تعیین اندازه بهینه منابع تولید پراکنده ریز شبکه مستقل از شبکه جهت تامین بارهای الکتریکی و حرارتی با در نظرگرفتن تاثیر هزینه های سرمایه گذاری، بهره برداری و زیست محیطی

بهنام نامور بهرغانی[۱] محمد آقا شفیعی[۲] معین ابوالقاسمی[۳] محمد مرادی دالوند[۴] محمد احمدیان[۵]

۱- شرکت نفت و گاز پارس- تهران- ایران
b.namvar.2292@gmail.com
۲- استادیار- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شهید بهشتی - تهران- ایران
shafiyi@pwut.ac.ir
۳- دانش آموخته- کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شهید بهشتی - تهران- ایران
moeinabolghasemi@stud.pwut.ac.ir
۴- دانش آموخته- کارشناسی ارشد- - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شهید بهشتی - تهران- ایران
moradi.dalvand@gmail.com
۵- استادیار- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شهید بهشتی- تهران- ایران
ahmadian@pwut.ac.ir

چکیده: امروزه استفاده از میکروتوربین‌ها در حالت تولید همزمان برق و حرارت برای تامین بار الکتریکی و حرارتی در ریزشبکه-های مستقل از شبکه رو به افزایش است. از طرف دیگرخطر کمبود و پایان‌پذیری منابع انرژیهای فسیلی، افزایش اهمیت مسائل زیست محیطی و همچنین افزایش قیمت سوخت باعث شده تا کشورهای مختلف استفاده هرچه بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر را مورد توجه قرار دهند. غیرقطعی بودن، عدم تطابق با بار، عدم توانایی در تامین بار حرارتی و هزینه زیاد منابع از عیوب منابع بادی و خورشیدی می باشند. در این مقاله ساختار ریزشبکه پیشنهادی به گونه ای ایست که با استفاده از سیستم ذخیره ساز، هیتر(مبدل برق به حرارت)، میکروتوربین و بویلر تا حد امکان مشکلات فوق را رفع کرده و اندازه بهینه ترکیبی از منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در یک ریزشبکه مستقل جهت تامین بار الکتریکی و حرارتی تعیین می گردد. علاوه بر این با استفاده از آنالیز حساسیت برای قیمت سوخت، جریمه بابت آلودگی و کمک هزینه دولت در سرمایه گذاری منابع تجدیدپذیر، راهکارهای توسعه منابع تجدیدپذیر و اندازه بهینه منابع با توجه به آنالیز انجام شده ارائه می گردد. روش مورد استفاده در حل مساله بهینه سازی الگوریتم بهبود یافته انبوه ذرات می باشد. اطلاعات بار مربوط به استاندارد IEEE و اطلاعات سرعت وزش باد و تابش خورشید مربوط به منطقه اردبیل می‌باشد.

کلمات کلیدی: ریزشبکه، الگوریتم بهبود یافته انبوه ذرات، آلودگی، انرژی تجدیدپذیر، اندازه بهینه، میکروتوربین

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۱/۸/۲۷
تاریخ پذیرش مشروط: ۱۳۹۲/۵/۲۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۲۵
نام نویسنده‌ی مسئول: بهنام نامور بهرغانی
نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران – تهران- شرکت نفت و گاز پارس

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

۱- مقدمه

نگرانی‌های زیست محیطی جهان و افـزایش نیـاز بـه اسـتفاده از انرژی، همراه با پیشـرفت پایـدار در زمینـه فنـاوری‌هـای انـرژی تجدیدپذیر باعث ایجاد قالب‌های جدیدی برای اسـتفاده از منـابع تجدیدپذیر انرژی در سیستم های قدرت گشـته اسـت [۱]-[۴]. ریزشبکه مجموعه‌ای از بارها، منـابع تولیـد پراکنـده و تجهیـزات ذخیره ساز انرژی می‌باشد که با کنترل صحیح می‌تواننـد تـوان و گرما را برای یک ناحیه فراهم نمایند [۵]. کاهش آلـودگی، بـازده انرژی، تجدیدساختار، تنوع منابع انرژی و نیازهـای تـوان ملـی و جهانی از سیاست‌های مشوق در توسعه ریزشـبکه‌هـا مـی‌باشـند. دسترسی به نیروگاه های مقیاس کوچک، استفاده از انـرژی‌هـای تجدیدپذیر که بـه علـت تمـام شـدنی بـودن سـوخت فسـیلی از اهمیت زیادی برخوردار هسـتند، کـاهش هزینـه هـای آلـودگی، افـزایش بهـره وری سیسـتم در حالـت تولیـد همزمـان انـرژی و کاهش هزینه‌های انتقال از دلایل توجیـه اقتصـادی ریزشـبکه‌هـا می‌باشند [۶]. خورشید و باد به عنوان منابع انـرژی تجدیـدپـذیر می‌توانند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی که علاوه بر تجدیدناپذیری از لحاظ زیست‌محیطی نیز بسـیار مضـر هسـتند، باشند. به کارگیری هر دو نوع منبع بـادی و خورشـیدی در کنـار ذخیره ساز تا حد زیادی به عملکرد این منابع کمک می‌کند [۷]. همچنین با استفاده از هیترهای برقی در زمانی کـه مـازاد تولیـد وجود داشته باشد، می توان علاوه بر افزایش بهره وری به کـاهش آلودگی نیز کمک کرد. تا کنون روش‌های مختلفی جهت تعیـین سایز منابع در ریزشبکه جدا از شبکه ارائه شده است. در همه این روش‌ها تعیین سایز برای تامین بار الکتریکی بوده و بـار حرارتـی لحاظ نشده است. در نظر گرفتن عدم قطعیت باد و لحاظ کـردن شاخص ضریب قطع معادل(ELF[۱]) تعیین سایز بهینه واحدهـای خورشیدی و بادی به همراه باتری در [۷] بررسی شده اسـت. در [۸] تعیین سایز سیستم مخـتلط بادی/خورشـیدی بـا پشـتیبان دیزل ژنراتور برای تامین بار الکتریکـی بـا الگـوریتم PSO انجـام کرده است. مرجع [۱۱] از روش برنامـه ریـزی غیرخطـی جهـت انتخاب محل و ظرفیت بهینه نیروگاه‌های بادی متصل بـه شـبکه به منظور بیشینه سازی انرژی بر متر مربع و کمینه‌سازی هزینه-ها استفاده شده است. مقایسه سیستم ذخیره سـاز هیـدروژن بـا دیزل ژنراتور در سیسـتم ترکیبـی بـادی- خورشـیدی در مرجـع [۱۲] بررسی شده است. نتایج در این مقاله نشان می دهد که در حال حاضر استفاده از ذخیره ساز هیدروژن در مناطق دور دسـت که امکان انتقال سوخت فسیلی نمی باشد مناسب اسـت. برخـی از ایرادات تحقیقات قبلی به شرح زیر است: ۱- عـدم لحـاظ بـار حرارتی در برنامه ریزی تولید ریزشبکه، ۲- کم توجهی بـه بحـث آلودگی در برنامه ریزی تولید، ۳- قابلیت اطمینان پـایین تـامین بار ریزشبکه ها فقط با منابع بادی/خورشیدی (توان تولیدی ایـن منابع قابل پیش بینی دقیق نمی باشد. برای رفع این مشکل مـی توان از منابع با سوخت فسیلی در کنار منابع تجدیدپذیر استفاده کرد)، ۴- عدم لحاظ فضای احتمالاتی بر پارامترهـایی نظیـر بـاد، خورشید، بار الکتریکی، بار حرارتی، قیمـت سـوخت و ... . امـا در این مقاله بار حرارتی نیز در کنار بـار الکتریکـی در برنامـه ریـزی تولید ریزشبکه در نظر گرفته شده است. همچنین مواردی نظیـر تاثیرات مسایل زیست محیطی در مساله برنامه ریزی، اسـتفاده از منابع تولید همزمان برق و حرارت در کنـار منـابع تجدیدپـذیر و بررسی حالت های مختلف جهت توسعه منابع تجدیدپـذیر مـورد توجه قرار گرفته است. لازم به ذکر است در این مقاله بـه منظـور توضیح بهتر ایده‌ی اصلی روش و مـدل پیشـنهادی، فـرض شـده است که برای تمامی متغیرهای تصادفی مقدار پـیش‌بینـی شـده دقیق در دست می‌باشد. در نظر گرفتن عـدم‌قطعیـت متغیرهـای تصادفی گام بعدی توسعه مدل پیشنهادی می‌باشد.

