

Microgrid power scheduling considering the risk of power supply from renewable units in the presence of electric vehicles

Mahdi Tourani
tourani.mahdi@birjand.ac.ir

Abstract:

Microgrids are a new concept in electrical systems that can independently supply electricity and heat (CHP) to their residents. These microgrids are capable of integrating renewable energy units with a probabilistic nature, which creates significant challenges for them. This paper addresses the timing of microgrid production, considering the risk of power supply from renewable units in the presence of electric vehicles. The aim of this study is to reduce the risk of power outage using electric vehicles, increase microgrid independence and stability, and intelligently distribute power with minimal environmental and economic costs. To this end, a probabilistic model structure is first introduced, and then the optimization problem on this model is simulated using three optimization algorithms: Gray Wolf Optimization (GWO), Firefly Algorithm (FA), and Particle Swarm Optimization (PSO). Ultimately, microgrid indices such as microgrid independence and stability, Risk level, power distribution index, and optimal environmental and economic costs are calculated. By simulating the proposed problem, in addition to reducing the risk of power outages using electric vehicles, the objectives of the problem are optimized.

Keywords: Microgrid independence, intelligent power distribution, electric vehicles, reducing gas emissions, reducing production risk, system stability

Date of sending the article: 2024/04/27
Acceptance date of the article: 2025/04/19

Name of the Corresponding Author: Mahdi Tourani
Corresponding Author's Address: University of Birjand, Birjand, South Khorasan, Iran.

برنامه‌ریزی تولید ریزشبهه با در نظرگرفتن ریسک تأمین توان از واحدهای تجدیدپذیر در حضور خودروهای الکتریکی

مهدی تورانی^۱، استادیار

۱- دانشکده فنی و مهندسی فردوس- دانشگاه بیرجند- ایران
tourani.mahdi@birjand.ac.ir

چکیده: ریزشبهه‌ها مفهوم جدیدی در سیستم‌های الکتریکی هستند که می‌توانند به‌طور مستقل برق و گرما (CHP) را برای ساکنان خود تأمین کنند. این ریزشبهه‌ها قادرند واحدهای انرژی تجدیدپذیر با ماهیت احتمالی را در خود ادغام کرده که این ویژگی، چالش‌های مهمی را برای آن‌ها ایجاد می‌کند. این مقاله به زمان‌بندی تولید ریزشبهه با در نظرگرفتن ریسک تأمین توان از واحدهای تجدیدپذیر در حضور خودروهای الکتریکی می‌پردازد. هدف از این مطالعه، کاهش ریسک خاموشی برق با استفاده از خودروهای الکتریکی، افزایش استقلال ریزشبهه، بهبود پایداری سیستم و توزیع هوشمندانه توان، همراه با حداقل هزینه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی است. بدین منظور ابتدا ساختار احتمالی مدل پیشنهادی معرفی شده و سپس مسئله بهینه‌سازی بر روی این مدل با استفاده از سه الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری (GWO)، الگوریتم کرم شب‌تاب (FA) و بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) شبیه‌سازی و درنهایت شاخص‌های ریزشبهه شامل میزان ریسک، وضعیت استقلال و پایداری، شاخص توزیع توان و هزینه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی محاسبه می‌شود. با اجرای شبیه‌سازی مسئله پیشنهادی، علاوه بر کاهش خطر خاموشی با استفاده از خودروهای الکتریکی، اهداف مسئله بهینه می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: استقلال ریزشبهه، پایداری سیستم، توزیع هوشمندانه توان، خودروهای الکتریکی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش ریسک تولید

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰

نام نویسنده مسئول: مهدی تورانی

نشانی نویسنده مسئول: دانشکده فنی و مهندسی فردوس- دانشگاه بیرجند- ایران

۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت علم و فناوری مفاهیم بسیاری وارد صنعت برق شده است. یکی از این مفاهیم، ریزشبه‌های الکتریکی می‌باشد. ریزشبه یک سیستم قدرت در مقیاس کوچک است که از تولیدکنندگان برق، ذخیره‌سازها و بارهای مصرفی تشکیل می‌شود [۱]. این سیستم‌ها می‌توانند علاوه بر تأمین توان در درون خود، انرژی را از سایر شبکه‌ها خریداری نمایند [۲]. این ویژگی، علاوه بر ایجاد یک اقتصاد داخلی، به تأمین بار با قابلیت اطمینان بالا نیز کمک می‌کند.

