

## 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

۱حامد موسی زاده\* ، ۲منصور حسینی فیروز

### چکیده

در این مطالعه امکان سنجی استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق دورافتاده بصورت مستقل از شبکه توزیع برق و با هدف تأمین برق با هزینه کمتر و با در نظر گرفتن تأمین مطمئن بار به همراه بررسی شاخص قابلیت اطمینان سیستم صورت می‌گیرد. عموماً هدف اصلی طراحی و توسعه شبکه‌های توزیع، پاسخ به رشد مصرف برق با حداکثر کارایی اقتصادی به نحوی است که محدودیت‌های حاکم بر سیستم نقض نگردد. وجود المانهای زیاد در شبکه‌های توزیع و فوق توزیع که متغیرهای تصمیم‌گیری زیادی را به دنبال دارد، مسأله طراحی و توسعه این شبکه‌ها را با مشکل روبرو کرده است. پیدایش منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع ضمن تغییر مراحل بهره برداری از این سیستم‌ها، این امکان را برای این شرکت‌ها فراهم نموده است تا بتوانند سیستم‌هایی 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. مسأله برای طراحی بلند مدت شبکه و در طول ۲۰ سال طراحی و اجرا می‌گردد.

تاریخ دریافت:

۱۳۹۴/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش:

۱۳۹۵/۱۱/۲

کلمات کلیدی:

نیروگاه بادی  
سیستم فتوولتائیک  
نیروگاه برق آبی کوچک  
شاخص قابلیت اطمینان  
الگوریتم GSO

h.mousazadeh.epe@gmail.com

۱. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل (نویسنده مسئول)

۲. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل

## ۱. مقدمه

در چند دهه اخیر، حضور منابع تولید پراکنده (DG) در شبکه‌های توزیع با روند رو به رشدی مواجه بوده است. مخصوصاً با افزایش منابع جدید انرژی که دارای توان کوچک و ولتاژ پایین می‌باشند، این 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 همبستگی و عدم بازدهی مناسب استفاده از این منابع با مشکلاتی همراه بوده است طراحان برای حل این مشکل از سیستم‌های ترکیبی شامل چندین منبع تجدید پذیر استفاده کرده اند تا بر این مشکلات نیز غلبه کنند. از مشکلات عمده استفاده از منابع تجدیدپذیر میتوان به منقطع بودن شدت وزش باد درطول روز و عدم استفاده از انرژی خورشیدی در هنگام شب اشاره کرد که برای حل این مشکل از ترکیب سیستم‌های بادی و خورشیدی استفاده می‌شود که این سیستم نیز در جای خود دارای مشکلات دیگری همچون پایین بودن قابلیت اطمینان سیستم و عدم تامین بار در زمان پیک درطول سال از سوی سیستم می‌شود.

در این تحقیق اطلاعات مربوط به یکی از روستاهای استان اردبیل به عنوان منطقه مورد بررسی انتخاب شده که به دلیل صعب‌العبور بودن منطقه، فاصله آن تا نزدیک ترین شبکه برق‌رسانی حدود 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<sub>2</sub> می‌شود، استفاده می‌گردد که نتیجه آن آلودگی محیط زیست بوده و بیماری‌های تنفسی را در بلندمدت به دنبال خواهد داشت.

در تحقیقات به عمل آمده، این منطقه دارای پتانسیل بسیار خوبی به لحاظ منابع آبی به منظور احداث نیروگاه برق‌آبی کوچک و نیز میزان دریافت مناسب انرژی خورشیدی و بادخیز بودن منطقه به منظور نصب توربین‌های بادی می‌باشد [۱]. بنابراین علاوه بر اینکه منطقه به لحاظ شرایط اقلیمی، مناسب برای احداث نیروگاه ترکیبی برق آبی 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

