نشریه علمی- پژوهشی مدیریت انرژی
سال دوم، شمارهٔ سوم/ پاییز ۱۳۹۱/ صفحه ۲-۱۱

تعیین اندازهٔ بهینهٔ منابع در یک ریزشبکهٔ متعامل با بازار برق برای تأمین بار الکتریکی و حرارتی با هدف کاهش وابستگی ریزشبکه به سوخت فسیلی

بهنام نامور بهرغانی[۱*]، محمدآقا شفیعی[۲]، محمد مرادی دالوند[۳]، محمد احمدیان[٤]

[۱] کارشناس ارشد شرکت نفت و گاز پارس- تهران- ایران
b.namvar.2292@gmail.com
[۲] استادیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعت آب و برق تهران- ایران
shafiyi@pwut.ac.ir
[۳] کارشناس ارشد دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعت آب و برق تهران- ایران
moradi.dalvand@gmail.com
[٤] استادیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعت آب و برق تهران- ایران
ahmadian@pwut.ac.ir

دریافت مقاله: ۹۱/۲/۲۵ اصلاحیه: ۹۱/٦/۲۸
پذیرش مقاله: ۹۱/۷/۲٤

چکیده: کاهش منابع طبیعی سوخت و افزایش اهمیت مسائل زیست‌محیطی، باعث رشد فناوری منابع تجدیدپذیر و توسعهٔ استفاده از آن‌ها در جهان شده است. پیدایش مفهوم ریزشبکه، زمینهٔ مناسبی برای توسعهٔ این منابع فراهم کرده است. در مقالهٔ حاضر، روشی جدید برای تعیین اندازهٔ منابع در یک ریزشبکهٔ متعامل با بازار برق، برای تأمین بار الکتریکی و حرارتی با هدف کاهش وابستگی ریزشبکه به سوخت فسیلی ارائه شده است. منابع به کار رفته در ریزشبکهٔ پیشنهادی شامل منابع باد/ خورشیدی به عنوان منابع اصلی، پیل سوختی به عنوان ذخیره‌ساز و منبع تولید هم‌زمان، گرم‌کن به عنوان تأمین‌کنندهٔ قسمتی از بار حرارتی در زمانی که توان تولیدی بیشتر از بار، و سیستم ذخیره برق نیز ظرفیت کافی نداشته باشد، و همچنین بویلر به عنوان پشتیبان برای تأمین مطمئن بار حرارتی است. با توجه به اهمیت زیاد مسئلهٔ آلودگی، این قید به صورت هزینه در تابع هدف مسئله لحاظ شده است. شاخص قابلیت اطمینان به عنوان یک قید محدودکننده در نظر گرفته شده و هزینهٔ قطعی برق نیز در تابع هدف لحاظ گردیده است. اطلاعات بار مربوط به استاندارد IEEE و اطلاعات سرعت وزش باد و تابش خورشید، مربوط به منطقهٔ اردبیل است. برای حل این مسئله، از الگوریتم بهبودیافتهٔ انبوه ذرات (PSO) استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: اندازهٔ بهینه، ریزشبکه، بازار برق، بار الکتریکی و حرارتی، آلودگی، الگوریتم PSO.

* نویسندهٔ مسئول

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

خورشید و باد به عنوان منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توانند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی که علاوه بر تجدیدناپذیری از لحاظ زیست‌محیطی نیز بسیار مضرّند، باشند. پیشرفت در توسعهٔ فناوری بهره‌گیری از انرژی باد، خورشید و پیل سوختی و اهمیت روزافزون استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و مسائل زیست‌محیطی، به کارگیری این منابع را برای تأمین انرژی برق به صورت جدا و متصل به شبکه افزایش داده است [۱]. به کارگیری منابع بادی و خورشیدی با هم و استفاده از ذخیره‌ساز، عملکرد این منابع را بهبود، و قابلیت اطمینان و در نتیجه هزینه‌های سیستم قدرت را کاهش داده است. استفاده از ذخیره‌سازهای انرژی مانند باتری، ذخیره‌ساز هیدروژنی (الکترولایزر، تانک هیدروژن و پیل سوختی)، فلایویل، خازن‌ها، SMES[1] و... می‌تواند عملکرد منابع بادی/ خورشیدی را برای دنبال کردن بار[2] بهبود بخشد [۱-۵]. با توجه به اینکه هدف، تعیین اندازهٔ منابع برای تأمین بار الکتریکی و حرارتی است، از ذخیره‌ساز هیدروژنی به همراه پیل سوختی با کاربرد تولید هم‌زمان استفاده شده تا هم نقش ذخیره‌ساز را ایفا کند و هم به عنوان واحد تولید هم‌زمان مورد استفاده قرار گیرد به نحوی که علاوه بر افزایش بازدهی مجموعه، تمام یا بخشی از بار حرارتی ریزشبکه را تأمین کند و وابستگی آن را به سوخت فسیلی و نیز هزینه‌های ناشی از مصرف سوخت و آلودگی‌های زیست‌محیطی را کاهش دهد [۵].

روش‌ها و راهکارهای مختلفی برای کم کردن هزینه‌های نیروگاه‌های بادی و خورشیدی ارائه شده است. در برخی از مقالات، از این منابع در سیستم‌های هیبریدی و جدا از شبکه، برای تأمین بار الکتریکی استفاده شده و در بعضی دیگر، از این منابع در ریزشبکهٔ متصل به شبکه برای تأمین بار الکتریکی و یا فروش برق به شبکهٔ بالادست، استفاده گردیده است. سیستم هیبریدی جدا از شبکه، شامل منابع بادی/ خورشیدی/ پیل سوختی می‌باشد که در آن، پیل سوختی به همراه الکترولایزر و تانک هیدروژن، به عنوان ذخیره‌ساز برای بهبود عملکرد منابع بادی و خوشیدی مورد بررسی قرار گرفته است [٦]. مرجع [۷] از روش برنامه‌ریزی غیرخطی برای انتخاب محل و ظرفیت بهینهٔ نیروگاه‌های بادی متصل به شبکه، به منظور بیشینه‌سازی چگالی انرژی و کمینه‌سازی هزینه‌ها استفاده کرده است. در مرجع [۸] تعیین اندازهٔ بهینهٔ واحدهای خورشیدی و بادی به همراه باتری، با در نظر گرفتن عدم قطعیت باد و لحاظ کردن شاخص ضریب قطع معادل (ELF[3]) مطالعه شده است. استفاده از الگوریتم دیفرانسیل تکاملی (DE[4])، اندازهٔ بهینهٔ منابع در یک ریزشبکهٔ مستقل از شبکه، با در نظر گرفتن شاخص‌های قابلیت اطمینان در مرجع [۹] بررسی شده است. قابلیت اطمینان و سطح آلودگی به عنوان عوامل محدودکننده برای تعیین اندازهٔ منابع در یک سیستم هیبریدی مستقل از شبکه شامل منابع بادی/ خورشیدی و دیزل ژنراتور با در نظر گرفتن عدم قطعیت باد و خورشید، در مرجع [۱۰] مورد توجه قرار گرفته است. خروج اضطراری واحدهای خورشیدی و بادی در برنامه‌ریزی تولید ریزشبکهٔ مستقل از شبکه، نیز در مرجع [۱۱] مورد مطالعه قرار گرفته است.

تقریباً در تمامی مقالات، از جمله مراجع یادشده، فقط تأمین بار الکتریکی مدّ نظر بوده، و مسائل زیست‌محیطی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله، تعیین اندازه منابع در یک ریزشبکهٔ متعامل با بازار برق، برای تأمین بار الکتریکی و حرارتی با هدف کاهش آلودگی (کاهش وابستگی به سوخت فسیلی) مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور، بار حرارتی طی سه سناریو: فقط توسط بویلر (سناریو ۱)، استفاده از پیل سوختی با کاربرد تولید هم‌زمان (سناریو ۲) و استفاده از گرم‌کن برای حالتی که مازاد تولید داریم (سناریو ۳) تأمین شده است. در این کار، شبیه‌سازی در دو حالت جدا و متصل به شبکه، انجام و نتایج با هم مقایسه گردیده است. با توجه به اهمیت روزافزون مسائل زیست‌محیطی، قید آلودگی به صورت هزینه در تابع هدف لحاظ شده است و شاخص قابلیت اطمینان و تأمین مطمئن بار حرارتی به عنوان عوامل محدودکننده در نظر گرفته شده‌اند. شایان ذکر است به علت جدید بودن ساختار ریزشبکهٔ پیشنهادی (در نظر گرفتن بار حرارتی و قید آلودگی)، هزینهٔ سالیانهٔ ریزشبکه طبیعتاً نسبت به نتایج تحقیقات گذشته افزایش می‌یابد؛ بنابراین، نتایج آن‌ها برای مقایسه ارائه نشده است.

