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

محمد رضا جوادی[۱و*] ، ابوالفضل جلیلوند[۱] ، رضا نوروزیان[۱] ، مجید ولیزاده[۲]، رضا بازیار[۳]

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 الکتریسیته توسط شبکه توزیع جهت تامین مایحتاج انرژی الکتریکی در بسیاری از نواحی روستایی کشور در حدود ۹۹.۵-۹۸.۵ درصد بعنوان شیوه ای معمول جهت تامین انرژی برق به حساب می‌آید. 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 ... می‌باشد. 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 می‌نماید 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 می‌شود. هدف از این طراحی، تامین انرژی مورد نیاز و کمینه‌سازی هزینه کل تولید در طول عمر سیستم می‌باشد.که با استفاده از الگوریتم جدیدی با سرعت همگرایی بالا تحت عنوان الگوریتم رقابت استعماری اندازه بهینه این منابع تعیین و تابع هزینه مینمم 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 می‌شود.

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

۱) دانشکده مهندسی برق وکامپیوتر، دانشگاه زنجان
۲) دانشکده مهندسی برق وکامپیوتر، دانشگاه تبریز
۳) شرکت مدیریت تولید برق آذربایجان شرقی
* نویسنده مسئول ، Javadi.mr@znu.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]

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 بدلایی از قبیل راندمان بالا، عدم انتشار گازهای آلاینده و ساختار انعطاف پذیر، پتانسیل بالایی در تبدیل به منابع انرژی سبز[1] 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 تقریبا مکمل یکدیگر می باشند، معمولا 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.

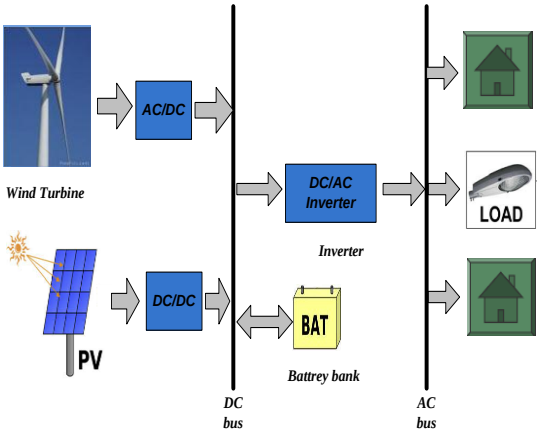
روش های مختلفی برای طراحی بهینه و کمینه سازی هزینه های نیروگاه های بادی و خورشیدی ارائه شده است. ترکیبی از برنامه ریزی خطی و غیر خطی که مبتنی بر محاسبه مشتقات جزئی به صورت تحلیلی و عددی در [۱۰] ارائه شده است. در [۱۴] روشی مبتنی بر برنامه ریزی غیر خطی برای انتخاب ظرفیت بهینه و محل نیروگاه های بادی متصل 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[۵و۷و۸]. از الگوریتم ژنتیک[5] جهت اندازه یابی بهینه یک نیروگاه مختلط بادی-خورشیدی استفاده شده است[۴]. همچنین در یک نیروگاه مختلط بادی-خورشیدی از الگوریتم اجتماع ذرات[6] 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 هزینه‌های این نیروگاه در طول عمر سیستم با قید پوشش کامل تقاضای باراست. هزینه‌ها نیز شامل هزینه سرمایه گذاری و هزینه بهره برداری نیروگاه ها بوده و قیمتهای موجود همگی واقعی و تجهیزات مورد استفاده نیز همگی از نظرتجاری در دسترس می‌باشند. داده‌های بادسنجی و تابش مورد استفاده مربوط به نواحی شمال غرب ایران، شهر جلفا بوده و جهت بهینه سازی از الگوریتم جدید رقابت استعماری[7] استفاده می شود. در نهایت نتایج حاصل از الگوریتم اعمال شده در هر سه حالت هیبرید، فقط بادی و فقط خورشیدی با

[1] Green power sources
[2] Fuel Cell
[3] Photovoltaic
[4] Wind Generation
[5] Genetic Algorithm
[6] Particle Swarm Optimization
[7] Imperialistic Competitive Algorithm

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]

دیگر الگـوریتم هـای مرسـوم از قبیـل الگـوریتم ژنتیـک و الگـوریتم اجتمـاع ذرات مقایسـه شـده و یـک مـدیریت هوشـمند جـامع برای طراحی سیستم هیبرید معرفی می شود.



