

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

بهنام نامور بهرغانی<sup>۱</sup> محمد آقا شفیعی<sup>۲</sup> معین ابوالقاسمی<sup>۳</sup> محمد مرادی دالوند<sup>۴</sup> محمد احمدیان<sup>۵</sup>

۱- شرکت نفت و گاز پارس- تهران- ایران

[b.namvar.2292@gmail.com](mailto:b.namvar.2292@gmail.com)

۲- استادیار- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شهید بهشتی - تهران- ایران

[shafiyi@pwut.ac.ir](mailto:shafiyi@pwut.ac.ir)

۳- دانش آموخته- کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شهید بهشتی - تهران- ایران

[moeinabolghasemi@stud.pwut.ac.ir](mailto:moeinabolghasemi@stud.pwut.ac.ir)

۴- دانش آموخته- کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شهید بهشتی - تهران- ایران

[moradi.dalvand@gmail.com](mailto:moradi.dalvand@gmail.com)

۵- استادیار- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شهید بهشتی- تهران- ایران

[ahmadian@pwut.ac.ir](mailto:ahmadian@pwut.ac.ir)

**چکیده:** امروزه استفاده از میکروتوربین‌ها در حالت تولید همزمان برق و حرارت برای تامین بار الکتریکی و حرارتی در ریزشبکه‌های مستقل از شبکه رو به افزایش است. از طرف دیگر خطر 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 می باشد.

**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

از ایرادات تحقیقات قبلی به شرح زیر است: ۱- عدم لحاظ بار حرارتی در برنامه ریزی تولید ریزشبهه، ۲- کم توجهی به بحث آلودگی در برنامه ریزی تولید، ۳- قابلیت اطمینان پایین تامین بار ریزشبهه ها فقط با منابع بادی/خورشیدی (توان تولیدی این منابع قابل پیش بینی دقیق نمی باشد. برای رفع این مشکل می توان از منابع با سوخت فسیلی در کنار منابع تجدیدپذیر استفاده کرد)، ۴- عدم لحاظ فضای احتمالاتی بر پارامترهایی نظیر باد، خورشید، بار الکتریکی، بار حرارتی، قیمت سوخت و ... اما در این مقاله بار حرارتی نیز در کنار بار الکتریکی در برنامه ریزی تولید ریزشبهه در نظر گرفته شده است. همچنین مواردی نظیر تاثیرات مسایل زیست محیطی در مساله برنامه ریزی، استفاده از منابع تولید همزمان برق و حرارت در کنار منابع تجدیدپذیر و بررسی حالت های مختلف جهت توسعه منابع تجدیدپذیر مورد توجه قرار گرفته است. لازم به ذکر است در این مقاله به منظور توضیح بهتر ایده ی اصلی روش و مدل پیشنهادی، فرض شده است که برای تمامی متغیرهای تصادفی مقدار پیش بینی شده دقیق در دست می باشد. در نظر گرفتن عدم قطعیت متغیرهای تصادفی گام بعدی توسعه مدل پیشنهادی می باشد.

هزینه سرمایه گذاری منابع بادی و خورشیدی در مقابل منابع با سوخت فسیلی بسیار زیاد می باشد لذا سرمایه گذاری به علت قابل رقابت نبودن این منابع با منابع سوخت فسیلی بسیار کم می باشد. دولت برای تشویق سرمایه گذاران می تواند با ارائه راه کارهایی نظیر دادن وام های با بهره کم، پیش خرید کردن برق این نیروگاه ها، یا تامین بخشی از هزینه اولیه، لحاظ نمودن جریمه برای منابع دارای آلودگی و همچنین افزایش خوبخودی قیمت سوخت (تمام شدنی بودن) باعث افزایش سرمایه گذاری در این قسمت شود. هر کدام از راه حل های ذکر شده محدودیت هایی را در تعیین اندازه منابع در ریزشبهه پیشنهادی در این مقاله ایجاد می کند. در این مقاله با استفاده از الگوریتم بهبود یافته انبوه ذرات (MPSO) و انجام آنالیز حساسیت در بعضی از راه کارهای ارائه شده، اندازه بهینه این واحدها جهت تامین بار الکتریکی و حرارتی ریزشبهه با در نظر گرفتن مساله آلودگی تعیین می گردد. ریزشبهه نمونه شامل منابع بادی/خورشیدی در کنار باتری و هیتر همچنین میکروتوربین که به عنوان پشتیبان برای تامین مطمئن بار الکتریکی می باشد. میکروتوربین در حالت تولید همزمان بهره برداری شده و از حرارت آن جهت تامین همه یا بخشی از بار حرارتی استفاده می شود. بویلر نیز به عنوان پشتیبان در تامین بار حرارتی استفاده می شود. با توجه به اهمیت روزافزون مسائل زیست محیطی قید آلودگی به صورت

