق نشان می‌دهد که با حضور باتری و میکروتوربین آبی میزان خاموشی سیستم و شاخص LPSP به شدت کاهش پیدا کرده است. از طرفی در این سیستم ملاحظه می‌گردد در آزمایش اول سیستم با استفاده از منابع بادی و خورشیدی و باتری تغذیه می‌گردد و در این حالت ملاحظه می‌گردد که هزینه از ۱۷۴۵۴۲ کاهش یافته و میزان خاموشی‌ها نیز به شدت کاهش یافته است. در نهایت در آزمایش سوم نیز با افزودن میکروتوربین آبی به سیستم ملاحظه می‌گردد که میزان خاموشی‌ها از ۴۲۰ ساعت به ۳۳۰ کاهش یافته و همچنین هزینه از ۱۷۴۵۴۲ به ۱۷۳۰۷۰,۸

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

کاهش یافته که این نشان دهنده کارایی میکرو هیدرو توربین در منطقه مـذکور مـی‌باشـد و در نتیجـه بهترین حالت ممکنه، حالت سوم می- باشد.

با بکار گیری روش پیشـنهادی بـرای حـل مسـئله نیروگاهـای ترکیبـی میکـرو هیـدرو تـوربین، خورشیدی بادی و باتری و روش جستجوی مبتنی بر GSO، پاسخ‌های کارا در سیستم مورد مطالعه به دست امدند. در ادامه در شکل ۷ نیز مسیر همگرایی سیستم ارایه گردیده است.



شکل ۹. روند همگرایی الگوریتم GSO

٦) نتیجه گیری

دراین مقاله کمینه سازی هزینه‌های مربوط به سیستم ترکیبی میکرو هیدرو توربین، بادی، خورشیدی و باتری و افزایش شاخص LPSP برای حصول نتایج مناسب بـا اسـتفاده از روش چنـد منظـوره انجـام پذیرفت. به دلیل تناقض موجود در اهداف مسئله استفاده از روش چند منظوره امری ضروری مـی‌باشـد بهینه سازی این مسئله به دلیل فاکتورهای بسیار زیاد دخیل در مسئله بسیار پیچیده مـی‌باشـد بـه ایـن خاطر از الگوریتم توانمند GSO برای بهینه سازی استفاده شد. نتایج بـه دسـت آمـده نشـان داد کـه بهترین حالت ممکنه برای تامین انرژی منطقه مورد مطالـه در حـالتی حاصـل مـی‌گـردد کـه سیسـتم هیبریدی با میکرو هیدروتوربین ترکیب گردد.

منابع

[1] Maheri A. et al. "A critical evaluation of deterministic methods in size optimisation of reliable and cost effective standalone hybrid renewable energy systems, " Reliability Engineering and System Safety 130 (2014) 159–174.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

[2] Kashefi Kaviani A., G.H. Riahy, SH.M. Kouhsari, "Optimal design of a reliable hydrogen-based stand-alone wind/PV generating system, considering component outages", Renewable Energy 34 (2009) 2380–2390
[3] Li Chong et al. “Techno-economic feasibility study of autonomous hybrid wind/PV/ battery power system for a household in Urumqi, China, ” Energy 55 (2013) 263-272.
[4] Erkan Dursun, Osman Kilic “Comparative evaluation of different power management strategies of a stand-alone PV/Wind/PEMFC hybrid power system” Electirical Power and Energy Systems 34 (2012) 81-89.
[5] Tégani I. et al.“Optimal sizing design and energy management of stand alone photovoltaic/wind generator systems, ” Energy Procedia 50 (2014) 163 – 170.
[6] Samaniegoa Jesu´s, Francisco Alijaa, Sergio Sanza, Ce´sar Valmasedaa, Fernando Frechosob “Economic and technical analysis of a hybrid wind fuel cell energy system “ Renewable Energy 33 (2008) 839-845
[7] Juhari Ab.Razak, Kamarazzuman Sopian, Yousoff Ali. "Optimization of PV-Wind-Hydro-Diesel Hybrid System by Minimizing Excess Capacity ".European Journal of Scientific Research,2009, I Vol.25 No.4 .
[8] Kusakana K., J.L. Handa, A.A.Jimoh. " Feasibility study of a hybrid PV-Micro Hydro system for rural electrification "Department of Electrical Engineering Tshwane University of Technology Pretoria, South Africa,IEEE Africon,2009.
[9] Marwan M. Mahmoud, Imad H. Ibrik “Techno-economic feasibility of energy supply of remote villages in Palestine by PV-systems, diesel generators and electric grid” Renewable energy 36(2011) 2238-2244
[10] Rezaei A.N., Mansoor Davoodi “Multi-objective models for lot-sizing with supplier selection” Int J,Production Economics 130 (2011)77-85
[11] Rodolfo Dufo-Lo´pez, Jose´L. Bernal-Agustı´n “Multi-objective design of PV– wind– diesel– hydrogen– battery systems” Renewable energy 33 (2008) 2559-2572.
[12] Dehghan S., H. Saboori, A.Parizad, B.Kiani"Optimal sizing of a hydrogen-based wind/pv plant considering reliability indices",IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 20, pp. 654–660, Sep. 2009.
[13] Tomonobu Senjyua, Daisuke Hayashia, Atsushi Yonaa, Naomitsu Urasakia, Toshihisa Funabashib “Optimal configuration of power generating systems in isolated island with renewable energy” Renewable Energy 36(2011) 881-888.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]