شکل ۱: بلوک دیاگرام سیستم هیبرید مورد مطالعه

ابعاد و کارکرد سیستم هیبرید

هـدف از نگـارش ایـن بخـش برقـراری نسـبت مناسـبی میـان تولیـد و مصـرف در سیسـتم هیبریـد مـورد نظـر جهـت تـأمین انـرژی مـورد نیـاز بارهـای خـانگی روسـتایی در منطقـه ای دور از شـبکه مـی باشـد. در ایـن راسـتا تعیـین ابعـاد سیسـتم جهـت قابلیـت اطمینـان مناسـب بـرق تولیـدی و همچنـین بهینـه بـودن از لحـاظ اقتصـادی ضـروری مـی باشـد. بـدین منظـور بایـد اختلاف توان تولیدی P_{Gen} از انرژی های نو و تقاضای بار P_{load} طبق معادله (۱) حداقل گردد.

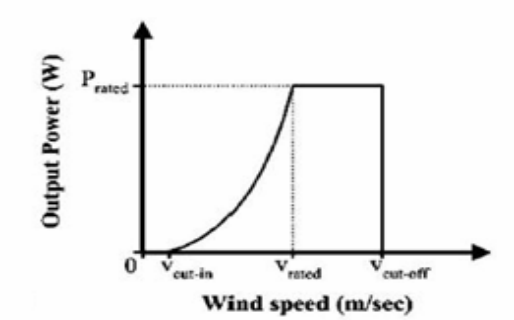
$$\Delta P = P_{Gen} - P_{load} \qquad (۱)$$

بلوک دیاگرام سیسـتم مـورد مطالعـه، در شـکل۱ نمـایش داده شـده اسـت. در ایـن سیسـتم WG و PV بـه عنـوان منـابع اصـلی درنظر گرفته می شوند. در حالی که از باتری بـه عنـوان سیسـتم پشـتیبان وذخیـره کننـده اسـتفاده مـی شـود. در شـکل۱خروجـی واحدها به یک باسDC متصل می‌شـوند. تعـدادی بـاتری نیـز بـه عنـوان سیسـتم ذخیـره سـاز بـه ایـن بـاس متصـل مـی باشـند. باتریها که معمولا از نوع سـرب-اسـید هسـتند، مـازاد انـرژی سیسـتم را در خـود ذخیـره کـرده و در زمـان مقتضـی، ماننـد کـاهش سرعت باد یا تابش و یا پیک مصرف، آنرا بار دیگر بـه سیسـتم بـاز مـی گردانـد. یـک مبـدل نیـز پـل ارتبـاطی بـین ولتـاژ DC و بارAC مصرفی می باشد. خروجـی بـاتری هـا و ورودی مبـدل DC/AC بصـورت مـوازی بـه یکـدیگر متصـل مـی‌گردنـد. انـرژی تولیـدی PVهـا و WG هـا از طریـق مبـدلDC/AC بـه مصـرف کننـده منتقـل مـی‌گـردد. مـازاد انـرژی موجـود نیـز در اختیـار بانک باتری قرار می‌گیرد.

مشخصات اجزاء سیستم

به منظـور طراحـی بهینـه و مـدیریت انـرژی و نیـز مشـاهده عملکـرد سیسـتم در شـرایط مختلـف، وجـود اطلاعـات کـافی از ساختار هر یک از اجـزاء ضـروری اسـت. سیسـتم مـورد نظـر متشـکل از تعـدادی تـوربین بـادی، فتوولتائیـک، بـاتری و مبـدل مـی باشد. در این بخش هر یک از این اجزاء بررسی می‌شوند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]



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 می گردد [۱۶و۱۲].در شکل۲ 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 سرعت های بیشتر از سرعت ماکزیمم، توربین متوقف می شود. توان خروجی توربین بادی از معادله (۲) بدست می آید [۹].