نگرانی های زیست محیطی جهان و افزایش نیاز به استفاده از انرژی، همراه با پیشرفت پایدار در زمینه فناوری های انرژی تجدیدپذیر باعث ایجاد قالب های جدیدی برای استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی در سیستم های قدرت گشته است [۱]-[۴]. ریزشبهه مجموعه ای از بارها، منابع تولید پراکنده و تجهیزات ذخیره ساز انرژی می باشد که با کنترل صحیح می توانند توان و گرما را برای یک ناحیه فراهم نمایند [۵]. کاهش آلودگی، بازده انرژی، تجدیدساختار، تنوع منابع انرژی و نیازهای توان ملی و جهانی از سیاست های مشوق در توسعه ریزشبهه ها می باشند. دسترسی به نیروگاه های مقیاس کوچک، استفاده از انرژی های تجدیدپذیر که به علت تمام شدنی بودن سوخت فسیلی از اهمیت زیادی برخوردار هستند، کاهش هزینه های آلودگی، افزایش بهره وری سیستم در حالت تولید همزمان انرژی و کاهش هزینه های انتقال از دلایل توجیه اقتصادی ریزشبهه ها می باشند [۶]. خورشید و باد به عنوان منابع انرژی تجدیدپذیر می توانند جایگزین مناسبی برای سوخت های فسیلی که علاوه بر تجدیدناپذیری از لحاظ زیست محیطی نیز بسیار مضر هستند، باشند. به کارگیری هر دو نوع منبع بادی و خورشیدی در کنار ذخیره ساز تا حد زیادی به عملکرد این منابع کمک می کند [۷]. همچنین با استفاده از هیترهای برقی در زمانی که مازاد تولید وجود داشته باشد، می توان علاوه بر افزایش بهره وری به کاهش آلودگی نیز کمک کرد. تا کنون روش های مختلفی جهت تعیین ساینز منابع در ریزشبهه جدا از شبکه ارائه شده است. در همه این روش ها تعیین ساینز برای تامین بار الکتریکی بوده و بار حرارتی لحاظ نشده است. در نظر گرفتن عدم قطعیت باد و لحاظ کردن شاخص ضریب قطع معادل (ELF) تعیین ساینز بهینه واحدهای خورشیدی و بادی به همراه باتری در [۷] بررسی شده است. در [۸] تعیین ساینز سیستم مختلط بادی/خورشیدی با پشتیبان دیزل ژنراتور برای تامین بار الکتریکی با الگوریتم PSO انجام کرده است. مرجع [۱۱] از روش برنامه ریزی غیرخطی جهت انتخاب محل و ظرفیت بهینه نیروگاه های بادی متصل به شبکه به منظور بهینه سازی انرژی بر متر مربع و کمینه سازی هزینه ها استفاده شده است. مقایسه سیستم ذخیره ساز هیدروژن با دیزل ژنراتور در سیستم ترکیبی بادی-خورشیدی در مرجع [۱۲] بررسی شده است. نتایج در این مقاله نشان می دهد که در حال حاضر استفاده از ذخیره ساز هیدروژن در مناطق دور دست که امکان انتقال سوخت فسیلی نمی باشد مناسب است. برخی

## ۲-۲- سیستم فتوولتائیک

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

$$P_{PV} = \frac{G}{1000} \times P_{PV, rated} \times \eta_{PV, inv} \quad (2)$$

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

$$G(t, \theta_{PV}) = G_V(t) \times \cos(\theta_{PV}) + G_H(t) \times \sin(\theta_{PV}) \quad (3)$$

که در آن  $G_V(t)$  و  $G_H(t)$  به ترتیب نرخ تابش افقی و عمودی در گام زمانی  $t$  ام بر حسب ( $W/m^2$ ) می باشند [۱۱].

## ۲-۳- باتری

منبع باتری برای تامین بار در شرایط عدم وجود منبع انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده قرار می گیرد. اختلاف بین توان تولید شده و توان مورد نیاز بار نشان می دهد که آیا باتری باید شارژ و یا دشارژ گردد. مقدار شارژ بانک باتری در دوره  $t$  با استفاده از (۴) بدست می آید.

$$E_{batt}(t) = E_{batt}(t-1) + P_{Gen\_batt} \times \Delta t \times \eta_{batt} - (P_{batt\_inv}(t) \times \Delta t) / \eta_{dis\_batt} \quad (4)$$

که در رابطه فوق  $E_{batt}(t)$  و  $E_{batt}(t-1)$  مقدار شارژ بانک باتری در دوره های زمانی  $t$  و  $t-1$  می باشند،  $\eta_{dis\_batt}$  و  $\eta_{batt}$  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 می شود. راندمان کلی و الکتریکی میکروتوربین به صورت زیر بیان می شود.

$$\eta_{tot} = \frac{P_{MT} + Q_{MT}}{Q_{fuel}} \quad (5)$$

$$\eta_{elec} = \frac{P_{MT}}{Q_{fuel}} \quad (6)$$

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.

هزینه در تابع هدف لحاظ شده است. در بخش دوم ساختار ریزشبكة پیشنهادی معرفی و مدل ریاضی عناصر آن بیان می شود. در بخش سوم هدف سیستم هیبریدی و نحوه بهره برداری از منابع جهت تامین بار الکتریکی و حرارتی بیان می شود. در بخش چهارم فرمول بندی مساله و بیان تابع هدف و قیود آن توضیح داده می شود. 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.

## ۲-۲- تقسیمات ساختار ریزشبكة پیشنهادی و مدل سازی عناصر آن

شکل (۱) ساختار ریزشبكة نمونه را نشان می دهد. سیستم ترکیبی شامل منبع بادی و خورشیدی به عنوان منابع تجدیدپذیر، باتری جهت ذخیره سازی و بهبود عملکرد منابع بادی و خورشیدی، 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 می باشد. بویلر نیز به منظور پشتیبانی از میکروتوربین جهت تامین بار حرارتی استفاده شده است. در این شکل MC و LC کنترل کننده محلی منابع و بار می باشند [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:

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & ; v_w \leq v_{cutin}, v_w \geq v_{cutout} \\ P_{WTmax} \times \left( \frac{v_w - v_{cutin}}{v_{rated} - v_{cutin}} \right)^m & ; v_{cutin} \leq v_w \leq v_{rated} \\ P_{WTmax} + \frac{P_{furl} - P_{WTmax}}{v_{cutout} - v_{rated}} \times (v_w - v_{rated}) & ; v_{rated} \leq v_w \leq v_{cutout} \end{cases} \quad (1)$$

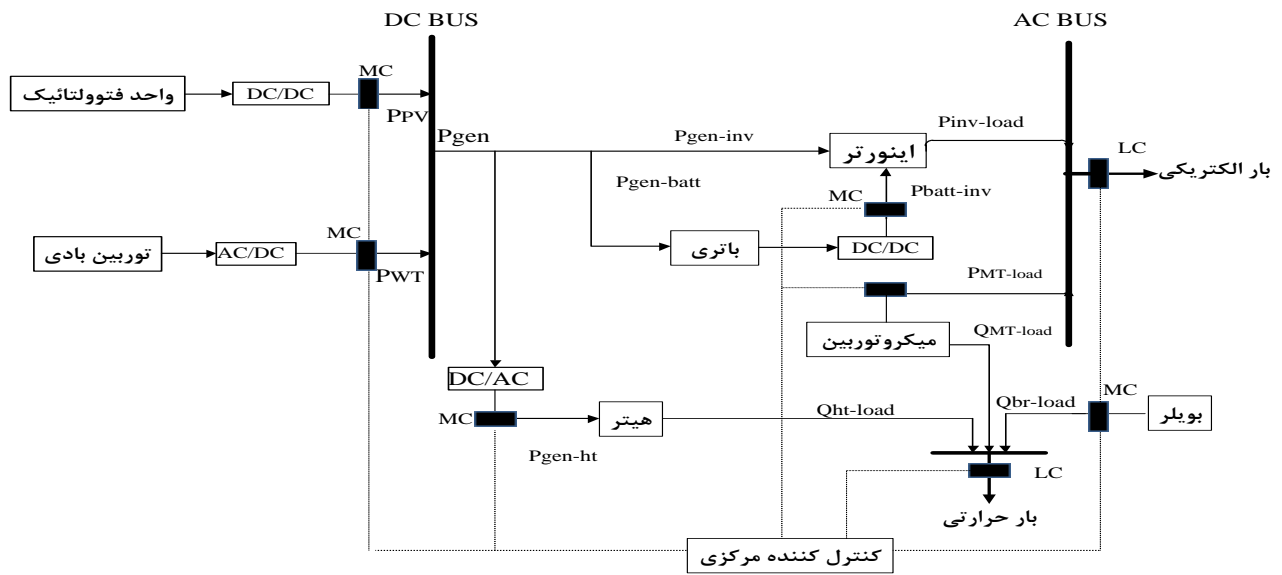
که در این رابطه  $v_{cutin}$ ،  $v_{cutout}$  و  $v_{rated}$  به ترتیب سرعت قطع پایین، بالا و نامی توربین بر حسب (m/s) می باشند  $P_{WTmax}$  و  $P_{furl}$  نیز به ترتیب بیشینه توان خروجی توربین و توان خروجی در سرعت قطع بالا و بر حسب (kW) می باشند. در این مقاله  $m$  برابر ۳ در نظر گرفته شده است. توربین بادی مورد استفاده از نوع BWC Excel-R/48 می باشد [۱۱].

## ۲-۵- هیتر

هیتر یا تجهیزاتی که دارای المنت های الکتریکی هستند می توانند در تامین بار حرارتی استفاده شوند. در شبکه های سنتی به علت مصرف بالایی این تجهیزات از آنها کمتر استفاده میشد. اما در ریزشبکه جدا از شبکه در حالتی که مازاد تولید داشته باشیم می توان از هیتر جهت تامین قسمتی از بار حرارتی استفاده نمود. توان خروجی هیتر از رابطه (۸) بدست می آید.

$$C_{MT} = C_{nl} \sum_j \frac{P_{MT}}{\eta_{elec}} \quad (7)$$

در این رابطه  $P_{MT}$  توان الکتریکی خالص تولید شده در فاصله زمانی  $J$ ،  $C_{nl}$  قیمت گاز طبیعی برای تغذیه میکروتوربین و  $C_{MT}$  نیز هزینه مصرف سوخت میکروتوربین می باشد. میکروتوربین مورد استفاده در این مقاله از نوع Capstone با ظرفیت ۳۰ کیلو وات می باشد. نسبت توان الکتریکی به حرارتی آن ۰/۶ است [۱۴].



شکل (۱): مدل ساختاری ریزشبکه پیشنهادی

## ۲-۷- مبدل

اثر تلفات مبدل را می توان با بازدهی آن مدل نمود.

$$P_{inv-load} = (P_{FC-inv} + P_{Gen-inv}) \eta_{inv} \quad (10)$$

که در این رابطه  $\eta_{inv}$  بازده مبدل و  $P_{inv-load}$  توان منابع بعد

از مبدل می باشد [۱۱].

## ۳- استراتژی بهره برداری از منابع ریزشبکه

توان بدست آمده از واحد های تجدیدپذیر (بادی و خورشیدی) که به باس DC تزریق می گردد، به صورت زیر خواهد بود:

$$P_{Gen} = N_{WT} \times P_{WT} + N_{PV} \times P_{PV} \quad (11)$$

در این رابطه  $N_{WT}$  و  $N_{PV}$  به ترتیب تعداد توربین بادی، تعداد پنل خورشیدی و مجموع توان تولیدی ژنراتور بادی و خورشیدی می باشد.

$$Q_{heater}(t) = P_{Gen-heater}(t) \times \eta_{heater} \quad (8)$$

که در این رابطه  $Q_{heater}$  توان حرارتی هیتر بر حسب کیلووات و  $P_{Gen-heater}$  توانی است که از منابع تجدیدپذیر به هیتر داده می شود.  $\eta_{heater}$  نیز بازده هیتر می باشد که ثابت فرض شده است [۱۵].