در بخش دوم مقاله، ساختار ریزشبکه و مدل ریاضی عناصر به کار رفته در آن ارائه شده است. مدل قابلیت اطمینان در حل مسئله در بخش سوم بیان شده است. در بخش چهارم، هدف ریزشبکه و نحوهٔ بهره‌برداری از منابع برای تأمین بار الکتریکی و حرارتی و در بخش پنجم، فرمول‌بندی مسئله و بیان تابع هدف و قیود آن توضیح داده شده است. در قسمت ششم، مکانیزم بهبودیافتهٔ الگوریتم PSO و چگونگی توسعهٔ نرم‌افزار با این الگوریتم شرح داده شده است. در بخش هفتم، نتایج و بررسی آن‌ها بیان شده و در نهایت، نتیجه‌گیری از انجام این تحقیق آورده شده است.

1. Superconducting Magnetic Energy Storage
2. Load following
3. Equivalent Loss Factor
4. Differential Evolution

Archive of SID

www.SID.ir

۲. ساختار ریزشبکهٔ پیشنهادی و مدل عناصر آن

شکل (۱)، ساختار ریزشبکهٔ نمونه را نشان می‌دهد. سیستم ترکیبی شامل منابع بادی و خوشیدی به عنوان تولیدکننده‌های اصلی توان الکتریکی، و سیستم پیل سوختی به همراه الکترولایزر و تانک هیدروژن به عنوان ذخیره‌ساز مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین، از پیل سوختی به صورت تولید هم‌زمان، و از حرارت تولیدی آن برای تأمین بار حرارتی استفاده می‌شود. در حالتی که تانک هیدروژن ظرفیت کافی برای ذخیرهٔ هیدروژن را نداشته باشد، توان مازاد از منابع بادی و خورشیدی در گرم‌کن برای تأمین بار حرارتی استفاده می‌شود. بویلر نیز به عنوان پشتیبان برای تأمین بار حرارتی استفاده می‌شود. در صورتی که حرارت تولیدی توسط گرم‌کن بیشتر از بار حرارتی باشد، مازاد توان تولیدی با توجه به محدودیت فروش، به شبکهٔ بالادست داده می‌شود. با توجه به اینکه ریزشبکه، خودمختار است و بارها فقط توسط تولیدکننده‌های خود ریزشبکه تأمین می‌شود، لذا از کنترل نامتمرکز برای مدیریت ریزشبکه استفاده شده است. در این شکل، MGCC[1] کنترل‌کنندهٔ مرکزی و MC[2] و LC[3] کنترل‌کنندهٔ محلی می‌باشند [۱۲]. در ادامه، مدل اجزای سیستم مورد مطالعه توصیف شده است.

۱.۲. مدل توربین بادی

مشخصهٔ توان- سرعت توربین مورد استفاده به صورت معادلهٔ (۱) است:

$$\begin{cases} 0 & ;V_w \le V_{cutin} \,, V_w \ge V_{cutout} \\ P_{WTmax} \times \left(\dfrac{V_w - V_{cutin}}{V_{rated} - V_{cutin}}\right)^m & ;V_{cutin} \le V_w \le V_{rated} \\ P_{WTmax} + \left(\dfrac{P_{furl} - P_{WTmax}}{V_{cutout} - V_{rated}}\right) \times (V_w - V_{rated}) & ;V_{cuin} \le V_w \le V_{rated} \end{cases} \quad (۱)$$

در این رابطه، V_{cutin}، V_{cutout} و V_{rated} به ترتیب، سرعت قطع پایین، بالا و نامی ($m.s^{-1}$) توربین است. $P_{WT,max}$ و P_{furl} (kW) نیز به ترتیب، بیشینهٔ توان خروجی توربین و توان آن در سرعت قطع بالاست. در این مقاله، m برابر ۳ در نظر گرفته شده است. توربین بادی مورد استفاده از نوع BWC Excel-R/48 می‌باشد [۸ و ۱۱].

۲.۲. پنل فتوولتائیک

توان الکتریکی معادل هر پنل فتوولتائیک با توجه به رابطهٔ (۲) به دست می‌آید [۸ و ۹]:

$$P_{PV} = {}^{G}/_{1000} \times P_{PV,rated} \times \lambda_{PV,rated} \quad (۲)$$

در این رابطه، G توان تابش عمود بر سطح آرایه ($W.m^{-2}$) و $P_{PV,rated}$ توان نامی هر آرایه است که به ازای G=1000 به دست می‌آید. $\eta_{PV,inv}$ نیز برابر با بازده مبدل DC/DC نصب شده بین هر آرایه و باس بار DC می‌باشد. توان تابیده شده (به صورت عمودی) بر سطح آرایهٔ نصب شده با زاویهٔ θ_{PV} طبق رابطهٔ (۳) محاسبه می‌شود:

$$G(t,\theta_{PV}) = +G_H(t) \times \sin(\theta_{PV}) + G_V(t) \times \cos(\theta_{PV}) \quad (۳)$$

که در آن، $G_h(t)$ و $G_v(t)$ به ترتیب، نرخ تابش افقی و عمودی در گام زمانی tام برحسب ($W.m^{-2}$) می‌باشند [۹].

۲. ۳. الکترولایزر

توان خروجی الکترولایزر، از معادلهٔ (٤) به دست می‌آید:

$$P_{ele-tank} = P_{Gen-ele} \times \eta_{ele} \quad (٤)$$

در معادلهٔ (٤)، $P_{Gen-ele}$ توان تحویلی از منابع به الکترولایزر، برای تولید هیدروژن است. η_{ele} نیز بازدهٔ الکترولایزر است که در این مقاله در طول زمان عملکرد، ثابت در نظر گرفته شده است [۸ و ۱۱].

۲. ٤. تانک هیدروژن

انرژی ذخیره شده در تانک برای هر گام زمانی t از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$E_{tank}(t) = E_{tank}(t-1) + P_{ele-tank} \times \Delta t - (P_{tank-fc}(t) \times \Delta t)/\eta_{storage} \quad (٥)$$

در این رابطه، Δt طول هر گام زمانی، $P_{ele\text{-}tank}$ توان انتقالی از الکترولایزر به تانک هیدروژن و $P_{tank\text{-}FC}$ توان انتقالی از تانک هیدروژن به پیل سوختی می‌باشند. $\eta_{storage}$ نیز معرف بازدهی سیستم ذخیره‌ساز است [۸ و ۱۱].

۲. ۵. پیل سوختی

پیل سوختی مورد استفاده در این مقاله، از نوع غشاء پروتونی (PEM) است که به صورت تجاری در دسترس می‌باشد. از این نوع پیل سوختی می‌توان در تولید هم‌زمان انرژی و در اندازه‌های کوچک استفاده کرد. توان الکتریکی و حرارتی خروجی این نوع پیل سوختی با سوخت هیدروژن از رابطه‌های (٦) و (٧) به دست می‌آید.