(۲)

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

در این رابطه P_{WG} توان خروجی توربین بادی،P_R توان نامی هر توربین، V_wسرعت باد،V_C سرعت قطع پایین،V_F سرعت قطع بالا وV_R سرعت نامی توربین می باشد. سایرمشخصات و پارامترهای توربین بادی استفاده شده درمدلسازی در جدول(۱) نشان داده شده است [۴].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]

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 دیودp-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 می آید[۶و۱۳].

$$P_{pv} = \frac{G}{1000} \times P_{pv,rated} \times \eta_{MPPT} \quad (۳)$$

در این رابطه G تابش بر حسب وات بر متر مربع، Ppv,rated توان نامی هر پنل فتوولتائیک و η_{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 نیروگاه های 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 صرفنظر شده است. سایرمشخصات و پارامترهای پنل فتوولتائیک استفاده شده درمدلسازی در جدول (۲) نشان داده شده است [۴].

[8] Maximum Power Point Tracking.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]

جدول ۲: مشخصات فنی ماژولهای خورشیدی

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

باتری و مبدل

باتری انتخاب شده جهت شبیه سازی از نوع سرب–اسید می باشد که دارای را ندمان 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[9] (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].

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

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[10]) توسط طراح سیستم و در آغاز فرایند بهینه سازی تعیین می‌گردد. ظرفیت جدید باتری در این حالت از رابطه (۵) بدست می آید [۱۷].

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

[9] State Of Charge
[10] Depth Of Discharge

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]

کـه در روابـط(۴و۵)، $P_b(t)$ و $P_b(t-1)$ ظرفیـت بـاتری در لحظـه t و t-1 مـی باشـد. $P_z(t)$ مجمـوع تـوان تولیـدی سیسـتم هیبریـد و $P_l(t)$ تـوان مـورد نیـاز بـار در لحظـه t مـی‌باشـد. $\eta_{bc}, \eta_{bf}, \eta_{inv}$ بترتیـب رانـدمان لحظـه شـارژ بـاتری، دشـارژ و رانـدمان اینـورترمی‌باشـد. سایرمشخصـات و پارامترهـای باتریهـا و مبـدل هـای اسـتفاده شـده درمدلسـازی در جـدول(۳) نشـان داده شده است [۱۷].

جدول ۳: مشخصات باتریها و مبدل‌های 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 غیـر پیوسـته بـاد و همچنـین تـابش خورشـید و وابسـتگی زیـاد آنهـا بـه شـرایط جـوی مهمتـرین بحـث، طراحی سیستم با قابلیت اطمینان مناسب در تأمین بـار مـی باشـد. در ایـن راسـتا توجـه بـه هزینـه سیسـتم اجتنـاب ناپـذیر اسـت، لذا هدف از طراحی بهینـه سیسـتم هیبریـد، تـأمین بـار بـا قابلیـت اطمینـان بـالا و هزینـه مناسـب مـی باشـد. در سیسـتم هیبریـد مورد مطالعه، تعداد توربین هـای بـادی، پنـل هـایPV و ظرفیـت بـاتری بایـد بـه صـورت بهینـه تعیـین گـردد. بـدین منظـور از الگوریتم رقابت استعماری استفاده شـده اسـت کـه بـا توجـه بـه عملکـرد سیسـتم، هزینـه تمـام اجـزای سیسـتم را در حالـت هـای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]

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 تولیده 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.

$$C_i = N_i * [C\cos t_i + R\cos t_i * K_i + O\&M\cos t_i] \quad i = WG, PV, Battery, inverter \qquad (۶)$$

که Ni تعداد یا اندازه تجهیزات سیستم Ccosti هزینه ، سرمایه اولیه شامل هزینه خرید و نصب Rcosti هزینه ، جایگذاری Ki تعداد جایگذاری در ۲۰ سال عملکرد سیستم، O&Mcosti 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 می‌گردد.

$$C_{SYSTEM} = C_{WG} + C_{PV} + C_{BAT} + C_{INV} + PF \qquad (۷)$$

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 می‌شود.