## ۲-۶- بویلر

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

$$Q_{boiler}(t) = \eta_{boiler} \times C_{in}(t) \quad (9)$$

که  $\eta_{boiler}$  بازده بویلر،  $C_{in}(t)$  سوخت ورودی به بویلر بر حسب کیلووات ساعت می باشد [۱۶].



#### ۴-۱- هزینه تجهیزات

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

(۱۲)

$$NPC_i = N_i \times \left( \frac{CC_i + RC_i \times K_i}{+O \& MC_i \times PWA(ir, R)} \right)$$

در عبارت فوق،  $N$  تعداد (unit) تجهیز،  $CC$  هزینه سرمایه‌گذاری اولیه (\$/unit)،  $RC$  هزینه هر بار جایگزینی (\$/unit-yr)،  $O \& M$  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 می‌باشند که بر اساس روابط زیر تعیین می‌گردند [۷ و ۱۷].

$$PWA(ir, R) = \frac{(1+ir)^R - 1}{ir(1+ir)^R} \quad (12)$$

$$K_i = \sum_{n=1}^{y_i} \frac{1}{(1+ir)^{n \times L_i}} \quad (13)$$

$y$  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].

$$NPC_{\text{emission}} = PW(ir, R) \times \sum_{k=1}^N \sum_{t=1}^M \alpha_k (EF_{ik} P_i) \quad (14)$$

$\alpha_k$  هزینه خارجی ناشی از انتشار گاز نوع  $k$  برای واحد  $\Delta$ ام،  $N$  تعداد 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	۰/۰۸
CO2	۰/۰۱۴	۱۹۶۵	۱/۵۹۶

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

- در این حالت تمامی توان منابع تجدیدپذیر به بار تزریق شده و بار حرارتی توسط بویلر تامین می‌شود.  $P_{\text{Gen}}(t) = P_{\text{load}}(t)$
- 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.  $P_{\text{Gen}}(t) > P_{\text{load}}(t)$
- 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.  $P_{\text{Gen}}(t) < P_{\text{load}}(t)$

شکل (۸) شمای کامل استراتژی بهره‌برداری از منابع ریزشکه را نشان می‌دهد.

#### ۴- تابع هدف و قیود مساله

هدف این مقاله تعیین سائز منابع یک ریزشکه جدا از شبکه جهت تامین بار الکتریکی و حرارتی و بررسی پارامترهایی نظیر هزینه سرمایه‌گذاری منابع تجدیدپذیر، آلودگی و قیمت سوخت بر تعداد منابع و انتخاب اندازه بهینه منابع بر اساس سیاست مورد نظر جهت تامین بار ریزشکه 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) <sup>۵</sup> استفاده شده است

#### ۳-۴- هزینه سوخت میکروتوربین و بویلر

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

$$NPC_{fuel} = PW(ir, R) * \sum_{t=1}^{8760} \left( \frac{Q_{boiler}(t)}{\lambda_{boiler}} + \frac{P_{MT}(t)}{\eta_{elec}} \right) \times c_{fuel} \quad (15)$$

$C_{fuel}$  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 تعریف می شود.

$$J = \min_x \left\{ \sum_i NPC_i + NPC_{fuel} + NPC_{emission} \right\} \quad (16)$$

$X$  بردار متشکل از متغیرهای بهینه سازی و  $i$  تجهیز مورد نظر می باشد.

#### ۵-۴- قیود و محدودیت های مساله

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

$$0 \leq N_i \leq N_{max} \quad (17)$$

$$P_{MT} \leq P_{MT,max} \quad (18)$$

$$E_{batt}(0) \leq E_{batt}(8760) \quad (19)$$

$$E_{batt-Min} \leq E_{batt}(t) \leq E_{batt-Max}(t) \quad (20)$$

قید  $E_{batt}(8760) \geq E_{batt}(0)$  بیان گر 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 پروژه ۳- 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 می پردازند. در این الگوریتم مکان هر ذره توسط بردار سرعت همان ذره تغییر می کند، جهت و اندازه بردار سرعت هر ذره توسط ترکیب بردار سرعت قبلی آن با راستای بهترین تجربه شخصی و بهترین تجربه گروه، تعیین می شود که سبب می شود 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].

$$V_i^{k+1} = w \times V_i^k + c_1 \times rand_1 \times (P_{best1} - x_i^k) \quad (21)$$

$$+ c_2 \times rand_2 \times (g_{best} - x_i^k)$$

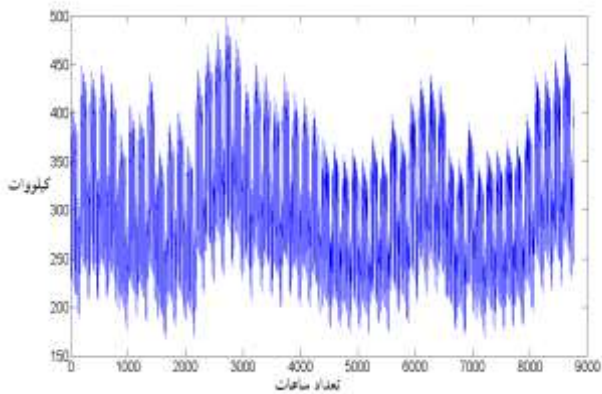
$V_i^{k+1}$  بردار سرعت اصلاح شده ذره  $i$ ام در تکرار  $k+1$ ام،  $k$  تکرار  $V_i^k$  بردار سرعت ذره  $i$ ام در تکرار  $k$ ام،  $X_i^k$  مختصات مکان ذره  $i$ ام در تکرار  $k$ ام،  $rand_{1,2}$  عددهای تصادفی بین ۰ و ۱،  $P_{best}$  بردار مکانی بهترین تجربه شخصی ذره  $i$ ام،  $g_{best}$  بردار مکانی 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 می باشند [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 می شود.

