

# طراحی بهینه و مدیریت هوشمند انرژی سیستم هیبرید مستقل از شبکه برای مناطق روستایی

محمد رضا جوادی<sup>۱\*</sup>، ابوالفضل جلیوند<sup>۱</sup>، رضا نوروزیان<sup>۱</sup>، مجید ولیزاده<sup>۲</sup>، رضا بازاریار<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۸۹/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۳۸۹/۱۲/۲۲

## چکیده:

با نگاهی دقیق به مصرف انرژی در نواحی روستایی کشور قابل ذکر است در حال حاضر استفاده از انرژی الکتریسته توسط شبکه توزیع جهت تامین مایحتاج انرژی الکتریکی در بسیاری از نواحی روستایی کشور در حدود ۹۸.۵-۹۹.۵ درصد بعنوان شیوه ای معمول جهت تامین انرژی برق به حساب می آید. اگرچه این شیوه در اکثر مناطق روستایی صعب العبور و دور از شبکه، موجب صرف هزینه های هنگفتی جهت برق رسانی و نیز افزایش میزان نرخ افت در شبکه میگردد. لذا با توجه به رشد روزافزون تقاضای انرژی و ارزش افزوده در صنایع تبدیلی، استفاده از منابع متعدد تامین انرژی به ویژه انرژیهای تجدیدپذیر اجتناب ناپذیر است. خوشبختانه، ایران از منابع غنی انرژیهای تجدید شونده به ویژه انرژی های خورشیدی، بادی و ... می باشد. در این راستا استفاده از منابع متعدد انرژی در نواحی روستایی کشور گامی موثر در جهت استقلال و خودکفایی از نظر تامین انرژی در این مناطق محسوب گردیده و مشکل تامین انرژی مورد نیاز در نواحی دور افتاده و صعب العبور را که با مشکلات بسیار و صرف هزینه های گزاف همراه است، بر طرف می نماید و بطور قطع در راستای تامین بخشی از اهداف در نظر گرفته شده در سیاستهای کلی کشور می باشد. لذا در این مقاله یک سیستم هیبرید فتوولتائیک، بادی با ذخیره ساز باتری جهت تامین یک الگوی بار نمونه مستقل از شبکه طراحی می شود. هدف از این طراحی، تامین انرژی مورد نیاز و کمینه سازی هزینه کل تولید در طول عمر سیستم می باشد. که با استفاده از الگوریتم جدیدی با سرعت همگرایی بالا تحت عنوان الگوریتم رقابت استعماری اندازه بهینه این منابع تعیین و تابع هزینه مینم شده و کارایی این سیستم در شرایط مختلف عملکرد با اطلاعات واقعی پروفیل بار و هواشناسی یکی از مناطق شمال غرب ایران (شهر جلفا) مورد بررسی قرار گرفته می شود.

## کلمات کلیدی:

انرژی های تجدید پذیر، بهینه سازی، رقابت استعماری، ژنراتور بادی، فتوولتائیک

(۱) دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه زنجان

(۲) دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز

(۳) شرکت مدیریت تولید برق آذربایجان شرقی

\* نویسنده مسئول ، Javadi.mr@znu.ac.ir

## مقدمه

عدم حضور شبکه سراسری برق در مناطق دورافتاده، هزینه‌ی بالای احداث خط انتقال جدید به دلیل مسافت طولانی، افزایش نرخ مصرف انرژی برق و وجود تعداد زیادی مصرف کننده‌ی دور از هم، از بزرگترین مشکلات شرکتهای برق میباشد. افزایش همیشگی تقاضای انرژی، طبیعت تجدید ناپذیر و هزینه های سنگین سوخت های فسیلی، نگرانی های موجود در زمینه زیست محیطی و مشکلاتی از این قبیل، تمایلات جدیدی را به تکنولوژی های تولید توان تجدید پذیر ایجاد کرده است. در این بین انرژی های بادی و خورشیدی از مهمترین منابع تجدید پذیر محسوب می شوند. که بدلائی از قبیل راندمان بالا، عدم انتشار گازهای آلاینده و ساختار انعطاف پذیر، پتانسیل بالایی در تبدیل به منابع انرژی سبز<sup>۱</sup> در آینده ای نزدیک را خواهند داشت [۲].

منابع انرژی متعددی شامل  $FC^2$ ،  $PV^3$ ،  $WG^4$ ، مولد های دیزلی، توربین های گازی و میکروتوربین ها در ترکیب با یکدیگر می توانند سیستم هیبرید انرژی تشکیل دهند. با وجود این منابع، از واحدهای سلول خورشیدی و ژنراتورهای بادی در تغذیه بار مناطق دور افتاده به طور گسترده ای استفاده می شود. با توجه به اینکه مشخصه این سیستم ها تقریباً مکمل یکدیگر می باشند، معمولاً بصورت ترکیبی با یکدیگر بکار می روند. به علت پاکیزگی و تجدید پذیر بودن این انرژی ها، سازمانها و کشور های متعددی علاقه مند به استفاده از آن بوده و تحقیقاتی در این راستا انجام می دهند.

روش های مختلفی برای طراحی بهینه و کمینه سازی هزینه های نیروگاه های بادی و خورشیدی ارائه شده است. ترکیبی از برنامه ریزی خطی و غیر خطی که مبتنی بر محاسبه مشتقات جزئی به صورت تحلیلی و عددی در [۱۰] ارائه شده است. در [۱۴] روشی مبتنی بر برنامه ریزی غیر خطی برای انتخاب ظرفیت بهینه و محل نیروگاه های بادی متصل به شبکه بر اساس سناریو های مختلف ارائه شده که هدف این روش کم کردن هزینه ها و بیشینه سازی انرژی بر متر مربع است. در [۱۱] از یک الگوریتم جستجوی تکراری برای یافتن اندازه بهینه یک سیستم هیبرید بادی -خورشیدی با ذخیره ساز باتری استفاده شده است. در برخی مقالات ذخیره سازی انرژی در سیستم های تولید پراکنده مورد توجه قرار گرفته است [۵ و ۸ و ۹]. از الگوریتم ژنتیک<sup>۵</sup> جهت اندازه یابی بهینه یک نیروگاه مختلط بادی-خورشیدی استفاده شده است [۴]. همچنین در یک نیروگاه مختلط بادی-خورشیدی از الگوریتم اجتماع ذرات<sup>۶</sup> جهت یافتن اندازه بهینه ابعاد سیستم و تابع هزینه استفاده شده است [۱۷].