هزینه سرمایه‌گذاری منابع بادی و خورشیدی در مقابل منابع بـا سوخت فسیلی بسیار زیاد می باشد لذا سرمایه گـذاری بـه علـت قابل رقابت نبودن این منابع با منابع سوخت فسـیلی بسـیار کـم می‌باشد. دولت برای تشویق سرمایه گذاران می‌توانـد بـا ارائـه راه کارهایی نظیر دادن وام‌های با بهره کم، پیش خریـد کـردن بـرق این نیروگاه‌ها، یا تـامین بخشـی از هزینـه اولیـه، لحـاظ نمـودن جریمه برای منابع دارای آلودگی و همچنین افـزایش خوبخـودی قیمت سوخت (تمام شدنی بودن) باعث افزایش سـرمایه گـذاری در این قسمت شود. هر کدام از راه حل های ذکر شده محدودیت هایی را در تعیین انـدازه منـابع در ریشـبکه پیشـنهادی در ایـن مقاله ایجاد می کند. در این مقاله با اسـتفاده از الگـوریتم بهبـود یافته انبوه ذرات (MPSO [۲])و انجام آنالیز حساسیت در بعضـی از راه کارهای ارائه شده، اندازه بهینه این واحد ها جهت تـامین بـار الکتریکی و حرارتی ریزشبکه با در نظـر گـرفتن مسـاله آلـودگی تعیین می گردد. ریزشبکه نمونه شامل منـابع بادی/خورشـیدی در کنـار بـاتری و هیتـر همچنـین میکروتـوربین کـه بـه عنـوان پشتیبان برای تامین مطمئن بار الکتریکی می‌باشد. میکروتوربین در حالت تولید همزمان بهره‌برداری شـده و از حـرارت آن جهـت تامین همه یا بخشی از بار حرارتی استفاده می شود. بویلر نیز بـه عنوان پشتیبان در تامین بار حرارتی استفاده می‌شود. با توجه بـه اهمیت روزافزون مسائل زیست محیطی قید آلـودگی بـه صـورت

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

هزینه در تابع هدف لحاظ شده است. در بخش دوم ساختار ریزشبکه پیشنهادی معرفی و مدل ریاضی عناصر آن بیان می‌شود. در بخش سوم هدف سیستم هیبریدی و نحوه بهربرداری از منابع جهت تامین بار الکتریکی و حرارتی بیان می‌شود. در بخش چهارم فرمول بندی مساله و بیان تابع هدف و قیود آن توضیح داده می‌شود. مکانیزم الگوریتم بهبود یافته انبوه ذرات در بخش پنجم شرح داده شده است. در بخش ششم نتایج و بررسی آنها بیان شده و در نهایت نتیجه گیری از انجام این تحقیق آورده شده است.

۲- تقسیمات ساختار ریزشبکه پیشنهادی و مدل سازی عناصر آن

شکل (۱) ساختار ریزشبکه نمونه را نشان می دهد. سیستم ترکیبی شامل منبع بادی و خوشیدی به عنوان منابع تجدیدپذیر، باتری جهت ذخیره سازی و بهبود عملکرد منابع بادی و خوشیدی، میکروتوربین به عنوان پشتیبان برای تامین بار با قابلیت اطمینان صددرصد و همچنین استفاده از توان حرارتی تولیدی آن برای تامین همه یا بخشی از بار حرارتی می‌باشد. بویلر نیز به منظور پشتیبانی از میکروتوربین جهت تامین بار حرارتی استفاده شده است. در این شکل MC[۳] و LC[۴] کنترل کننده محلی منابع و بار می‌باشند[۱۳]. مدل اجزای سیستم مورد مطالعه در ادامه توصیف شده است.

۲-۱- توبین بادی

مشخصه توان-سرعت توربین را میتوان به صورت زیر بیان کرد :

$$P_{WT}=\begin{cases}0 & ;v_w\le v_{cutin}, v_w\ge v_{cutout}\\ P_{WT\max}\times\left(\dfrac{v_w-v_{cutin}}{v_{rated}-v_{cutin}}\right)m & ;v_{cutin}\le v_w\le v_{rated}\\ P_{WT\max}+\dfrac{P_{furl}-P_{WT\max}}{v_{cutout}-v_{rated}}\times(v_W-v_{rated}) & ;v_{rated}\le v_w\le v_{cutout}\end{cases} \quad (۱)$$

که در این رابطه Vcutin، Vcutout و Vrated به ترتیب سرعت قطع پایین، بالا و نامی توربین بر حسب (m/s) می‌باشند PWT,max و Pfurl نیز به ترتیب بیشینه توان خوروجی توربین و توان خروجی در سرعت قطع بالا و بر حسب (kW) می‌باشند. در این مقاله m برابر ۳ در نظر گرفته شده است. توربین بادی مورد استفاده از نوع BWC Excel-R/48 می‌باشد [۱۱].

۲-۲- سیستم فتوولتائیک

توان الکتریکی معادل از جذب انرژی خورشیدی هر آرایه خورشیدی به صورت (۲) بدست می آید[۱۱].

$$P_{PV}=G/1000\times P_{PV,rated}\times\eta_{PV,inv} \quad (۲)$$

در (۲)، G توان تابش عمود بر سطح آرایه (W/m2) و $P_{PV,rated}$ توان نامی هر آرایه بوده که به ازای $G=1000W/m^2$ بدست می‌آید. $\eta_{PV,inv}$ نیز برابر با بازدهی مبدل DC/DC نصب شده بین هر آرایه و باسبار DC می‌باشد. توان تابیده شده (به صورت عمودی) بر سطح آرایه نصب شده با زاویه θ_{PV} را طبق (۳) محاسبه می‌شود.

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

که در آن $G_H(t)$ و $G_V(t)$ به‌ترتیب نرخ تابش افقی و عمودی در گام زمانی t ام برحسب (W/m2) می‌باشند[۱۱].

۲-۳- باتری

منبع باتری برای تامین بار در شرایط عدم وجود منبع انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. اختلاف بین توان تولید شده و توان موردنیاز بار نشان می‌دهد که آیا باتری باید شارژ و یا دشارژ گردد. مقدار شارژ بانک باتری در دوره‌ی زمانی t با استفاده از (۴) بدست می‌آید.

$$E_{batt}(t)=E_{batt}(t-1)+P_{Gen_batt}\times\Delta t\times\eta_{batt}-(P_{batt_inv}(t)\times\Delta t)/\eta_{dis_batt} \quad (۴)$$

که در رابطه فوق $E_{batt}(t-1)$ و $E_{batt}(t)$ معرف مقدار شارژ بانک باتری در دوره های زمانی t-1 و t می‌باشند، η_{batt} η_{dis_batt} , به ترتیب بازدهی شارژ و دشارژ بانک باتری می باشند[۱۱].

۲-۴- میکروتوربین

در این مقاله از میکروتوربین در حالت تولید همزمان برق و حرارت بهره برداری می‌شود. راندمان کلی و الکتریکی میکروتوربین به صورت زیر بیان می شود.

$$\eta_{tot}=\frac{P_{MT}+Q_{MT}}{Q_{fuel}} \quad (۵)$$

$$\eta_{elec}=\frac{P_{MT}}{Q_{fuel}} \quad (۶)$$

که P_{MT} توان الکتریکی خالص تولید شده، Q_{MT} گرمای تولید شده واحد، Q_{fuel} انرژی سوخت ورودی می باشد. با توجه به (۶) هزینه میکروتوربین به صورت زیر محاسبه می گردد.