قیود

$$N_{WG}\ , N_{PV}\ , N_{BAT} \geq 0 \qquad (۸)$$

$$P_{Supply}\ (t)\ \geq\ P_{Demand}\ (t) \qquad (۹)$$

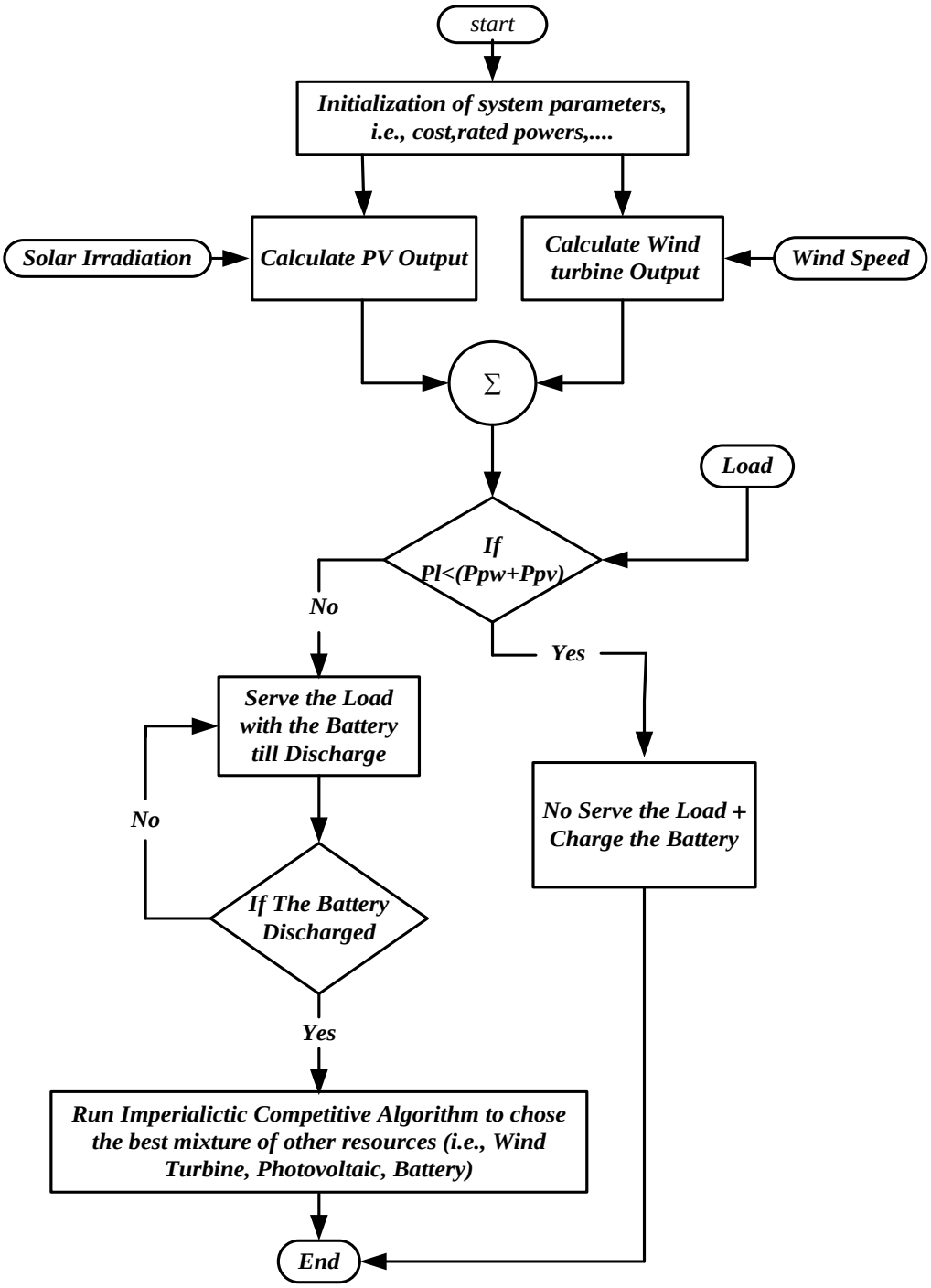
$$Pbmin \geq Pb \geq Pbmax \qquad (۱۰)$$