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

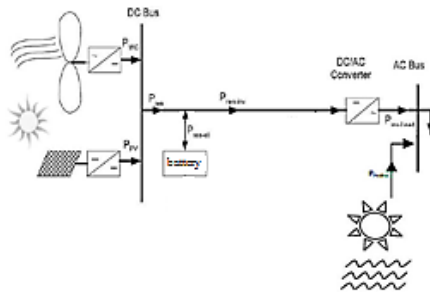
در این زمینه مطالعات زیادی صورت پذیرفته از جمله در [۱] به مطالعه امکان‌سنجی فنی و اقتصادی یک سیستم هیبرید از طریق نرم افزار هومر می‌پردازند. مرجع [۲] بدترین حالات جهت قابلیت اطمینان را در نظر گرفته، مسأله چند هدفه هزینه و قابلیت اطمینان را به صورت یک تابع تک هدفه مطرح و بهینه‌سازی می‌کند. در [۳] تعداد بهینه اجزا را با روش مبتنی بر صافی دیفرانسیلی، با استفاده از الگوریتم ژنتیک و فرمول بندی مسأله و با قید تأمین بار بدست می‌آورند. 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 می‌شود. 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] شبیه‌سازی و آنالیز یک سیستم متشکل از یک توربین بادی، یک الکترولایزر و یک سلول سوختی را که به منظور تأمین انرژی الکتریکی ثابت در طول یک سال با هم کار می‌کنند، ارائه می‌کند. کل سیستم بنابر دو استراتژی بهره‌برداری متفاوت که عمدتاً روی عملکرد الکترولایزر در توان نامی ثابت یا با تغییر ۲۰ درصد از عملکرد نامی متمرکز هستند، شبیه‌سازی می‌شود. ابعاد و آرایش‌های مختلف هر مولفه‌ی سیستم مورد آزمایش قرار می‌گیرد. کل مجموعه با استفاده از TRNSYS 15 ساخته شده است که امکان شبیه‌سازی 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 هم‌زمان هزینه‌ی نصب در طول بازه‌ی عمر مفید، انتشار آلودگی دی‌اکسید کربن و بار تأمین 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

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، معمولاً 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 برق‌آبی نسبت به پنل‌های فتوولتائیک و توربین های بادی می‌باشد.

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

استفاده از پتانسیل آبی و انرژی قابل استحصال بادی و خورشیدی مناسب منطقه، به خوبی پاسخگوی تقاضای برق مصرف‌کنندگان می‌باشد. سیستم پیشنهادی متشکل از پنل فتوولتائیک، ژنراتورآبی، توربین بادی 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.



شکل ۱. شماتیک کلی سیستم هیبریدی

### سیستم برق آبی کوچک

برای محل مورد نظر ۲ پارامتر اصلی ارتفاع آب (که به صورت متغیر در ۶ ارتفاع قابل دسترس مشخص گردیده است) و فلوی آب  $60 \text{ L/s}$  یا  $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$  اندازه گیری شده است. پتانسیل قابل دسترسی توان الکتریکی توسط منابع آبی از رابطه زیر بدست آمده است:

$$P_{Total} = p_h \times \eta_t \times \eta_g \quad (1)$$

که در آن  $\eta_t$  راندمان توربین،  $\eta_g$  راندمان ژنراتور و  $P_h$  توان هیدرولیکی می باشد. توان خروجی تئوری با توجه به محل استقرار توربین توسط رابطه زیر بدست می آید:

$$P_h = \rho \times h \times r \times g \times k \quad (2)$$

که در رابطه فوق،  $P_h$  توان برحسب وات،  $\rho$  چگالی آب ( $\sim 1000 \text{ kg/m}^3$ )،  $h$  ارتفاع برحسب 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) می توان استفاده کرد. با توجه به نوع توربین و مشخصات فنی آن بازده توربین را ۸۵٪ در نظر می گیریم و بر اساس ارتفاع مورد نیاز نوع توربین را تعیین می کنیم. برای تولید سرعت متغیر از ژنراتور القایی به علت مشخصه سرعت روتور متغیر آن نسبت به ژنراتور سنکرون استفاده می شود. بازده ژنراتور نیز معمولاً بالای ۹٪ در نظر گرفته می شود.