عملکرد ریزشبه را می‌توان در دو حالت تعریف نمود. حالت مستقل از شبکه و حالت متصل به شبکه. در حالت مستقل، منابع ریزشبه به تنهایی قادر به تأمین بار هستند. در این حالت به دلیل وابستگی کمتر ریزشبه به شبکه بالادستی، احتمال خاموشی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، در حالت متصل به شبکه، به دلیل اینکه تولیدات برق در ریزشبه نمی‌توانند بخشی از بار را تأمین کنند، برای جلوگیری از خاموشی بار، از شبکه‌های بالادستی برای کمک به آن استفاده می‌شود. از دیگر مزایای ریزشبه‌ها می‌توان به قابلیت ادغام و بهره‌مندی از پهنای باند خورشیدی، واحدهای ذخیره‌سازی [۳]، تولید باد و خودروهای الکتریکی اشاره کرد. با توجه به ماهیت احتمالی این منابع، مدیریت توان نقش مهمی در ریزشبه ایفا خواهد کرد. تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه یکپارچه‌سازی و مدیریت منابع در ریزشبه‌ها انجام شده است. در مرجع [۴]، یک ریزشبه هیبریدی بادی-دیزل برای یک شهر کوچک در مالزی ارائه شده است. در مرجع [۵]، یک طرح پاسخگویی هوشمند به تقاضا برای ریزشبه معرفی شده و چالش‌های عملی اجزای ریزشبه، از جمله عدم قطعیت در تولید فتولتائیک و هزینه‌های عملیاتی باتری‌های ذخیره‌سازی انرژی، مورد توجه قرار گرفته است. نویسندگان در مرجع [۶] یک برنامه زمان‌بندی تولید ریزشبه را با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تولید فتولتائیک و مدل‌سازی آن ارائه کرده‌اند. در مرجع [۷] برنامه‌ریزی تولید ریزشبه در حضور عدم قطعیت در واحدهای بادی و خورشیدی و همچنین سمت مصرف‌کننده پیشنهاد می‌شود. در مرجع [۸] علاوه بر انرژی بادی و خورشیدی واحدهای تولید هم‌زمان برق و حرارت شامل پیل سوختی با غشای مبادله پروتون معروف به PEMFC-CHP در مدیریت انرژی و برنامه‌ریزی ریزشبه وجود دارند. نویسندگان در مرجع [۹] ریزشبه‌ای شامل توربین‌های بادی، خورشید، فتوسل و باتری ارائه داده و با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی، برنامه‌ریزی تولید را بر اساس هزینه صورت داده‌اند. در مرجع [۱۰] از الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای به حداکثر رساندن تولید تجدیدپذیر و به حداقل رساندن هزینه‌های بهره‌برداری در برنامه‌ریزی ریزشبه و مدیریت انرژی آن بهره‌گیری شده است. ارزیابی در این مقاله در سناریوهایی با و بدون باتری انجام می‌شود.

در این مقالات و سایر موارد مشابه [۱۱]، [۱۲]، [۱۳] و [۱۴] بهینه‌سازی ریزشبه در حضور واحدهای مختلف تولید برق با در نظر گرفتن مدیریت تولید مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از چالش‌های اصلی در ریزشبه‌ها، عدم قطعیت در واحدهای تجدیدپذیر و مدل‌سازی آن در برنامه زمان‌بندی تولید است.

انتخاب نوع، مکان و میزان تولید هر واحد احتمالاتی در برنامه‌ریزی تولید، با توجه به احتمال در دسترس بودن یا نبودن آن مقدار انتخابی، ریسک‌های عدم تأمین بار متفاوتی را برای ریزشبه بوجود می‌آورد که بایستی با صرف هزینه، توسط واحدهای ذخیره‌چرخان جبران گردد. استفاده از ظرفیت خودروهای الکتریکی و شارژ آن در زمان‌های با احتمال دسترسی بالا به توان مازاد بر نیاز ریزشبه و نیز دشارژ آن در زمان‌های با احتمال دسترسی کمتر به انرژی مورد نیاز ریزشبه، می‌تواند ریسک عدم تأمین بار در برنامه‌ریزی تولید را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش دهد.