$$P_{bmin} = (1\text{-}DOD).P_{bmax} \qquad (۱۱)$$

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.

[11] Penalty Factor

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]



شکل ۳: فلوچارت کنترلی سیستم هیبرید

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]

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 $P_{PW}(t) + P_{PV}(t) > P_L(t)$ باشد، آنگاه مازاد توان تولیدی سیستم هیبرید به منظور شارژ بانک باتری مورد استفاده قرار گرفته می‌شود. در غیر اینصورت اگر $P_{PW}(t) + P_{PV}(t) < P_L(t)$ 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 می‌کند.

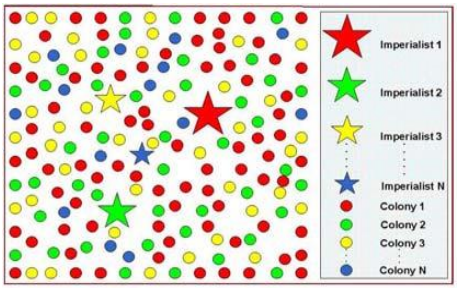
الگوریتم بهینه سازی رقابت استعماری

در دهه‌های اخیر، الگوریتمهای بهینه سازی هوشمند الهام گرفته از طبیعت، موفقیت خوبی از خود نشان داده‌اند. از جمله این روشها می‌توان الگوریتم های ژنتیک (الهام گرفته از تکامل موجودات)، بهینه سازی کلونی مورچه‌ها (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 شده‌اند. اخیرا الگوریتم جدیدی با نام الگوریتم رقابت استعماری توسط آقایان اسماعیل آتشپز و کارو لوکس ارائه شده است، که برای بهینه سازی، بجای طبیعت از یک پدیده اجتماعی الهام گرفته است [۳و۱].

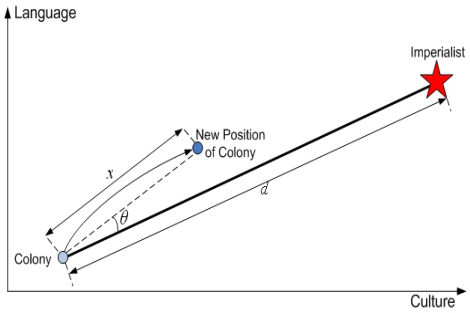
مبدعان این الگوریتم، پدیده تاریخی استعمار را در راستای یک تکامل اجتماعی سیاسی جوامع انسانی تحلیل نموده و با مدلسازی ریاضی این فرایند، یک الگوریتم قدرتمند برای بهینه سازی ارائه کرده‌اند. نتایج بکارگیری این الگوریتم در زمینه‌های متنوعی از مهندسی برق، صنایع ، کامپیوتر ، مکانیک و ...کارایی آن را در حل مسائل بهینه سازی نشان داده است کارایی بالا و جنبه نوآوری این الگوریتم ، باعث جذا بیت آن برای متخصصین حوزه بهینه‌سازی شده است. این الگوریتم مطابق شکل۴ با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آنها یک "کشور" نامیده می شوند، شروع میگردد. کشور ها به دو دسته مستعمره[12] و استعمارگر[13] (امپریالیست) تقسیم می‌شوند. سیاست جذب و رقابت استعماری، هسته اصلی این الگوریتم را تشکیل می‌دهد. 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 می‌کنند. 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.

