بهره‌برداری بهینه ریزشبکه در حضور برنامه پاسخ‌گوئی بار نرخ‌های زمان-واقعی با استفاده از الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل با تابع انتخاب اصلاح‌شده

شهرام کمالی نیا [*۱]

*۱- کارشناس ارشد برق، شرکت سهامی برق منطقه‌ای خوزستان، اهواز، ایران
skamalinia@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۲۹

چکیده: ریزشبکه یکی از جدیدترین فناوری‌ها در سیستم‌های قدرت می‌باشد. بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه‌ها به معنای توزیع بهینه منابع توان در طول ساعات شبانه‌روز می‌باشد. از برنامه پاسخ‌گوئی بار نرخ‌های زمان-واقعی برای انتقال بخشی از بار در طول ساعات مختلف استفاده می‌شود. برای تامین بار الکتریکی، از واحدهای تولید پراکنده شامل واحدهای بادی، فتوولتائیک و دیزل استفاده شده است. بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه به صورت یک مسئله بهینه‌سازی در سه حالت مدلسازی شده است: توزیع اقتصادی بار، توزیع آلایندگی و توزیع ترکیبی اقتصادی-آلایندگی. تابع هدف مسئله برای سه حالت فوق به ترتیب عبارتند از حداقل‌سازی هزینه واحدهای تولید پراکنده، حداقل‌سازی انتشار آلایندگی و حداقل‌سازی مجموع هزینه شامل هزینه واحدهای تولید پراکنده و هزینه آلایندگی. برای حل مسئله بهینه‌سازی، از روش جدیدی با نام الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل با تابع انتخاب اصلاح‌شده (MCF-ABC) استفاده شده است. این روش نسخه‌ای بهبود یافته از الگوریتم اصلی کلونی مصنوعی زنبور عسل (ABC) می‌باشد. شبیه‌سازی بر روی یک ریزشبکه نمونه در محیط MATLAB انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که برنامه پاسخ‌گوئی بار نه تنها بار پیک را کاهش داده و ضریب بار را افزایش می‌دهد، بلکه با کاهش هزینه و آلایندگی، عملکرد ریزشبکه را بهبود می‌بخشد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از مدل توزیع ترکیبی اقتصادی-آلایندگی منجر به پاسخ‌هایی بهتر برای ریزشبکه شده است. همچنین نتایج بیان‌گر این است که روش MCF-ABC می‌تواند با کاهش هزینه و آلایندگی، عملکرد ریزشبکه را بهبود بخشد و بنابراین کارایی بالاتری نسبت به روش ABC داشته است.

واژه‌های کلیدی: ریزشبکه؛ بهره‌برداری بهینه؛ برنامه پاسخ‌گوئی بار؛ توزیع ترکیبی اقتصادی-آلایندگی؛ الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل با تابع انتخاب اصلاح‌شده.

۱- مقدمه

در سالیان اخیر پیشرفت‌های زیادی در فناوری‌های مورد استفاده در سیستم قدرت رخ داده است. منابع انرژی پراکنده در ظرفیت‌های کوچکتر و در نزدیکی مراکز مصرف انرژی الکتریکی نصب می‌شوند و بدین طریق در مقایسه با منابع انرژی متمرکز، ضمن کاهش نیاز به توسعه بخش‌های تولید و انتقال، تلفات شبکه را کاهش داده و امنیت تامین انرژی الکتریکی را افزایش می‌دهند.

با ترکیب قابلیت‌های شبکه‌های هوشمند و منابع انرژی پراکنده، مفهوم جدیدی با نام ریزشبکه شکل گرفته است. ریزشبکه را می‌توان به صورت یک شبکه قدرت در ابعاد کوچک تعریف نمود که با دارا بودن منابع انرژی پراکنده و سیستم‌های اندازه‌گیری، ارتباطی و کنترلی مدرن، قابلیت تامین بار مصرفی خود را دارا بوده و می‌تواند با تولید توان و توزیع آن بین مشترکین خود، نیازهای آنها را برآورده سازد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.3.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

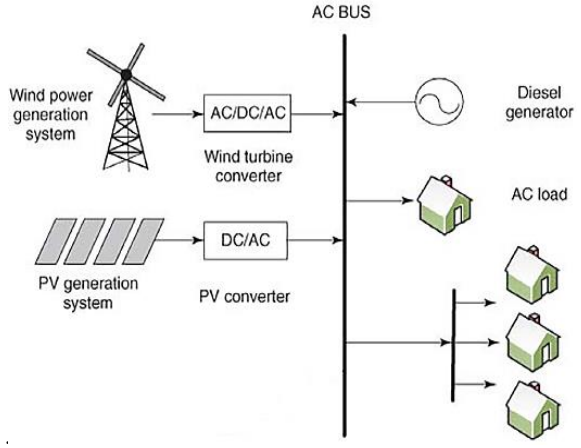
با توجه به انواع تجهیزات موجود در ریزشبکه‌ها، بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه‌ها یکی از مسائل مهم مطرح در سیستم‌های قدرت می‌باشد. بهره‌برداری بهینه از یک ریزشبکه به معنای تعیین مقدار بهینه توان‌های تولیدی و مصرفی تجهیزات مختلف به منظور تامین بار مصرفی ریزشبکه در هر یک از ساعات می‌باشد، بگونه‌ای که مجموع هزینه‌های تامین بار مصرفی ریزشبکه حداقل گردد. علاوه بر توان‌های تولیدی واحدهای تولید پراکنده، مقدار توان خریداری شده از شبکه قدرت بالادست یا توان فروخته شده به آن به همراه توان‌های شارژ و دشارژ ذخیره‌سازهای الکتریکی و مقدار بار مصرفی کاهش یافته یا انتقال‌یافته در برنامه‌های پاسخ‌گوئی بار، همگی باید در مسئله بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه تعیین شوند.

مقاله پایه این مقاله یکی از جدیدترین تحقیقات صورت گرفته در زمینه بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه‌ها می‌باشد. در این مقاله، بهره‌برداری از یک ریزشبکه دوردست (جدا از شبکه اصلی) با استفاده از واحدهای بادی، فتولتائیک و دیزل انجام گرفته است. در این روش فرض شده که ابتدا واحدهای دیزل در ریزشبکه موجود می‌باشند و سپس به منظور بررسی دقیق تاثیر افزودن واحدهای بادی و فتوولتائیک بر هزینه‌های شبکه، هزینه‌های مرتبط با سرمایه‌گذاری نصب این واحدها نیز در محاسبه هزینه‌های ریزشبکه در نظر گرفته شده‌اند. دلیل این موضوع نیز این است که واحدهای بادی و فتوولتائیک، هزینه بهره‌برداری ناچیزی داشته، اما دارای هزینه‌های سرمایه‌گذاری زیادی هستند که باید در بهره‌برداری ریزشبکه‌ها لحاظ شود. به دلیل عدم اتصال به شبکه قدرت، بهره‌برداری از این ریزشبکه به صورت جزیره‌ای انجام شده و بنابراین ریزشبکه باید قادر باشد در هر شرایطی، تعادل بین تولید و مصرف را حفظ نماید. تابع هدف مسئله بهینه‌سازی در این تحقیق به صورت حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های بهره‌برداری تعریف شده است. با توجه به اهمیت آلایندگی‌های زیست‌محیطی شبکه قدرت، این آلاینده‌ها نیز در مدلسازی مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند. برای این منظور، از مدلی جدید با نام توزیع ترکیبی اقتصادی-آلایندگی استفاده شده است. برای حل مسئله بهره‌برداری بهینه ریزشبکه در مرجع فوق، از الگوریتم بهینه‌سازی وال (WOA) استفاده شده است.

مرجع [۱] که مقاله پایه این مقاله می‌باشد، بهره‌برداری بهینه از یک ریزشبکه جزیره‌ای را مورد بررسی قرار داده است. بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه به صورت یک مسئله توزیع ترکیبی اقتصادی- آلایندگی مدلسازی شده که در آن علاوه بر هزینه‌های سوخت مصرفی واحدهای دیزل و هزینه‌های سرمایه‌گذاری نصب واحدهای بادی و فتوولتائیک، هزینه انتشار آلایندگی زیست‌محیطی توسط واحدهای دیزل نیز در نظر گرفته شده است. مرجع [۲] یک روش بهینه‌سازی فراابتکاری جدید با نام الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل با تابع انتخاب اصلاح‌شده (MCF-ABC) را معرفی کرده است که در آن با استفاده از تکنیک تابع انتخاب اصلاح‌شده (MCF)، قدرت جست‌وجوی الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل (ABC) افزایش یافته است. نتایج شبیه‌سازی بر روی مجموعه‌ای از مسائل بهینه‌سازی نشان‌گر این است که روشMCF-ABC قادر به دست‌یابی به پاسخ‌هایی بهتر نسبت به روش ABC است. مرجع [۳] در بهره‌برداری بهینه از یک هاب انرژی ، از برنامه‌های پاسخ‌گوئی بار الکتریکی و حرارتی نرخ‌های زمان- واقعی استفاده کرده است. در برنامه‌های پاسخ‌گوئی بار نرخ‌های زمان- واقعی، بخشی از بارهای مصرفی مشترکین در طول ساعات شبانه‌روز منتقل شده، اما مجموع مصرف انرژی در طول شبانه‌روز، ثابت باقی خواهد ماند. نتایج این تحقیق نشان‌گر این است که برنامه پاسخ‌گوئی بار موجب کاهش در هزینه‌های بهره‌برداری های انرژی شده است. مراجع [۱۲-۴] به مفاهیم اصلی ریزشبکه‌ها به ویژه در زمینه بهره‌برداری از آنها پرداخته‌اند. مراجع [۳۰-۱۳] بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه‌ها را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این برنامه بخشی از بار مصرفی مشترکین قابلیت انتقال بین ساعات مختلف شبانه‌روز را دارا می‌باشد، اما مجموع انرژی مصرفی در طول ساعات شبانه‌روز ثابت باقی خواهد ماند. بنابراین بهره‌بردار ریزشبکه به منظور برآورده‌سازی قیود ریزشبکه و کاستن از هزینه‌های بهره‌برداری، بخشی از بار مصرفی مشترکین را از ساعات پرباری به کم‌باری منتقل می‌نماید. در برنامه قیمت‌گذاری زمان-واقعی (RTP)، مشترکین در معرض قیمت‌های واقعی انرژی الکتریکی قرار می‌گیرند که نه تنها در هر یک از ساعات شبانه‌روز دارای مقادیر متفاوتی می‌باشد، بلکه از روزی به روز دیگر نیز دچار تغییر خواهد شد. در نتیجه مصرف‌کنندگان امکان واکنش مستقیم به نرخ‌های انرژی الکتریکی را در راستای صرفه‌جویی در صورت‌حساب برق خودرا خواهند داشت.