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \chi \times V_i^{k+1} \quad (22)$$

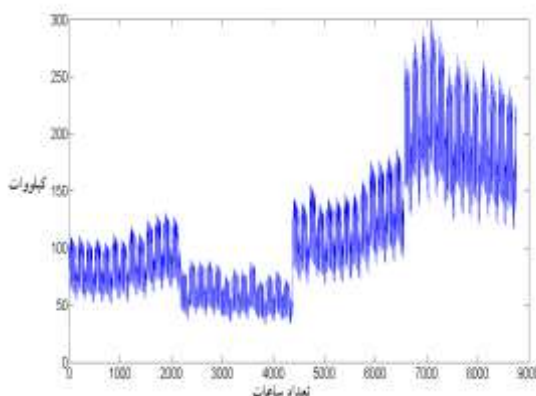
که در این رابطه  $\chi$  ضریب انقباض بوده که به منظور محدود کردن اثر بردار سرعت وارد معادله (۲۲) شده است [۱۷]. در اکثر مراجع ضرایب  $c_1$  و  $c_2$  ثابت و برابر ۲ در نظر گرفته شده اند. همانطور که می دانیم  $c_1$  ضریب یادگیری مربوط به خود فرد و  $c_2$  ضریب یادگیری از دیگران می باشد. اگر هر کدام از 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 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 می شود. در مقابل مقدار  $c_2$  بر روی مسیر معکوس، از ۱/۵ تا ۲/۵ افزایش داده می شود [۱۶]. همچنین در این مقاله از ضریب  $\chi$  جهت محدود کردن اثر بردار سرعت و افتادن در بهینه محلی استفاده شده و مقدار آن ۰/۷ در نظر گرفته شده است.

## ۶- نتایج شبیه‌سازی

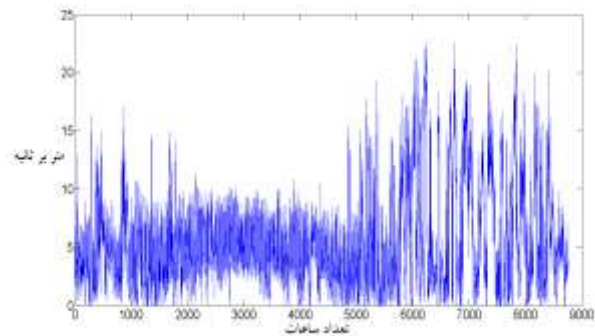
در این مقاله با استفاده از الگوریتم انبوه ذرات که در محیط نرم افزار MATLAB شبیه‌سازی شده است، با انجام آنالیز حساسیت، سائز بهینه منابع (تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر) یک ریزشبکه مستقل از شبکه جهت تامین بار الکتریکی و حرارتی تعیین شده است. آنالیز حساسیت بر افزایش مقدار کمک دولت در هزینه سرمایه گذاری به منابع 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.



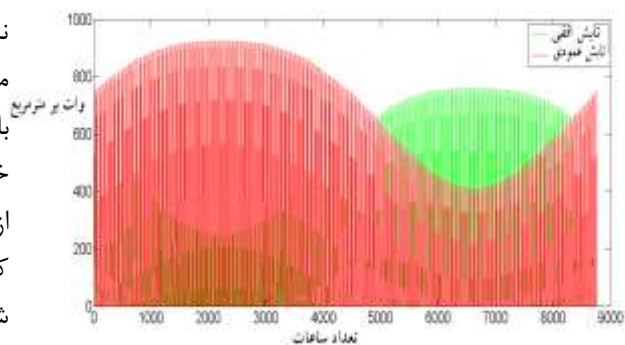
شکل (۴): منحنی بار الکتریکی سالیانه



شکل (۵): منحنی بار حرارتی سالیانه



شکل (۲): منحنی وزش باد سالیانه (m/s)



شکل (۳): منحنی تابش عمودی و افقی 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 می‌باشد و اینکه در این قیمت سوخت، استفاده از آن ارزان تر از باتری می‌باشد. (میکروتوربین ارزانتر است و نقش باتری را نیز به خوبی بازی می‌کند). نتایج نشان می‌دهد 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 می‌شود (حالات ۱ تا ۴ در جدول ۲).