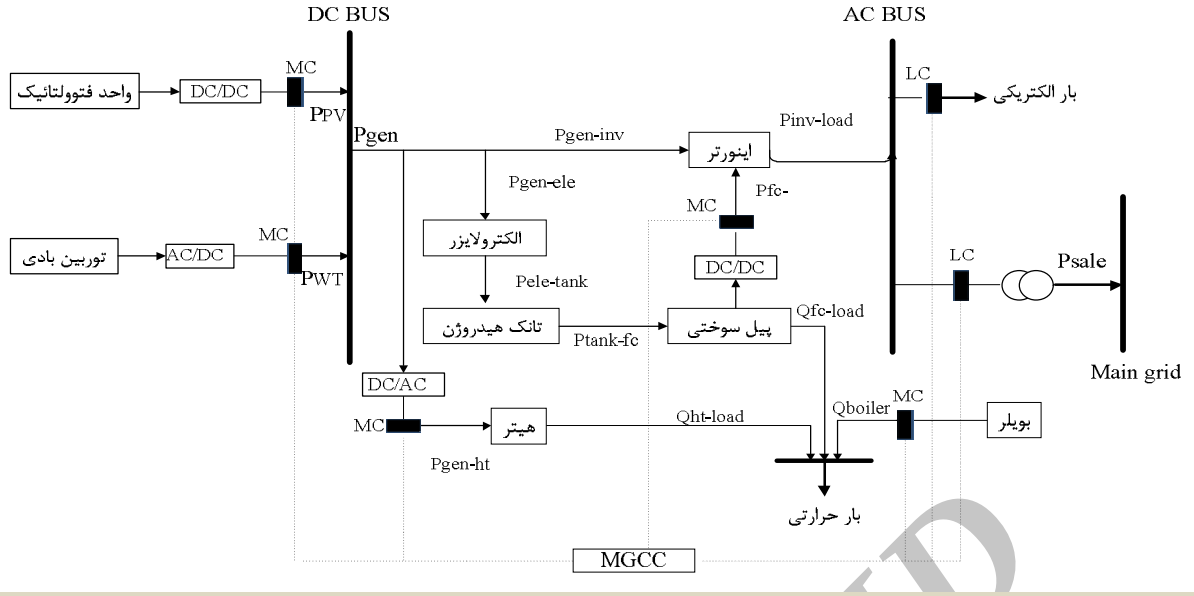
$$P_{fc-inv} = P_{tank-fc} \times \eta_{fc} \quad (٦)$$

$$Q_{fc}(t) = P_{fc-inv} \times (1/PQ_{rated,fc}) \quad (٧)$$

1. Micro-Grid Centeral Controller
2. Micrsource Controller
3. Load controller

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۱): نمودار ریزشبکهٔ نمونه

که در روابط (٦) و (۷)، $P_{fc\text{-}inv}$ و Q_{fc} به ترتیب، توان الکتریکی و حرارتی پیل سوختی بر حسب کیلووات هستند، η_{fc} و $PQ_{Ratio,fc}$ نیز بازده و نسبت توان الکتریکی به حرارتی واحد پیل سوختی هستند. پیل سوختی مورد استفاده در این مقاله BCS PEMFC است [۵ و ۱۱].

٦.۲. گرم‌کن

گرم‌کن یا تجهیزاتی که دارای المنت‌های الکتریکی‌اند، می‌توانند در تأمین بار حرارتی استفاده شوند. در شبکه‌های سنتی، به علت مصرف بالای این تجهیزات، از آن‌ها کمتر استفاده می‌شد، اما در ریزشبکه در حالتی که مازاد تولید داشته باشیم، می‌توان از گرم‌کن استفاده کرد. توان خروجی گرم‌کن از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$Q_{heater}(t) = P_{Gen-heater} \times \eta_{heater} \quad (۸)$$

در این رابطه، Q_{heater} توان حرارتی گرم‌کن بر حسب کیلووات و $P_{Gen\text{-}heater}$ توانی است که از منابع تجدیدپذیر به گرم‌کن داده می‌شود. η_{heater} نیز بازده گرم‌کن می‌باشد که ثابت فرض شده است [۱۳].

۲. ۷. بویلر

ظرفیت بویلر مورد استفاده در این مقاله، ۳۰ کیلووات منظور شده است. سوخت بویلر، گاز طبیعی است. رابطهٔ (۹) نشان‌دهندهٔ توان خروجی بر حسب سوخت ورودی بویلر است.

$$Q_{boiler}(t) = \eta_{boiler} \times C_{in}(t) \quad (۹)$$

در این رابطه، η_{boiler} بازده بویلر، $C_{in}(t)$ سوخت ورودی به بویلر بر حسب کیلووات ساعت و C_{fuel} هزینهٔ سوخت بر حسب دلار بر کیلووات ساعت است [۱٤].

۸.۲. مبدل

اثر تلفات مبدل را می‌توان با بازدهی آن مدل نمود.

$$P_{inv-load}(t) = (P_{fc-inv}(t) + P_{Gen-inv}(t)) \times \eta_{inv} \quad (۱۰)$$

در این رابطه، η_{inv} بازده مبدل و $P_{inv\text{-}load}$ توان منابع بعد از مبدل است [۸].

۳. قابلیت اطمینان

شاخص ضریب قطع معادل (ELF) برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم لحاظ شده است که مفهوم سایر شاخص‌ها نظیر امید قطع بار[1]، امید از دست رفتن بار[2] و امید انرژی تأمین‌نشده[3] را در بر می‌گیرد. شاخص ضریب قطع معادل از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$ELF = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\frac{Q(t)}{D(t)} \quad (۱۱)$$

در این رابطه، $Q(t)$ و $D(t)$ به ترتیب، مقدار بار قطع شده و کل بار الکتریکی در ساعت t بر حسب کیلووات ساعت و N نیز تعداد ساعت شبیه‌سازی در سال است [۸ و ۱۱].

٤. نحوهٔ بهره‌برداری ریزشبکه در تعامل با بازار برق

ریزشبکهٔ پیشنهادی در مقالهٔ حاضر، شامل منابع بادی/ خورشیدی به همراه سیستم ذخیره‌ساز هیدروژنی است. برای اینکه وابستگی ریزشبکه به سوخت فسیلی کم شود، از پیل سوختی با کاربرد تولید هم‌زمان استفاده شده است. همچنین استفاده از گرم‌کن برای تأمین قسمتی از بار حرارتی در مواقعی که مازاد تولید داشته باشیم، علاوه بر بهره‌برداری مناسب‌تر، باعث کاهش استفاده از سوخت فسیلی و هزینه‌های ناشی از آن می‌شود. در صورت اضافه شدن تولید و استفاده در گرم‌کن برای تأمین

1. Loss of Load Expectation
2. Loss of Energy Expectation
3. Expected Energy Not Supplied

Archive of SID

www.SID.ir

بار حرارتی، مقدار توان اضافی با توجه به محدودیت‌های فروش، به شبکهٔ بالادست داده می‌شود. از بویلر نیز به عنوان پشتیبان برای تأمین مطمئن بار حرارتی استفاده شده است. به این منظور، سه سناریو ذکر شده در بخش ۱، مدّ نظر قرار گرفته است. در ادامه، نحوهٔ بهره‌برداری از منابع در سناریوی سوم در حالت متصل به شبکه بیان می‌شود.

ابتدا توان تولیدی توسط منابع بادی و خورشیدی (با توجه به اطلاعات سرعت باد و تابش خورشید) بر اساس رابطهٔ (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$P_{Gen}(t) = N_{WT} \times P_{WT} + N_{PV} \times P_{PV} \quad (۱۲)$$

در این رابطه، N_{WT}، N_{PV}، P_{WT} و P_{PV} به ترتیب، تعداد منابع بادی، تعداد منابع خورشیدی، توان تولیدی هر واحد بادی و توان تولیدی هر واحد خورشیدی می‌باشند. با توجه به رابطهٔ (۱۲) و بار ریزشبکه، در هر ساعت، سه حالت زیر ممکن است رخ دهد:

- $P_{Gen}(t) = P_{Load}(t)/\eta_{inv}$: در این حالت، تولید با بار برابر است و همهٔ بار حرارتی توسط بویلر تأمین می‌شود.

$$\begin{aligned} &P_{Gen}(t) = P_{Load}(t)/\eta_{inv} \\ &P_{fc-inv}(t) = 0 \\ &P_{ele-tank}(t) = 0 \\ &P_{tank-fc}(t) = 0 \\ &P_{sale}(t) = 0 \\ &P_{Gen-ht}(t) = 0 \\ &Q_{ht}(t) = 0 \\ &Q_{fc-Load}(t) = 0 \\ &Q_{boiler}(t) = Q_{Load}(t) \end{aligned} \quad (۱۳)$$

- $P_{Gen}(t) > P_{Load}(t)/\eta_{inv}$: در این حالت، تولید بیشتر از بار است و امکان فروش به شبکهٔ بالادست وجود دارد. بار حرارتی توسط گرم‌کن و بویلر تأمین می‌گردد.