۲- تئوری مسئله

ساختار ریزشبکه مورد مطالعه در این تحقیق در شکل ۱ نمایش داده شده است. این ریزشبکه دارای ویژگی‌های زیر است [۱]:



شکل ۱: ساختار ریزشبکه مورد استفاده [۱]

به منظور بررسی تاثیر انواع روش‌های مدلسازی تابع هدف بر نتایج مسئله بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه، تابع هدف مسئله به سه صورت مدلسازی خواهد شد:

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.3.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

تابع هدف توزیع اقتصادی بار (ELD): حداقل‌سازی هزینه واحدهای تولید پراکنده

در توزیع اقتصادی بار، تنها هزینه‌های متداول ریزشبکه در نظر گرفته شده و از آلایندگی‌های زیست‌محیطی چشم‌پوشی خواهد شد. تابع هدف مسئله بهینه‌سازی توزیع اقتصادی بار، به صورت حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های واحدهای تولید پراکنده توسط رابطه زیر تعریف شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، تابع هدف مسئله (OF_{ELD}) شامل هزینه سوخت مصرفی واحدهای دیزل (C_{Fuel}) و هزینه واحدهای تجدیدپذیر (C_{RES}) می‌باشد. به دلیل اینکه واحدهای تجدیدپذیر (بادی و فتوولتائیک) دارای هزینه سوخت نمی‌باشند، هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و نگهداری آنها در تابع هدف مسئله لحاظ می‌شود تا مقایسه آنها با واحدهای دیزل، منصفانه‌تر صورت گیرد [۱]:

$$\min\{OF_{ELD}\} = C_{Fuel} + C_{RES} \qquad (۱)$$

OF_{ELD}: مجموع هزینه‌های واحدهای تولید پراکنده (تابع هدف مسئله توزیع اقتصادی بار)

C_{Fuel}: هزینه سوخت واحدهای دیزل

C_{RES}: هزینه واحدهای تجدیدپذیر

به منظور مدلسازی هزینه سوخت واحدهای دیزل، مشابه با سایر واحدهای حرارتی، از یک تابع درجه دوم به صورت زیر استفاده می‌شود که توسط آن، هزینه سوخت مصرفی واحدهای دیزل (C_{Fuel}) بر حسب توان تولیدی آنها ($P_{i,t}$) محاسبه خواهد شد [۱]:

$$C_{Fuel} = \sum_{t=1}^{24}\sum_{i=1}^{N_g} a_i {P_{i,t}}^2 + b_i P_{i,t} + c_i \qquad (۲)$$

C_{Fuel}: هزینه سوخت واحدهای دیزل

t: شمارش‌گر تعداد ساعات شبانه‌روز

i و N_g: شمارش‌گر و تعداد کل واحدهای دیزل

a_i، b_i و c_i: ضرایب تابع هزینه سوخت واحدهای دیزل

$P_{i,t}$: توان تولیدی واحد دیزل شماره i در ساعت t

واحدهای تجدیدپذیر بادی و فتوولتائیک به جای مصرف سوخت، از طریق انرژی باد و خورشید به تولید انرژی الکتریکی می‌پردازند. بنابراین برای این واحدها هزینه سوخت صفر خواهد بود. از سوی دیگر، هزینه سرمایه‌گذاری احداث این واحدها سنگین بوده و می‌باید به همراه هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، در بررسی وضعیت ریزشبکه از منظر اقتصادی لحاظ شود. بر همین اساس، مجموع هزینه واحدهای تجدیدپذیر بادی و فتوولتائیک توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱]:

$$C_{RES} = \sum_{t=1}^{24} P_{WT,t} \times \left(AC \times I_{WT}^{Inv} + I_{WT}^{OM}\right) + \sum_{t=1}^{24} P_{PV,t} \times \left(AC \times I_{PV}^{Inv} + I_{PV}^{OM}\right) \qquad (۳)$$

C_{RES}: هزینه واحدهای تجدیدپذیر

t: شمارش‌گر تعداد ساعات شبانه‌روز

$P_{WT,t}$: توان تولیدی واحد بادی در ساعت t

AC: ضریب هزینه سالیانه

I_{WT}^{Inv}: نسبت هزینه سرمایه‌گذاری به توان تولیدی واحد بادی

I_{WT}^{OM}: هزینه بهره‌برداری و نگهداری واحد بادی

$P_{PV,t}$: توان تولیدی واحد فتوولتائیک در ساعت t

I_{PV}^{Inv}: نسبت هزینه سرمایه‌گذاری به توان تولیدی واحد فتوولتائیک

I_{PV}^{OM}: هزینه بهره‌برداری و نگهداری واحد فتوولتائیک

در رابطه فوق، AC به معنای ضریب هزینه سالیانه است که از آن به منظور تبدیل هزینه‌های سرمایه‌گذاری (که از نوع ارزش حال هستند)، به ارزش سالیانه استفاده می‌شود تا با سایر هزینه‌های بهره‌برداری ریزشبکه قابل مقایسه باشند. ضریب هزینه سالیانه نیز توسط رابطه زیر و بر اساس نرخ تنزیل (نرخ بهره) و طول دوره سرمایه‌گذاری، محاسبه می‌شود [۱]:

$$AC = \frac{r}{1 - \frac{1}{(1+r)^N}} \qquad (۴)$$

AC: ضریب هزینه سالیانه

r: نرخ تنزیل پول

N: طول دوره زمانی سرمایه‌گذاری واحده

۲-۱- توزیع آلایندگی (EM):

در توزیع آلایندگی، تنها انتشار آلایندگی‌های زیست‌محیطی مد نظر قرار گرفته و از هزینه‌های ریزشبکه صرف نظر خواهد شد. توزیع آلایندگی برای حداقل‌سازی مجموع آلایندگی انتشار یافته توسط واحدهای دیزل انجام می‌گیرد. تابع هدف مسئله توزیع آلایندگی (OF_{ED}) توسط رابطه زیر تعریف شده است. در این رابطه، میزان انتشار گازهای آلاینده به صورت یک تابع درجه دوم بر حسب توان تولیدی این واحدها تعریف شده است. [۱]:

بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه با در نظر گرفتن تمامی عوامل، نیازمند استفاده از یک مدل جامع است که در آن، هزینه و آلایندگی به طور همزمان در نظر گرفته شوند. این مدل با نام توزیع ترکیبی اقتصادی-آلایندگی شناخته می‌شود. اصول این مدل بر پایه این نظریه است که در نظر گرفتن هزینه انتشار آلایندگی در تابع هدف مسئله بهره‌برداری، موجب کاهش مقدار گازهای آلاینده در سیستم‌های قدرت خواهد شد. در این حالت از یک سو واحدهایی که آلایندگی کمتری تولید می‌کنند، هزینه تولید کمتری را نسبت به واحدهای پرآلاینده خواهند داشت و از سوی دیگر، واحدهای آلاینده هزینه تولید بیشتری را خواهند داشت. در نتیجه واحدهایی که آلایندگی کمتری دارند، به تدریج نسبت به واحدهای آلاینده، مزیت رقابتی خواهند داشت و همین موضوع در بلندمدت موجب کاهش در میزان

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.3.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

انتشار آلایندگی در سیستم قدرت خواهد شد. تابع هدف مسئله توزیع ترکیبی اقتصادی-آلایندگی (OF_{CEED}) به صورت حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های بهره‌برداری ریزشبکه تعریف می‌شود که شامل هزینه سوخت (C_{Fuel})، هزینه واحدهای تجدیدپذیر (C_{RES}) و هزینه انتشار آلایندگی ($C_{Emission}$) می‌باشد [۱]:

$$\min\{OF_{ED}\} = \sum_{t=1}^{24}\sum_{i=1}^{N_g} l_i {P_{i,t}}^2 + m_i P_{i,t} + n_i \qquad (۵)$$

OF_{ED}: مجموع آلایندگی انتشار یافته توسط واحدهای دیزل (تابع هدف مسئله توزیع آلایندگی)

t: شمارش‌گر تعداد ساعات شبانه‌روز

i و N_g: شمارش‌گر و تعداد کل واحدهای دیزل

l_i، m_i و n_i: ضرایب تابع انتشار آلایندگی واحدهای دیزل

$P_{i,t}$: توان تولیدی واحد دیزل شماره i در ساعت t

$$\min\{OF_{CEED}\} = C_{Fuel} + C_{RES} + C_{Emission} \qquad (۶)$$

OF_{CEED}: مجموع هزینه‌های بهره‌برداری ریزشبکه (تابع هدف مسئله توزیع ترکیبی اقتصادی-آلایندگی)

C_{Fuel}: هزینه سوخت

C_{RES}: هزینه واحدهای تجدیدپذیر

$C_{Emission}$: هزینه انتشار آلایندگی

هزینه انتشار آلایندگی زیست‌محیطی ($C_{Emission}$) توسط رابطه (۷) محاسبه خواهد شد. همچنین ضریب هزینه انتشار آلایندگی (h_i) نیز توسط رابطه (۸) محاسبه می‌شود [۱]:

$$C_{Emission} = \sum_{t=1}^{24}\sum_{i=1}^{N_g} h_i \times \left(l_i {P_{i,t}}^2 + m_i P_{i,t} + n_i\right) \qquad (۷)$$

$$h_i = \frac{a_i {P_i^{min}}^2 + b_i P_i^{min} + c_i}{l_i {P_i^{max}}^2 + m_i P_i^{max} + n_i} \qquad (۸)$$

$C_{Emission}$: هزینه انتشار آلایندگی

t: شمارش‌گر تعداد ساعات شبانه‌روز

i و N_g: شمارش‌گر و تعداد کل واحدهای دیزل

h_i: ضریب هزینه انتشار آلایندگی

l_i، m_i و n_i: ضرایب تابع انتشار آلایندگی واحدهای دیزل

$P_{i,t}$: توان تولیدی واحد دیزل شماره i در ساعت t

a_i، b_i و c_i: ضرایب تابع هزینه سوخت واحدهای دیزل

P_i^{min}: حداقل توان تولیدی واحد دیزل شماره i

P_i^{max}: حداکثر توان تولیدی واحد دیزل شماره i

۲-۲- قیود مسئله بهینه‌سازی:

مسئله بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه نیز دارای مجموعه‌ای از قیود است که رعایت آنها به منظور تامین بار مصرفی و حفظ امنیت ریزشبکه، ضروری است.