[12] Colony
[13] Imperialistic

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]



شکل ٤: استعمارگران اولیه تولید شده و مستعمرات آنها



شکل٥: حرکت مستعمرات به سمت امپریالیست

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

$$x = U(0, \beta \times d)$$
$$\theta = U(-\gamma, \gamma) \quad (۱۲)$$

که در آن β عددی بزرگتر از یک و نزدیک ۲ می‌باشد. یک انتخاب مناسب می‌تواند β=۲ باشد. وجود ضریب β>۱ باعث می شود تا کشور مستعمره در حین حرکت به سمت کشور استعمارگر، از جهت های مختلف به آن نزدیک شود. در رابطه(۱۲) γ پارامتری دلخواه می باشد 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 پیاده‌سازیها، انتخاب $\gamma = \pi/4$ انتخاب مناسبی بوده است.

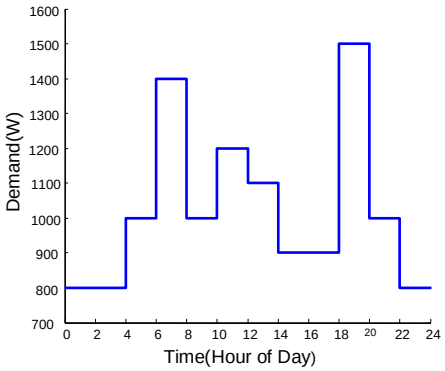
قدرت کل هر امپراطوری، به هر دو بخش تشکیل دهنده آن یعنی کشور امپریالیست (بعنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور امپریالیست، به اضافه درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل شده است. با شکل گیری امپراطوری های اولیه، رقابت 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]

امپراطوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری های رقیب، و به سیطره 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 می‌یابد تا بالاخره تعداد. امپراطوری‌ها به یک برسد .در این حالت تمام کشورها مستعمره یک امپراطوری هستند و الگوریتم به پایان می‌رسد، البته شرایط توقف دیگری مانند تعداد تکراری معین نیز میتواند بکار رود.

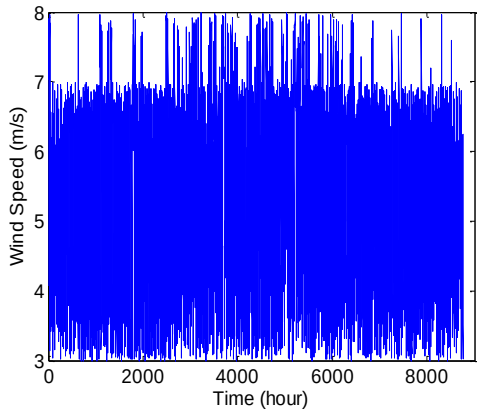
نتایج مدل سازی

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(۱تا 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.

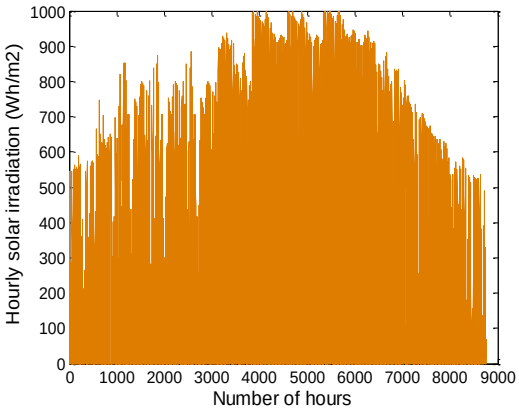


شکل ٦: پروفیل بار در یک شبانه روز

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]



شکل ۷: پروفیل سالانه وزش باد در محل مورد مطالعه



شکل ۸: منحنی سالانه تابش خورشید در محل مورد مطالعه

جدول ٤ : نتایج بهینه الگوریتم رقابت استعماری و مقایسه آن با الگوریتم های GA و PSO در حالت هیبرید

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

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]

برنامه فوق توسط نرم افزار MATLAB در یک کامپیوتر پنتیوم ۴، ۳ GHz CPU و ۵۱۲ RAM، 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 Mutation و Crossover زودتر به جواب بهینه همگرا می شود. 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 (۵و۶) 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.