از طرفی توزیع هوشمندانه میزان تولید در سطح ریزشبه، به نحوی که خطاهای مختلف، کمترین ریسک عدم تأمین بار را به همراه داشته باشد، استقلال ریزشبه، بهبود پایداری و کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی از دیگر نکاتی است که در برنامه‌ریزی تولید باید مورد توجه قرار گیرد.

آنچه در پژوهش‌های پیشین کمتر بدان پرداخته شده، بررسی و تحلیل ریسک تحویل توان توسط واحدهای تجدیدپذیر در برنامه‌ریزی تولید و تأثیر آن در عملکرد ریزشبه است.

در این مقاله به منظور بهبود عملکرد ریزشبه به برنامه‌ریزی تولید با در نظر گرفتن ریسک تحویل توان توسط واحدهای تجدیدپذیر و کاهش آن با استفاده از خودروهای الکتریکی، توزیع هوشمندانه تولید افزایش استقلال و پایداری ریزشبه در کنار کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی پرداخته می‌شود. بررسی و تحلیل این اهداف در فضای ریزشبه نوآوری‌های مناسبی را ارائه خواهد داد.

۲- بیان مسئله

ریزشبه‌ها به سبب دارا بودن واحدهای با عدم قطعیت بالا، همواره چالش‌های بسیاری را در برنامه‌ریزی تولید به همراه دارند. وجود این عدم قطعیت‌ها و نوسان بالای تولید باعث می‌شود ریسک عدم تأمین بار افزایش یابد. در این میان، با توجه به کوچک بودن فضای ریزشبه، امکان تغذیه بارها از سمت‌های مختلف کمتر بوده و معمولاً با وقوع خطا، در صورت عدم توزیع متناسب تولید، بخش قابل توجهی از بارهای مصرفی با خاموشی مواجه می‌گردند. از دیگر عواملی که سبب افزایش ریسک عدم تأمین بار می‌شود، انتقال آثار خطا از شبکه بالادست به سبب استقلال ضعیف ریزشبه است. همچنین تغییرات بالا به نسبت وسعت عملیاتی پایین ریزشبه می‌تواند پایداری ریزشبه را با چالش روبرو نماید.

۳-۲- مدل احتمالاتی رفتار تولید بادی

تولید برق بادی مستقیماً به سرعت باد بستگی دارد. پارامتر سرعت باد نیز احتمالاتی بوده و از تابع ویبول پیروی می‌کند [۱۶]، [۱۷].

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (5)$$

جایی که $f(v)$ چگالی احتمالی سرعت باد است. همچنین k و c پارامترهای توزیع ویبول بوده و از معادله (۶) و (۷) به دست می‌آیند [۱۸].

$$k = \left(\frac{\sigma_v}{\mu_v}\right)^{-1.086} \quad (6)$$

$$c = \frac{\mu_v}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (7)$$

σ_v و μ_v انحراف معیار و میانگین سرعت باد و $\Gamma(x)$ تابع گاما بوده و به صورت رابطه (۸) توصیف می‌شود:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt \quad (8)$$

توان الکتریکی حاصل از وزش باد، P_{Wind} ، تابعی از پارامترهای توربین بوده که در معادله (۹) آورده شده است [۱۸].

$$P_{Wind} = \begin{cases} 0 & V < V_{cut\ in} \\ P_{rated} \left(\frac{V - V_{rated}}{V_{rated} - V_{cut\ in}}\right) & V_{cut\ in} \leq V < V_{rated} \\ P_{rated} & V_{rated} \leq V < V_{cut\ out} \\ 0 & V_{cut\ out} \leq V \end{cases} \quad (9)$$

P_{Wind} توان خروجی توربین بادی، V سرعت باد، $V_{cut\ in}$ سرعت قطع پایین، V_{rated} سرعت نامی، $V_{cut\ out}$ سرعت قطع بالا و P_{rated} توان نامی توربین هستند.