۲-۲-۱- قید تعادل توان

در هر یک از ساعات شبانه‌روز، باید مجموع توان تولیدی (تزریقی) برابر با توان مصرفی (دریافتی) باشد. برای این منظور، از قید تعادل توان به صورت رابطه (۹) استفاده خواهد شد. به عنوان نوآوری نسبت به مرجع [۱]، برنامه پاسخ‌گوئی بار نیز در رابطه (۹) لحاظ شده است. تغییر در بار مصرفی مشترکین ریزشبکه در برنامه پاسخ‌گوئی بار، توسط متغیر ΔP_t^{DR} در نظر گرفته شده است. در صورتی که ΔP_t^{DR} مثبت باشد، بیان‌گر افزایش در بار مصرفی بوده و اگر منفی باشد، کاهش در بار مصرفی را نشان می‌دهد. بنابراین مثبت بودن ΔP_t^{DR} به معنای افزایش در بار مصرفی شبکه است و به همین دلیل در سمت چپ رابطه فوق آورده شده است [۱،۳]:

$$P_{load,t} + \Delta P_t^{DR} = \sum_{i=1}^{N_g} P_{i,t} + P_{PV,t} + P_{WT,t} \qquad (۹)$$

$P_{load,t}$: بار مصرفی ریزشبکه در ساعت t

ΔP_t^{DR}: تغییر در بار مصرفی مشترکین برنامه پاسخ‌گوئی بار در ساعت t

i و N_g: شمارش‌گر و تعداد کل واحدهای دیزل

$P_{i,t}$: توان تولیدی واحد دیزل شماره i در ساعت t

$P_{PV,t}$: توان تولیدی واحد فتوولتائیک در ساعت t

$P_{WT,t}$: توان تولیدی واحد بادی در ساعت t

۲-۲-۲- قید واحدهای تولید پراکنده

به منظور رعایت محدودیت‌های فنی واحدهای دیزل ژنراتور، توان تولیدی آنها همواره باید در محدوده مجاز قرار گیرد. بر اساس رابطه زیر، توان تولیدی این واحدها بین مقادیر حداقل مجاز (P_i^{min}) و حداکثر مجاز (P_i^{max}) محدود می‌گردد. توان تولیدی واحدهای تجدیدپذیر بادی و فتوولتائیک وابسته به سرعت باد و تابش خورشید بوده و بنابراین به عنوان پارامترهای ورودی مسئله در نظر گرفته خواهد شد [۱]:

$$P_i^{min} \le P_{i,t} \le P_i^{max} \qquad (۱۰)$$

$P_{i,t}$: توان تولیدی واحد دیزل شماره i در ساعت t

P_i^{min}: حداقل توان تولیدی واحد دیزل شماره i

P_i^{max}: حداکثر توان تولیدی واحد دیزل شماره i

۲-۲-۳- قیود برنامه پاسخ‌گوئی بار

در این برنامه، مشترکین ریزشبکه در پاسخ به تغییرات قیمت انرژی الکتریکی در طول ساعات شبانه‌روز، بخشی از بار مصرفی خود را از ساعاتی که قیمت بالاتر است به ساعاتی که قیمت پایین‌تر است،

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.3.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

منتقل می‌کنند. با این وجود، مجموع بار مصرفی مشترکین در طول شبانه‌روز ثابت باقی خواهد ماند. بر اساس رابطه (۱۱)، به منظور ثابت بودن بار مصرفی مشترکین در طول شبانه‌روز، باید مجموع تغییرات در بار مصرفی مشترکین (ΔP_t^{DR}) برابر با صفر باشد. توسط رابطه (۱۲)، میزان تغییر در بار مصرفی مشترکین در برنامه پاسخ‌گوئی بار، به مقادیر حداقل و حداکثر محدود شده است. در این رابطه، LPF بیان‌گر حداکثر میزان مشارکت مشترکین برنامه پاسخ‌گوئی بار در کاهش و افزایش بار مصرفی است و مقدار آن برابر با ۰.۲ در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه به منظور حفظ آسایش مشترکین، در هر یک از ساعات حداکثر ۲۰٪ از بار مصرفی مشترکین دچار کاهش یا افزایش خواهد شد [۳].

$$\sum_{t=1}^{24} \Delta P_t^{DR} = 0 \qquad (۱۱)$$

$$-LPF \times P_{load,t} \le \Delta P_t^{DR} \le LPF \times P_{load,t} \qquad (۱۲)$$

ΔP_t^{DR}: تغییر در بار مصرفی مشترکین برنامه پاسخ‌گوئی بار در ساعت t

$P_{load,t}$: بار مصرفی ریزشبکه در ساعت t

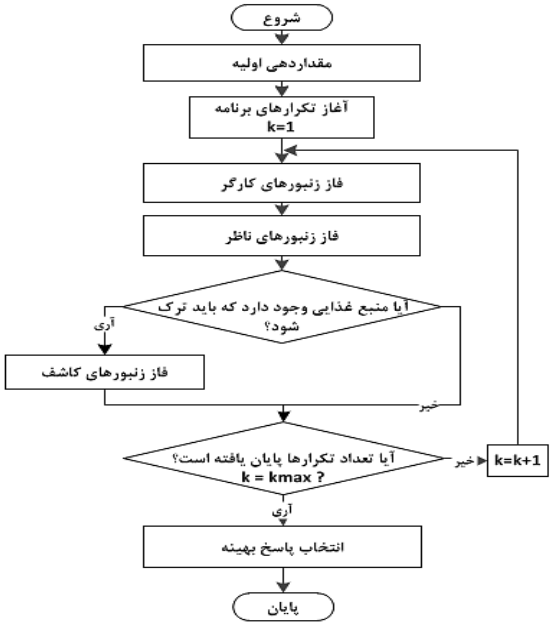
LPF: حداکثر نرخ مشارکت مشترکین در برنامه پاسخ‌گوئی بار

۳- روش حل مسئله

درروش حل مسئله بهره‌برداری بهینه ریزشبکه در حضور برنامه پاسخ‌گوئی بار نرخ‌های زمان- واقعی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پس از بررسی شیوه الهام از رفتار زنبورهای عسل برای طراحی روش‌های بهینه‌سازی، الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل (ABC) معرفی می‌شود. سپس الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل با تابع انتخاب اصلاح‌شده (MCF-ABC) معرفی خواهد شد. در انتها نیز نحوه استفاده از روش MCF-ABC برای حل مسئله بهره‌برداری بهینه ریزشبکه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳-۱- الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل (ABC)

در این روش، یک کلونی مصنوعی زنبور عسل تعریف می‌شود که شامل تعدادی زنبور مصنوعی است. در یک کلونی مصنوعی زنبور عسل، زنبورها به سه دسته زنبورهای کارگر، ناظر و کاشف تقسیم می‌شوند. در ابتدا نیمی از زنبورهای کلونی مصنوعی را زنبورهای کارگر و نیمی دیگر را زنبورهای ناظر تشکیل می‌دهند. موقعیت منبع غذایی زنبورهای کارگر، معادل با بردار یا ماتریس متغیرهای مسئله بهینه‌سازی است و در ابتدای حل مسئله، به صورت تصادفی تولید می‌شود. زنبورهای کارگر در هر یک از تکرارهای برنامه، به سمت منبع غذایی که قبلا کشف کرده بودند می‌روند و در همسایگی آن، وضعیت غذایی را بررسی می‌کنند. میزان سودمندی منبع غذا، معادل با تابع ارزیابی (تابع هدف) مسئله بهینه‌سازی است. هرچه منبع غذا از نظر کیفیت شهد موجود در آن و معیارهایی دیگر چون نزدیکی و سهولت دسترسی، سودمندتر باشد، معادل با بهتر بودن تابع ارزیابی مسئله بهینه‌سازی است. در مسائل بهینه‌سازی از جنس حداقل‌سازی، سودمندی منابع غذا به معنای کمتر بودن مقدار تابع ارزیابی است. سپس زنبورهای کارگر با بازگشت به کندو و رقصیدن، اطلاعات منبع غذا را با زنبورهای ناظر به اشتراک می‌گذارند. زنبورهای ناظر پس از دیدن رقص زنبورهای کارگر، منابع غذایی سودمندتر را انتخاب کرده و برای گردآوری شهد، به آن منبع می‌روند. بنابراین زنبورهای کارگر به سمت منابع غذایی با تابع ارزیابی بهتر می‌روند. فلوچارت الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل (ABC) در شکل ۲ نمایش داده شده است. در ادامه گام‌های مختلف این الگوریتم بررسی می‌شود [۳۵].



شکل ۲: فلوچارت الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل (ABC) [۳۵]

۳-۲- مقداردهی اولیه

در ابتدا باید مقداردهی اولیه متغیرهای مسئله انجام گیرد. همانطور که بیان شد، بردار/ماتریس موقعیت منابع غذا، معادل با بردار/ ماتریس متغیرهای مسئله بهینه‌سازی است. هر یک از زنبورها نیز مشابه با یک پاسخ ممکن برای مسئله بهینه‌سازی هستند. تعداد کل زنبورها برابر با popsize و تعداد کل متغیرهای تصمیم‌گیری مسئله، برابر با nvar است. ابتدا باید تعیین شود که مسئله بهینه‌سازی دارای چند متغیر تصمیم‌گیری است و ساختار موقعیت منابع غذای زنبورها به چه صورت است. در رابطه زیر، x_i بردار موقعیت منبع غذای زنبور شماره i است که معادل با مقدار متغیرهای تصمیم‌گیری مسئله برای پاسخ شماره i می‌باشد. در مسائل خاص ممکن است به جای بردار، از یک ماتریس برای بازنمایی متغیرهای مسئله در الگوریتم ABC استفاده شود [۳۵].