$$\begin{aligned} &P_{Gen}(t) = P_{Load}(t)/\eta_{inv} \\ &P_{fc-inv}(t) = 0 \\ &P_{Gen-ele}(t) = \big(P_{WT}(t) + P_{PV}(t)\big) - P_{Gen-inv}(t) \\ &P_{ele-tank}(t) = P_{Gen-ele}(t) \times \eta_{ele} \\ &E_{tank}(t) = E_{tank}(t-1) + P_{ele-tank}(t) \end{aligned} \quad (۱٤)$$

اگر تانک هیدروژن، ظرفیتی برای ذخیرهٔ انرژی نداشته باشد:

$$\begin{aligned} &E_{tank}(t) = E_{tankMax} \\ &P_{ele-tank}(t) = E_{tank}(t) - E_{tank}(t-1) \\ &P_{Gen-ele}(t) = P_{ele-tank}(t)/\eta_{ele} \\ &P_{Gen-ht}(t) = P_{Gen}(t) - P_{Gen-inv}(t) - P_{Gen-ele}(t) \\ &Q_{ht}(t) = P_{Gen-ht}(t) \times \eta_{ht} \end{aligned} \quad (۱۵)$$

اگر توان حرارتی تولیدی توسط گرم‌کن، کمتر از بار حرارتی باشد:

$$Q_{boiler}(t) = Q_{Load}(t) - Q_{ht}(t) \quad (۱۶)$$

اگر توان حرارتی تولیدی توسط گرم‌کن، بیشتر از بار حرارتی باشد:

$$\begin{aligned} &Q_{ht}(t) = Q_{Load}(t) \\ &P_{Gen-ht}(t) = Q_{ht}(t)/\eta_{ht} \\ &\mathrm{P_{sale}(t) = (P_{Gen}(t) - P_{Gen-inv}(t) - P_{Gen-ele}(t) - P_{Gen-ht}(t))/\eta_{inv}} \end{aligned} \quad (۱۷)$$

- $P_{Gen}(t) < P_{Load}(t)/\eta_{inv}$: در این حالت، تولید کمتر از بار است و باقیماندهٔ بار توسط ذخیره‌ساز تأمین می‌شود و در صورت اجبار بار قطع می‌گردد. بار حرارتی در این حالت با حرارت تولیدی توسط پیل سوختی تأمین، و از بویلر به عنوان پشتیبان استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned} &P_{Gen-inv}(t) = P_{Gen}(t) \\ &P_{Gen-ele}(t) = 0 \\ &P_{ele-tank}(t) = 0 \\ &P_{Gen-ht}(t) = 0 \\ &P_{fc-inv}(t) = \frac{P_{Load}(t)}{\eta_{inv}} - P_{Gen-inv}(t) \\ &P_{tank-fc}(t) = P_{fc-inv}(t)/\eta_{fc} \\ &E_{tank}(t) = E_{tank}(t-1) - P_{tank-fc}(t) \end{aligned} \quad (۱۸)$$

اگر با وجود پیل سوختی باز هم تقاضای بار تأمین نگردد، آنگاه بار قطع می‌شود:

$$\begin{aligned} &E_{tank}(t) = E_{tankMin} \\ &P_{tank-fc}(t) = E_{tank}(t-1) - E_{tank}(t) \\ &P_{fc-inv}(t) = P_{tank-fc}(t) \times \eta_{fc} \\ &P_{shed}(t) = P_{Load}(t)/\eta_{inv} - P_{Gen-inv}(t) - P_{fc-inv}(t) \end{aligned} \quad (۱۹)$$

در این رابطه، $P_{shed}(t)$ مقدار بار قطع‌شدهٔ ریزشبکه در ساعت t است. توان حرارتی تولیدی پیل سوختی به طریق زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q_{fc}(t) = P_{fc-tank}(t) \times PQ_{Ratio,fc} \quad (۲۰)$$

اگر توان حرارتی تولیدی توسط پیل سوختی کمتر از بار حرارتی باشد، بویلر وارد عمل می‌شود:

$$Q_{boiler}(t) = Q_{Load}(t) - Q_{fc}(t) \quad (۲۱)$$

لازم به ذکر است که توان مازاد تولیدی (پس از استفاده در گرم‌کن یا فروش به شبکهٔ بالادست) در یک مقاومت تلف می‌گردد.

۵. تابع هدف و قیود مسئله

هدف این مقاله، تعیین اندازهٔ بهینهٔ منابع در یک ریزشبکهٔ متعامل با بازار برق، برای تأمین بار الکتریکی و حرارتی با هدف کاهش وابستگی ریزشبکه به سوخت فسیلی است. هزینه‌های سیستم شامل هزینهٔ نصب، هزینهٔ جایگزینی، هزینهٔ تعمیر و نگهداری، هزینهٔ سوخت، هزینهٔ آلودگی و هزینهٔ قطع برق می‌باشد. درآمد حاصل از ارزش اسقاطی و فروش به شبکهٔ بالادست از این هزینه‌ها می‌کاهد.

برای محاسبهٔ هزینه‌ها و تعیین تابع هدف، از روش هزینهٔ خالص فعلی (NPC[1]) استفاده شده است.

۱.۵. هزینهٔ تجهیزات

با توجه به هزینه‌های ذکر شده در بالا، تابع هدف مسئله به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$NPC_i = N_i \times \begin{pmatrix} CC_i + RC_i \times K_i + \\ O\&MC_i \times PWA(ir, R) \end{pmatrix} \quad (۲۲)$$

در معادلهٔ فوق، N تعداد واحدها، CC هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه ($\$.\mathrm{unit}^{-1}$)، RC هزینهٔ هر بار جایگزینی ($\$.\mathrm{unit}^{-1}$)، $O\&M$ هزینهٔ تعمیر و نگهداری سالیانه ($\$.\mathrm{unit}^{-1}.\mathrm{yr}^{-1}$) تجهیز و R نیز طول عمر

1. Net Present Cost

Archive of SID

www.SID.ir

پروژه (که در این مطالعه ۲۰ سال در نظر گرفته شده است) می‌باشد. ir نرخ بهرهٔ واقعی با در نظر گرفتن نرخ تورم است. PWA و K نیز به ترتیب، فاکتور ارزش فعلی پرداخت‌های سالیانه و ثابت‌اند که بر اساس رابطه‌های زیر تعیین می‌شوند [۸، ۱۱ و ۱۵].

$$PWA(ir,R)=\frac{(1+ir)^R-1}{ir(1+ir)^R} \quad (۲۳)$$

$$K_i=\sum_{n=1}^{y_i}\frac{1}{(1+ir)^{n\times L_i}} \quad (۲۴)$$

y و L به ترتیب، تعداد جایگزینی‌ها و طول عمر مفید تجهیز مربوط می‌باشند.

۲.۵. هزینهٔ سوخت بویلر

رابطهٔ (۲۵)، هزینهٔ سوخت بویلر بر حسب بازده آن را نشان می‌دهد:

$$NPC_{fuel}=PWA(ir,R)\times\sum_{t=1}^{8760}\frac{Q_{boiler}(t)}{\eta_{boiler}}\times C_{fuel} \quad (۲۵)$$

در این رابطه، $Q_{boiler}(t)$ توان حرارتی بویلر بر حسب کیلووات، C_{fuel} هزینهٔ سوخت گاز بر حسب دلار بر کیلووات ساعت و η_{boiler} بازده بویلر است [۱۴ و ۱۵].

۳.۵. هزینهٔ آلودگی

تابع هزینهٔ آلودگی مطابق با معادلهٔ (۲۶) است:

$$NPC_{emission}=PWA(ir,R)\times\sum_{t=1}^{8760}\sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{M}\alpha_k\times(EF_{ik}\times P_i) \quad (۲۶)$$

α_k هزینهٔ خارجی ناشی از انتشار گاز نوع k، EF_{ik} ضریب انتشار گاز نوع k برای واحد iام، N تعداد واحدهای تولیدی با سوخت فسیلی، M نوع گاز انتشار یافته از واحدها (NO_x, CO_2, SO_2) و t تعداد ساعت‌های سال است [۱۵ و ۱۶].