در این مقاله پس از بهینه سازی ابعاد سیستم، به بررسی عملکرد سیستم هیبرید فتوولتائیک-بادی با ذخیره سازی باتری پرداخته شده است. هدف از این مطالعه، کمینه سازی هزینه های این نیروگاه در طول عمر سیستم با قید پوشش کامل تقاضای بار است. هزینه ها نیز شامل هزینه سرمایه گذاری و هزینه بهره برداری نیروگاه ها بوده و قیمت های موجود همگی واقعی و تجهیزات مورد استفاده نیز همگی از نظر تجاری در دسترس می باشند. داده های بادسنجی و تابش مورد استفاده مربوط به نواحی شمال غرب ایران، شهر جلفا بوده و جهت بهینه سازی از الگوریتم جدید رقابت استعماری<sup>۷</sup> استفاده می شود. در نهایت نتایج حاصل از الگوریتم اعمال شده در هر سه حالت هیبرید، فقط بادی و فقط خورشیدی با

<sup>1</sup> Green power sources

<sup>2</sup> Fuel Cell

<sup>3</sup> Photovoltaic

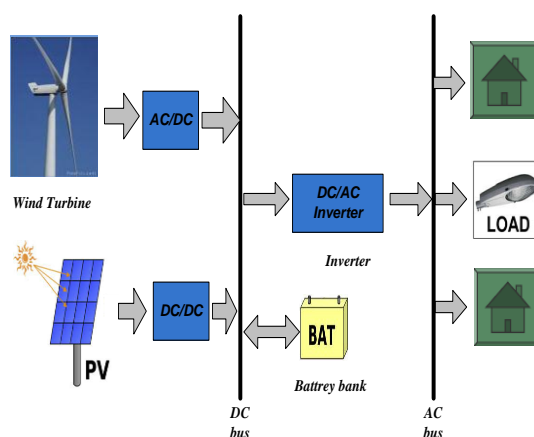
<sup>4</sup> Wind Generation

<sup>5</sup> Genetic Algorithm

<sup>6</sup> Particle Swarm Optimization

<sup>7</sup> Imperialistic Competitive Algorithm

دیگر الگوریتم های مرسوم از قبیل الگوریتم ژنتیک و الگوریتم اجتماع ذرات مقایسه شده و یک مدیریت هوشمند جامع برای طراحی سیستم هیبرید معرفی می شود.



شکل ۱: بلوک دیاگرام سیستم هیبرید مورد مطالعه

### ابعاد و کارکرد سیستم هیبرید

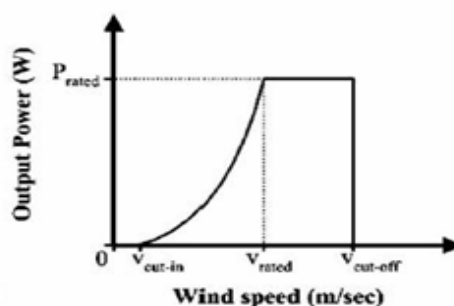
هدف از نگارش این بخش برقراری نسبت مناسبی میان تولید و مصرف در سیستم هیبرید مورد نظر جهت تأمین انرژی مورد نیاز بارهای خانگی روستایی در منطقه ای دور از شبکه می باشد. در این راستا تعیین ابعاد سیستم جهت قابلیت اطمینان مناسب برق تولیدی و همچنین بهینه بودن از لحاظ اقتصادی ضروری می باشد. بدین منظور باید اختلاف توان تولیدی  $P_{Gen}$  از انرژی های نو و تقاضای بار  $P_{load}$  طبق معادله (۱) حداقل گردد.

$$\Delta P = P_{Gen} - P_{load} \quad (1)$$

بلوک دیاگرام سیستم مورد مطالعه، در شکل ۱ نمایش داده شده است. در این سیستم WG و PV به عنوان منابع اصلی در نظر گرفته می شوند. در حالی که از باتری به عنوان سیستم پشتیبان و ذخیره کننده استفاده می شود. در شکل ۱ خروجی واحدها به یک باس DC متصل می شوند. تعدادی باتری نیز به عنوان سیستم ذخیره ساز به این باس متصل می باشند. باتریها که معمولاً از نوع سرب-اسید هستند، مازاد انرژی سیستم را در خود ذخیره کرده و در زمان مقتضی، مانند کاهش سرعت باد یا تابش و یا پیک مصرف، آنرا بار دیگر به سیستم باز می گردانند. یک مبدل نیز پل ارتباطی بین ولتاژ DC و بار AC مصرفی می باشد. خروجی باتری ها و ورودی مبدل DC/AC بصورت موازی به یکدیگر متصل می گردند. انرژی تولیدی PV ها و WG ها از طریق مبدل DC/AC به مصرف کننده منتقل می گردد. مازاد انرژی موجود نیز در اختیار بانک باتری قرار می گیرد.

### مشخصات اجزاء سیستم

به منظور طراحی بهینه و مدیریت انرژی و نیز مشاهده عملکرد سیستم در شرایط مختلف، وجود اطلاعات کافی از ساختار هر یک از اجزاء ضروری است. سیستم مورد نظر متشکل از تعدادی توربین بادی، فتوولتائیک، باتری و مبدل می باشد. در این بخش هر یک از این اجزاء بررسی می شوند.



شکل ۲: توان خروجی توربین بر حسب سرعت باد

### توربین بادی

توربین بادی وسیله‌ای است که ابتدا انرژی باد را به انرژی مکانیکی تبدیل میکند و سپس این انرژی مکانیکی توسط ژنراتور به انرژی الکتریکی تبدیل می‌گردد [۱۶ و ۱۷]. در شکل ۲ توان خروجی توربین بر حسب سرعت باد ترسیم شده است. مشاهده می‌شود توان خروجی توربین بر حسب توربین از مقدار مشخصی از سرعت باد به بعد ثابت شده و برای سرعت‌های بیشتر از سرعت ماکزیمم، توربین متوقف می‌شود. توان خروجی توربین بادی از معادله (۲) بدست می‌آید [۹].

(۲)

$$P_{WG} = \begin{cases} 0 & V_W \leq V_C, V_W \geq V_F \\ P_R \times \left( \frac{V_W - V_C}{V_R - V_C} \right)^3 & V_C \leq V_W \leq V_R \\ P_R & V_R \leq V_W \leq V_F \end{cases}$$

در این رابطه  $P_{WG}$  توان خروجی توربین بادی،  $P_R$  توان نامی هر توربین،  $V_W$  سرعت باد،  $V_C$  سرعت قطع پایین،  $V_F$  سرعت قطع بالا و  $V_R$  سرعت نامی توربین می‌باشد. سایر مشخصات و پارامترهای توربین بادی استفاده شده در مدل‌سازی در جدول (۱) نشان داده شده است [۴].