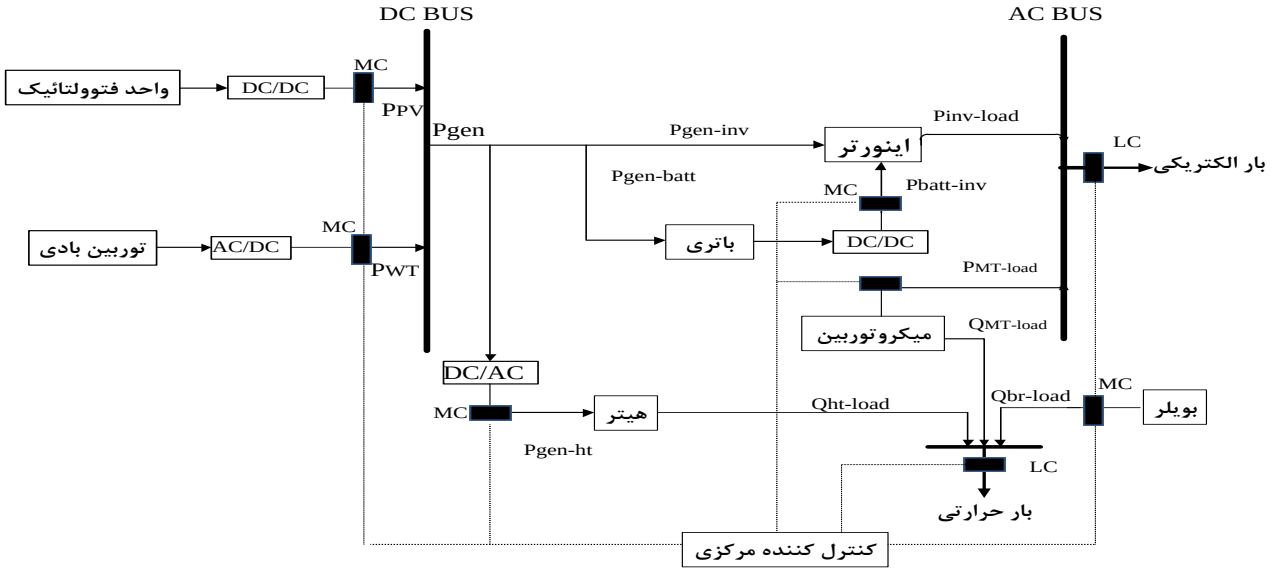
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

$$C_{MT} = C_{nl} \sum_{J} \frac{P_{MT}}{\eta_{elec}} \qquad (۷)$$

در این رابطه P_{MT} تـوان الکتریکـی خـالص تولیـد شـده در فاصله زمانی J، C_{nl} قیمت گاز طبیعی برای تغذیه میکروتوربین و C_{MT} نیـز هزینـه مصـرف سـوخت میکروتـوربین مـی‌باشـد. میکروتوربین مورد استفاده در ایـن مقالـه از نـوع Capstone بـا ظرفیت ۳۰ کیلو وات می‌باشد. نسبت توان الکتریکی بـه حرارتـی آن ۰/۶ است [۱۴].

۲-۵- هیتر

هیتر یا تجهیزاتی که دارای المنت هـای الکتریکـی هسـتند می‌توانند در تامین بار حرارتـی اسـتفاده شـوند. در شـبکه هـای سنتی به علت مصرف بالایی این تجهیزات از آنها کمتـر اسـتفاده میشد. اما در ریزشبکه جدا از شبکه در حـالتی کـه مـازاد تولیـد داشته باشیم می‌توان از هیتر جهت تامین قسمتی از بار حرارتـی استفاده نمود. توان خروجی هیتر از رابطه (۸) بدست می‌آید.



شکل(۱): مدل ساختاری ریزشبکه پیشنهادی

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

کـه در ایـن رابطـه Q_{heater} تـوان حرارتـی هیتـر بـر حسـب کیلووات و $P_{Gen-heater}$ توانی است که از منابع تجدیدپذیر به هیتر داده می‌شود. η_{heater} نیز بازده هیتر می‌باشد که ثابت فرض شـده است[۱۵].

۲-۶- بویلر

بویلر مورد استفاده در این مقاله با ظرفیت ۳۰ کیلووات مـی باشد. سوخت بویلر گاز طبیعی است. رابطه (۹) نشان دهنده توان خروجی بر حسب سوخت ورودی بویلر می باشد.

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

که η_{boiler} بازده بـویلر، $C_{in}(t)$ سـوخت ورودی بـه بـویلر بـر حسب کیلووات ساعت می‌باشد [۱۶].

۲-۷- مبدل

اثر تلفات مبدل را می‌توان با بازدهی آن مدل نمود.

$$P_{inv-load} = (P_{FC-inv} + P_{Gen-inv})\eta_{inv} \qquad (۱۰)$$

که در این رابطه η_{inv} بازده مبدل و $P_{inv-load}$ توان منابع بعـد از مبدل می‌باشد [۱۱].

۳- استراتژی بهره برداری از منابع ریزشبکه

تـوان بدسـت آمـده از واحـد هـای تجدیدپـذیر(بادی و خورشیدی) که به باس DC تزریـق مـی‌گـردد، بـه صـورت زیـر خواهد بود:

$$P_{Gen} = N_{WT} \times P_{WT} + N_{PV} \times P_{PV} \qquad (۱۱)$$

در این رابطه N_{WT}، N_{PV} و P_{Gen} بـه ترتیـب تعـداد تـوربین بادی، تعداد پنل خورشیدی و مجموع توان تولیدی ژنراتور بـادی و خورشیدی می باشد.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

نحوه بهره‌برداری از منابع ریزشبکه برای تامین بار بر حسب شرایط کار آن تعیین می‌شود. اصولا در هر گام زمانی یکی از شرایط زیر ممکن است برقرار باشد.

- $P_{Gen}(t)=P_{load}(t)$: در این حالت تمامی توان منابع تجدیدپذیر به بار تزریق شده و بار حرارتی توسط بویلر تامین می شود.
- $P_{Gen}(t)>P_{load}(t)$: در این وضعیت مازاد توان تولیدی توسط واحد های بادی و خورشیدی در باتری ذخیره می‌شود. اگر باتری ظرفیت کافی نداشته باشد توان اضافی در هیتر برای تامین همه یا قسمتی از بار حرارتی استفاده می‌شود. بویلر به عنوان پشتیبان جهت تامین کامل بار حرارتی می‌باشد. لازم به ذکر است که توان مازاد تولیدی (پس از استفاده در هیتر) در یک مقاومت تلف می‌گردد.
- $P_{Gen}(t)<P_{load}(t)$: در این شرایط کسری تقاضای بار الکتریکی توسط بانک ذخیره انرژی تامین می‌شود. اگر بانک ذخیره انرژی قادر به تامین کسری بار الکتریکی نباشد، باقیمانده بار توسط میکروتوربین تامین می‌شود بطوری که قطعی نداشته باشیم. بار حرارتی در این حالت بوسیله توان حرارتی تولیدی توسط میکروتوربین تامین شده و از بویلر نیز به عنوان پشتیبان جهت تامین مطمئن بار حرارتی استفاده می‌شود.

شکل (۸) شمای کامل استراتژی بهره برداری از منابع ریزشبکه را نشان می دهد.