۴.۵. هزینهٔ قطع بار

هزینهٔ قطعی برق برابر با هزینهٔ خسارت ناشی از قطع برق به مصرف‌کننده‌ها می‌باشد. اگر امید بار از دست رفته سالانه با رابطهٔ (۲۷) تعریف گردد:

$$LOEE=EENS=\sum_{t=1}^{8760}E[LOE(t)] \quad (۲۷)$$

ارزش خالص فعلی از دست رفتن بار را می‌توان طبق رابطهٔ (۲۸) به دست آورد:

$$NPC_{loss}=LOEE\times C_{loss}\times PWA(ir,R) \quad (۲۸)$$

در این رابطه، C_{loss} برابر با متوسط ضرر ناشی از قطع هر کیلووات ساعت بار مصرفی ($\$.kWh^{-1}$) است [۸ و ۱۱].

۵.۵. ارزش اسقاطی

ارزش اسقاطی یک تجهیز عبارت است از قیمت فروش تجهیز در انتهای عمر مفید آن. در محاسبات اقتصادی، ارزش اسقاطی به عنوان یک هزینهٔ منفی در نظر گرفته می‌شود. رابطهٔ (۲۹) چگونگی محاسبهٔ ارزش اسقاطی در سال شروع پروژه ارزش اسقاطی را نشان می‌دهد:

$$NPSV_i=N_i\times\left(P/F(ir,R)\times RC_i\times\frac{L_{rem,i}}{L_i}\right) \quad (۲۹)$$

در این رابطه، $NPSVi$[1] ارزش اسقاطی فعلی تجهیز i، N_i تعداد تجهیز مورد نظر، RC_i هزینهٔ جایگزینی تجهیز iام، $L_{rem,i}$ عمر مفید باقیماندهٔ تجهیز iام در انتهای پروژه و L_i طول عمر تجهیز iام می‌باشد و $P/F(ir,R)$ فاکتور ارزش فعلی معادل با یک مبلغ آینده است که از رابطهٔ زیر به دست می‌آید [۷، ۱۴ و ۱۵]:

$$P/F(ir,R)=\frac{1}{(1+ir)^R} \quad (۳۰)$$

۶.۵. درآمد حاصل از فروش به شبکهٔ بالادست

درآمد فروش برق به شبکهٔ بالادست با توجه به مقدار فروش و قیمت آن به دست می‌آید. رابطهٔ (۳۱) ارزش فعلی فروش برق به شبکهٔ بالادست را نشان می‌دهد:

$$NPC_{sale}=PWA(ir,R)\times\sum_{t=1}^{8760}P_{sale}(t)\times C_{sale} \quad (۳۱)$$

که در آن، C_{sale} درآمد ناشی از فروش هر کیلووات ساعت برق به شبکهٔ بالادست ($\$.kWh^{-1}$) است [۸].

۷.۵. تابع هدف

با توجه به هزینه‌های مطرح شده در فوق، تابع هدف مسئله به صورت رابطهٔ (۳۲) تعریف می‌شود:

$$J=\min_X\left\{\left(\sum_i NPC_i\right)+NPC_{loss}+NPC_{fuel}+NPC_{emission}-\left(\sum_i NPSV_i\right)-NPC_{sale}\right\} \quad (۳۲)$$

در رابطهٔ فوق، i نشان‌دهندهٔ تجهیز مورد نظر، و $X=[N_{PV}, N_{WT}, N_{EL}, N_{TANK}, N_{FC}]$ نیز یک بردار متشکل از متغیرهای بهینه‌سازی است که به ترتیب، بیان‌کنندهٔ تعداد آرایهٔ فتوولتائیک، تعداد توربین بادی، تعداد الکترولایزر، تعداد تانک هیدروژن و تعداد پیل سوختی می‌باشند. باید توجه کرد که تعداد گرم‌کن و بویلر وابسته به تعداد سایر منابع است و به عنوان متغیر بهینه‌سازی در نظر گرفته نشده‌اند.

۸.۵. قیود مسئله

قیدهایی که در حل مسئله باید مد نظر قرار گیرند، عبارت‌اند از:

$$ELF\le ELF_{max} \quad (۳۳)$$

1. Net Present Salvage Value

Archive of SID

www.SID.ir

$$E_{tankMin} \le E_{tank}(t) \le E_{tankMax} \quad (۳٤)$$

$$E_{tank}(0) \le E_{tank}(8760) \quad (۳۵)$$

$$P_{sale} \le P_{saleMax} \quad (۳٦)$$

قید سوم بیانگر این نکته است که انرژی ذخیره‌شده در تانک در انتهای سال، نباید کمتر از انرژی ذخیره‌شده در ابتدای آن سال باشد. این قید تضمین‌گر آن است که محاسبات قابلیت اطمینان، برای بدترین وضع ممکن انجام می‌شوند [۸، ۱۱ و ۱۲].

٦. الگوریتم بهبودیافتهٔ PSO

اجتماع ذرات الگوریتمی، گروهی است که در آن دسته‌ای از ذرات، به منظور یافتن پاسخ بهینهٔ یک تابع هدف، به جست‌وجو در فضای ممکن مسئله می‌پردازند. در این الگوریتم، مکان هر ذره توسط بردار سرعت همان ذره تغییر می‌کند. جهت و اندازهٔ بردار سرعت هر ذره توسط ترکیب بردار سرعت قبلی آن با راستای بهترین تجربهٔ شخصی و بهترین تجربهٔ گروه تعیین می‌شود که باعث تمایل هر ذره به پیروی از تجربهٔ خود و تجربهٔ بهترین ذرهٔ جمعیت می‌گردد. بیان ریاضی این مفهوم در رابطهٔ (۳۷) نشان داده شده است:

$$V_i^{k+1} = w \times V_i^k + C_1 \times rand_1 \times (P_{best1} - X_i^k) + C_2 \times rand_2 \times (g_{best} - X_i^k) \quad (۳۷)$$

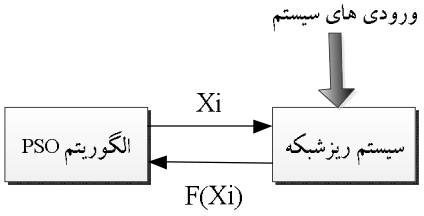
V_i^{k+1} بردار سرعت اصلاح شدهٔ ذره iام در تکرار k+1ام، V_i^k بردار سرعت ذرهٔ iام در تکرار kام، X_i^k مختصات مکان ذرهٔ iام در تکرار kام، $rand_{1,2}$ عددهای تصادفی بین ۰ و ۱، P_{best} بردار مکانی بهترین تجربهٔ شخصی ذرهٔ iام، g_{best} بردار مکانی بهترین تجربه به دست آمده در گروه، w ضریب وزنی بردار سرعت هر ذره، c_1 و c_2 به ترتیب ضرایب تجارب از خود و دیگران‌اند [۱۱، ۱۷ و ۱۸].

با استفاده از معادلهٔ (۳٦)، برای هر ذره یک سرعت خاص محاسبه، و در مرحلهٔ تکرار بعدی، مکان فعلی هر ذره توسط معادلهٔ (۳۸) اصلاح می‌شود.