جدول ۱: مشخصات فنی توربین بادی مورد مطالعه

|                        |              |
|------------------------|--------------|
| توان نامی              | ۱ KW         |
| سرعت قطع پایین         | ۲/۵m/s       |
| سرعت نامی              | ۱۱ m/s       |
| سرعت قطع بالا          | ۲۴m/s        |
| هزینه سرمایه اولیه     | ۲۵۰۶ €       |
| هزینه نگهداری و عملکرد | ۲۵/۰۶ €/year |
| طول عمر                | ۲۰ سال       |

## پنل فتوولتائیک

سیستم فتوولتائیک فرآیندی است که انرژی خورشید را به طور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. در فناوری فتوولتائیک، از سلول‌های نیمه هادی که از یک دیود p-n بزرگ تشکیل شده‌اند، استفاده می‌شود. به این صورت که با تابش نور بر روی هر سلول، ولتاژ و جریان مستقیم تولید می‌شود. چندین سلول با هم ترکیب شده و یک ماژول را برای تولید جریان و ولتاژ مورد نظر ایجاد می‌کنند. توان تولیدی PV از معادله (۳) بدست می‌آید [۱۳].

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

در این رابطه G تابش بر حسب وات بر متر مربع،  $P_{pv, rated}$  توان نامی هر پنل فتوولتائیک و  $\eta_{MPPT}$  بازده مبدل DC/DC پنل فتوولتائیک می‌باشد. مفهوم  $MPPT^8$ ، دنبال کننده‌ی نقطه‌ی ماکزیمم توان است که باعث می‌شود، بیشترین توان ممکن از انرژی خورشیدی در شرایط مختلف جوی توسط ماژول استحصال شود. از آنجا که یک سیستم فتوولتائیک چندین برابر هزینه‌ی اولیه برای ساخت نیروگاه‌های معمولی لازم دارد، بنابراین باید قادر باشد که حداکثر انرژی را از خورشید دریافت کند، در غیر این صورت مقدار زیادی از سرمایه گذاری به هدر می‌رود. در مدل PV از اثر دما بر سطح پنل صرف نظر شده است. سایر مشخصات و پارامترهای پنل فتوولتائیک استفاده شده در مدل سازی در جدول (۲) نشان داده شده است [۴].

<sup>8</sup> Maximum Power Point Tracking.

جدول ۲: مشخصات فنی ماژولهای خورشیدی

|            |                         |
|------------|-------------------------|
| ۱۱۰W       | توان نامی               |
| ۱۷V        | ولتاژ در $P_{max}$      |
| ۶/۴۷A      | جریان در $P_{max}$      |
| ۲۱ V       | ولتاژ مدار باز (Voc)    |
| ۷/۲۲ A     | جریان اتصال کوتاه (Isc) |
| ۵۱۹/۱۴€    | هزینه سرمایه اولیه      |
| ۵/۱۹€/year | هزینه نگهداری و عملکرد  |
| ۲۰ سال     | طول عمر                 |

### باتری و مبدل

باتری انتخاب شده جهت شبیه سازی از نوع سرب-اسید می باشد که دارای راندمان بالا، هزینه پایین و تخلیه خودی کم در مقایسه با انواع آن دارد [۱۵]. توان ورودی باتری با توجه به عملکرد شارژ یا دشارژ می تواند مثبت یا منفی باشد. وضعیت شارژ<sup>۹</sup> (SOC) باتری، با توجه به محاسبات توان تولیدی و بار مصرفی، چنین بدست می آید:

اگر  $P_{pw}(t) + P_{pv}(t) = P_L(t)$ ، آنگاه ظرفیت باتری بدون تغییر باقی می ماند.

اگر  $P_{pw}(t) + P_{pv}(t) > P_L(t)$ ، آنگاه مازاد توان تولیدی سیستم هیبرید به منظور شارژ بانک باتری مورد استفاده قرار گرفته و ظرفیت جدید باتری از رابطه (۴) بدست می آید [۱۷].

$$P_b(t) = P_b(t-1) + [P_z(t) - P_l(t) / \eta_{inv}] \cdot \eta_{bc} \quad (۴)$$

اگر  $P_{pw}(t) + P_{pv}(t) < P_L(t)$ ، آنگاه کسری توان، جهت پاسخگویی به نیاز بار باید توسط باتری تامین شده و باتری در حالت دشارژ قرار می گیرد. البته بانک باتری، با ظرفیت نامی تنها مجاز است تا میزان محدودی دشارژ شود. میزان حداکثر عمق دشارژ مجاز ( $DOD''$ ) توسط طراح سیستم و در آغاز فرایند بهینه سازی تعیین می گردد. ظرفیت جدید باتری در این حالت از رابطه (۵) بدست می آید [۱۷].

$$P_b(t) = P_b(t-1) + [P_l(t) / \eta_{inv} - P_z(t)] / \eta_{bf} \quad (۵)$$

<sup>۹</sup> State Of Charge

<sup>۱۰</sup> Depth Of Discharge

که در روابط (۴ و ۵)،  $P_b(t)$  و  $P_b(t-1)$  ظرفیت باتری در لحظه  $t$  و  $t-1$  می باشد.  $P_z(t)$  مجموع توان تولیدی سیستم هیبرید و  $P_l(t)$  توان مورد نیاز بار در لحظه  $t$  می باشد.  $\eta_{inv}, \eta_{bf}, \eta_{bc}$  بترتیب راندمان لحظه شارژ باتری، دشارژ و راندمان اینورتر می باشد. سایر مشخصات و پارامترهای باتریها و مبدل های استفاده شده در مدل سازی در جدول (۳) نشان داده شده است [۱۷].