۳-۳- مدل احتمالاتی رفتار خطوط تغذیه ریزشبهه

یکی از مزایای ریزشبهه‌ها، امکان درخواست برق از شبکه اصلی می‌باشد. درحالی‌که تقاضا و تولید در شبکه اصلی احتمالاتی است، مقدار توان تحویلی به ریزشبهه نیز احتمالاتی خواهد بود. تابع توزیع احتمال تحویل توان در معادله (۱۰) تعریف شده است.

$$f(P_{inj}) = \left(\frac{1}{\sigma_{P_{inj}} \sqrt{2\pi}}\right) e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{P_{inj} - \mu_{P_{inj}}}{\sigma_{P_{inj}}}\right)^2} \times f_{access} \quad (10)$$

جایی که $f(P_{inj})$ چگالی احتمال میزان توان تزریقی به ریزشبهه، P_{inj} میزان تزریق توان، $\mu_{P_{inj}}$ و $\sigma_{P_{inj}}$ میانگین و انحراف معیار و f_{access} امکان دسترسی به شبکه اصلی است.

در این مقاله، برای رفع این چالش‌ها در برنامه‌ریزی تولید، به ارائه یک مدل قوی با استفاده از خودروهای الکتریکی که به جهت کاهش ریسک‌های خاموشی و کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی پرداخته می‌شود. برای این کار، انتخاب نوع، مکان، زمان و میزان تولید واحدهای تجدیدپذیر با در نظر گرفتن ریسک تحویل توان آن‌ها، انتخاب مکان، زمان و میزان خرید انرژی از واحدهای بالادست با در نظر گرفتن احتمال وجود مازاد در شبکه‌های اصلی و انتخاب مکان، زمان و میزان شارژ یا دشارژ خودروهای الکتریکی به صورت هم‌زمان بهینه‌سازی شده تا اهداف معینی از جمله کاهش ریسک‌های مختملف، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، کاهش هزینه‌های اقتصادی و توزیع هوشمندانه تولید برآورده گردد.

برای رسیدن به این مدل، ابتدا ساختار احتمالاتی هر یک از اجزا تعریف و سپس برای رسیدن به شاخص‌های اهداف، در بستر فضای مسئله به صورت یکپارچه مدل‌سازی می‌شوند.

۳- مدل احتمالاتی رفتار اجزای ریزشبهه

در این بخش به بررسی رفتار احتمالاتی هر یک از اجزای ریزشبهه و تشریح بستر ایجاد فضای مسئله پرداخته می‌شود.

۳-۱- مدل احتمالاتی رفتار تولید فتوولتائیک

تولید فتوولتائیک به متغیرهای مختلفی از جمله شدت تابش خورشید بستگی دارد. تابش خورشید تصادفی بوده و در نتیجه توان فتوولتائیک نیز احتمالاتی است. تحقیقات نشان می‌دهد که شدت تابش را می‌توان برای زمان‌های کوتاه، توسط تابع توزیع بتا توصیف نمود [۱۵].

$$f(r) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \left(\frac{r}{r_{max}}\right)^{\alpha-1} \left(1 - \frac{r}{r_{max}}\right)^{\beta-1} \quad (1)$$

جایی که $f(r)$ چگالی احتمال تابش، $\Gamma(x)$ تابع گاما، r شدت تابش خورشیدی و r_{max} حداکثر مقدار آن می‌باشد. α و β نیز پارامترهای تابع احتمالاتی بتا هستند که از معادلات زیر به دست می‌آیند:

$$\mu_r = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad (2)$$

$$\sigma_r = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)} \quad (3)$$

از این‌رو؛ تابع توزیع احتمالاتی تولید فتوولتائیک از معادله (۴) به دست می‌آید.

$$f(P_{pv}) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \left(\frac{P_{pv}}{P_{pv}^{max}}\right)^{\alpha-1} \left(1 - \frac{P_{pv}}{P_{pv}^{max}}\right)^{\beta-1} \quad (4)$$

جایی که $f(P_{pv})$ چگالی احتمالی تولید فتوولتائیک، P_{pv} توان فتوولتائیک و P_{pv}^{max} حداکثر مقدار آن است.

۴- اهداف مسئله

در این مقاله اهداف مختلفی برای زمان بندی تولید از جمله کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی، کاهش هزینه‌های ریسک، توزیع هوشمندانه توان و افزایش استقلال ریزشبکه در نظر گرفته شده است.

۴-۱- کاهش هزینه‌های تولید

این هزینه شامل هزینه تولیدات مختلف و توان خریداری شده از شبکه‌های اصلی می‌باشد.