۴- تابع هدف و قیود مساله

هدف این مقاله تعیین سایز منابع یک ریزشبکه جدا از شبکه جهت تامین بار الکتریکی و حرارتی و بررسی پارامترهایی نظیر هزینه سرمایه گذاری منابع تجدیدپذیر، آلودگی و قیمت سوخت بر تعداد منابع و انتخاب اندازه بهینه منابع بر اساس سیاست مورد نظر جهت تامین بار ریزشبکه می‌باشد. هزینه‌های سیستم شامل هزینه‌های نصب، جایگزینی، تعمیر و نگهداری تجهیزات، هزینه آلودگی، هزینه سوخت می‌باشد. برای بدست آوردن هزینه سیستم از روش ارزش خالص فعلی(NPC [۵] استفاده شده است

۴-۱- هزینه تجهیزات

ارزش خالص فعلی تجهیز i از رابطه زیر بدست می آید:

(۱۲)

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

در عبارت فوق، N تعداد (unit) تجهیز ، CC هزینه سرمایه‌گذاری اولیه ($/unit)، RC هزینه هر بار جایگزینی ($/unit)، O&M هزینه تعمیر و نگهداری سالیانه ($/unit-yr) تجهیز و R نیز طول عمر پروژه (در این مطالعه ۲۰ سال) و ir نرخ بهره واقعی با در نظر گرفتن نرخ تورم می‌باشد. PWA و K نیز به ترتیب فاکتور ارزش فعلی پرداخت‌های سالیانه و ثابت می باشند که بر اساس روابط زیر تعیین می‌گردند[۷ و ۱۷].

$$PWA(ir,R) = \frac{(1+ir)^R - 1}{ir(1+ir)^R} \qquad (۱۲)$$

$$K_i = \sum_{n=1}^{y_i} \frac{1}{(1+ir)^{n \times L_i}} \qquad (۱۳)$$

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

۴-۲- هزینه آلودگی

تابع هزینه آلودگی مطابق رابطه (۱۳) در نظر گرفته شده است[۱۲].

$$NPC_{emission} = PW(ir,R) \times \sum_{t=1}^{8760} \sum_{i=1}^{N} \sum_{k=1}^{M} \alpha_k (EF_{ik} P_i) \qquad (۱۴)$$

α_k هزینه خارجی ناشی از انتشار گاز نوع k برای واحد iام، Nتعداد واحدهای تولیدی، M نوع گاز انتشار یافته از واحد-ها(NO_x, CO_2, SO_2) و t تعداد ساعات سال می‌باشد. ضرایب هزینه خارجی و نفوذ گازهای گلخانه‌ای میکروتوربین و بویلر در جدول (۱) آمده است[۱۸].

جدول (۱): ضرایب هزینه خارجی و مقدار گاز گلخانه‌ای بویلر و میکروتوربین[۱۸].

نوع آلودگی	هزینه خارجی ($/lb)	ضرایب آلودگی برای بویلر (lb/MWh)	ضرایب آلودگی برای میکروتوربین (lb/MWh)
NOx	۴/۲	۵/۰۶	۰/۴۴
SO2	۰/۹۹	۱۱/۹	/۰۰۸
CO2	۰/۰۱۴	۱۹۶۵	۱/۵۹۶

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol12- No.1 Spring & Summer 2015
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

۴-۳- هزینه سوخت میکروتوربین و بویلر

تابع زیر هزینه سوخت بویلر بر حسب بازده آن نشان می دهد.

$$NPC_{fuel} = PW(ir,R) * \sum_{t=1}^{8760} \left(\frac{Q_{boiler(t)}}{\lambda_{boiler}} + \frac{P_{MT}(t)}{\eta_{elec}}\right) \times c_{fuel} \quad (۱۵)$$

Cfuel هزینه سوخت بر حسب دلار بر کیلووات ساعت می باشد (در این مقاله ۰/۸۹ در نظر گرفته شده است). بقیه متغیرهای این معادله در معادلات قبل تعریف شده اند[۱۳] و [۱۵].

۴-۴- تابع هدف

با توجه به هزینه های ذکر شده در بالا، تابع هدف مساله به صورت رابطه زیر تعرف می شود.

$$J = \min_x \left\{ \sum_i NPC_i + NPC_{fuel} + NPC_{emission} \right\} \quad (۱۶)$$

X بردار متشکل از متغییر های بهینه سازی و i تجهیز مورد نظر می باشد.

۴-۵- قیود و محدودیت های مساله

قیدهایی که در حل تابع هدف باید رعایت شود شامل موارد زیر است:

$$0 \le N_i \le N_{\max} \quad (۱۷)$$

$$P_{MT} \le P_{MT,\max} \quad (۱۸)$$

$$E_{batt}(0) \le E_{batt}(8760) \quad (۱۹)$$

$$E_{batt-Min} \le E_{batt}(t) \le E_{batt-Max}(t) \quad (۲۰)$$

قید $E_{batt}(8760) \ge E_{batt}(0)$ بیان‌گر این نکته است که انرژی ذخیره شده در باتری در انتهای سال نباید کمتر از انرژی ذخیره شده در ابتدای سال باشد[۷ و ۱۱]. در این مقاله فرضیات زیر در نظر گرفته شده است. ۱- ناچیز بودن زمان راه اندازی میکروتوربین ۲- ثابت بودن بار در طول عمر پروژه۳- ثابت بودن قیمت سوخت و هزینه قطع بار ۴- در نظر نگرفتن غیر قطعی بودن باد و خورشید ۵- ثابت بودن نرخ بهره.

۵- الگوریتم بهبود یافته انبوه ذرات

اجتماع ذرات الگوریتمی گروهی بوده که در آن دسته‌ای از ذرات، به منظور یافتن پاسخ بهینه یک تابع هدف، به جستجو در فضای ممکن مساله می‌پردازند. در این الگوریتم مکان هر ذره توسط بردار سرعت همان ذره تغییر می‌کند، جهت و اندازه بردار سرعت هر ذره توسط ترکیب بردار سرعت قبلی آن با راستای بهترین تجربه شخصی و بهترین تجربه گروه، تعیین می‌شود که سبب می‌شود هر ذره تمایل به پیروی از تجربه خود و تجربه بهترین ذره جمعیت را داشته باشد. بیان ریاضی این مفهوم در رابطه (۲۱) نشان داده شده است[۱۶-۱۷].

$$V_i^{k+1} = w \times V_i^k + c_1 \times rand_1 \times (P_{best1} - x_i^k) + c_2 \times rand_2 \times (g_{best} - x_i^k) \quad (۲۱)$$

V_i^{k+1} بردار سرعت اصلاح شده ذره iام در تکرار k+1ام، V_i^k بردار سرعت ذره iام در تکرار kام، X_i^k مختصات مکان ذره iام در تکرار kام، $rand_{1,2}$ عددهای تصادفی بین ۰ و ۱، P_{best} بردار مکانی بهترین تجربه شخصی ذره iام، g_{best} بردار مکانی بهترین تجربه بدست آمده در گروه، w ضریب وزنی بردار سرعت هر ذره، c_1 و c_2 به ترتیب ضرایب تجارب از خود و دیگران می‌باشند[۱۶]. با استفاده از معادله (۲۱)، برای هر ذره یک سرعت خاص محاسبه شده و در مرحله تکرار بعدی، مکان فعلی هر ذره توسط معادله (۲۲) اصلاح می‌شود.

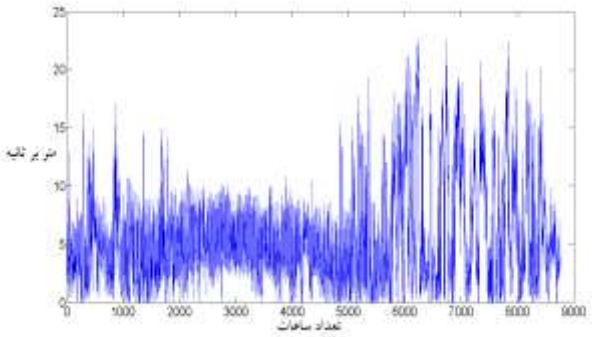
$$x_i^{k+1} = x_i^k + \chi \times V_i^{k+1} \quad (۲۲)$$

که در این رابطه χ ضریب انقباض بوده که به منظور محدود کردن اثر بردار سرعت وارد معادله (۲۲) شده است[۱۷]. در اکثر مراجع ضرایب c_1 و c_2 ثابت و برابر ۲ در نظر گرفته شده اند. 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 بوده و کمتر از دیگران تاثیر بپذیرند، و در انتهای الگوریتم سعی بر همفکری و یادگیری از دیگران داشته باشند، تا حد ممکن از افتادن الگوریتم در بهینه محلی[۶] جلوگیری شده و بدین ترتیب دقت و سرعت همگرایی نیز افزایش میابد. ضرایب یادگیری در این مقاله به صورت دینامیکی تغییر داده میشوند به این ترتیب که مقدار اولیه c_1 روی ۲/۵ تنظیم شده و با افزایش تکرارها و در انتهای جستجو به سمت ۱/۵ میل داده می‌شود. در مقابل مقدار c_2بر روی مسیر معکوس، از ۱/۵ تا ۲/۵ افزایش داده می‌شود[۱۶]. همچنین در این مقاله از ضریب χ جهت محدود کردن اثر بردار سرعت و افتادن در بهینه محلی استفاده شده و مقدار آن ۰/۷ در نظر گرفته شده است.