جدول ۳: مشخصات باتریها و مبدل های مورد مطالعه

| باتری                  |             |
|------------------------|-------------|
| ظرفیت نامی             | ۲۳۰ Ah      |
| ولتاژ نامی             | ۱۲ V        |
| DOD                    | ۸۰٪         |
| بازده زمان شارژ        | ۱۰۰٪        |
| بازده زمان دشارژ       | ۹۵٪         |
| هزینه سرمایه اولیه     | ۲۶۴ €       |
| هزینه نگهداری و عملکرد | ۲/۶۴ €/year |
| عمر کاری               | ۳ سال       |
| مبدل                   |             |
| توان نامی              | ۱۵۰۰ W      |
| بازده                  | ۸۰٪         |
| هزینه سرمایه اولیه     | ۱۹۴۲ €      |
| هزینه تعمیر و نگهداری  | ۱۹/۴ €/year |
| عمر کاری               | ۴/۵ سال     |

### فرمول بندی مسئله و استراتژی کنترلی

با توجه به مشخصه غیر پیوسته باد و همچنین تابش خورشید و وابستگی زیاد آنها به شرایط جوی مهمترین بحث، طراحی سیستم با قابلیت اطمینان مناسب در تأمین بار می باشد. در این راستا توجه به هزینه سیستم اجتناب ناپذیر است، لذا هدف از طراحی بهینه سیستم هیبرید، تأمین بار با قابلیت اطمینان بالا و هزینه مناسب می باشد. در سیستم هیبرید مورد مطالعه، تعداد توربین های بادی، پنل های PV و ظرفیت باتری باید به صورت بهینه تعیین گردد. بدین منظور از الگوریتم رقابت استعماری استفاده شده است که با توجه به عملکرد سیستم، هزینه تمام اجزای سیستم را در حالت های

قابل قبول محاسبه نماید. بنابراین سیستم به گونه ای طراحی شده است که علاوه بر هزینه مقرون به صرفه، انرژی باتری را برای روز بعد نگه داشته و در مواقعی که میزان انرژی مورد نیاز بیشتر از مقدار تولید شده باشد به سیستم بازگرداند.

### تابع هدف

در روش پیشنهادی، خروجی الگوریتم، تعداد توربین های بادی، پانل های فتوولتائیک و باتریها می باشد. این تعداد باید به گونه ای بهینه گردد که علاوه بر تامین انرژی مصرفی، هزینه ۲۰ ساله سیستم را نیز به حداقل برساند. هزینه سیستم شامل هزینه خرید و نصب، هزینه جایگذاری، هزینه نگهداری و تعمیرات اجزا در طول ۲۰ سال عملکرد سیستم می باشد که از معادله زیر محاسبه می شود.

$$C_i = N_i * [C \text{ cost}_i + R \text{ cost}_i * K_i + O \& M \text{ cost}_i] \quad (6)$$

$$i = WG, PV, Battery, inverter$$

که  $N_i$  تعداد یا اندازه تجهیزات سیستم  $C \text{ cost}_i$  هزینه، سرمایه اولیه شامل هزینه خرید و نصب  $R \text{ cost}_i$  هزینه، جایگذاری  $K_i$  تعداد جایگذاری در ۲۰ سال عملکرد سیستم،  $O \& M \text{ cost}_i$  هزینه عملکرد و نگهداری در ۲۰ سال عملکرد سیستم می باشد.

تابع هدفی که باید مینیمم شود، تابع هزینه کل سیستم در مدت زمان عملکرد است که به صورت زیر بیان می گردد.

$$C_{SYSTEM} = C_{WG} + C_{PV} + C_{BAT} + C_{INV} + PF \quad (7)$$

در رابطه (۷)،  $PF^{11}$  ضریبی است که در صورت ارضا نشدن یکی از قیود فوق، به عنوان جریمه (پنالتی فاکتور) به تابع هزینه اضافه می شود.

### قیود

$$N_{WG}, N_{PV}, N_{BAT} \geq 0 \quad (8)$$

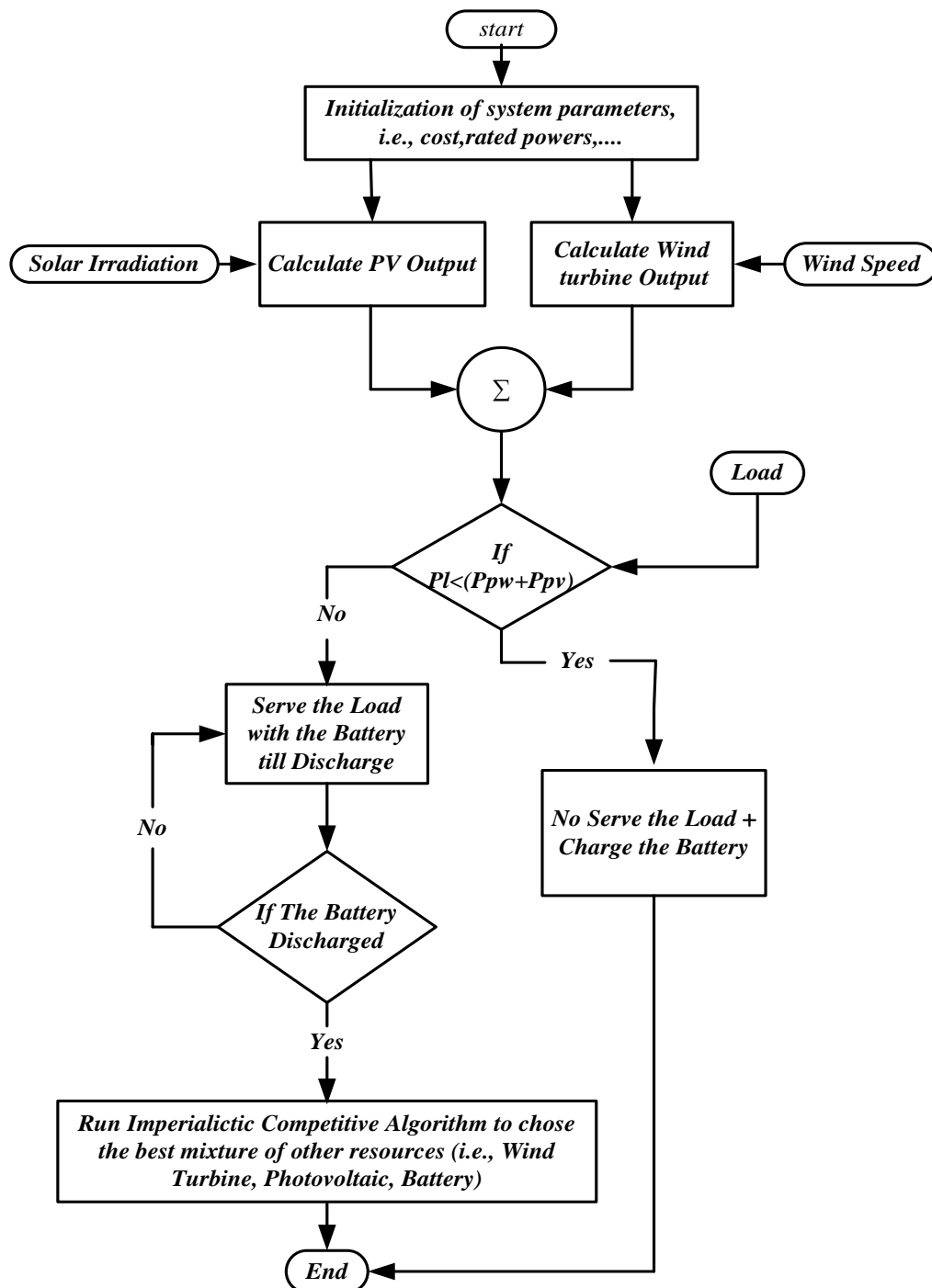
$$P_{Supply}(t) \geq P_{Demand}(t) \quad (9)$$