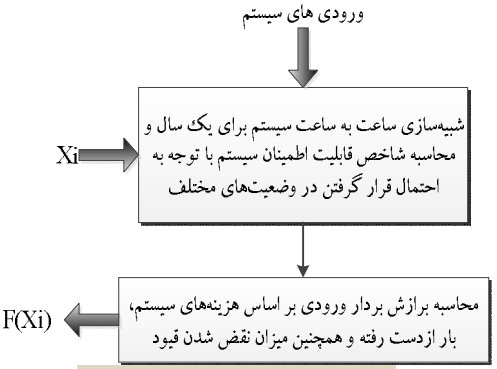
$$X_i^{k+1} = X_i^k + \chi \times V_i^{k+1} \quad (۳۸)$$

در این رابطه، χ ضریب انقباض است که به منظور محدود کردن اثر بردار سرعت وارد معادلهٔ (۳۷) شده است [۱۸]. در بیشتر مراجع، ضرایب c_1 و c_2 ثابت و برابر ۲ در نظر گرفته شده‌اند. همان‌طور که می‌دانیم c_1 ضریب یادگیری مربوط به خود فرد و c_2 ضریب یادگیری از دیگران می‌باشد. اگر هر کدام از افراد در ابتدای الگوریتم دارای ضریب یادگیری بالا باشند و کمتر از دیگران تأثیر بپذیرند، و در انتهای الگوریتم سعی بر هم‌فکری و یادگیری از دیگران داشته باشند، تا حدّ ممکن از افتادن الگوریتم در بهینهٔ محلی[1] جلوگیری می‌شود و بدین ترتیب، دقت و سرعت همگرایی نیز افزایش می‌یابد. ضرایب یادگیری در این مقاله به صورت دینامیکی تغییر داده می‌شوند؛ به این ترتیب که مقدار اولیهٔ c_1 روی ۲/۵ تنظیم شده و با افزایش تکرارها و در انتهای جست‌وجو به سمت ۱/۵ میل داده می‌شود. در مقابل مقدار c_2 بر روی مسیر معکوس، از ۱/۵ تا ۲/۵ افزایش داده می‌شود [۱۱ و ۱۸]. همچنین از ضریب χ برای محدود کردن اثر بردار سرعت و افتادن در بهینهٔ محلی استفاده شده و مقدار آن ۰/۷ در نظر گرفته شده است.

شکل‌های (۲) و (۳) چگونگی توسعهٔ برنامه با استفاده از الگوریتم PSO را نشان می‌دهد.



شکل (۲): پیکره‌بندی اصلی برنامه



شکل (۳): پیکره‌بندی سیستم ریزشبکه

۷. نتایج شبیه‌سازی

به منظور تعیین ظرفیت بهینهٔ واحدها برای تأمین بار الکتریکی و حرارتی در سیستم مورد نظر، نرم‌افزاری تحت محیط برنامه‌نویسی MATLAB با استفاده از الگوریتم PSO تهیه شده است. داده‌های مسئله شامل اطلاعات اقتصادی واحدها، منحنی سالیانهٔ بار الکتریکی، منحنی بار حرارتی، اطلاعات تابش، اطلاعات وزش باد و پارامترهای الگوریتم بهبودیافتهٔ انبوه ذرات که همگی در بخش ضمائم آورده شده‌اند. برای تعیین اندازهٔ منابع ریزشبکه طی سه سناریو و در دو حالت جدا و متصل به شبکه، شبیه‌سازی انجام، و نتایج آن به ترتیب در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده است. همچنین مسئلهٔ بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک[2] نیز انجام شده و نتایج آن با الگوریتم بهبودیافتهٔ انبوه ذرات (در سناریو سوم در حالت متصل به شبکه که جامع‌ترین حالت است) مقایسه شده است. لازم به ذکر است که از الگوریتم ژنتیک پیوسته در حل مسئلهٔ بهینه‌سازی استفاده شده است.

نتایج حاصل نشان می‌دهد که برای هر دو حالت جدا و متصل به شبکه، استفاده از پیل سوختی در کاربرد تولید هم‌زمان، علاوه بر کاهش

1. Local Optimal

2. Genetic Algorithm (GA)

Archive of SID

www.SID.ir

هزینهٔ کل ریزشبکه، باعث کاهش چشمگیری در مقدار و هزینهٔ آلودگی می‌شود. همچنین استفاده از گرم‌کن در زمان‌هایی که مازاد تولید توان الکتریکی وجود دارد، باعث شده از یک طرف از هدر رفتن این توان جلوگیری شود و از طرف دیگر، با تأمین قسمتی از بار حرارتی، هزینه‌ها و مقدار آلودگی در ریزشبکه کاهش یابد. در سناریو سوم به علت اینکه پیک بار حرارتی و الکتریکی در تقابل هم هستند، استفاده از گرم‌کن (در زمان تولید مازاد توان) بر عملکرد ریزشبکه و بهره‌برداری صحیح برای تأمین بار حرارتی بسیار مناسب است. دو سناریوی بالا (استفاده از پیل سوختی با کاربرد تولید هم‌زمان و گرم‌کن) وابستگی ریزشبکه را به سوخت فسیلی کاهش می‌دهند.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که فروش توان به شبکهٔ بالادست و در نتیجه، درآمد حاصل از آن طی سناریو دو و سه در حالت متصل به شبکه کاهش پیدا کرده است. علت این امر آن است که هدف تأمین بار حرارتی و الکتریکی با هم بوده و ریزشبکه برای تأمین بار حرارتی از پیل سوختی (به همراه تانک هیدروژن و الکترولایزر) و گرم‌کن بیشتر استفاده کرده، در نتیجه توان فروخته شده به شبکهٔ بالادست کاهش یافته است.

با مقایسهٔ نتایج در حالت جدا و متصل به شبکه مشخص می‌شود که در مد متصل به شبکه هزینهٔ کل سیستم، هزینهٔ ناشی از آلودگی و مصرف سوخت فسیلی کاهش می‌یابد. علت این امر آن است که در این حالت، ریزشبکه توان مازاد خود را بعد از مصرف در گرم‌کن برای تأمین بار حرارتی، به شبکهٔ بالادست می‌فروشد و از هدر دادن آن جلوگیری می‌کند و هزینهٔ سیستم را کاهش می‌دهد. همچنین ریزشبکه از فروش توان مازاد خود به شبکهٔ بالادست، درآمد کسب می‌کند که این خود باعث کاهش هزینهٔ کل می‌شود. علت کاهش آلودگی در مد اتصال به شبکه این است که در این حالت، از گرم‌کن بیشتر برای تأمین بار حرارتی استفاده شده و بویلر کمتر مورد استفاده قرار گرفته است.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم PSO جواب‌های بهتری از نظر کاهش هزینهٔ کل ریزشبکه نسبت به الگوریتم GA دارد.

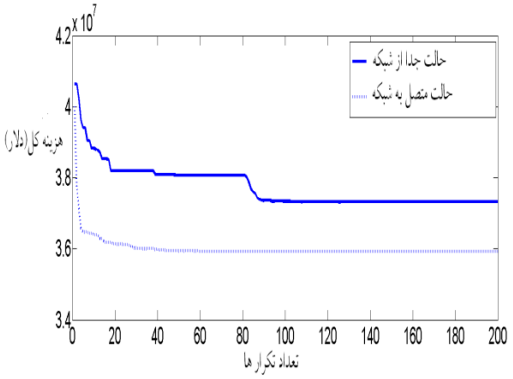
جدول (۱): نتایج حاصل از شبیه‌سازی در حالت جدا از شبکه

	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳
تعداد توربین بادی	۱۸۵	۱۸٤	۱۸۰
تعداد فتوولتائیک	۲٦۱٦	۲٦۱۹	۲٦۳٤
تعداد الکترولایزر	۱۸۹۱	۱۸۸٤	۱۸٦۵
تعداد تانک هیدروژن	۲۰۲۷	۲۰۳٤	۲۰۵۲
تعداد پیل سوختی	۹۹٤	۹۹۱	۹۹۱
تعداد گرم‌کن	۰	۰	۱٤٦
تعداد بویلر	۱۰	۱۰	۷
انرژی تولیدی بویلر ($kWh.yr^{-1}$)	$۱/۰۲٤۹\times۱۰^{٦}$	$۵/۸۸۹۲\times۱۰^{۵}$	$۲/٦۹۱۵\times۱۰^{۵}$
مقدار آلودگی ($lb.yr^{-1}$)	$۲/۰۲۵۹\times۱۰^{٦}$	$۱/۱٦٤۱\times۱۰^{٦}$	$۷/۲۹٦۹\times۱۰^{۵}$
هزینهٔ آلودگی ($)	$۷/۱٦٤۲\times۱۰^{۵}$	$٤/۰٦٤\times۱۰^{۵}$	$۲/۵٤۷۹\times۱۰^{۵}$
هزینهٔ سوخت ($)	$۱/۱٦۲۵\times۱۰^{٦}$	$٦/٦۷۱۸\times۱۰^{۵}$	$٤/۰۷۸۱\times۱۰^{۵}$
هزینهٔ کل ($)	$۳/۸٤۷٦۲\times۱۰^{۷}$	$۳/۷٦۷۹\times۱۰^{۷}$	$۳/۷۲۲۰۲\times۱۰^{۷}$