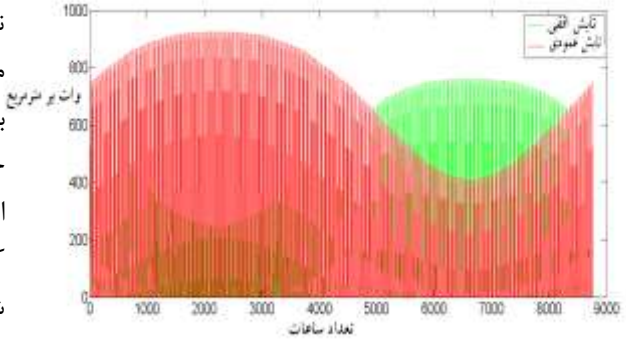
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

۶- نتایج شبیه‌سازی

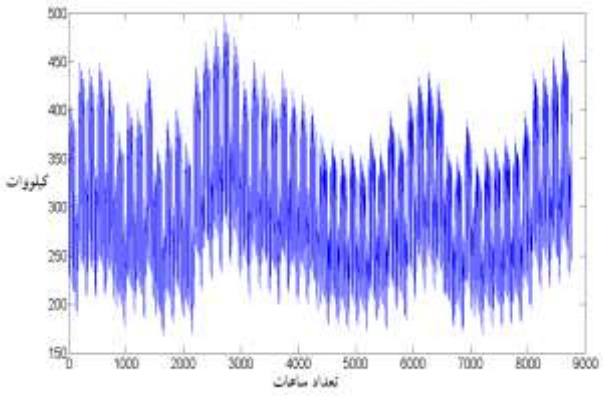
در این مقاله با استفاده از الگوریتم انبوه ذرات که در محیط نرم افزار MATLAB شبیه‌سازی شده است، با انجام آنالیز حساسیت، سایز بهینه منابع (تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) یک ریزشبکه مستقل از شبکه جهت تامین بار الکتریکی و حرارتی تعیین شده است. آنالیز حساسیت بر افزایش مقدار کمک دولت در هزینه سرمایه گذاری به منابع تجدیدپذیر (Subsidy)، دادن ضریب جریمه به هزینه آلودگی(Penalty) و افزایش قیمت سوخت(Gama) مورد بررسی قرار گرفته است. اطلاعات تابش خورشید، سرعت وزش باد، بار الکتریکی و حرارتی به ترتیب شکل های (۲)، (۳)، (۴) و (۵) می باشند. منحنی بار الکتریکی مربوط به استاندارد IEEE با پیک بار ۵۰۰ کیلووات بوده و بار حرارتی بر اساس تغییرات فصلی و تغییرات کمتر نسبت به بار الکتریکی پیشنهاد شده است.



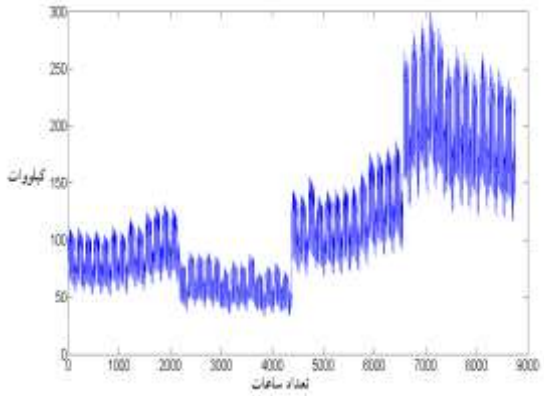
شکل (۲): منحنی وزش باد سالیانه (m/s)



شکل (۳): منحنی تابش عمودی و افقی سالیانه



شکل (۴): منحنی بار الکتریکی سالیانه



شکل (۵): منحنی بار حرارتی سالیانه

همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش کمک از ۰ تا ۵۰ درصد هزینه اولیه، این منابع به شبکه اضافه شده اما باتری اضافه نمیگردد. علت این امر استفاده از میکروتوربین به عنوان پشتیبان می باشد و اینکه در این قیمت سوخت، استفاده از آن ارزان تر از باتری می باشد. (میکروتوربین ارزانتر است و نقش باتری را نیز به خوبی بازی می‌کند). نتایج نشان می دهد با افزایش کمک هزینه از ۰ به ۵۰ درصد، آلودگی زیاد شده است. علت این امر اینست که با افزایش هزینه سرمایه گذاری تعداد منابع تجدیدپذیر زیاد شده و از میکروتوربین کمتر استفاده شده است در نتیجه سیستم برای تامین بار حرارتی مجبور است که از بویلر بیشتر استفاده کند و بویلر به علت آلودگی زیاد باعث افزایش آلودگی می-شود(حالات ۱ تا ۴ در جدول ۲).

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

جدول (۲): تاثیر افزایش کمک هزینه دولت بر تعداد منابع

		N.wt	N.pv	N. bat	PMT(kw)	Qheater(kw)	Qboiler(kw)	Emission(lb)	Fuel(kwh)
حالت۱	S=0,P=1,G=1	۳۹	۱	۱	۲/۲۴۴۷×۱۰^۶	۱/۵۱۷۸×۱۰^۴	۱/۲۲۲×۱۰^۵	۲/۲۶۳۹×۱۰^۵	۹/۴۲۷۴×۱۰^۶
حالت۲	S=0.2,P=1,G=1	۷۲	۸۷	۱	۱/۹۶۰۳×۱۰^۶	۱/۷۵۸۰×۱۰^۵	۶/۳۷۳۳×۱۰^۴	۱/۲۹۹۷×۱۰^۵	۸/۱۹۵۰×۱۰^۶
حالت۳	S=0.3,P=1,G=1	۷۲	۱۷۵	۱	۱/۸۳۷۹×۱۰^۶	۱/۸۴۸۴×۱۰^۵	۸/۲۰۶۵×۱۰^۴	۱/۶۵۹۶×۱۰^۵	۷/۷۰۸۰×۱۰^۶
حالت۴	S=0.5,P=1,G=1	۷۶	۳۰۹	۱	۱/۶۶۶۲×۱۰^۶	۲/۲۳۹۵×۱۰^۵	۱/۲۲۷۴×۱۰^۵	۲/۴۶۰۰×۱۰^۵	۷/۰۴۱۷×۱۰^۶