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 :

$$P_{PV} = \frac{G}{1000} \times P_{PV(rated)} \times \eta_{PV} \quad (3)$$

که در این رابطه :

$G$  : تابش عمود بر سطح هر آرایه  $W/m^2$

$P_{PV}$  : توان نامی هر آرایه بوده که به ازای  $G = 1000 W/m^2$  بدست می آید.

$\eta_{PV}$  : برابر با بازدهی مبدل DC/DC نصب شده بین هر آرایه و باس بار DC می باشد.

## 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 نامی ۳ KW می باشد. منحنی توان خروجی

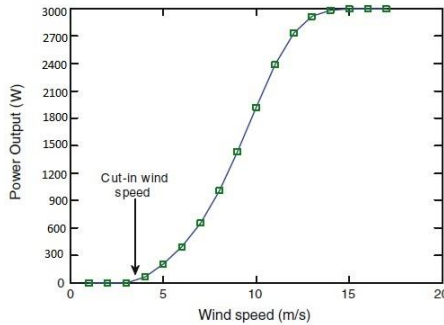
توربین بادی ( $P_{WG}$ ) بر حسب سرعت باد ( $V_{WS}$ ) در شکل ۴-۲ نشان داده شده است که با رابطه زیر

تقریب زده می شود:

$$P_{WG} = \begin{cases} 0 & V_{WS} < V_{Cutin} \\ P_{WGmax} \times \left( \frac{V_{WS} - V_{Cutin}}{V_{rated} - V_{Cutin}} \right)^3 & V_{Cutin} \leq V_{WS} \leq V_{rated} \\ P_{WGmax} & V_{rated} \leq V_{WS} \leq V_{Cutout} \end{cases} \quad (4)$$

که در آن  $V_{cutin}$  و  $V_{cutout}$  و  $V_{rated}$  به ترتیب سرعت قطع پایین، سرعت قطع بالا و سرعت نامی

توربین  $\frac{m}{s}$  بوده و  $P_{WGmax}$  بیشینه توان خروجی توربین (KW) می باشد.



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

## مدل باتری

بانک باتری که معمولاً 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 به کار برده 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 که توان تولید شده توسط توربین باد و آرایه فتوولتاییک بیشتر از بار است در باتری ذخیره خواهد شد. هنگامی که توان تولیدی نمی‌تواند نیازهای بار را تامین کند، انرژی از باتری استخراج خواهد شد و هنگامی که تولید توان هم توربین باد و هم آرایه فتوولتاییک ناکافی است و ذخیره نیز تمام شده است بار قطع از طریق  $t$  و ساعت  $i$  خواهد شد. از رابطه زیر می‌توان استفاده کرد.

$$E_{bat}(i, t) = V_{bat} \cdot C_{bat}(\text{SOC}(i, t-1) - \text{SOC}(i, t)) \quad (5)$$

$C_{bat}$  ظرفیت نامی باتری (AH)،  $V_{bat}$  ولتاژ نامی باتری، SOC سطح شارژ باتری می‌باشد. سطح شارژ باتری:

$$\text{SOC}(i, t) = \text{SOC}(i, t-1) \cdot (1 - \sigma) - \frac{I_{bat}(i, t) \cdot \Delta t \cdot (\eta_{ch})^k}{C_{bat}} \quad (6)$$

$\sigma$  میزان خوددشارژی ساعتی باتری

$K \eta_{ch}$  راندمان شارژ باتری

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

جریان شارژ و دشارژ باتری

$$I_{bat}(i, t) = \frac{PL(i, t) / \eta_{inv}}{V_{bat}} - \frac{P_{pv}(i, t)}{V_{bat}} - \frac{p_w(i, t)}{V_{bat}} \quad (7)$$