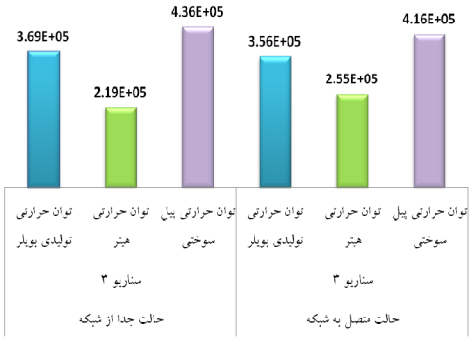
جدول (۲): نتایج حاصل از شبیه‌سازی در حالت متصل به شبکه

	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۳ (GA)
تعداد توربین بادی	۱۸٦	۱۸۲	۱۸۸	۲٤۱
تعداد فتوولتائیک	۲٦۱۲	۲٦۰۱	۲٦۰٤	۲۸۳۷
تعداد الکترولایزر	۱۸۹۹	۱۸۷٤	۱۹۱۹	۲٤۳٦
تعداد تانک هیدروژن	۲۰۲۱	۲۰٤۲	۲۰۰۷	۲۱۰۲
تعداد پیل سوختی	۹۹۵	۱۰۲۱	۹۹۵	۱۵۹۲
تعداد گرم‌کن	۰	۰	۱٤٦	۱٤٦
تعداد بویلر	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
انرژی تولیدی بویلر ($kWh.yr^{-1}$)	$۱/۰۲٤۹\times۱۰^{٦}$	$۵/۸۸۷۳\times۱۰^{۵}$	$۳/۵٦۳۱\times۱۰^{۵}$	$۳/۰٦۹٦\times۱۰^{۵}$
مقدار آلودگی ($lb.yr^{-1}$)	$۲/۰۰٦۵\times۱۰^{٦}$	$۱/۱۵۳۷\times۱۰^{٦}$	$۷/۲٤۱۵\times۱۰^{۵}$	$٤۱۰۷/۳\times۱۰^{۵}$
هزینهٔ آلودگی ($)	$۷/۰۷٤۲\times۱۰^{۵}$	$٤/۰٦۳۵\times۱۰^{۵}$	$۲/۵۲۸٦\times۱۰^{۵}$	$۲/۱۱۸۷\times۱۰^{۵}$
هزینهٔ سوخت ($)	$۱/۱٦۲۵\times۱۰^{٦}$	$٦/٦۷۷۷\times۱۰^{۵}$	$٤/۱۵۵۳\times۱۰^{۵}$	$٤۸۱۷/۳\times۱۰^{۵}$
درآمد فروش برق به شبکهٔ بالادست ($)	$۹/۷٤٦۵\times۱۰^{۵}$	$۹/٦۷۸۲\times۱۰^{۵}$	$۹/۲۱۲۰\times۱۰^{۵}$	$۳۱۹۷/۱\times۱۰^{٦}$
هزینهٔ کل ($)	$۳/۷۵۳۵۷\times۱۰^{۷}$	$۳/٦۷۵۲۵\times۱۰^{۷}$	$۳/۵۹۲۲\times۱۰^{۷}$	$۳/٦٤۲٤\times۱۰^{۷}$

شکل (٦) توان هدر رفته در مقاومت در دو حالت جدا و متصل به شبکه را نشان می‌دهد. علت وجود توان تلف‌شده در حالت متصل به شبکه، محدودیتی است که برای فروش به شبکهٔ بالادست در نظر گرفته شده و در هنگام بهره‌برداری از ریزشبکه می‌توان با عقد قراردادهای جدید، توان بیشتری به شبکهٔ بالادست فروخت تا علاوه بر درآمدزایی از هدر رفتن توان نیز جلوگیری کرد.

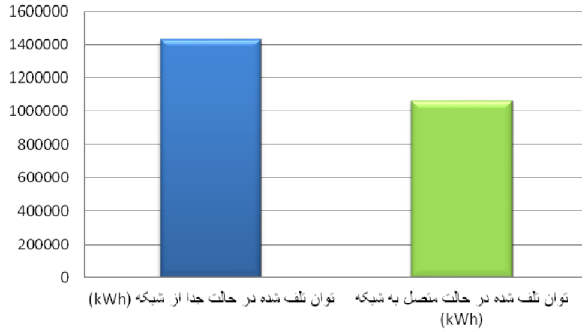


شکل (٤): روند همگرایی تابع هدف در سناریو سوم برای دو حالت جدا و متصل به شبکه



شکل (۵): شرکت منابع در تأمین بار حرارتی در دو حالت جدا و متصل به شبکه ($kWh.yr^{-1}$)

www.SID.ir



شکل (٦): توان تلف‌شده در دو حالت جدا و متصل به شبکه ($kWh.yr^{-1}$)

۸. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

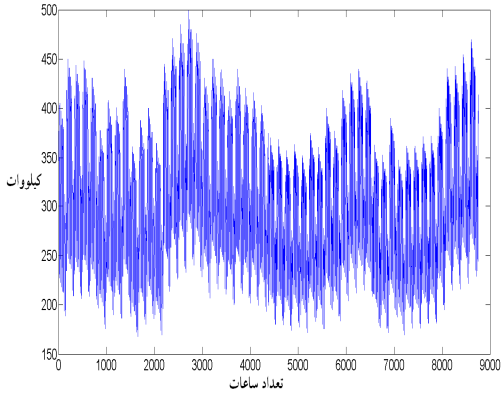
در این مقاله، به منظور تعیین سایز بهینهٔ واحدهای تولیدی ریزشبکهٔ متعامل با بازار برق برای تأمین بار الکتریکی و حرارتی به طرح تابع هدف با در نظر گرفتن هزینهٔ سوخت و آلودگی بویلر پرداخته شد. تابع هدف به دست آمده با استفاده از الگوریتم PSO در نرم‌افزار MATLAB طی سه سناریوی مختلف و در دو حالت جدا و متصل به شبکه بهینه گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد که با مدیریت صحیح (استراتژی صحیح بهره‌برداری در طول سال) و استفاده از پیل سوختی در حالت تولید هم‌زمان و همچنین به کارگیری گرم‌کن در زمانی که سیستم مازاد تولید را دارد، به کاهش چشمگیری در هزینهٔ کل، هزینه‌های سوخت و آلودگی و وابستگی کمتر ریزشبکه به سوخت فسیلی منجر می‌شود. همچنین مقداری از توان با اتصال ریزشبکه به شبکهٔ بالادست داده می‌شود که علاوه بر درآمدزایی برای ریزشبکه، از هدر رفتن این توان نیز جلوگیری می‌کند و هزینه‌های ریزشبکه کاهش می‌یابد. همچنین به دلیل استفادهٔ کمتر از بویلر در این حالت، علاوه بر کاهش آلودگی، از وابستگی ریزشبکه به سوخت فسیلی نیز کاسته می‌شود. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم بهبودیافتهٔ انبوه ذرات نسبت به الگوریتم ژنتیک، از دقت بیشتری در رسیدن به جواب بهینه برخوردار است.

به منظور گسترش مدل ارائه شده در این مقاله، موارد زیر می‌توانند به آن اضافه شوند:

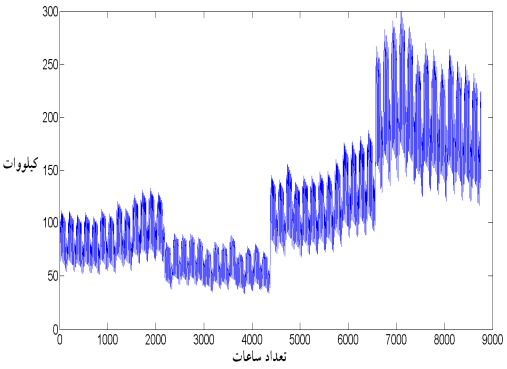
۱. در نظر گرفتن رشد بار و ارائهٔ روش بهینه‌سازی مناسب به منظور مدیریت ابعاد بالای ناشی از گسترش مدل ۲. مدل‌سازی خرید برق از شبکهٔ سراسری و تأثیر آن بر روی اندازهٔ منابع ۳. در نظر گرفتن عدم قطعیت منابع بادی و خورشیدی.