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)
حالت ۱	S=0,P=1,G=1	۳۹	۱	۱	$۲/۲۴۴۷ \times ۱۰^۶$	$۱/۵۱۷۸ \times ۱۰^۴$	$۱/۲۲۲ \times ۱۰^۵$	$۲/۲۶۳۹ \times ۱۰^۵$	$۹/۴۲۷۴ \times ۱۰^۶$
حالت ۲	S=0.2,P=1,G=1	۷۲	۸۷	۱	$۱/۹۶۰۳ \times ۱۰^۶$	$۱/۷۵۸۰ \times ۱۰^۵$	$۶/۳۷۳۳ \times ۱۰^۴$	$۱/۳۹۹۷ \times ۱۰^۵$	$۸/۱۹۵۰ \times ۱۰^۶$
حالت ۳	S=0.3,P=1,G=1	۷۲	۱۷۵	۱	$۱/۸۳۷۹ \times ۱۰^۶$	$۱/۸۴۸۴ \times ۱۰^۵$	$۸/۲۰۶۵ \times ۱۰^۴$	$۱/۶۵۹۶ \times ۱۰^۵$	$۷/۷۰۸۰ \times ۱۰^۶$
حالت ۴	S=0.5,P=1,G=1	۷۶	۳۰۹	۱	$۱/۶۶۶۲ \times ۱۰^۶$	$۲/۲۳۹۵ \times ۱۰^۵$	$۱/۲۲۷۴ \times ۱۰^۵$	$۲/۴۶۰۰ \times ۱۰^۵$	$۷/۰۴۱۷ \times ۱۰^۶$

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)
حالت ۵	S=0.2,P=3,G=1.5	۸۰	۲۸۰	۱	$۱/۶۶۸۹ \times ۱۰^۶$	$۲/۲۲۵۶ \times ۱۰^۵$	$۱/۰۸۶۴ \times ۱۰^۵$	$۲/۱۸۱۸ \times ۱۰^۵$	$۷/۰۴۱۷ \times ۱۰^۶$
حالت ۶	S=0.2,P=3,G=2	۸۴	۴۳۵	۱	$۱/۵۴۹۳ \times ۱۰^۶$	$۲/۹۳۲۶ \times ۱۰^۵$	$۱/۱۸۲۷ \times ۱۰^۵$	$۲/۳۶۹۴ \times ۱۰^۵$	$۶/۵۵۲۲ \times ۱۰^۶$
حالت ۷	S=0.2,P=3,G=2.5	۹۹	۱۴۲۰	۶۵۴	$۱/۳۵۸۸ \times ۱۰^۵$	$۲/۱۴۴۳ \times ۱۰^۵$	$۷/۰۲۶ \times ۱۰^۵$	$۱/۳۸۹۵ \times ۱۰^۶$	$۲/۱۷۲۷ \times ۱۰^۶$
حالت ۸	S=0.2,P=3,G=3	۱۰۰	۱۶۱۶	۷۶۴	$۱/۸۹۲۵ \times ۱۰^۵$	$۲/۲۹۲۷ \times ۱۰^۵$	$۷/۲۸۸۹ \times ۱۰^۵$	$۱/۴۴۱۲ \times ۱۰^۶$	$۱/۵۵۹۲ \times ۱۰^۶$

الکتریکی استفاده نماید. همچنین چون از میکروتوربین کمتر استفاده می‌شود سیستم ذخیره ساز برای بهبود عملکرد منابع تجدیدپذیر به ریزشبه 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.

حالات ۵ تا ۸ در جدول ۳ نشان می‌دهد 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 ریزشبه 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 ریزشبه به صرفه تر است که منابع تجدیدپذیر جهت تامین بار

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)
حالت ۹	S=0.2,P=5,G=2	۸۷	۴۲۹	۱	$۱/۵۴۲۶ \times ۱۰^۶$	$۲/۹۹۸۳ \times ۱۰^۵$	$۱/۱۵۴۲ \times ۱۰^۵$	$۲/۳۱۳۰ \times ۱۰^۵$	$۶/۵۲۱۲ \times ۱۰^۶$
حالت ۱۰	S=0.2,P=7,G=2	۸۹	۴۴۲	۱	$۱/۵۳۸۰ \times ۱۰^۶$	$۳/۰۳۹۷ \times ۱۰^۵$	$۱/۱۳۷۵ \times ۱۰^۵$	$۲/۲۷۹۷ \times ۱۰^۵$	$۶/۵۰۸۶ \times ۱۰^۶$
حالت ۱۱	S=0.2,P=10,G=2	۹۲	۴۵۸	۱	$۱/۵۲۴۳ \times ۱۰^۶$	$۳/۱۴۷۲ \times ۱۰^۵$	$۱/۱۱۰۲ \times ۱۰^۵$	$۲/۲۵۵۵ \times ۱۰^۵$	$۶/۴۴۵۷ \times ۱۰^۶$
حالت ۱۲	S=0.2,P=15,G=2	۹۵	۴۵۸	۱	$۱/۵۲۰۷ \times ۱۰^۶$	$۳/۱۸۱۲ \times ۱۰^۵$	$۱/۰۹۴ \times ۱۰^۵$	$۲/۱۹۵۰ \times ۱۰^۵$	$۶/۴۲۴۰ \times ۱۰^۶$
حالت ۱۳	S=0.3,P=7,G=2	۹۱	۴۹۹	۱	$۱/۵۲۰۱ \times ۱۰^۶$	$۳/۳۰۹۴ \times ۱۰^۵$	$۱/۰۹۰۹ \times ۱۰^۵$	$۲/۱۸۷۰ \times ۱۰^۵$	$۶/۳۴۶۶ \times ۱۰^۶$