SOC باتری به عنوان متغیر طرح برای کنترل حفاظت های اضافه شارژ و دشارژ باتری به کار برده می‌شود. حالت اضافه شارژ ممکن است اتفاق بیافتد هنگامی که توان بیشتری توسط آرایه

فتوولتاییک و توربین باد تولید می‌شود یا هنگامی که تقاضای بار کمی 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  $DOD = 1 - SOC_{min}$  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 DOD عمق 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 می‌گیرد. توان برق تأمین شده بار توسط مبدل نیز این چنین محاسبه می‌شود:

$$P_{inv-load} = (P_{FC-inv} \times P_{ren-inv}) \times \eta_{inv} \quad (8)$$

که  $\eta_{inv}$  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:

$$LPSP = \frac{\sum_{t=0}^T Power \cdot failure \cdot time}{T} = \frac{\sum_{t=0}^T Time(P_{available}(t) < P_{needed}(t))}{T} \quad (9)$$

### 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 می باشد 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 می باشد که  $a_1$  و  $a_2$  ضرایب وزنی رابطه می باشند.

$$F_{TOTAL}(X) = a_1 * T(X) + a_2 * LPSP(X) \quad (10)$$

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

$$N_{pv} \geq 0, N_{wg} \geq 0, H_{hydro} \geq 0$$

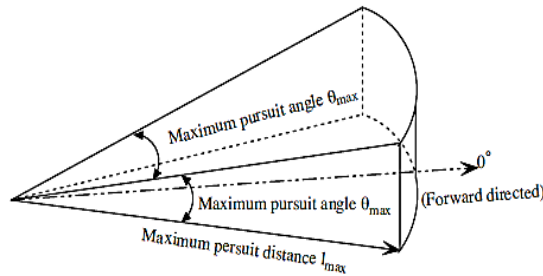
$$M_{min} < M_{Tank} < M_{max}, P_{supply}(i, x) \geq P_{demand} \quad (11)$$

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

### ۳. الگوریتم GSO (group search optimizer)

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

است. بهینه سازی که درحقیقت همان پیدا کردن نقطه بهینه در یک فضای جستجو می باشد با فرایند جستجوی منابع حیوانات قابل قیاس است. الگوریتم GSO که از یک منطق population-based بهره می برد گزینه ی مناسبی برای بهینه سازی های حوزه مهندسی برق می باشد.