جدول (۳): تاثیر افزایش قیمت سوخت بر تعداد منابع

		N.wt	N.pv	N. bat	PMT(kw)	Qheater(kw)	Qboiler(kw)	Emission(lb)	Fuel(kwh)
حالت۵	S=0.2,P=3,G=1.5	۸۰	۲۸۰	۱	۱/۶۶۸۹×۱۰^۶	۲/۲۲۵۶×۱۰^۵	۱/۰۸۶۴×۱۰^۵	۲/۱۸۱۸×۱۰^۵	۷/۰۴۱۷×۱۰^۶
حالت۶	S=0.2,P=3,G=2	۸۴	۴۳۵	۱	۱/۵۴۹۳×۱۰^۶	۲/۹۳۲۶×۱۰^۵	۱/۱۸۲۷×۱۰^۵	۲/۳۶۹۴×۱۰^۵	۶/۵۵۲۲×۱۰^۶
حالت۷	S=0.2,P=3,G=2.5	۹۹	۱۴۲۰	۶۵۴	۱/۳۵۸۸×۱۰^۵	۲/۱۴۴۳×۱۰^۵	۷/۰۲۶۰×۱۰^۵	۱/۳۸۹۵×۱۰^۶	۲/۱۷۲۷×۱۰^۶
حالت۸	S=0.2,P=3,G=3	۱۰۰	۱۶۱۶	۷۶۴	۱/۸۹۲۵×۱۰^۵	۲/۲۹۲۷×۱۰^۵	۷/۲۸۸۹×۱۰^۵	۱/۴۴۱۲×۱۰^۶	۱/۵۵۹۲×۱۰^۶

حالات ۵ تا ۸ در جدول ۳ نشان می دهد که با کمک هزینه ۲۰ درصد در هزینه سرمایه گذاری اولیه و لحاظ ضریب جریمه ۳ جهت منابع با سوخت افزایش قیمت سوخت تاثیر زیادی بر اندازه منابع دارد. به این صورت که با رشد قیمت سوخت از ۱/۵ تا ۳ برابر قیمت حال حاضر و بخصوص رشد قیمت از ۲ به ۲/۵ و ۳ برابر قیمت سوخت، باعث توسعه منابع بادی و خورشیدی شده و استفاده از ذخیره‌ساز را نیز در ریزشبکه پیشنهادی الزامی می‌کند. علت این امر آنست که با افزایش قیمت سوخت استفاده از میکروتوربین به عنوان یک واحد ارزان (در حالتی که قیمت سوخت کم بود) برای سیستم هزینه بر است لذا برای ریزشبکه به صرفه تر است که منابع تجدیدپذیر جهت تامین بار الکتریکی استفاده نماید. همچنین چون از میکروتوربین کمتر استفاده می‌شود سیستم ذخیره ساز برای بهبود عملکرد منابع تجدیدپذیر به ریزشبکه اضافه شده تا شرط قابلیت اطمینان سیستم ارضای شده و بهره‌برداری مناسب از منابع موجود انجام شود. در این حالت به علت استفاده کمتر از میکروتوربین و کاهش استفاده از هیتر (به علت افزایش تعداد باتری جهت تامین بار الکتریکی) از بویلر جهت تامین بار حرارتی استفاده شده که این امر باعث افزایش آلودگی می‌شود. جهت جلوگیری از این امر می‌توان ضریب جریمه بابت آلودگی را زیاد کرد که این کار نیز اثراتی بر اندازه منابع دارد که در ادامه بررسی می‌شود.

جدول (۴): تاثیر ضریب جریمه آلودگی بر تعداد منابع

		N.wt	N.pv	N. bat	PMT(kw)	Qheater(kw)	Qboiler(kw)	Emission(lb)	Fuel(kwh)
حالت۹	S=0.2,P=5,G=2	۸۷	۴۲۹	۱	۱/۵۴۲۶×۱۰^۶	۲/۹۹۸۳×۱۰^۵	۱/۱۵۴۲×۱۰^۵	۲/۳۱۳۰×۱۰^۵	۶/۵۲۱۲×۱۰^۶
حالت۱۰	S=0.2,P=7,G=2	۸۹	۴۴۲	۱	۱/۵۳۸۰×۱۰^۶	۳/۰۳۹۷×۱۰^۵	۱/۱۳۷۵×۱۰^۵	۲/۲۷۹۷×۱۰^۵	۶/۵۰۸۶×۱۰^۶
حالت۱۱	S=0.2,P=10,G=2	۹۲	۴۵۸	۱	۱/۵۲۴۳×۱۰^۶	۳/۱۴۷۳×۱۰^۵	۱/۱۱۰۲×۱۰^۵	۲/۲۲۵۵×۱۰^۵	۶/۴۴۵۷×۱۰^۶
حالت۱۲	S=0.2,P=15,G=2	۹۵	۴۵۸	۱	۱/۵۲۰۷×۱۰^۶	۳/۱۸۱۲×۱۰^۵	۱/۰۹۴×۱۰^۵	۲/۱۹۵۰×۱۰^۵	۶/۴۲۴۰×۱۰^۶
حالت۱۳	S=0.3,P=7,G=2	۹۱	۴۹۹	۱	۱/۵۲۰۱×۱۰^۶	۳/۳۰۹۴×۱۰^۵	۱/۰۹۰۹×۱۰^۵	۲/۱۸۷۰×۱۰^۵	۶/۳۴۶۶×۱۰^۶

جدول(۵): تاثیر ضریب جریمه آلودگی و قیمت سوخت به صورت همزمان بر تعداد منابع

		N.wt	N.pv	N. bat	PMT(kw)	Qheater(kw)	Qboiler(kw)	Emission(lb)	Fuel(kwh)
حالت۱۴	S=0.3,P=10,G=2	۹۳	۵۵۹	۱	۱/۴۷۲۰×۱۰^۶	۳/۵۷۷۷×۱۰^۵	۹/۹۳۲۵×۱۰^۴	۱/۹۹۳۳×۱۰^۵	۶/۲۱۰۸×۱۰^۶
حالت۱۵	S=0.3,P=5,G=2.5	۱۰۹	۱۰۵۲	۶۸۲	۲/۷۰۸۴×۱۰^۵	۲/۳۲۶۶×۱۰^۵	۷/۰۲۰۲×۱۰^۵	۱/۳۸۸۲×۱۰^۶	۱/۹۰۲۵×۱۰^۶
حالت۱۶	S=0.3,P=7.5,G=2.5	۱۲۷	۱۴۱۴	۶۳۸	۳/۲۰۴۳×۱۰^۵	۲/۴۲۶۵×۱۰^۵	۶/۷۷۰۶×۱۰^۵	۱/۳۳۹۰×۱۰^۶	۲/۰۸۰۳×۱۰^۶
حالت۱۷	S=0.3,P=10,G=2.5	۹۷	۶۲۶	۱	۱/۴۴۲۲×۱۰^۶	۳/۸۷۸۰×۱۰^۵	۸/۵۷۱۷×۱۰^۴	۱/۷۲۳۷×۱۰^۵	۶/۰۷۲۱×۱۰^۶

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.12- No.1 Spring & Summer 2015