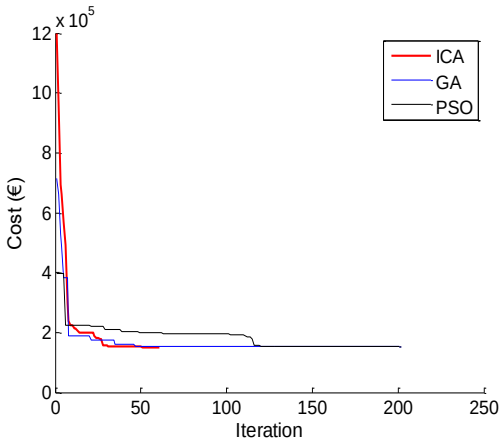
جدول ۵: نتایج بهینه الگوریتم ها در حالت بدون پنل فتوولتائیک

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 ٦: نتایج بهینه الگوریتم ها در حالت بدون توربین

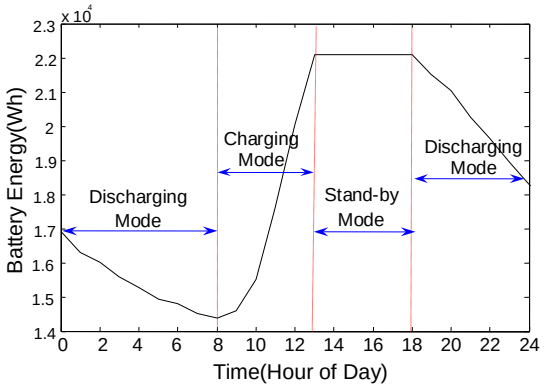
نوع الگوریتم	GA	PSO	ICA
تعداد WG	۰	۰	۰
تعداد PV	۱۲٤	۱۲۹	۱۲۷
تعداد باتری	۲۵	۲۲	۳۳
هزینه کل (€)	۱۸۱٦۸٤	۱۸۱۲۱۷	۱۸۰۸۲٤

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]



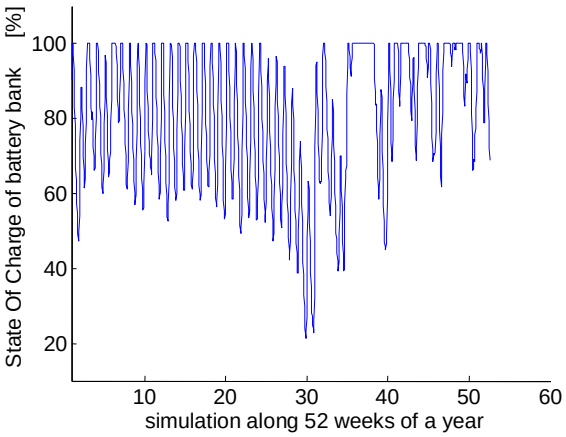
شکل ۹: روند همگرایی الگوریتم های اعمال شده

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 شکل۱۰، 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 می‌شود. همچنین سهم هزینه هر یک از اجزای سیستم هیبرید بهینه در هزینه کل در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

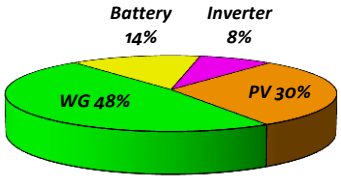


شکل۱۰: تغییرات انرژی باتری در یک شبانه روز

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]



شکل۱۱: وضعیت شارژر باتری در طول سال



شکل ۱۲: سهم هزینه اجزاء سیستم از هزینه کل

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]

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 درشرایط 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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]

[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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-13]