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)
حالت ۱۴	S=0.3,P=10,G=2	۹۳	۵۵۹	۱	$۱/۴۷۲۰ \times ۱۰^۶$	$۳/۵۷۷۷ \times ۱۰^۵$	$۹/۹۳۲۵ \times ۱۰^۴$	$۱/۹۹۳۳ \times ۱۰^۵$	$۶/۲۱۰۸ \times ۱۰^۶$
حالت ۱۵	S=0.3,P=5,G=2.5	۱۰۹	۱۰۵۲	۶۸۲	$۲/۷۰۸۴ \times ۱۰^۵$	$۲/۳۲۶۶ \times ۱۰^۵$	$۷/۰۲۰۲ \times ۱۰^۵$	$۱/۳۸۸۲ \times ۱۰^۶$	$۱/۹۰۲۵ \times ۱۰^۶$
حالت ۱۶	S=0.3,P=7.5,G=2.5	۱۲۷	۱۴۱۴	۶۳۸	$۳/۲۰۴۳ \times ۱۰^۵$	$۲/۴۲۶۵ \times ۱۰^۵$	$۶/۷۷۰۶ \times ۱۰^۵$	$۱/۳۳۹۰ \times ۱۰^۶$	$۲/۰۸۰۳ \times ۱۰^۶$
حالت ۱۷	S=0.3,P=10,G=2.5	۹۷	۶۲۶	۱	$۱/۴۴۲۲ \times ۱۰^۶$	$۳/۸۷۸۰ \times ۱۰^۵$	$۸/۵۷۱۷ \times ۱۰^۴$	$۱/۷۲۳۷ \times ۱۰^۵$	$۶/۰۷۲۱ \times ۱۰^۶$

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 جدول ۳). 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 حرارتی 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 ریزشبه 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)).

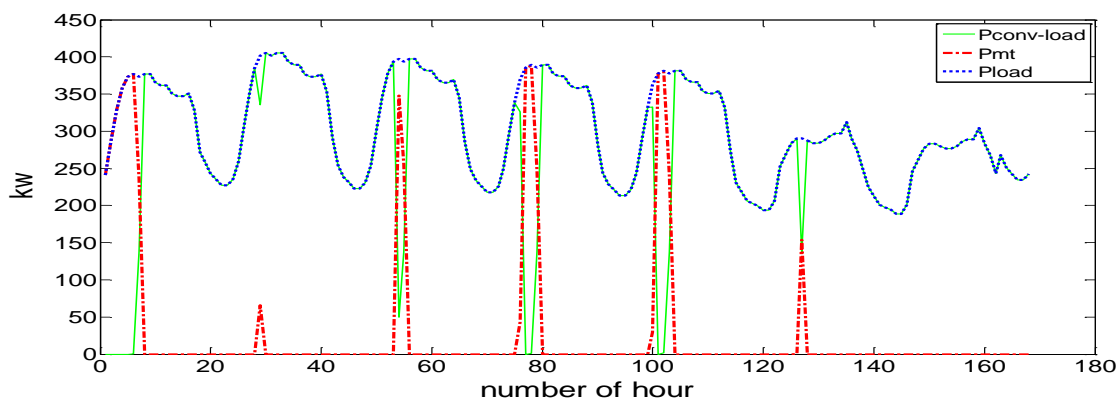
در جدول (۶) تعداد منابع پشتیبان شامل میکروتوربین، بویلر و هیتر در حالت های مختلف شبیه سازی آورده شده است. این تعداد بر اساس حالت پیک مورد استفاده آنها بوده و مقدار دقیق توان تولیدی در طول سال برای این منابع در جداول (۱-۴) آورده شده است.

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

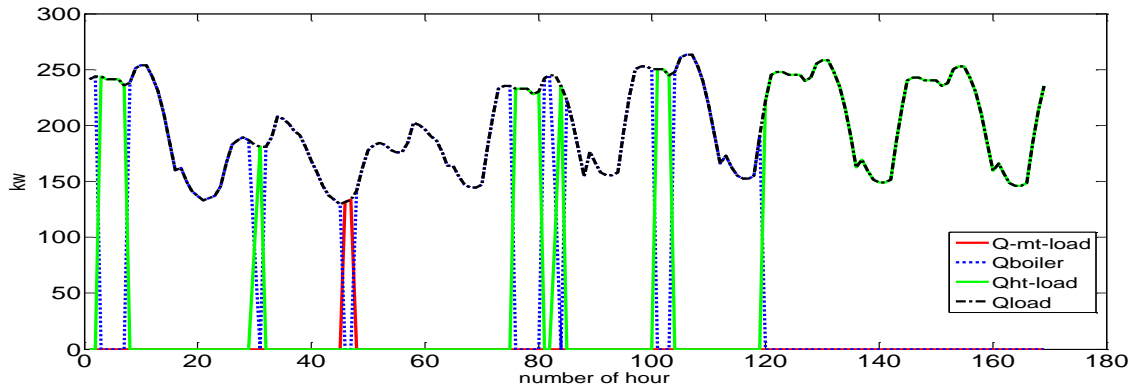
	حالت ۱	حالت ۲	حالت ۳	حالت ۴	حالت ۵	حالت ۶	حالت ۷	حالت ۸	حالت ۹
تعداد میکروتوربین	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷
تعداد بویلر	۱۱	۱۰	۱۰	۱۱	۱۰	۱۱	۱۲	۱۲	۱۱
تعداد هیتر	۵۰	۱۵۴	۱۵۶	۱۵۶	۱۵۶	۱۵۶	۱۵۷	۱۵۹	۱۵۶
	حالت ۱۰	حالت ۱۱	حالت ۱۲	حالت ۱۳	حالت ۱۴	حالت ۱۵	حالت ۱۶	حالت ۱۷	
تعداد میکروتوربین	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	
تعداد بویلر	۱۱	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۲	۱۲	۱۰	
تعداد هیتر	۱۵۶	۱۵۶	۱۵۶	۱۵۶	۱۵۶	۱۶۲	۱۶۲	۱۵۷	