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.3.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

$$x_i = [x_{i,1} \quad \cdots \quad x_{i,j} \quad \cdots \quad x_{i,nvar}] \qquad (۱۳)$$

x_i: بردار موقعیت منبع غذای زنبور شماره i

i: شمارش‌گر زنبورها

j: شمارش‌گر متغیرهای تصمیم‌گیری

nvar: تعداد کل متغیرهای تصمیم‌گیری

پس از تعیین ساختار بردار/ماتریس موقعیت منبع غذای زنبورها، باید پارامترهای تنظیمی مسئله شامل تعداد کل زنبورها (beesize)، تعداد کل تکرارهای برنامه (maxiter) و شاخص تعداد دفعات برای ترک یک منبع غذا (limit) تعیین شود. این پارامترها بر اساس تجربه و ماهیت مسئله بهینه‌سازی تعیین می‌شوند. پارامتر limit نیز نشان‌گر این است که یک منبع غذای زنبور کارگر در چند تکرار باید از سوی زنبورهای ناظر انتخاب نشود تا زنبور کارگر آن منبع را ترک کرده و به عنوان یک زنبور کاشف، به دنبال منبع غذای جدید بگردد. بردار حدود بالای متغیرها(UB) و حدود پایین متغیرها (LB) دارای ساختاری مشابه با بردار متغیرهای مسئله بوده و به ترتیب به معنای حداکثر و حداقل مقداری است که متغیرهای مسئله بر اساس ماهیت و قیود مسئله می‌توانند اختیار کنند. پس از تعیین تمامی موارد بالا، باید مقدار اولیه موقعیت منابع غذا (بردار متغیرهای مسئله)، به صورت تصادفی (رندوم)توسط رابطه۱۴ تولید شوند. حاصل رابطه زیر، اعدادی تصادفی بین مقادیر LB و UB می‌باشند که از آنها به عنوان پاسخ اولیه مسئله بهینه‌سازی در الگوریتم ABC استفاده خواهد شد. پس از مقداردهی اولیه پاسخ‌های مسئله، مقدار تابع ارزیابی (تابع هدف) برای هر یک از پاسخ‌های اولیه مسئله، محاسبه می‌شود می‌شود [۲،۳۵]:

$$x_i = LB + rand \times (UB - LB) \qquad (۱۴)$$

x_i: بردار موقعیت منبع غذای زنبور شماره i

LB: حد پایین بردار متغیرهای مسئله

UB: حد بالای بردار متغیرهای مسئله

$rand$: یک عدد تصادفی بین صفر و یک

۳-۲-۱- فاز زنبورهای کارگر

زنبورهای کارگر هر یک مسئول یک منبع غذا هستند. موقعیت منبع غذای زنبور شماره i با x_i نمایش داده می‌شود. در فاز زنبورهای کارگر، این زنبورها به سمت منبع غذای خود رفته و در همسایگی آن، منبع غذای جدیدی را انتخاب می‌کنند. همسایگی یک منبع غذا، به معنای یک منبع غذای دیگر در مجاورت منبع غذای پیشین است. زنبورهای کارگر توسط رابطه زیر و به صورت تصادفی، موقعیت منبع غذای خود را در مجاورت منبع غذای پیشین، تغییر می‌دهند. دقت شود که در رابطه زیر برای زنبور شماره i، تنها موقعیت متغیر شماره j دچار تغییر شده و موقعیت سایر متغیرها بدون تغییر باقی می‌ماند. متغیر شماره j نیز به طور تصادفی از بین مقادیر ۱ تا nvar به دست می‌آید. در نتیجه اینکه مقدار کدام متغیر تغییر کند، به طور تصادفی تعیین خواهد شد. به این فرآیند، جایگذاری تصادفی می‌گویند. به همین دلیل نیز تغییر رخ داده در این فاز را جست‌وجو در همسایگی پاسخ پیشین می‌نامند که با رها کردن منبع غذا و جست‌وجو برای یک منبع غذای کاملا جدید، متفاوت است [۲،۳۵]:

$$x_{ij} = LB_j + rand \times (UB_j - LB_j) \qquad (۱۵)$$

x_{ij}: موقعیت متغیر شماره j در منبع غذای زنبور شماره i

j: شمارش‌گر متغیرهای مسئله

LB_j: حد پایین متغیر شماره j

UB_j: حد بالای متغیر شماره j

rand: یک عدد تصادفی بین صفر و یک

پس از آنکه موقعیت جدید منبع غذای زنبور کارگر شماره i به دست آمد، مقدار تابع ارزیابی (تابع هدف) برای آن مجددا محاسبه می‌شود. حال اگر مقدار تابع ارزیابی برای پاسخ جدید بهتر از پاسخ قبلی باشد، پاسخ قبلی کنار گذاشته شده و پاسخ جدید جایگزین آن می‌شود. در غیر این صورت، پاسخ قبلی حفظ می‌شود.

۳-۲-۲- فاز زنبورهای ناظر

زنبورهای ناظر نیز بر اساس فرآیند انتخاب چرخ رولت، به طور تصادفی یکی از منابع غذا را برای جست‌جو انتخاب می‌کنند. در مسائل بهینه‌سازی از جنس حداقل‌سازی نیز احتمال انتخاب هر یک از منابع غذا توسط زنبورهای ناظر در فرآیند چرخ رولت، توسط رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود. بر اساس این رابطه، هرچه مقدار تابع ارزیابی (fit_i) برای یک منبع غذا کمتر باشد، احتمال انتخاب آن نیز افزایش خواهد یافت [۲،۳۵]:

$$p_i = \frac{\frac{1}{fit_i}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{fit_i}} \qquad (۱۶)$$

p_i: احتمال انتخاب منبع غذای زنبور کارگر شماره i توسط زنبورهای ناظر

i: شمارش‌گر زنبورهای کارگر

N: تعداد کل زنبورهای کارگر

fit_i: مقدار تابع ارزیابی (تابع هدف) برای منبع غذای زنبور کارگر شماره i

پس از آنکه هر یک از زنبورهای ناظر، منبع غذای مورد نظر خود را از بین منابع غذای زنبورهای کارگر انتخاب کردند، به سمت آن پرواز می‌کنند و در همسایگی آن، یک منبع غذای جدید انتخاب می‌کنند. موقعیت متغیر شماره j برای منبع غذای زنبور کارگر شماره k، با x_{kj} و موقعیت پیشین منبع غذای زنبور ناظر شماره i، با x_{ij} نمایش داده می‌شود. حال باید ابتدا شماره متغیری که قرار است مقدار آن تغییر داده شود (j)، به طور تصادفی از بین مقادیر ۱ تا nvar به دست آید. سپس موقعیت جدید منبع غذای زنبور ناظر شماره i (v_{ij}) توسط رابطه زیر محاسبه خواهد این نوع تغییر در موقعیت منابع غذای زنبورها را حرکت تصادفی می‌نامند [۲،۳۵]

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.3.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi \times \left(x_{ij} - x_{kj}\right) \quad (۱۷)$$

v_{ij}: موقعیت جدید متغیر شماره j در منبع غذای زنبور ناظر شماره i

x_{ij}: موقعیت پیشین متغیر شماره j در منبع غذای زنبور ناظر شماره i

x_{kj}: موقعیت متغیر شماره j در منبع غذای زنبور کارگر شماره k

ϕ: یک عدد تصادفی بین 1- و 1

پس از آنکه موقعیت جدید منبع غذای زنبور ناظر شماره i به دست آمد، مقدار تابع ارزیابی (تابع هدف) برای آن مجددا محاسبه می‌شود. حال اگر مقدار تابع ارزیابی برای پاسخ جدید بهتر از پاسخ قبلی باشد، پاسخ قبلی کنار گذاشته شده و پاسخ جدید جایگزین آن می‌شود. در غیر این صورت، پاسخ قبلی حفظ خواهد شد.

۳-۲-۳- فاز زنبورهای کاشف

زنبورهای کاشف، باید منبع غذای پیشین خود را رها کرده و به طور کاملا تصادفی، به دنبال منابع غذایی جدیدی بگردند. برای این منظور، باید موقعیت تمامی متغیرهای تصمیم‌گیری آنها مجددا و به طور تصادفی مقداردهی شود. برای این منظور، از رابطه (۱۸) استفاده خواهد شد [۲،۳۵]:

$$x_{ij} = LB_j + rand \times \left(UB_j - LB_j\right) \quad (۱۸)$$

x_{ij}: موقعیت متغیر شماره j در منبع غذای زنبور کاشف شماره i

LB_j: حد پایین متغیر شماره j

UB_j: حد بالای متغیر شماره j

rand: یک عدد تصادفی بین صفر و یک

هر یک از تکرارهای الگوریتم ABC، شامل فازهای زنبورهای کارگر، ناظر و کاشف خواهد بود. در تکرار اول پس از اجرای فازهای فوق، بهترین پاسخ به دست آمده توسط تمامی زنبورها بر اساس میزان مطلوبیت تابع ارزیابی (تابع هدف)، تعیین می‌شود. سپس در تکرارهای بعدی برنامه، تمامی پاسخ‌های جدید مسئله با بهترین پاسخ به دست آمده تا آن زمان، مقایسه می‌شوند. اگر پاسخ‌های جدید از منظر تابع ارزیابی بهتر از پاسخ پیشین باشند، جای آن را خواهند گرفت، در غیر این صورت پاسخ پیشین حفظ خواهد شد. پس از پایان تکرارهای برنامه، پاسخی که دارای بهترین مقدار تابع ارزیابی باشد، به عنوان پاسخ بهینه مسئله انتخاب خواهد شد [۲،۳۵].

۳-۳- الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل با تابع انتخاب اصلاح‌شده (MCF-ABC)

در معرفی الگوریتم ABC مشاهده شد که در فاز زنبورهای کارگر، از فرآیند جایگذاری تصادفی به عنوان استراتژی مورد استفاده در جست‌وجوی همسایگی استفاده شد. در فاز زنبورهای ناظر نیز فرآیند حرکت تصادفی برای جست‌وجوی همسایگی بکار گرفته شد. جست‌وجوی همسایگی به فرآیندی گفته می‌شود که در آن یک پاسخ جدید بر اساس پاسخ‌های پیشین انتخاب می‌شود. به طور کلی استراتژی‌های مورد استفاده در جست‌وجوی همسایگی، ابتکار سطح پایین (LLH) گفته می‌شود. هر یک از ابتکارهای سطح پایین، عملکرد متفاوتی در الگوریتم‌های بهینه‌سازی خواهند داشت. به فرآیندهای مورد استفاده برای انتخاب اینکه از کدام یک از ابتکارهای سطح پایین استفاده شود، فوق-ابتکارگفته می‌شود. فوق-ابتکارها نیز انواع مختلفی دارند. یکی از پرکاربردترین و کارآمدترین آنها، تابع انتخاب نام دارد [۲].