$$P_{bmin} \geq P_b \geq P_{bmax} \quad (10)$$

$$P_{bmin} = (1-DOD).P_{bmax} \quad (11)$$

$P_{bmax}$  ماکزیمم ظرفیت باتری و  $P_{bmin}$  مینیمم ظرفیت باتری می باشد. رابطه (۱۰) نیز به بررسی توانایی یا عدم توانایی ترکیب بدست آمده برای سیستم، در پاسخگویی به تقاضای بار، را بررسی می کند.

<sup>11</sup> Penalty Factor



شکل ۳: فلوچارت کنترلی سیستم هیبرید

## استراتژی کنترلی

روشهای مختلفی جهت مدیریت و کنترل سیستم های هیبرید انرژی با منابع غیر پیوسته نظیر باد و خورشید وجود دارد که هر کدام مزیت و معایب خاص خود را دارد. شکل (۳) فلوچارت سیستم کنترلی مربوط به سیستم هیبرید مورد مطالعه را نشان می دهد. استراتژی کنترلی سیستم به این صورت است که اگر انرژی تولید شده توسط سیستم برابر با تقاضای بار باشد، ظرفیت باتری بدون تغییر می ماند. اگر  $P_{PV}(t) + P_{PW}(t) > P_L(t)$  باشد، آنگاه مازاد توان تولیدی سیستم هیبرید به منظور شارژ بانک باتری مورد استفاده قرار گرفته می شود. در غیر این صورت اگر  $P_{PV}(t) < P_L(t) + P_{PW}(t)$  باشد، آنگاه کسری توان جهت پاسخگویی به نیاز بار باید توسط باتری تامین شده و باتری در حالت دشارژ قرار می گیرد، اگر در این حالت مقدار انرژی باتری جوابگوی بار نباشد الگوریتم ICA اجرا شده و ترکیب جدیدی را با توجه به تقاضای بار، توابع هزینه و قیود انتخاب می کند.

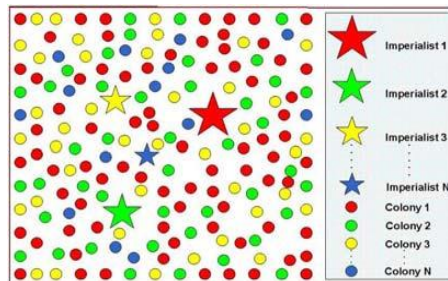
## الگوریتم بهینه سازی رقابت استعماری

در دهه های اخیر، الگوریتم های بهینه سازی هوشمند الهام گرفته از طبیعت، موفقیت خوبی از خود نشان داده اند. از جمله این روشها می توان الگوریتم های ژنتیک (الهام گرفته از تکامل موجودات)، بهینه سازی کلونی مورچه ها (بر مبنای حرکت بهینه مورچه ها) و حرکت جمعی ذرات (با الهام از حرکت دسته جمعی پرندگان و ماهیها) را نام برد. این روشها در حل بسیاری از مسائل بهینه سازی در حوزه های مختلف استفاده شده اند. اخیرا الگوریتم جدیدی با نام الگوریتم رقابت استعماری توسط آقایان اسماعیل آتشیز و کارو لوکس ارائه شده است، که برای بهینه سازی، بجای طبیعت از یک پدیده اجتماعی الهام گرفته است [۱۳].

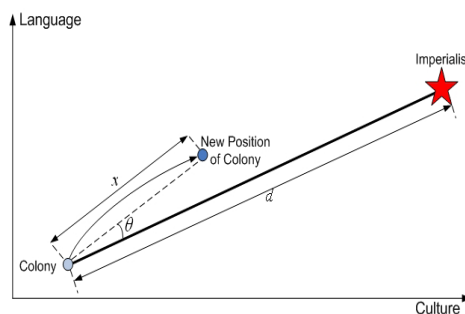
مبدعان این الگوریتم، پدیده تاریخی استعمار را در راستای یک تکامل اجتماعی سیاسی جوامع انسانی تحلیل نموده و با مدلسازی ریاضی این فرایند، یک الگوریتم قدرتمند برای بهینه سازی ارائه کرده اند. نتایج بکارگیری این الگوریتم در زمینه های متنوعی از مهندسی برق، صنایع، کامپیوتر، مکانیک و ... کارایی آن را در حل مسائل بهینه سازی نشان داده است. کارایی بالا و جنبه نوآوری این الگوریتم، باعث جاذبیت آن برای متخصصین حوزه بهینه سازی شده است. این الگوریتم مطابق شکل ۴ با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آنها یک "کشور" نامیده می شوند، شروع می گردد. کشور ها به دو دسته مستعمره<sup>۱۲</sup> و استعمارگر<sup>۱۳</sup> (امپریالیست) تقسیم می شوند. سیاست جذب و رقابت استعماری، هسته اصلی این الگوریتم را تشکیل می دهد. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخبه ها در الگوریتم ژنتیک) بعنوان استعمارگر انتخاب شده و باقیمانده جمعیت نیز بعنوان مستعمره، در نظر گرفته می شوند. استعمارگر ها بسته به قدرتشان که با تابع هزینه نسبت عکس دارد. این مستعمرات را با یک روند خاص به طرف خود جلب می کنند. شکل (۵) حرکت مستعمرات به سمت استعمارگر را نشان می دهد. مطابق این شکل کشور امپریالیست کشور مستعمره را در راستای محورهای فرهنگ و زبان به سمت خود جذب می کند.