در شکل های ۶ و ۷ 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

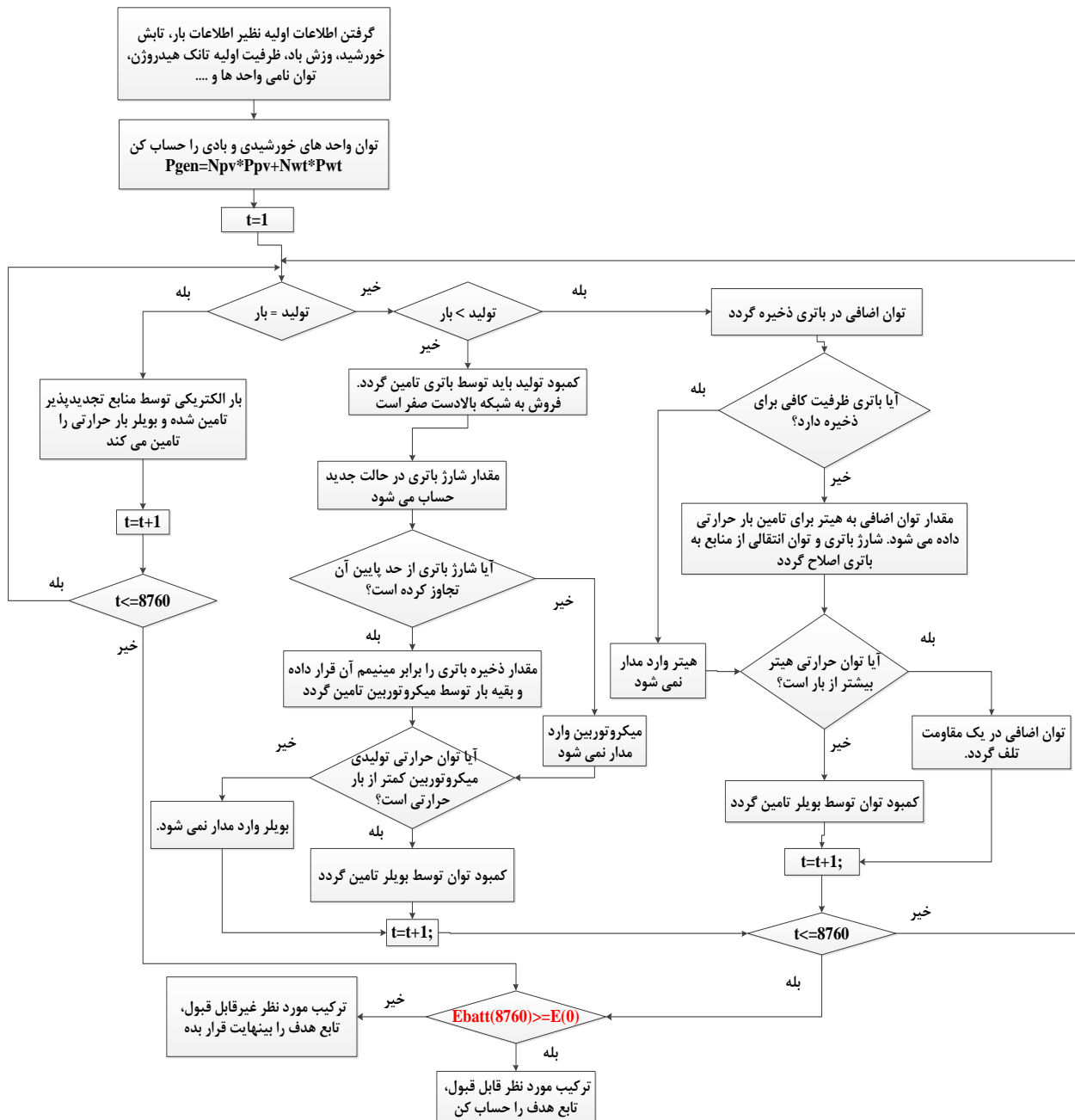
توسط منابع تامین شده در هر ساعت با توجه به توان تولیدی منابع تجدیدپذیر منابع با سوخت فسیلی در تامین بار شرکت نموده‌اند.



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



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

## ۷- نتیجه گیری

نتایج حاصله و با مدیریت صحیح (استراتژی صحیح بهره‌برداری در طول سال)، می‌توان با انتخاب حالت مناسب (بر اساس سیاست مورد نظر مثلا کاهش آلودگی و توسعه منابع تجدیدپذیر) تعداد بهینه منابع جهت تامین بار ریزشکته 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 بهینه‌سازی به صورت چند هدفه جهت یافتن جواب‌های دقیق‌تر، ۳- در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهایی نظیر باد، خورشید، بار، قیمت برق، قیمت سوخت و ...

در این مقاله به منظور تعیین اندازه بهینه واحدهای تولیدی سیستم ترکیبی یک ریزشکته 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 سرمایه‌گذاری 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 حالت‌های مختلف بهینه گردید. با استفاده از

## 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
بوئیر	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]

توربین بادی	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

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/photovoltaic/fuel cell distributed generation

[۱] امیرحسین شهیری نیا، سید مسعود مقدس تفرشی، امین حاجی زاده گسنگ، 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

## زیر نویس ها

- <sup>1</sup> Equivalent Loss Factor
- <sup>2</sup> Modified Particle Swarm Optimization
- <sup>3</sup> Microsource Controller
- <sup>4</sup> Load controller
- <sup>5</sup> Net Peresent Cost
- <sup>6</sup> 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
- [8] غلامرضا فتاحی نوجو کامبری، محمد آقا شفیع، "تعیین سائز 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](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