تکنیک جدیدی با نام تابع انتخاب اصلاح شده (MCF) تعریف شده که محاسبه آن توسط رابطه (۱۹) صورت می‌گیرد [۲]:

$$F_t(h_m) = \mu_t[f_1(h_m) + f_2(h_m, h_n)] + \delta_t f_3(h_m) \quad (۱۹)$$

$F_t(h_m)$: امتیاز کل ابتکار سطح پایین شماره m در عملکرد شماره t

μ_t: ضریب تمرکز: ابتکارهای سطح پایین در عملکرد شماره t

$f_1(h_m)$: عملکرد پیشین ابتکار سطح پایین شماره m

$f_2(h_m, h_n)$: وابستگی عملکرد ابتکارهای سطح پایین شماره m و n

δ_t: ضریب تنوع: ابتکارهای سطح پایین در عملکرد شماره t

$f_3(h_m)$: میزان عدم استفاده از ابتکار سطح پایین شماره m

همانطور که در رابطه فوق مشاهده می‌شود، در تابع انتخاب اصلاح شده، برای امتیازهای اول ($f_1(h_m)$) و دوم ($f_2(h_m, h_n)$) از یک ضریب یکسان μ_t استفاده شده که با نام ضریب تمرکز شناخته می‌شود و هرچه مقدار آن بیشتر باشد، موجب استفاده بیشتر از ابتکارهای مفید قبلی می‌شود. ضریب امتیاز سوم نیز با δ_t نمایش داده شده که ضریب تنوع نامیده می‌شود و هرچه مقدار آن بیشتر باشد، موجب استفاده بیشتر از ابتکارهایی می‌شود که قبلا کمتر مفید بوده‌اند. مقادیر μ_t و δ_t در تابع انتخاب اصلاح شده، ثابت نبوده و در تکرارهای الگوریتم، تغییر می‌کنند. در صورتی که یک ابتکار سطح پایین موجب بهبود پاسخ مسئله شود، ضریب μ_t برابر با مقدار 0.99 قرار داده می‌شود و همزمان δ_t برابر با 0.01 خواهد بود. در صورتی که ابتکار مورد نظر موفق به بهبود پاسخ مسئله نشود، μ_t به طور خطی کاهش می‌یابد تا اینکه به مقدار 0.01 برسد. همزمان مقدار δ_t به طور خطی افزایش خواهد یافت تا رابطه $\mu_t + \delta_t = 1$ برقرار باشد. این فرآیند موجب می‌شود ابتکارهایی که در بهبود پاسخ مسئله موفق نیستند، به سرعت ضریب پایینی کسب نکنند و تاثیر آنها به سرعت کاسته نشود. ضرایب μ_t و δ_t توسط روابط زیر محاسبه می‌شوند. در این روابط، d بیان‌گر تفاوت در مقدار تابع هدف پاسخ پیشین و پاسخ جدیدی است که توسط ابتکار شماره m تولید شده است می‌گیرد [۲]. بر اساس توضیحات فوق، تفاوت اصلی بین الگوریتم MCF-ABC با الگوریتم ABC این است که در هر یک از تکرارهای برنامه، برای یافتن پاسخ‌های همسایگی در فازهای زنبورهای کارگر و ناظر، تابع انتخاب اصلاح شده بکار خواهد رفت. نقش تابع انتخاب اصلاح شده این است که نوع ابتکاری که در تولید پاسخ همسایگی استفاده می‌شود، را تعیین خواهد کرد. برای این منظور، از فرآیند انتخاب چرخ رولت استفاده خواهد شد. در این فرآیند،

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.3.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

ابتکارهای سطح پایینی که دارای امتیاز بالاتر (F_m) باشند، شانس بیشتری برای انتخاب خواهند داشت. احتمال انتخاب هر یک از ابتکارهای سطح پایین توسط رابطه (۲۰) به دست می‌آید [۲]:

$$\mu_t(h_m) = \begin{cases} 0.99, & d > 0 \\ \max\{0.01, \mu_{t-1}(h_m) - 0.01\}, & d < 0 \end{cases} \quad (۲۰)$$

p_i: احتمال انتخاب ابتکار سطح پایین شماره m

l: شمارش‌گر ابتکارهای سطح پایین

L: تعداد کل ابتکارهای سطح پایین

F_m: امتیاز کل ابتکار سطح پایین شماره m

پس از انتخاب ابتکارهای سطح پایین و بکارگیری آنها، باید امتیاز هر یک از ابتکارها توسط رابطه (۱۹) به‌روزرسانی شود. انتخاب ابتکارهای سطح پایین برای عملیات جست‌وجوی همسایگی در فازهای زنبورهای کارگر و زنبورهای ناظر، باید به صورت جداگانه انجام گیرد. با توجه به ماهیت هر یک از این دو فاز، برای آنها از ابتکارهای سطح پایین متفاوتی استفاده خواهد شد. در فاز زنبورهای کارگر، جست‌وجوی همسایگی یک زنبور کارگر در اطراف موقعیت منبع غذای همان زنبور کار انجام می‌گیرد. بنابراین ابتکارهای سطح پایین مورد استفاده در فاز زنبورهای کارگر شامل موارد زیر خواهند بود [۲]:

جایگذاری تصادفی: در این ابتکار، یکی از متغیرهای تصمیم‌گیری مسئله در منبع غذای یک زنبور کارگر به طور تصادفی انتخاب شده و توسط رابطه (۱۵)، به طور تصادفی مقداردهی می‌شود.

جایگذاری تصادفی متوالی: این ابتکار مشابه با جایگذاری تصادفی است، با این تفاوت که به جای جایگذاری تصادفی یکی از متغیرهای موقعیت منبع غذای زنبور کارگر، مجموعه‌ای متوالی از متغیرها به طور تصادفی انتخاب شده و مقادیر آنها به طور تصادفی مقداردهی می‌شود.

آمیختن متوالی: در این ابتکار، مجموعه‌ای متوالی از متغیرهای منبع غذای زنبور کارگر، به طور تصادفی انتخاب شده و ترتیب آنها به طور تصادفی تغییر خواهد کرد.

در فاز زنبورهای ناظر، جست‌وجوی همسایگی یک زنبور ناظر در اطراف موقعیت منبع غذای یک زنبور کارگر انجام می‌گیرد که به طور تصادفی و بر اساس رابطه (۱۶) انتخاب شده است. بنابراین در این حالت، از ابتکارهای سطح پایین زیر استفاده خواهد شد [۲]:

حرکت تصادفی: در این ابتکار، یکی از متغیرهای تصمیم‌گیری مسئله به طور تصادفی انتخاب شده و مقدار آن در موقعیت منبع غذای زنبور ناظر، بر اساس موقعیت منبع غذای یکی از زنبورهای کارگر (که به طور تصادفی انتخاب شده است)، توسط رابطه (۱۷) تغییر داده می‌شود.

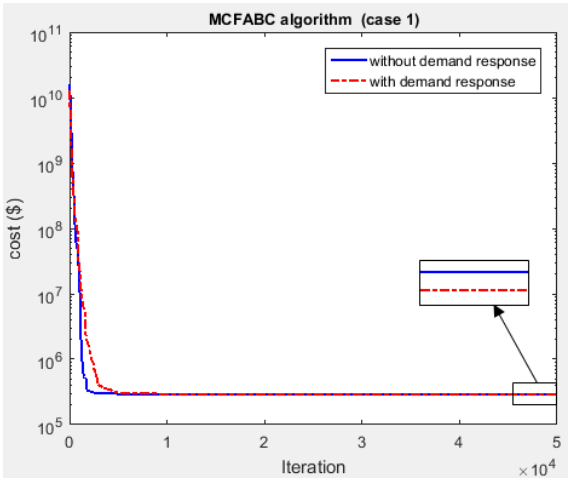
حرکت تصادفی متوالی: این ابتکار مشابه با حرکت تصادفی است، با این تفاوت که به جای یکی از متغیرها، مجموعه‌ای متوالی از متغیرهای موقعیت منبع غذای یک زنبور ناظر بر اساس موقعیت منبع غذای یکی از زنبورهای کارگر توسط رابطه (۱۷) تغییر داده می‌شود.

جانشینی تصادفی: در این ابتکار، یکی از متغیرهای منبع غذای زنبورهای ناظر به طور تصادفی انتخاب شده و سپس مقدار یکی از متغیرهای آن (که شماره متغیر به طور تصادفی تعیین می‌شود)، با منبع غذای زنبور کارگر تعویض می‌شود.جانشینی تصادفی متوالی: این ابتکار مشابه با جانشینی تصادفی است، با این تفاوت که به جای جانشینی تصادفی یکی از متغیرهای منبع غذای زنبور ناظر، مجموعه‌ای متوالی از متغیرها به طور تصادفی انتخاب شده و مقادیر آنها به طور تصادفی با منبع غذای زنبور کارگر، تعویض می‌شود.