<sup>12</sup> Colony

<sup>13</sup> Imperialistic



شکل ۴: استعمارگران اولیه تولید شده و مستعمرات آنها



شکل ۵: حرکت مستعمرات به سمت امپریالیست

در این شکل، فاصله میان استعمارگر و مستعمره با  $d$  نشان داده شده است  $x$  و  $\theta$  نیز اعدادی تصادفی با توزیع یکنواخت به صورت رابطه (۱۲) می‌باشند.

$$x = U(0, \beta \times d) \quad (12)$$

$$\theta = U(-\gamma, \gamma)$$

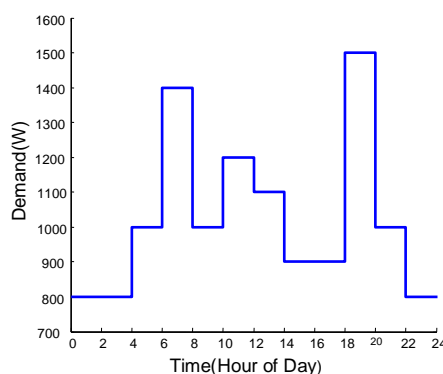
که در آن  $\beta$  عددی بزرگتر از یک و نزدیک ۲ می‌باشد. یک انتخاب مناسب می‌تواند  $\beta=2$  باشد. وجود ضریب  $\beta>1$  باعث می‌شود تا کشور مستعمره در حین حرکت به سمت کشور استعمارگر، از جهت‌های مختلف به آن نزدیک شود. در رابطه (۱۲)  $\gamma$  پارامتری دلخواه می‌باشد که افزایش آن باعث افزایش جستجوی اطراف امپریالیست شده و کاهش آن نیز باعث می‌شود تا مستعمرات تا حد ممکن، به بردار واصل مستعمره به استعمارگر، نزدیک حرکت کنند. در اکثر پیاده‌سازیه‌ها، انتخاب  $\gamma = \pi/4$  انتخاب مناسبی بوده است.

قدرت کل هر امپراطوری، به هر دو بخش تشکیل دهنده آن یعنی کشور امپریالیست (بعنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور امپریالیست، به اضافه درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل شده است. با شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه، رقابت امپریالیستی میان آن‌ها شروع می‌شود. هر امپراطوری‌ای که نتواند در رقابت استعماری، موفق عمل کرده و بر قدرت خود بیفزاید و یا حداقل از کاهش نفوذش جلوگیری کند، از صحنه رقابت استعماری، حذف خواهد شد. بنابراین بقای یک

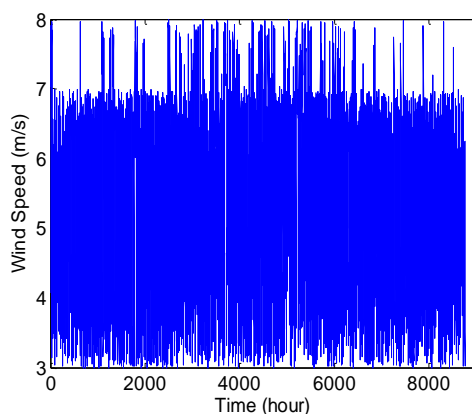
امپراطوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری های رقیب، و به سيطرة در آوردن آنها خواهد بود. در نتیجه، در جریان رقابت های امپریالیستی، به تدریج بر قدرت امپراطوریهای بزرگتر افزوده شده و امپراطوریهای ضعیفتر، حذف خواهند شد. امپراطوریها برای افزایش قدرت خود، مجبور خواهند شد تا مستعمرات خود را نیز پیشرفت دهند. با گذشت زمان، مستعمرات از لحاظ قدرت به امپراطوریها نزدیک تر خواهند شد و شاهد یک نوع همگرایی خواهیم بود. مراحل الگوریتم به همین ترتیب ادامه می یابد تا بالاخره تعداد امپراطوریها به یک برسد. در این حالت تمام کشورها مستعمره یک امپراطوری هستند و الگوریتم به پایان می رسد، البته شرایط توقف دیگری مانند تعداد تکراری معین نیز میتواند بکار رود.

### نتایج مدل سازی

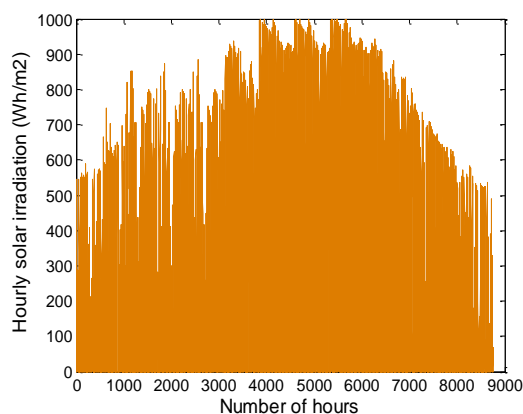
جهت بررسی قابلیت روش پیشنهادی، این سیستم هیبرید بر اساس داده های سرعت باد، تابش خورشید و پروفیل بار مربوط به یکی از مناطق شمال غرب ایران شهر جلفا مدل سازی شده است. این محل (جلفا) در شمالغرب ایران با ارتفاع ۷۱۰ متر از سطح دریا قرار دارد. در جداول (۱ تا ۳) مشخصات فنی و اقتصادی تجهیزات بکار رفته در سیستم هیبرید بر حسب یورو (€) نشان داده شده است. پروفیل بار یک شبانه روز نمونه برای مصرف روستایی استفاده شده در مدل سازی، در شکل (۶) نشان داده شده است. که در آن پیک بار مصرفی ۱.۵ کیلووات و حداقل بار مصرفی ۰.۸ کیلووات می باشد. در شکل (۷) پروفیل سالانه سرعت باد که با فواصل زمانی یک ساعت نمونه برداری شده نشان داده شده است. اطلاعات تابش خورشید استفاده شده در سیستم، میانگین تابش روزانه بر یک متر مربع در طول ۱۰ سال شهر جلفا می باشد که در شکل (۸) آورده شده است.