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

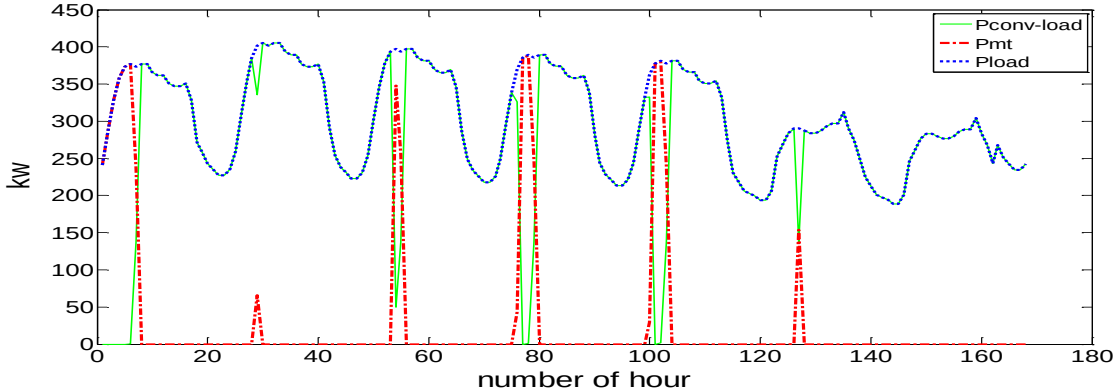
کمک هزینه تا ۵۰ درصد جهت توسعه منابع تجدیدپذیر برای دولت خوشایند نمی‌باشد. لذا دولت می‌تواند با لحاظ ضریب جریمه برای منابع دارای آلودگی جهت کاهش اثرات زیست محیطی و کمک هزینه کمتر به منابع تجدیدپذیر هم استفاده از این منابع را توسعه دهد و هم از اثرات مخرب ناشی از آلودگی منابع با سوخت فسیلی جلوگیری نماید (حالات ۹ تا ۱۳ مشخص شده در جدول۳). همانطور که در بالا ذکر شد افزایش قیمت سوخت تاثیر زیادی بر اندازه منابع و افزایش استفاده از منابع تجدیدپذیر و ذخیره ساز می‌شود. اما این کار باعث افزایش آلودگی می‌شود. همانگونه که بیان شد می‌توان با افزایش ضریب جریمه بابت آلودگی از این امر جلوگیری کرد. اما اگر این ضریب از یک حد بیشتر شود (مثلا در آنالیز حساسیتی که در این مقاله انجام شده این محدودیت در ضریب P=7.5 ایجاد شده است)، تعداد منابع تجدیدپذیر کم شده و سیستم بیشتر از میکروتوربین استفاده می‌کند. علت این امر آنست که با افزایش ضریب جریمه برای آلودگی از بویلر برای تامین بار حرارتی کمتر استفاده می‌شود. در نتیجه سیستم یا باید تعداد منابع تجدیدپذیر را اضافه کند که توان مازاد آن در هیتر برای تامین بار حراتی استفاده شود یا اینکه از میکروتوربین استفاده نماید. در این قیمت سوخت که در حالات آخر جدول(۴) بررسی شده است(G=2.5)، استفاده از میکروتوربین برای ریزشبکه به صرفه تر بوده در نتیجه سیستم از میکروتوربین بیشتر استفاده می‌کند. و آلودگی نیز در این حالت کمتر می‌گردد (حالات ۱۴ تا ۱۷ مشخص شده در جدول(۵)).

در جدول (۶) تعداد منابع پشتیان شامل میکروتوربین، بویلر و هیتر در حالت های مختلف شبیه سازی آورده شده است. این تعداد بر اساس حالت پیک مورد استفاده آنها بوده و مقدار دقیق توان تولیدی در طول سال برای این منابع در جداول (۱-۴) آورده شده است.

جدول (۶): تعداد منابع پشتیبان در حالت های مختلف

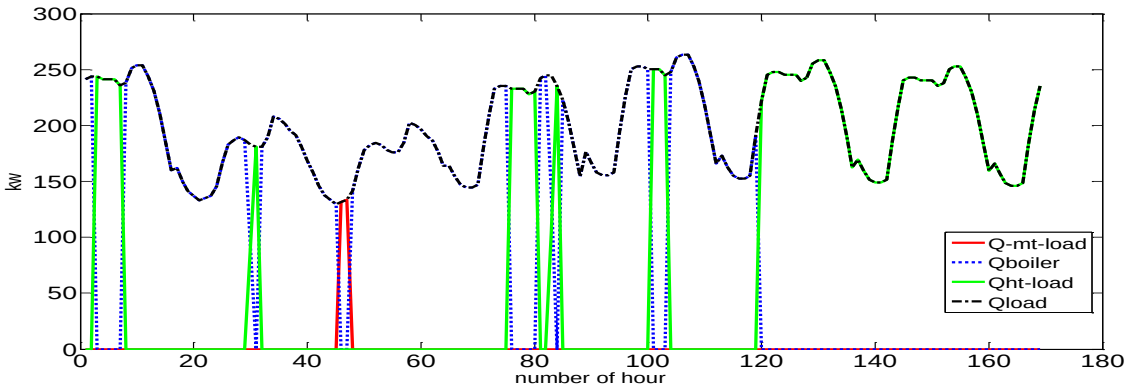
	حالت۱	حالت۲	حالت۳	حالت۴	حالت۵	حالت۶	حالت۷	حالت۸	حالت۹
تعداد میکروتوربین	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷
تعداد بویلر	۱۱	۱۰	۱۰	۱۱	۱۰	۱۱	۱۲	۱۲	۱۱
تعداد هیتر	۵۰	۱۵۴	۱۵۶	۱۵۶	۱۵۶	۱۵۶	۱۵۷	۱۵۹	۱۵۶
	حالت۱۰	حالت۱۱	حالت۱۲	حالت۱۳	حالت۱۴	حالت۱۵	حالت۱۶	حالت۱۷	
تعداد میکروتوربین	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	
تعداد بویلر	۱۱	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۲	۱۲	۱۰	
تعداد هیتر	۱۵۶	۱۵۶	۱۵۶	۱۵۶	۱۵۶	۱۶۲	۱۶۲	۱۵۷	

در شکل های ۶ و۷ نحوه ردگیری بار الکتریکی و حرارتی در یک هفته نمونه از سال مشخص شده است. همانطور که از شکل ها مشخص است بارالکتریکی و حرارتی به صورت کامل توسط منابع تامین شده در هر ساعت با توجه به توان تولیدی منابع تجدیدپذیر منابع با سوخت فسیلی در تامین بار شرکت نموده‌اند.

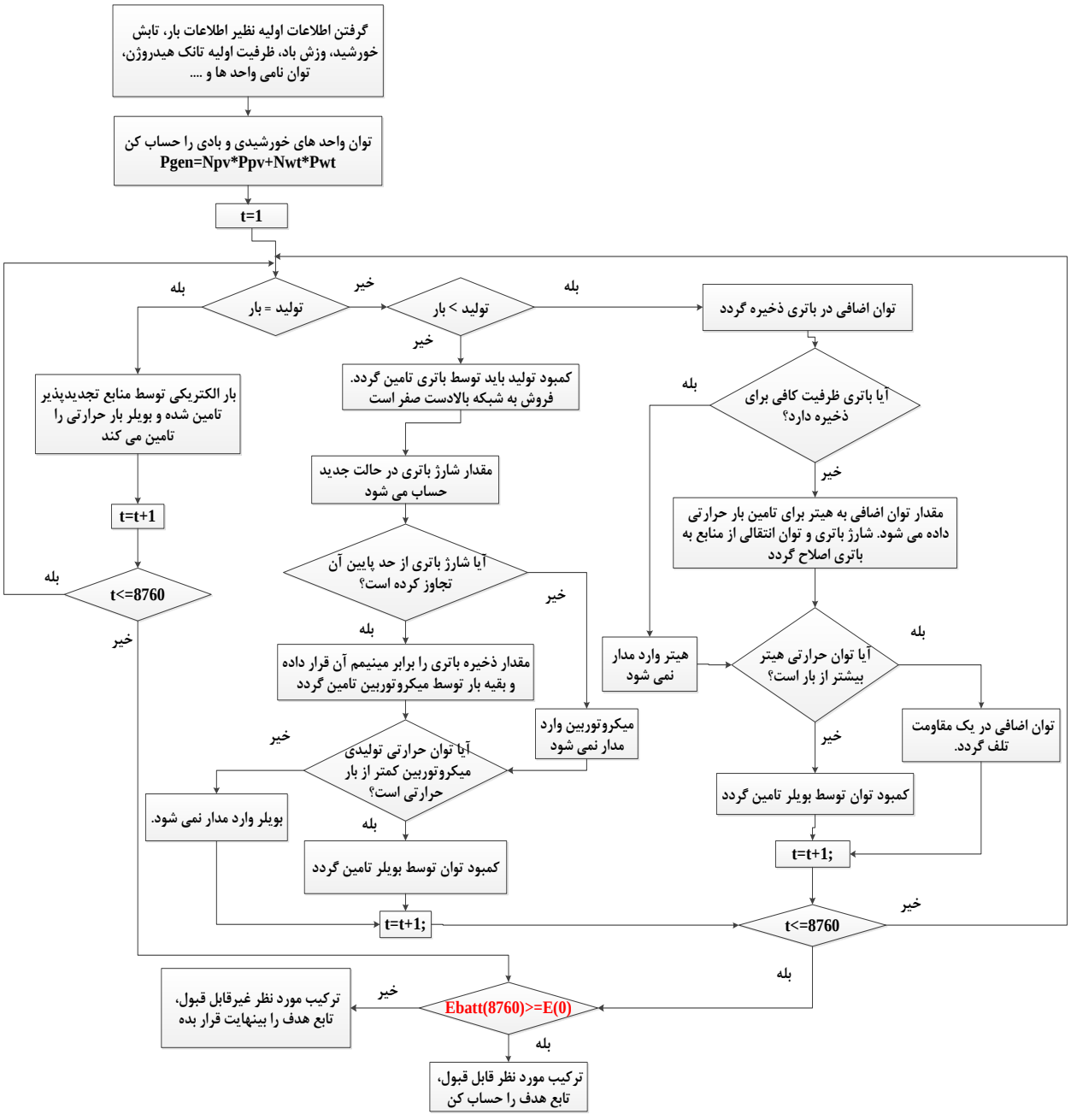


شکل (۶): دنبال کردن بار الکتریکی توسط منابع تجدیدپذیر و میکروتوربین در هفته اول سال در حالت ۱۷