۴- نتایج شبیه‌سازی

۴-۱- مطالعه موردی اول

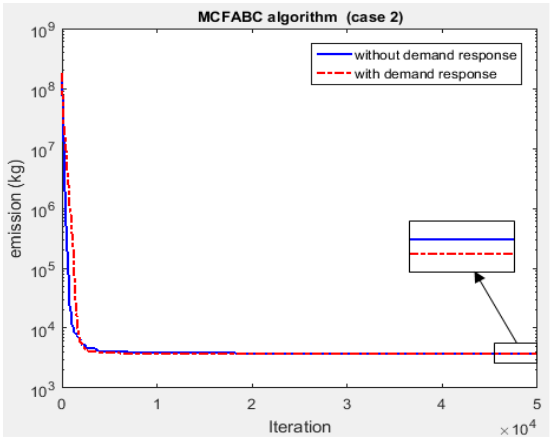
در حالت ۱ شبیه‌سازی، توزیع اقتصادی بار با هدف حداقل‌سازی هزینه واحدهای تولید پراکنده انجام می‌گیرد. نمودار همگرایی تابع هدف مسئله در حالت ۱ شبیه‌سازی توسط روش MCF-ABC در شکل نمایش داده شده است. در این شکل، محور افقی بیان‌گر تکرارهای برنامه بوده و محور عمودی نیز مقدار تابع هدف مسئله (هزینه واحدهای تولید پراکنده) را در هر یک از تکرارها بر حسب دلار نشان می‌دهد. برای ایجاد سهولت در بررسی تغییرات تابع هدف، محور عمودی به صورت نیمه- لگاریتمی رسم شده است. روند همگرایی تابع هدف مسئله برای حالت بدون استفاده از برنامه پاسخ‌گوئی بار با رنگ آبی و برای حالت استفاده از برنامه پاسخ‌گوئی بار، با منحنی نقطه‌چین قرمزرنگ رسم شده است. بررسی این شکل نشان‌گر این است که روش MCF-ABC موفق شده در طول تکرارهای برنامه، به سرعت تابع هدف مسئله را کاهش داده و به سمت پاسخ بهینه همگرا شود. بیشتر تغییرات در تابع هدف مسئله، در تکرارهای اولیه رخ داده و سپس با همگرایی به سمت پاسخ بهینه، از دامنه تغییرات کاسته شده است. همچنین بررسی این شکل نتایج نشان می‌دهد که علی‌رغم اینکه فاصله دو نمودار از یکدیگر کم است، اما با بزرگ‌نمایی شکل می‌توان مشاهده نمود که استفاده از برنامه پاسخ‌گوئی بار موجب کاهش تابع هدف مسئله شده و بنابراین هزینه کمتری را برای ریزشبکه به همراه داشته است.



شکل ۳: نمودار همگرایی تابع هدف مسئله در حالت ۱

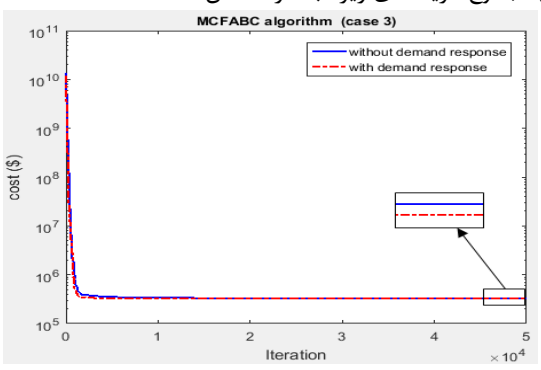
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.3.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

نمودار همگرایی تابع هدف مسئله در حالت ۲ شبیه‌سازی در شکل ۰ رسم شده است. در این حالت، توزیع آلایندگی با هدف حداقل‌سازی انتشار آلایندگی توسط واحدهای دیزل انجام می‌گیرد. در این شکل محور عمودی نشان‌گر مجموع آلایندگی انتشار یافته در ریزشبکه بر حسب کیلوگرم است. روند همگرایی تابع هدف مسئله در حالت عدم استفاده از پاسخ‌گوئی بار با رنگ آبی و در حالت استفاده از پاسخ‌گوئی بار، با نقطه‌چین قرمزرنگ رسم شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، در حالت ۲ شبیه‌سازی نیز روش MCF-ABC موفق شده با کاهش مداوم تابع هدف مسئله در تکرارهای اولیه، به سمت پاسخ بهینه مسئله همگرا شود. همچنین در این حالت، مقدار نهایی تابع هدف مسئله برای حالت استفاده از پاسخ‌گوئی بار، کمتر از

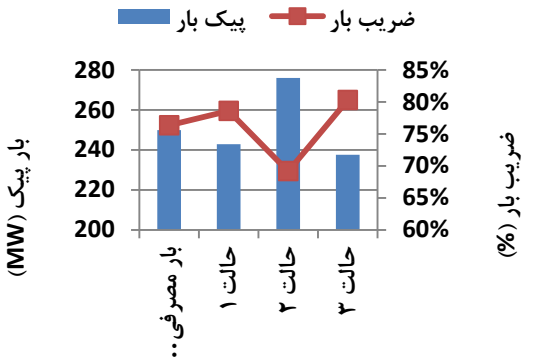


شکل ۰: نمودار همگرایی تابع هدف مسئله در حالت ۲

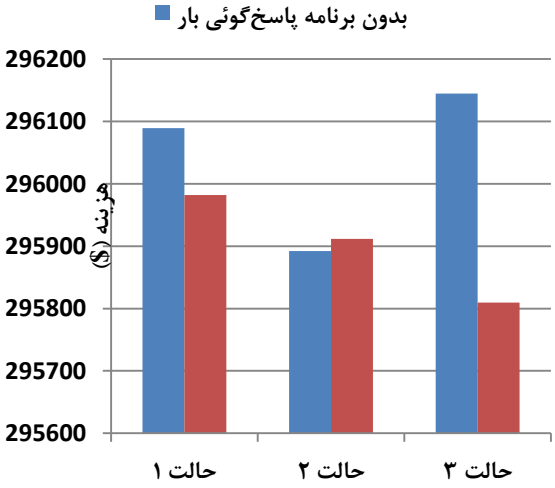
حالت، توزیع ترکیبی اقتصادی-آلایندگی با هدف حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های ریزشبکه انجام می‌گیرد. بررسی این شکل نیز نشان می‌دهد که روش MCF-ABC قادر بوده است با جست‌وجوی کارآمد فضای حالت عدم استفاده از پاسخ‌گوئی بار بوده است. بنابراین استفاده از برنامه پاسخ‌گوئی بار موجب کاهش در میزان انتشار آلایندگی در ریزشبکه شده است. درشکل ۵ نیز نمودار همگرایی تابع هدف مسئله برای حالت ۳ شبیه‌سازی رسم شده است. در اینمسئله، به سرعت مقدار تابع هدف مسئله را کاهش داده و به سمت پاسخ بهینه همگرا شود. همچنین در این حالت نیز مشابه با دو حالت پیشین، استفاده از برنامه پاسخ‌گوئی بار موجب کاهش در مقدار تابع هدف مسئله شده و بنابراین مجموع هزینه‌های ریزشبکه را کاهش داده است.



شکل ۰: نمودار همگرایی تابع هدف مسئله در حالت ۳



شکل ۶: تاثیر برنامه پاسخ‌گوئی بار بر منحنی بار مصرفی ریزشبکه

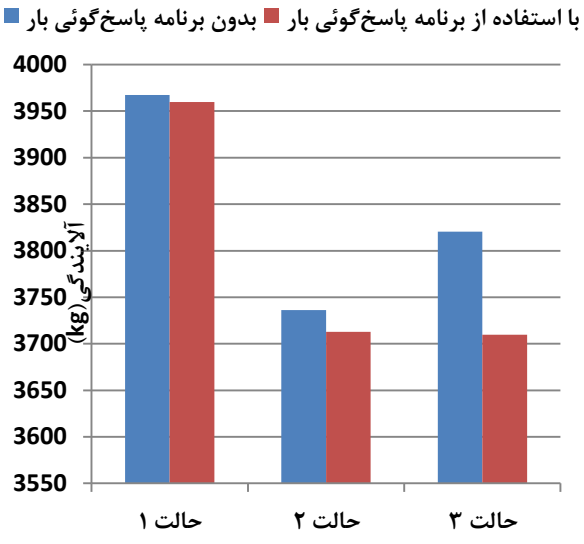


شکل ۷: هزینه واحدهای تولید پراکنده در حالات مختلف شبیه‌سازی

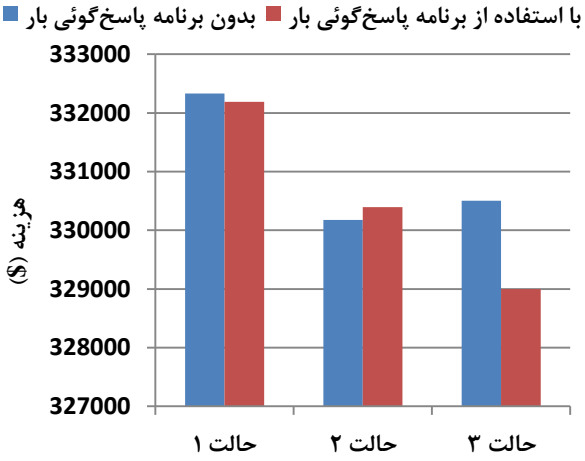
مطالعه موردی اول

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، استفاده از پاسخ‌گوئی بار در دو حالت ۱ و ۳ موجب کاهش در هزینه‌های واحدهای تولید پراکنده شده، اما در حالت ۲ این هزینه را کمی افزایش داده است. دلیل این موضوع این است که در حالت ۲، حداقل‌سازی آلایندگی انتشار یافته توسط واحدهای دیزل مد نظر بوده و دست‌یابی به این هدف تاثیرات جانبی مختلفی داشته که از جمله موجب افزایش در هزینه واحدهای تولید پراکنده شده است. بیشترین کاهش در هزینه واحدهای تولید پراکنده نیز در حالت ۳ شبیه‌سازی رخ داده است. بنابراین مشاهده می‌شود که مدلسازی مسئله بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه به صورت توزیع ترکیبی اقتصادی- آلایندگی در حالت ۳ موجب شده استفاده از برنامه پاسخ‌گوئی بار تاثیر بیشتری بر کاهش هزینه واحدهای تولید پراکنده داشته باشد. بررسی شکل نشان‌گر این است که استفاده از برنامه پاسخ‌گوئی بار در تمامی حالات شبیه‌سازی، موجب کاهش در میزان انتشار آلایندگی زیست‌محیطی در ریزشبکه شده است. همچنین مشاهده می‌شود که بیشترین کاهش در انتشار آلایندگی در حالت ۳ رخ داده است. بنابراین مدلسازی مسئله به صورت توزیع ترکیبی اقتصادی- آلایندگی در حالت ۳ موجب شده استفاده از برنامه پاسخ‌گوئی بار تاثیر بیشتری بر کاهش آلایندگی انتشار یافته در ریزشبکه داشته باشد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.3.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