شکل ۶: پروفیل بار در یک شبانه روز



شکل ۷: پروفیل سالانه وزش باد در محل مورد مطالعه



شکل ۸: منحنی سالانه تابش خورشید در محل مورد مطالعه

جدول ۴: نتایج بهینه الگوریتم رقابت استعماری و مقایسه آن با الگوریتم های GA و PSO در حالت هیبرید

| توضیحات  | هزینه کل ۲۰ سال (€) | پارامترهای بهینه سازی شده |          |           | زمان (s) | تعداد تکرار | تعداد جمعیت یا کشور | روش های بهینه سازی |
|--|---------------------|---------------------------|----------|-----------|----------|-------------|---------------------|--------------------|
|  |                     | $N_{WG}$                  | $N_{PV}$ | $N_{BAT}$ |          |             |                     |                    |
| $P_m = 0.7$<br>$P_c = 0.3$                             | ۱۵۲۷۰۳              | ۳۳                        | ۱۳       | ۱۶        | ۷۲۶/۵۸   | ۲۰۰         | ۳۰                  | <b>GA</b>          |
| $C_1 = 2$<br>$C_2 = 2$                                 | ۱۵۱۷۶۱              | ۳۱                        | ۱۸       | ۱۶        | ۶۳۸/۲۷   | ۲۰۰         | ۳۰                  | <b>PSO</b>         |
| 10 = تعداد امپریالیست<br>0.2 = درصد انقلاب<br>مستعمرات | ۱۵۱۲۵۱              | ۲۵                        | ۳۵       | ۱۸        | ۵۴۷/۱۳   | ۷۴          | ۴۰                  | <b>ICA</b>         |

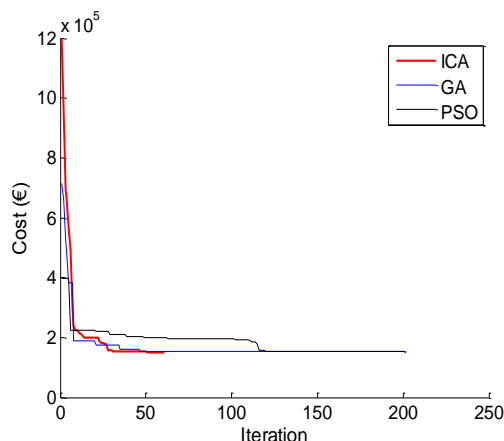
برنامه فوق توسط نرم افزار MATLAB در یک کامپیوتر پنتیوم ۴، CPU ۳ GHz و RAM ۵۱۲، اجرا شده است. مقایسه بهترین نتایج بهینه الگوریتم‌های اعمال شده برای سیستم هیبرید پس از ۵ اجرای مستقل برای هر الگوریتم در جدول ۴ نشان داده شده است. همچنین برای مشخص شدن اثر ترکیب کردن نیروگاههای بادی و خورشیدی در کاهش هزینه های تولید، ترکیب بهینه و هزینه مربوط به نیروگاههای فقط بادی و فقط خورشیدی، برای تامین باری برابر، در جدولهای (۵ و ۶) نشان داده است. شکل (۹) روند همگرایی الگوریتم های اعمال شده را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بهینه سازی می‌توان گفت که الگوریتم های GA و PSO از نظر همگرایی به نقطه بهینه تفاوت اندکی با هم دارند. ولی از نظر زمانی با توجه به سادگی الگوریتم PSO و عدم وجود بعضی عملگرها مانند Crossover و Mutation زودتر به جواب بهینه همگرا می‌شود. ولی نتایج الگوریتم رقابت استعماری بیانگر اینست که الگوریتم فوق در کلیه حالات نسبت به دو الگوریتم اعمالی دیگر علاوه بر دقت از سرعت بالایی هم برخوردار بوده و با توجه به شکل (۹) در تعداد تکرار پایین تر به جواب بهینه همگرا می‌شود. همچنین از مقایسه جدول (۴) با جداول (۵ و ۶) چنین استنباط می‌گردد که سیستم هیبرید مورد مطالعه جهت استفاده در کاربردهای مستقل از شبکه در مناطق دور افتاده، مخصوصا منطقه مورد مطالعه عملی و مقرون به صرفه می‌باشد.

جدول ۵: نتایج بهینه الگوریتم ها در حالت بدون پنل فتوولتائیک

| نوع الگوریتم | GA     | PSO    | ICA    |
|--------------|--------|--------|--------|
| تعداد WG     | ۳۸     | ۳۶     | ۴۰     |
| تعداد PV     | ۰      | ۰      | ۰      |
| تعداد باتری  | ۱۸     | ۱۶     | ۱۴     |
| هزینه کل (€) | ۱۵۸۱۶۸ | ۱۵۷۱۰۷ | ۱۵۶۶۴۳ |

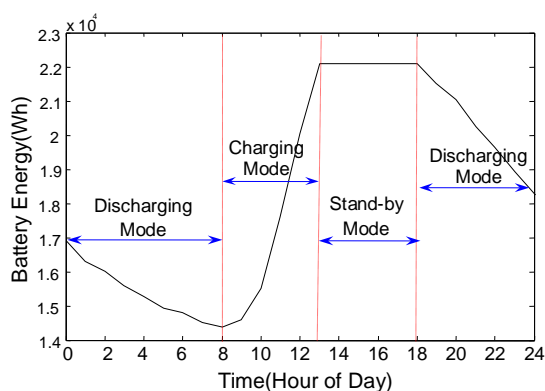
جدول ۶: نتایج بهینه الگوریتم ها در حالت بدون توربین

| نوع الگوریتم | GA     | PSO    | ICA    |
|--------------|--------|--------|--------|
| تعداد WG     | ۰      | ۰      | ۰      |
| تعداد PV     | ۱۲۴    | ۱۲۹    | ۱۲۷    |
| تعداد باتری  | ۲۵     | ۲۲     | ۳۳     |
| هزینه کل (€) | ۱۸۱۶۸۴ | ۱۸۱۲۱۷ | ۱۸۰۸۲۴ |