شکل ۳. میدان دید در فضای سه بعدی در الگوریتم GSO

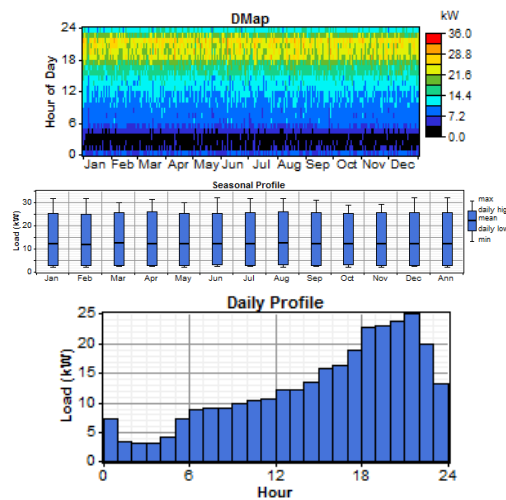
#### ۴. مطالعات عددی

در این تحقیق برای نشان دادن میزان کارایی الگوریتم پیشنهادی، مساله را بر روی یک منطقه واقعی که مربوط به یکی از روستاهای شهر اردبیل می باشد، که دسترسی به منابع آبی نیز دارد (شکل ۱) انجام گرفته شده و حداکثر بار مصرفی روزانه آن ۲۵ کیلووات می باشد، 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 می باشد. منحنی بار روزانه این روستا در شکل ۵ ارایه شده است. این منطقه به لحاظ شرایط اقلیمی، مناسب برای احداث نیروگاه ترکیبی خورشیدی و بادی با سیستم باتری به صورت مستقل از شبکه برق رسانی است، که این خود باعث کاهش آلودگی زیست محیطی ناشی از استفاده از سوخت های فسیلی می شود. در واقع برق این روستا از طریق یک دیزل ژنراتور تامین می گردد که در حال حاضر با توجه به افزایش تقاضا در این روستا و پاسخگو نبودن این ژنراتور می بایستی ساز و کارهای جدیدی جهت تامین بارهای این روستا اندیشید. از طرفی دسترسی روستا به منابع آبی مربوط به سد یامچی باعث شده تا برای تامین انرژی مورد نیاز میکروتوربین های آبی به عنوان یکی از آیت های طراحی در نظر گرفته شوند. در همین راستا ما برای تامین بارهای این روستا یک نیروگاه هیبریدی متشکل از میکروتوربین آبی، توربین های بادی، پنل های خورشیدی و باتری طراحی می کنیم. اطلاعات آب و هوایی منطقه برای یک سال از اداره هواشناسی منطقه گرفته شده و

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.

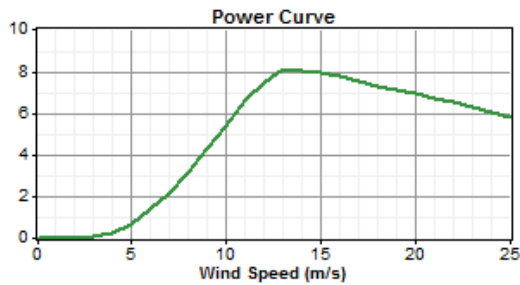


شکل ۴. شمای ماهواره ای منطقه مورد مطالعه

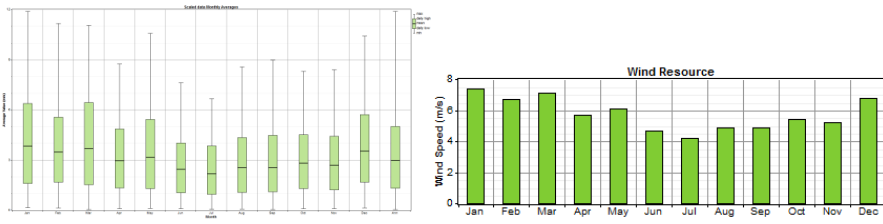


شکل ۵. اطلاعات بار مصرفی روزانه و در ماهانه شبکه مورد مطالعه

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 ارائه 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 ارائه شده است.



شکل ۶. منحنی توان بر مبنای سرعت باد

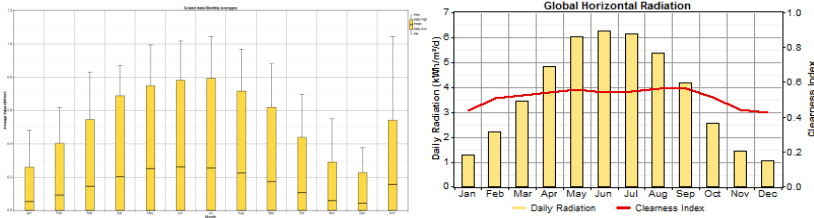


شکل ۷. میانگین سرعت وزش باد در ماه‌های مختلف سال

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 ارائه شده است. همچنین در جدول ۲ هزینه‌های مختلف مربوط به این پنل خورشیدی و ظرفیت مورد استفاده در این مدل سازی نیز ارائه شده است.



شکل ۸. میانگین ساعات آفتابی در ماه‌های مختلف سال

جدول ۳. اطلاعات ورودی مربوط به پنل‌های خورشیدی

اندازه بر حسب کیلو وات	۵۰ و ۱۰ و ۱۵ و ۲۱
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 ارائه شده است. همچنین مبدل استفاده شده در این تحقیق نیز به صورت ضریبی از ۴ کیلو وات می‌باشد که سایر اطلاعات مربوط به آن در جدول ۵ ارائه گردیده است.