ضمیمه

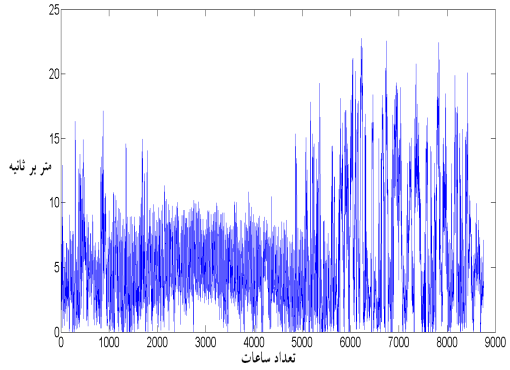
اطلاعات ورودی مسئله در شکل‌ها و جدول‌های زیر آمده است:



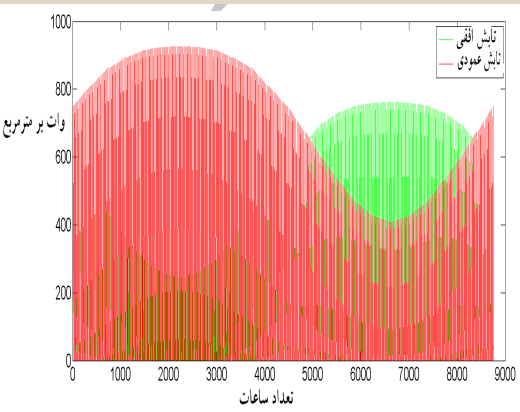
شکل (۷): منحنی بار الکتریکی سالیانه [۱۱ و ۱۲]



شکل (۸): منحنی بار حرارتی سالیانه



شکل (۹): منحنی وزش باد سالیانه [۱۱ و ۱۲]



شکل (۱۰): منحنی تابش عمودی و افقی سالیانه [۱۱ و ۱۲]

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (۳): مشخصات فنی و اقتصادی تجهیزات مورد استفاده در ریزشبکهٔ پیشنهادی [۱۱، ۱٤ و ۱۵]

تجهیز	هزینهٔ اولیه ($.unit^{-1})	هزینهٔ جایگزینی ($.unit^{-1})	هزینهٔ تعمیر و نگهداری سالیانه ($.unit^{-1}.yr^{-1})	عمر مفید (yr)	بازدهی (%)
توربین بادی	۱۹٤۰۰	۱۵۰۰۰	۷۵	۲۰	–
آرایه خورشیدی	۷۰۰۰	٦۰۰۰	۲۰	۲۰	–
الکترولایزر	۲۰۰۰	۱۵۰۰	۲۵	۲۰	۷۵
تانک هیدروژن	۱۳۰۰	۱۲۰۰	۱۵	۲۰	۹۵
پیل سوختی	۳۰۰۰	۲۵۰۰	۱۷۵	۵	۵۰
بویلر	۱۲۰۰	۱۰۰۰	۲۰	۱۰	۹۰
گرم‌کن	۵۰	۵۰	۵	۵	۹۰
مبدل DC/AC	۸۰۰	۷۵۰	۸	۱۵	۹۰

جدول (٤): سایر مشخصات فنی توربین بادی

	توان نامی (kW)	بیشینهٔ توان خروجی (kW)	توان خروجی در سرعت قطع بالا (kW)	سرعت قطع بالا ($m.s^{-1}$)	سرعت نامی ($m.s^{-1}$)	سرعت قطع پایین ($m.s^{-1}$)
توربین بادی	۷/۵	۸/۱	۵/۸	۲۵	۱۱	۳

جدول (۵): پارامترهای الگوریتم PSO

تعداد جمعیت	تعداد تکرار	w_{max}	w_{min}	C_{1first}	C_{1end}	C_{2first}	C_{2end}
۲۰۰	۲۰۰	۰/۹	۰/٤	۲/۵	۰/۵	۰/۵	۲/۵

■

مراجع

[1] Ekren, O., Ekren, B.Y., "*Size Optimization of a PV/Wind Hybrid Energy Conversion System with Battery Storage Using Simulated Annealing*", Applied Energy, Vol. 87, pp. 592–598, 2010.

[2] Yang, H., Zhou, W., Fang, L.Lu., "*Optimal Sizing Method for Stand-Alone Hybrid Solar–Wind System with LPSP Technology by Using Genetic Algorithm*", Science Direct, Solar Energy, Vol. 82, Issue 4, pp. 354-367, April 2008.

[3] Duong, Q., Hung, N., Mithulananthan, R.C., "*Analytical Expressions for DG Allocation in Primary Distribution Networks*", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 16, pp. 1-7, 2010.

[4] Diaf, S., Diaf, D., Belhamel, M., Haddadi, M., Louche, A., "*A Methodology for Optimal Sizing of Autonomous Hybrid PV/Wind System*", Energy Policy, Vol. 35, pp. 5708–5718, 2007.

[5] Shabani, B., Andrews, J., "*An Experimental Investigation of a PEM Fuel Cell to Supply both Heat and Power in a Solar-Hydrogen RAPS System*" Science Direct, Hydrogen Energy, Vol 36, pp. 5442-5452, March 2011.

[6] Koutroulis, E., Kolokotsa, D., Potirakis, A., Kalaitzakis, K., "*Methodology for Optimal Sizing of Stand-Alone Photovoltaic/Wind Generator Systems Using Genetic Algorithms*", Science Direct, Solar Energy, Vol. 80, No. 9, pp. 1072-1088, September 2006.

[7] Giraud, F., Salameh, Z.M., "*Steady State Performance of a Grid-Connected Rooftop Hybrid Wind-Photovoltaic Power System with Battery Storage*", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 16, pp. 1-7, 2001.

[8] Navaeefard , A., Tafreshi, S.M.M, Barzegari, M., Jalali Shahrood, A., "*Optimal Sizing of Distributed Energy Resources in Microgrid Considering Wind Energy Uncertainty with Respect to Reliability*", Energy Conference and Exhibition (Energy Con) IEEE, pp. 820-826, Dec 2010.

[9] Abedi, S., Ahangar, H.G., Nick, M., Hosseinian, S.H., "*Economic and Reliable Design of a Hybrid PV-Wind-Fuel Cell Energy System Using Differential Evolutionary Algorithm* ", ICEE Conference, pp. 1-6, May 2011.

[10] Hong, Y.Y., Lian, R., "*Optimal Sizing of Hybrid Wind/PV/Diesel Generation in a Stand-Alone Power System Using Markov-Based Genetic Algorithm*", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 27, pp. 640-647, No. 2, January 2012.

[11] Kashefi Kaviani, A., Riahy, G.H., Kouhsari, SH.M., "*Optimal Design of a Reliable Hydrogen-Based Stand-Alone Wind/PV Generating System, Considering Component Outages*", Renewable Energy, Vol. 34, pp. 2380-2390, April 2009.

[12] Katiraei, F., Iravani, R., "*Power Management Strategies for a Microgrid with Multiple Distributed Generation Units*", IEEE Transactions on Power System, Vol. 21, No. 4, Nov 2006.

[13] Website, http//:www.parskhazar.com/heater Category.

[14] Lambert, T., "*Micropower System Modeling with Homer*", Integration of Alternative Sources of Energy, by Felix A. Farret and M. Godoy Simoes Copyright, 2006 John Wiley & Sons, Inc.

[۱۵] اسکویی‌نژاد، محمد، «**اقتصاد مهندسی ارزیابی پروژه‌های صنعتی**»، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ هفدهم، ۱۳۸۲.

[16] Mohamed, F.A., Koivo, H.N., "*System Modeling and Online Optimal Management of Microgrid Using Mesh Adaptive Direct Search*", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 32, No.5, pp. 398-407, 2010.

[17] Yuhui , Sh., "*Particle Swarm Optimization*", IEEE neural Networks Society, feb 2004.

[18] Chaturvedi, K.T., Pandit, M., Srivastava , L., "*Particle Swarm Optimization with Time Varying Acceleration Coefficients for Non-Convex Economic Power Dispatch*", Elsevier, Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 31, pp. 249–257, 2009.

Archive of SID

www.SID.ir