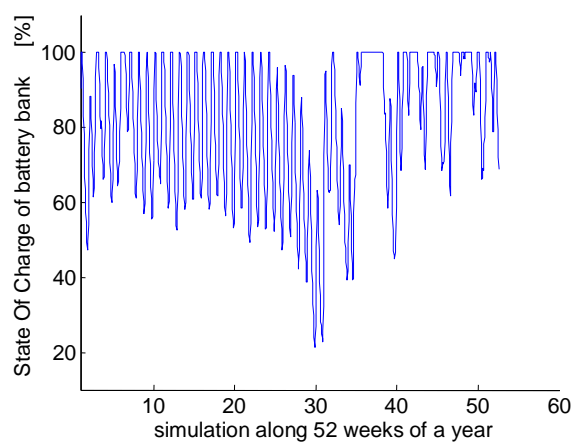


شکل ۹: روند همگرایی الگوریتم های اعمال شده

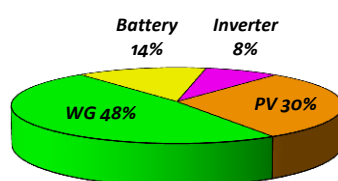
تغییرات انرژی باتری در یک شبانه روز در شکل (۱۰) نشان داده شده است. در این شکل تا وقتی که شدت تابش به حد مطلوب نرسیده، عملکرد سیستم به همین منوال (حالت دشارژ) است. با افزایش شدت تابش خورشید، باتری در حالت شارژ قرار گرفته و در تأمین بار دخالت ندارد. بعد از اینکه باتری به حد مطلوب شارژ رسید، از حالت شارژ خارج شده و در اواخر روز به دلیل کاهش تولید، روشن شده و انرژی مورد نیاز بار را تأمین می کند. مقدار انرژی باتری مطابق با شکل ۱۰، در انتهای روز نباید از مقدار مشخصی پایین تر رود. وضعیت شارژ بانک باتری در طول سال برای ترکیب بهینه در شکل (۱۱) نمایش داده شده است. مشاهده می شود که SOC بانک باتری هیچگاه از ۲۳٪ کمتر نمی شود که از این نظر رابطه (۱۱)، قید اصلی بانک باتری همواره ارضا می شود. همچنین سهم هزینه هر یک از اجزای سیستم هیدرید بهینه در هزینه کل در شکل (۱۲) نشان داده شده است.



شکل ۱۰: تغییرات انرژی باتری در یک شبانه روز



شکل ۱۱: وضعیت شارژر باتری در طول سال



شکل ۱۲: سهم هزینه اجزاء سیستم از هزینه کل

## نتیجه گیری

در این مقاله، مدیریت هوشمند انرژی و استراتژی کنترلی جامعی برای سیستم هیبرید فتوولتائیک، بادی با ذخیره ساز بانک باتری برای تغذیه بار مستقل از شبکه معرفی گردید. همچنین برای انتخاب ترکیب بهینه سیستم با هدف کمینه سازی هزینه ها و پوشش کامل تقاضای بار مستقل از شبکه در شرایط مختلف جوی و تغییرات بار در طول ۲۰ سال عملکرد سیستم از الگوریتم جدید رقابت استعماری استفاده شده است. آنالیز اقتصادی از نتایج مدلسازی به وضوح مزایای سیستم هیبرید طراحی شده را در مقایسه با حالت های ذکر شده را چه از لحاظ اقتصادی و چه از نظر قابلیت اطمینان نشان می دهد. همچنین نتایج بدست آمده از اعمال آن در مقایسه با دیگر روشها بیانگر آن است که الگوریتم پیشنهادی علاوه بر دقت از سرعت بالایی هم برخوردار است و می تواند در زمان بسیار اندک و تعداد تکرار پایین به جواب بهینه همگرا شود. این امر نشان می دهد که روش ارائه شده در این مقاله می تواند برای مقاصد بهره برداری که در آن دقت، هزینه و زمان مهم است، مورد استفاده قرار گیرد.

## منابع

- [1] Atashpaz-Gargari E. and Lucas C. 2007. "Imperialist Competitive Algorithm: An Algorithm for Optimization Inspired by Imperialist Competition", IEEE Congress on Evolutionary Computation, PP. 4661-4667.
- [2] Caisheng W, and Hashem Nehrir M. 2008. "Power Management of a Stand-Alone Wind/Photovoltaic/Fuel Cell Energy System" IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 23., No. 3.
- [3] Caro Lucas, Zahra Nasiri-Gheidari, Farid Tootoonchian. 2010. "Application of an imperialist competitive algorithm to the design of a linear induction motor", Energy Conversion and Management, Vol 51, Issue 7, PP. 1407-1411.
- [4] Eftichios K , Dionissia K , Antonis P. and Kostas K. 2006. " Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms", Solar Energy xxx.
- [5] Ghosh P. C. and Emonts V. 2003. "comparison of hydrogen storage with diesel generator system in a PV-WEC hybridsystem", Solar Energy, PP. 187-198.
- [6] Hashem Nehrir M. (2006). "A Course on Alternative Energy Wind/PV/Fuel Cell Power Generation" IEEE Power Engineering Society General Meeting, PP 6.
- [7] James A. M. 2001. "opportunities for electricity storage in distributed generation and renewables", IEEE.
- [8] Kai. S and Kristina Brock E. 2006. "Stochastic. Energy Source Access Management: Infrastructure-integrative modular plant for sustainable hydrogen-electric co-generation", International Journal of Hydrogen Energy 31, PP. 1129-1141.
- [9] Kashefi Kaviani A, Riahy G.H. and Kouhsari SH.M. 2008. "Optimal Design of a Reliable Hydrogen-based Stand-alone Wind/PV Generation System" Proc. Int. Conf. on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, PP. 413-418.
- [10] Kaye R. J. 1994. "a new approach to optimal sizing of components in stand-alone photovoltaic power systems", IEEE First WCPEC; Dec. 5-9, Hawaii.
- [11] Kellogg W. D. and Gere Z. 1998. "generation unit sizing and cost analysis for stand-alone wind, photovoltaic, and hybrid wind/PV systems", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 13, No. 1.
- [12] Mohammad saad Alam, and David W. 2007. "Modeling and Analysis of a Wind/PV/Fuel Cell Hybrid Power System in HOMER" Proc. Int. Conf. on Industrial Electronics and Applications, PP.1594-1599.

- [13] Mousavi Badejani M., Masoum A.S. and Kalanta M. 2008. "Optimal Design and Modeling of Stand-Alone Hybrid PV-Wind Systems" Proc. Int. Conf. on Power Engineering. Australasia, pp. 1-6.
- [14] Roy S. 1997. "optimal planning of wind energy conversion systems over an energy scenario", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 12, No. 3.
- [15] Shane D, Syed I, and William L. 1999. "A Battery Management System For Stand-Alone Photovoltaic Energy Systems" IEEE Industry Applications Conference, vol.4, PP. 2649-2654.
- [16] Yao Xingjia, Liu Yingming, Bao Jieqiu, and Xing Zuoxia. 2008. "Research and Simulation of Direct Drive Wind Turbine VSCF Characteristic" Proc. Int. Conf. on Automation and Logistics Qingdao, China, PP.1683-1687.
- [17] Zhao Y.S., Zhan J., Zhang Y., Wang D.P. and Zou B.G. 2009. "The Optimal Capacity Configuration of Independent Wind/PV Hybrid Power Supply System Based on Improved PSO Algorithm" Shandog Electric Power Research Institute, Jinan, China.