جدول ۵. هزینه باتری

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

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 می‌باشد 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 بر روی 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 میکروتوربین آبی حل می‌گردد و در آزمایش دوم این مساله در حضور میکروتوربین آبی حل می‌گردد و نتایج به دست آمده مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

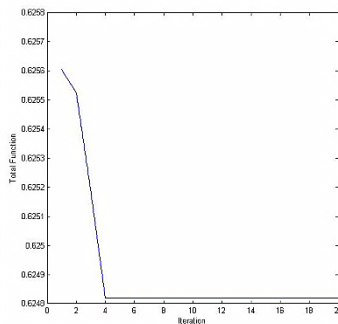
جدول ۷. نتایج به دست آمده توسط الگوریتم GSO حاصله از اجرای آزمایش

ردیف	آیتم	نتایج آزمایش اول	نتایج آزمایش دوم
۱	تعداد توربین های بادی انتخاب شده	۱۱	۱۰
۲	تعداد پنل های خورشیدی انتخاب شده	۴	۴
۳	تعداد باتری های نصب شده در سیستم	۵	۸
۴	هزینه احداث توربین های بادی نصب شده (\$)	۱۰۵۰۰۰	۹۴۵۰۰
۵	هزینه احداث پنل های خورشیدی نصب شده (\$)	۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰
۶	هزینه احداث و بهره برداری از میکرو توربین آبی (\$)	۰	۹۸۴۰
۷	ارتفاع انتخابی برای میکرو توربین آبی (m)	۰	۲۳
۸	توان تولیدی میکرو توربین آبی (KW)	۰	۸,۹۷۵
۹	هزینه احداث باتری های 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 می دهد 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 می گردد در آزمایش اول سیستم با استفاده از منابع بادی و خورشیدی و باتری تغذیه می گردد و در این حالت ملاحظه می گردد که هزینه از ۱۷۴۵۴۲ کاهش یافته و میزان خاموشی ها نیز به شدت کاهش یافته است. در نهایت در آزمایش سوم نیز با افزودن میکروتوربین آبی به سیستم ملاحظه می گردد که میزان خاموشی ها از ۴۲۰ ساعت به ۳۳۰ کاهش یافته و همچنین هزینه از ۱۷۴۵۴۲ به ۱۷۳۰۷۰,۸

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

با بکار گیری روش پیشنهادی برای حل مسئله نیروگاههای ترکیبی میکرو هیدرو توربین، خورشیدی بادی و باتری و روش جستجوی مبتنی بر GSO، پاسخهای کارا در سیستم مورد مطالعه به دست آمدند. در ادامه در شکل ۷ نیز مسیر همگرایی سیستم ارایه گردیده است.



شکل ۹. روند همگرایی الگوریتم GSO

## ۶ نتیجه گیری

در این مقاله کمینه سازی هزینه های مربوط به سیستم ترکیبی میکرو هیدرو توربین، بادی، خورشیدی و باتری و افزایش شاخص LPSP برای حصول نتایج مناسب با استفاده از روش چند منظوره انجام پذیرفت. به دلیل تناقض موجود در اهداف مسئله استفاده از روش چند منظوره امری ضروری می باشد بهینه سازی این مسئله به دلیل فاکتورهای بسیار زیاد دخیل در مسئله بسیار پیچیده می باشد به این خاطر از الگوریتم توانمند GSO برای بهینه سازی استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد که بهترین حالت ممکنه برای تامین انرژی منطقه مورد مطالعه در حالتی حاصل می گردد که سیستم 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.

- [2] Kashefi Kaviani A., G.H. Riahy, S.H.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" *Electrical Power and Energy Systems* 34 (2012) 81-89.
- [5] Tégnani 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-Agusti'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.