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol12- No.1 Spring & Summer 2015
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]



شکل (۷): دنبال کردن بار حرارتی توسط منابع موجود هفته اول سال در حالت ۱۷



شکل (۸): استراتژی بهره برداری از منابع ریزشبکه در طول سال

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

۷- نتیجه گیری

در این مقاله به منظور تعیین اندازه بهینه واحدهای تولیدی سیستم ترکیبی یک ریزشبکه مستقل از شبکه شامل واحدهای با سوخت فسیلی و واحدهای تجدیدپذیر جهت تامین بار الکتریکی و حرارتی به طرح تابع هدف با در نظر گرفتن هزینه سوخت و آلودگی پرداخته شد. همچنین تاثیر پارامترهایی نظیر کمک هزینه دولت در سرمایه گذاری منابع تجدیدپذیر، در نظر گرفتن جریمه برای منابع دارای آلودگی و افزایش قیمت سوخت بر اندازه بهینه منابع مورد بررسی قرار گرفت. تابع هدف بدست آمده با استفاده از الگوریتم بهبود یافته انبوه ذرات در نرم افزار MATLAB طی حالت های مختلف بهینه گردید. با استفاده از نتایج حاصله و با مدیریت صحیح(استراتژی صحیح بهره‌برداری در طول سال)، می توان با انتخاب حالت مناسب (بر اساس سیاست مورد نظر مثلا کاهش آلودگی و توسعه منابع تجدیدپذیر) تعدادبهینه منابع جهت تامین بار ریزشبکه را تعیین نمود. به منظور گسترش مدل ارائه شده در این مقاله موارد زیر می‌توانند به مدل اضافه شوند: ۱- در نظر گرفتن رشد بار و ارائه روش بهینه‌سازی مناسب به منظور مدیریت ابعاد بالای ناشی از گسترش مدل، ۲- حل مساله بهینه سازی به صورت چند هدفه جهت یافتن جواب های دقیق تر، ۳-در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهایی نظیر باد، خورشید، بار، قیمت برق، قیمت سوخت و ... .

پیوست

جدول (پ- ۱): مشخصات تجهیزات[۱۵،۸]

تجهیز	هزینه اولیه (US$/unit)	هزینه جایگزینی (US$/unit)	هزینه تعمیر و نگهداری سالیانه (US$/unit-yr)	عمر مفید (سال)	بازدهی (درصد)
توربین بادی	۱۹۴۰۰	۱۵۰۰۰	۷۵	۲۰	-
آرایه خورشیدی	۷۰۰۰	۶۰۰۰	۲۰	۲۰	-
میکروتوربین	۵۶۰۰۰	۴۵۰۰۰	۷۰۰۰	۸	۶۸
بویلر	۱۲۰۰	۱۰۰۰	۲۰	۱۰	۹۰
هیتر	۵۰	۵۰	۵	۵	۹۰
مبدل DC/AC	۸۰۰	۷۵۰	۸	۱۵	۹۰
باتری	۱۲۵۰	۱۱۰۰	۶۵	۴	۸۵

جدول (پ-۲): سایر مشخصات توربین بادی[۸]

	توان نامی (kw)	بیشینه توان خروجی(kw)	توان خروجی در سرعت قطع بالا(kw)	سرعت قطع بالا(m/s)	سرعت نامی (m/s)	سرعت قطع پایین(m/s)
توربین بادی	۷/۵	۸/۱	۵/۸	۲۵	۱۱	۳

مراجع

[۱] امیرحسین شهیری نیا، سید مسعود مقدس تفرشی، امین حاجی زاده گستج، علیرضا مقدم جو "طراحی بهینه سیستم قدرت ترکیبی چند منبعی مستقل از شبکه با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال ۳، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۸۵.

[۲] محمد فرشاد، محمد حسین جاویدی دشت بیاض، جواد ساده "ارائه قانون تشویقی تولیدات پراکنده در سیستمی با قانون تسویه تمایزی و پیشنهاد الگوریتم جایابی و تعیین ظرفیت بهینه" نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال ۹، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۱.

[3] M. A. Golkar, S. Hosseinzadeh, A. Hajizadeh "Optimal Multi-Objective Planning of Distribution System with Distributed Generation" Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, Vol. 5, No. 2, 2008.

[4] O. Ekren and B. Y. Ekren, "Size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage using simulated annealing," Applied Energy, vol. 87, pp. 592–598, 2010.

[5] R. H. Lasseter, "Micro grid and distribution generation", journal of energy engineering, American society of civil engineering, sept. 2007.

[6] C. Wang, "Modeling and control of hybrid wind/photovlotaic/fuel cell distributed generation

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

Power and Energy Systems, vol. 31, pp. 249–257, 2009.

زیرنویس‌ها

[1] Equivalent Loss Factor
[2] Modified Particle Swarm Optimization
[3] Microsource Controller
[4] Load controller
[5] Net Peresent Cost
[6] Local Optimal

systems", Montana state university, Bozeman, Montana, July 2006.

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

[۸] غلامرضا فتحی نوجوکامبری، محمد آقا شفیعی، "تعیین سایز بهینه سیستم قدرت ترکیبی مستقل از شبکه شامل واحد بادی، خورشیدی، باتری و دیزل ژنراتور "، کنفرانس بین المللی برق(PSC) ، ۱۳۹۰.

[9] F. Giraud Z. M. Salameh, "Steadystate 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

[10] S. Dehghan, et al., "Optimal Sizing of a Hydrogen-based Wind/PV Plant Considering Reliability Indices," presented at the Electric IEEE International Conference on EPECS, 2009.

[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", ScienceDirect, Renewable Energy Volume 34, pp. 2380-2390, April 2009.

[12] C. Ghosh, B. Emonts, D. stolen."Comprision of hydrogen storage with diesel-generator system in a PV-WEC hybrid system:. Elsevier, Solar energy 75(2003) pages187-198

[13] F.Katiraei, M.R Iravani, "Power Management Strategies for a Microgrid with Multiple Distributed Generation Units", Power Systems, IEEE Transactions on Nov. 2006.

[14] F. A. Mohamed," Microgrid Modelling and Online Mamagment", Phd thesis Helsinki University of Technology Control Engineering, pp. 52-59, January 2008.

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

[16] T. Lambert, " Micropower System Modeling With Homer" Integration of Alternative Sources of Energy, by Felix A. Farret and M. Godoy Sim~oesCopyright 2006 John Wiley & Sons, Inc

[17] H. Seifi, M. S. Sepasian, Electric Power System Planning, New York: Springer, 2011.

[18] F.A. Mohamed, H.N. Koivo, "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.

[19] Sh.Yuhui, "Particle Swarm Optimization" IEEE neural Networks Society, Feb. 2004.

[20] K. T. Chaturvedi, M. Pandit, L. Srivastava, "Particle swarm optimization with time varying acceleration coefficients for non-convex economic power dispatch", Elsevier, Journal of Electrical

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]