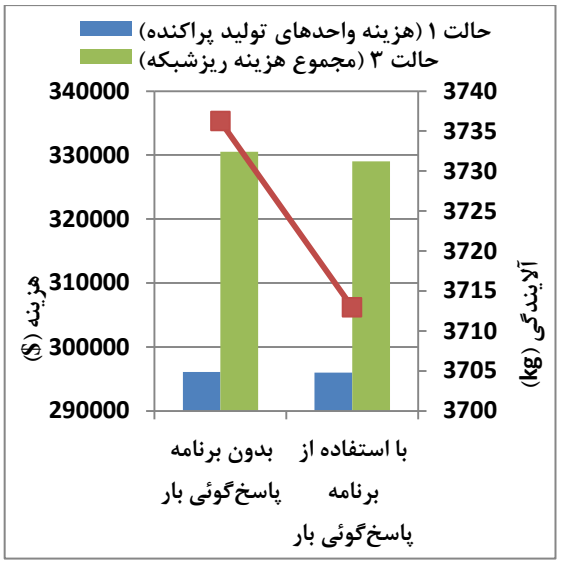


شکل ۸: مقدار انتشار آلایندگی در حالات مختلف شبیه‌سازی مطالعه موردی اول



شکل ۹: مجموع هزینه ریزشبکه در حالات مختلف شبیه‌سازی مطالعه موردی اول

بررسی شکل نشان‌گر این است که استفاده از برنامه پاسخ‌گوئی بار در دو حالت ۱ و ۳ کاهش در مجموع هزینه‌ها را در پی داشته است، در حالیکه در حالت ۲ موجب کمی افزایش در مجموع هزینه‌ها شده است. با بررسی این شکل می‌توان نتیجه گرفت که در صورتی که حداقل‌سازی هزینه در مدلسازی تابع هدف مسئله در نظر گرفته نشود، استفاده از برنامه پاسخ‌گوئی بار ممکن است موجب افزایش در هزینه‌های ریزشبکه گردد. همچنین این شکل نشان می‌دهد که برنامه پاسخ‌گوئی بار در حالت ۳ (توزیع ترکیبی اقتصادی- آلایندگی) بیشترین تاثیر را در کاهش مجموع هزینه‌های ریزشبکه داشته است.



شکل ۱۰: تابع هدف مسئله بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه در حالات مختلف شبیه‌سازی مطالعه موردی اول

بررسی شکل نشان می‌دهد که در حالات ۱ تا ۳، استفاده از برنامه پاسخ‌گوئی بار به ترتیب موجب ۰.۰۴٪، ۰.۶۲٪ و ۰.۴۶٪ کاهش در مقدار تابع هدف مسئله شده است. بنابراین در هر سه حالت شبیه‌سازی، استفاده از برنامه پاسخ‌گوئی بار، تابع هدف مسئله بهره‌برداری بهینه ریزشبکه را کاهش داده و از این طریق، موجب بهبود در کارایی ریزشبکه شده است.

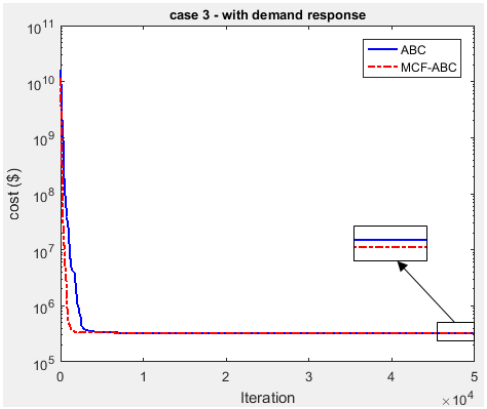
۴-۲- مطالعه موردی دوم

در مطالعه موردی دوم، تاثیر استفاده از الگوریتم‌های مختلف بهینه‌سازی بر نتایج مسئله در حالات مختلف مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این مطالعه موردی، حل مسئله بهینه‌سازی توسط دو روش صورت خواهد گرفت.

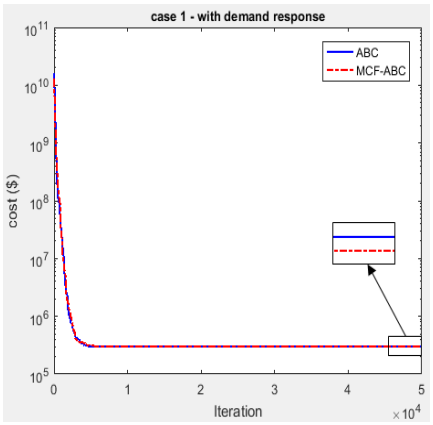
- الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل (ABC)
- الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل با تابع انتخاب اصلاح‌شده (MCF-ABC)

در حالت ۱ شبیه‌سازی، توزیع اقتصادی بار با هدف حداقل‌سازی هزینه واحدهای تولید پراکنده انجام می‌گیرد. در شکل ، نمودار نشان‌گر این است که هر دو روش ABC و MCF-ABC موفق شده‌اند با کاهش تابع هدف، به سرعت به سمت پاسخ بهینه همگرا شوند. نتایج این دو روش در این حالت نزدیک به یکدیگر است، اما با بزرگ‌نمایی نمودار مشخص می‌شود که مقدار نهایی تابع هدف برای روش MCF-ABC کمتر از روش ABC بوده و بنابراین روش MCF-ABC موفق به کاهش تابع هدف نسبت به روش ABC شده است.

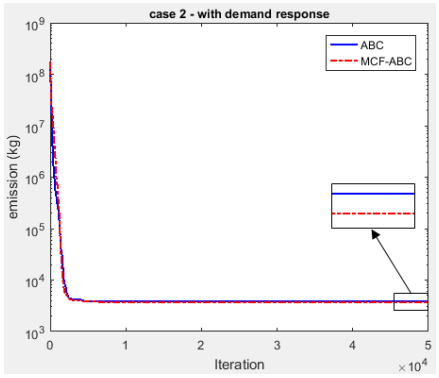
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.3.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]



شکل ۱۱ : نمودار همگرایی تابع هدف مسئله در حالت ۳ شبیه‌سازی در مطالعه موردی دوم



شکل ۱۲: نمودار همگرایی تابع هدف مسئله در حالت ۱ شبیه‌سازی در مطالعه دوم



شکل ۱۳: نمودار همگرایی تابع هدف مسئله در حالت ۲ شبیه‌سازی در مطالعه موردی دوم

در شکل (۱۳) نیز روند همگرایی تابع هدف مسئله توسط روش‌های MCF-ABC و ABC در حالت ۲ شبیه‌سازی رسم شده است. در این حالت، توزیع آلایندگی با هدف حداقل‌سازی مجموع انتشار آلایندگی در ریزشبکه انجام می‌گیرد. در این حالت نیز هر دو روش فوق با کاهش تابع هدف در طول تکرارهای برنامه، به سمت پاسخ بهینه همگرا شده‌اند. با این وجود مقدار نهایی تابع هدف به دست آمده توسط روش MCF-ABC کمتر از مقدار به دست آمده توسط روش ABC بوده است که کارایی این روش را نشان می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

۱- استفاده از برنامه پاسخ‌گوئی بار نرخ‌های زمان- واقعی در هر سه حالت شبیه‌سازی موجب کاهش در تابع هدف مسئله بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه شده است. بنابراین برنامه پاسخ‌گوئی بار موفق به کاهش توابع هدف هزینه و آلایندگی در ریزشبکه شده و از این طریق، بهره‌برداری از ریزشبکه را بهبود بخشیده است.

۲- در بین حالات مختلف شبیه‌سازی در حضور برنامه پاسخ‌گوئی بار، حالت ۳ که در آن توزیع ترکیبی اقتصادی- آلایندگی انجام شده است، از منظر هزینه واحدهای تولید پراکنده، انتشار آلایندگی زیست‌محیطی و مجموع هزینه‌های ریزشبکه موفق به دست‌یابی به بهترین نتایج برای ریزشبکه شده است. بنابراین استفاده از توزیع ترکیبی اقتصادی- آلایندگی که در آن به طور همزمان هزینه و آلایندگی در نظر گرفته می‌شود، نسبت به سایر حالاتی که در آنها تنها هزینه یا آلایندگی لحاظ می‌شوند، نتایج بهتری را برای ریزشبکه به همراه داشته است.

۳- در تمامی حالات شبیه‌سازی، برنامه پاسخ‌گوئی بار موفق شده با انتقال بخشی از بار مصرفی از ساعات پرباری یا ساعاتی که توان‌های تولیدی تجدیدپذیر پایین است به ساعات کم‌باری یا ساعاتی که توان تجدیدپذیر بیشتری وجود دارد، تابع هدف مسئله بهینه‌سازی (هزینه یا آلایندگی) را کاهش داده و بهره‌برداری از ریزشبکه را بهبود بخشد.

۴- در حالت ۳ که در مدلسازی مسئله بهره‌برداری بهینه ریزشبکه به صورت توزیع ترکیبی اقتصادی- آلایندگی مدلسازی شده است، برنامه پاسخ‌گوئی بار موفق شده بیشترین کاهش در بار پیک و بیشترین افزایش را در ضریب بار شبکه ایجاد کند. در نتیجه برنامه پاسخ‌گوئی بار موفق شده با مسطح‌کردن منحنی بار، بهره‌وری ریزشبکه را بهبود بخشد.

۵- استفاده از برنامه پاسخ‌گوئی بار در حالت ۳ که در آن توزیع ترکیبی اقتصادی- آلایندگی مد نظر قرار گرفته است، بیشترین تاثیر را بر کاهش هزینه واحدهای تولید پراکنده، آلایندگی انتشار یافته و مجموع هزینه‌های ریزشبکه داشته است. بنابراین استفاده از توزیع ترکیبی اقتصادی-آلایندگی که در آن به طور همزمان هزینه‌ها و آلایندگی ریزشبکه در نظر گرفته می‌شود، زمینه مساعدتری را برای بهره‌گیری از فوائد برنامه پاسخ‌گوئی بار فراهم کرده است.

۶- هر دو الگوریتم کلونی مصنوعی زنبور عسل (ABC) و کلونی مصنوعی زنبور عسل با تابع انتخاب اصلاح‌شده (MCF-ABC) موفق شده‌اند با کاهش مداوم تابع هدف مسئله در طول تکرارهای برنامه، مقدار تابع هدف مسئله را در حالات مختلف کاهش داده و با رعایت قیود مسئله بهینه‌سازی، به پاسخ نهایی همگرا شوند. با این وجود روش MCF-ABC نسبت به روش ABC موفق شده در تمامی حالات مقدار تابع هدف مسئله را کاهش دهد. بنابراین در مقایسه با روش ABC، روش MCF-ABC کارایی بالاتری در حل مسئله بهره‌برداری بهینه ریزشبکه در حضور برنامه پاسخ‌گوئی بار داشته است.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.3.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

مراجع

[1]] B. Dey, S.K. Roy, B. Bhattacharyya, *"Solving multi-objective economic emission dispatch of a renewable integrated microgrid using latest bio-inspired algorithms"*, Engineering Science and Technology, an International Journal, In Press, Corrected Proof, Available online 11 October 2018.

[2] S.S. Choong, L.P. Wong, C.P. Lim, *"An artificial bee colony algorithm with a Modified Choice Function for the traveling salesman problem"*, Swarm and Evolutionary Computation, In press, corrected proof, Available online 9 August 2018.J. A. Zachman, *"A Framework for Information Systems Architecture"*, IBM Systems Journal, Vol. 26, No. 3, 1987.

[3] M.J. Vahid-Pakdel, S. Nojavan, B. Mohammadi-ivatloo, K. Zare, *"Stochastic optimization of energy hub operation with consideration of thermal energy market and demand response"*, Energy Conversion and Management, Vol. 145, pp. 117-128, 2017.

[4] S. Parhizi, H. Lotfi, A. Khodaei, S. Bahramirad, *"State of the Art in Research on Microgrids: A Review"*, IEEE Access, Vol. 3, pp. 890 – 925, 2015.

[5] F.M. Martínez, A.S. Miralles, M. Rivier, *"A literature review of Microgrids: A functional layer based classification"*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 62, pp. 1133-1153, 2016.

[6] S.M. Nosratabadi, R.H. Hooshmand, E. Gholipour, *"A comprehensive review on microgrid and virtual power plant concepts employed for distributed energy resources scheduling in power systems"*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 67, pp. 341-363, 2017.

[7] F.C. Robert, G.S. Sisodia, S. Gopalan, *"A Critical Review on the Utilization of Storage and Demand Response for the Implementation of Renewable Energy Microgrids"*, Sustainable Cities and Society, Vol. 40, pp. 735-745, 2018.

[8] S.M. Dawoud, X. Lin, M.I. Okba, *"Hybrid renewable microgrid optimization techniques: A review"*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 82, pp. 2039-2052, 2018.

[9] Z. Xu, P. Yang, C. Zheng, Y. Zhang, Z. Zeng, "*Analysis on the organization and Development of multi-microgrids*", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 81, pp. 2204-2216, 2018.

[10] S. Sen, V. Kumar, "*Microgrid modelling: A comprehensive survey*", Annual Reviews in Control, Vol. 46, pp. 216-250, 2018.

[11] A. Hirsch, Y. Parag, J. Guerrero, "*Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues*", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 90, pp. 402-411. 2018.

[12] M.F. Zia, E. Elbouchikhi, M. Benbouzid, "*Microgrids energy management systems: A critical review on methods, solutions, and prospects*", Applied Energy, Vol. 222, pp. 1033-1055, 2018.

[13] A. Arif, F. Javed, N. Arshad, *"Integrating renewables economic dispatch with demand side management in micro-grids: a genetic algorithm-based approach"*, Energy Efficiency, Vol. 7, pp. 271-284, 2014.

[14] M. Mazidi, A. Zakariazadeh, S. Jadid, P. Siano, *"Integrated scheduling of renewable generation and demand response programs in a microgrid"*, Energy Conversion and Management, Vol. 86, pp. 1118-1127, 2014.

[15] Y. Lan, X. Guan, J. Wu, *"Rollout strategies for real-time multi-energy scheduling in microgrid with storage system"*, IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 10, pp. 688-696, 2016.

[16] H. Kamankesh, V.G. Agelidis, A. Kavousi-Fard, *"Optimal scheduling of renewable micro-grids considering plug-in hybrid electric vehicle charging demand"*, Energy, Vol. 100, pp. 185-297, 2016.

[17] J. Zhang, Y. Wu, Y. Guo, B. Wang, H. Wang, H. Liu, *"A hybrid harmony search algorithm with differential evolution for day-ahead scheduling problem of a microgrid with consideration of power flow constraints"*, Applied Energy, Vol. 183, pp. 791-804, 2016.

[18] A. Rabiee, M. Sadeghi, J. Aghaei, A. Heidari, *"Optimal operation of microgrids through simultaneous scheduling of electrical vehicles and responsive loads considering wind and PV units uncertainties"*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 57, pp. 721-739, 2017.

[19] Y.R. Rodrigues, A.C.Z. de Souza, P.F. Ribeiro, *"An inclusive methodology for Plug-in electrical vehicle operation with G2V and V2G in smart microgrid environments"*, Electrical Power and Energy Systems, Vol. 102, pp. 312-323, 2018.

[20] A. Rabiee, M. Sadeghi, J. Aghaei, *"Modified imperialist competitive algorithm for environmental constrained energy management of microgrids"*, Journal of Cleaner Production, Vol. 202, pp. 273-292, 2018.

[21] J. Li, Y. Liu, L. Wu, *"Optimal Operation for Community Based Multi-Party Microgrid in Grid-Connected and Islanded Modes"*, IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 9, pp. 756-765, 2018.

[22] X. Wu, Z. Wang, J. Du, G. Wu, *"Optimal Operation of Residential Microgrids in the Harbin Area"*, IEEE Access, Vol. 6, pp. 30726-30736, 2018.

[23] T. Sattarpour, S. Golshannavaz, D. Nazarpour, P. Siano, "*A multi-stage linearized interactive operation model of smart distribution grid with residential microgrids*", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 108, pp. 456-471, 2019.

[24] C. Kumar Nayak, K. Kasturi, M.R. Nayak, "*Economical management of microgrid for optimal participation in electricity market*", Journal of Energy Storage, pp. 657-664, 2019.

[25] B. Papari, C.S. Edrington, I. Bhattacharya, G. Radman, "*Effective Energy Management of Hybrid AC–DC Microgrids With Storage Devices*", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 10, pp. 193-203, 2019.

[26] M. Dabbaghjamanesh, A. Kavousi-Fard, S. Mehraeen, "*Effective Scheduling of Reconfigurable Microgrids With Dynamic Thermal Line Rating*", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 66, pp. 1552-1564, 2019.

[27] M. Sedighizadeh, G. Shaghaghi-shahr, M. Esmaili, M.R. Aghamohammadi, "*Optimal distribution feeder reconfiguration and generation scheduling for microgrid day-ahead operation in the presence of electric vehicles considering uncertainties*", Journal of Energy Storage, Vol. 21, pp. 58-71, 2019.

[28] Y. Li, Z. Yang, G. Li, D. Zhao, W. Tian, "*Optimal Scheduling of an Isolated Microgrid With Battery Storage Considering Load and Renewable Generation Uncertainties*", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 66, pp. 1565-1575, 2019.

[29] M.F. Zia, E. Elbouchikhi, M. Benbouzid, "*Optimal operational planning of scalable DC microgrid with demand response, islanding, and battery degradation cost considerations*", Applied Energy,, Vol. 237, pp. 695-707, 2019.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.3.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[30] T. Adefarati, R.C. Bansal, "*Reliability, economic and environmental analysis of a microgrid system in the presence of renewable energy resources*", Applied Energy, Vol. 236, pp. 1089-1114, 2019.
[31] G. Derakhshan, H.A. Shayanfar, A. Kazemi, "*The optimization of demand response programs in smart grids*", Energy Policy, Vol. 94, pp. 295-306, 2016.
[32] A. Fattahi-Meyabadi, M.H. Deihimi, "*A review of demand-side management: Reconsidering theoretical framework*", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 80, pp. 367-379, 2017.
[33] M. Hussain, Y. Gao, "*A review of demand response in an efficient smart grid environment*", The Electricity Journal, Vol. 31, pp. 55-63, 2018.
[34] J.S. Vardakas, N. Zorba, C.V. Verikoukis, , "*A Survey on Demand Response Programs in Smart Grids: Pricing Methods and Optimization Algorithms*", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 17, pp. 152-178, 2015.
[35] d. Karaboga, b. Basturk, "*A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm*", Journal of Global Optimization, Vol. 39, pp. 459-471, 2007.
[36] d. Karaboga, b. Basturk, "*On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm*", Applied Soft Computing, Vol. 8, pp. 687-697, 2008.
[37] S. Wang, J. Yang, G. Liu, S. Du, J. Yan, "*Multi-objective path finding in stochastic networks using a biogeography-based optimization method*", Simulation, Vol. 92, pp. 637-947, 2016.

رزومه



شهرام کمالی نیا در دزفول متولد شده است(۱۳۵۵) تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی برق-قدرت از دانشگاه علمی کاربردی(۱۳۸۸) و کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت در دانشگاه آزاد اسلامی دزفول (۱۳۹۸)سپری نموده است. ایشان در حال حاضر در اداره بهره برداری شرکت برق منطقه ای خوزستان مشغول به خدمت می باشند.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.3.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Optimal Operation of Microgrid in the presence of Real-time Pricing Demand Response Program using Artificial Bee Colony Algorithm with a Modified Choice Function

Shahram Kamali Nia[1,*]

*1-Senior Electrical Engineer, Khuzestan Regional Electric Company, Ahwaz, Iran
skamalinia@yahoo.com

Abstract: Microgrid is one of the newest technologies in power systems. Microgrid can usually has a set of distributed energy resources that makes it able to operate separate from power grid. Optimal operation of microgrids means the optimal dispatch of power resources through day and night hours. This thesis proposed a new method for optimal operation of microgrid. In this method, real-time pricing demand response program is used shifting a part of load during different hours. Some distributed generation units such as wind, photovoltaic and diesel units are used for providing electrical load. Optimal operation of microgrid is modeled as an optimization problem in three cases: economic load dispatch, emission dispatch, and combined economic-emission dispatch. The objective function of problem for above cases is defined as minimizing cost of distributed generation, minimizing pollution emission and minimizing total costs including distributed generation and emission costs, respectively. For solve the optimization problem, a new method is used which named artificial bee colony algorithm with a modified choice function (MCF-ABC). This method is an improved version of original artificial bee colony (ABC) algorithm. Simulation is carried out for a sample microgrid in MATLAB environment. Simulation results show that demand response program not only decreases peak load and increases load factor, but also it can improve the microgrid operation through decreasing emission and costs. Results indicate that incorporating combined economic-emission dispatch model leads to better solutions for microgrid operation. Results also demonstrate that MCF-ABC method can improve microgrid function via reduction in costs and pollutions and then it has a better performance in the comparison of ABC method.

Keywords: Microgrid; Optimal operation; Demand response program; Combined economic-emission dispatch; Artificial bee colony algorithm with a modified choice function.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.3.6]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]