۴-۱-۱- هزینه تولید توان در ژنراتور دیزل

$$C(P_{diesel}) = \sum_{i=1}^{nd} (a_{di} P_{diesel_i}^2 + b_{di} P_{diesel_i} + c_{di}) \quad (11)$$

در این معادله $C(P_{diesel})$ هزینه تولید توان دیزل های ریز شبکه، nd تعداد واحدهای دیزل، P_{diesel} تولید توان واحد دیزل و a_d و b_d و c_d پارامترهای هزینه تولید دیزل هستند [۱۶].

۴-۱-۲- هزینه تولید توان در واحدهای بادی

$$C(P_{wind}) = \sum_{i=1}^{nw} (g_i P_{wind_i}) \quad (12)$$

که در آن $C(P_{wind})$ هزینه تولیدات توان بادی ریز شبکه، P_{wind} توان تولیدی توسط واحدهای بادی، nw معرف تعداد واحدهای بادی و پارامتر g مربوط به هزینه عملیاتی و نگهداری است [۱۶].

۴-۱-۳- هزینه تولید توان در واحدهای فتوولتائیک

$$C(P_{pv}) = \sum_{i=1}^{np} (h_i P_{pv_i}) \quad (13)$$

در معادله (۱۳)، $C(P_{pv})$ هزینه تولیدات توان فتوولتائیک یک ریز شبکه P_{pv} توان تولیدی فتوولتائیک، np تعداد واحدهای فتوولتائیک و پارامتر h مربوط به عملکرد و نگهداری پانل‌های فتوولتائیک است [۱۶].

۴-۱-۴- هزینه خرید انرژی از شبکه‌های بالادست

$$C(P_{inj}) = \sum_{i=1}^{nl} (d_i P_{inj_i}) \quad (14)$$

$C(P_{inj})$ هزینه توان‌های تزریقی از شبکه‌های بالادست به ریز شبکه، P_{inj} توان تزریق شده از شبکه‌های اصلی بالادست، nl تعداد خطوط متصل به این شبکه‌ها و d_i پارامتر مربوط به هزینه تزریق توان است.

۴-۲- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای

استفاده از واحدهای دیزل باعث افزایش انتشار گاز کربن و در نتیجه افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود. لذا کاهش آن، مورد توجه قرار گرفته شده است. معادله (۱۵) هزینه مالیات انتشار کربن را مدل‌سازی کرده است [۱۶].

$$C(Emission) = \sum_{i=1}^n (\gamma_{Ei} P_{diesel_i}^2 + \beta_{Ei} P_{diesel_i} + \alpha_{Ei}) \times 0.01 + \omega_{Ei} e^{P_{diesel_i} \times \mu_{Ei}} \quad (15)$$

که در آن $C(Emission)$ مالیات انتشار کربن در ریزشبکه، β_{Ei} ، γ_{Ei} ، α_{Ei} و ω_{Ei} ضرایب انتشار کربن برای واحد دیزل نام در ریزشبکه می‌باشند.

۴-۳- افزایش استقلال ریزشبکه

یکی از مزایای ریزشبکه، داشتن یک سیستم قدرت منسجم با کمترین نیاز از شبکه اصلی است. با استفاده از زمان بندی تولید بهینه، ریزشبکه‌ها باید با تولید محلی تا حد امکان به تقاضای مصرف‌کننده پاسخ داده و در غیر این صورت به شبکه اصلی متصل شوند. استقلال ریزشبکه زمانی به حداکثر می‌رسد که این اتصال به حداقل برسد.

$$T_{connect} = \sum_{j=1}^{nl} \sum_{t=1}^T \beta_{connect_{jt}} \quad (16)$$

$$\beta_{connect} = \begin{cases} 0 & \text{if microgrid disconnected} \\ 1 & \text{if microgrid is connected} \end{cases} \quad (17)$$

در روابط داده‌شده، $T_{connect}$ مدت‌زمان اتصال ریز شبکه به شبکه‌های بالادست، T ، زمان بهره‌برداری و nl تعداد خطوطی است که به شبکه اصلی متصل شده‌اند.

۴-۴- کاهش هزینه ریسک تولیدات ریزشبکه

از آنجایی که در ریزشبکه‌ها از تولیدات تجدیدپذیر با عدم قطعیت جلا استفاده می‌شود، هر نوع انتخاب میزان و نحوه تولید، دارای یک ریسک تحویل توان بوده که در این مقاله بدان توجه ویژه‌ای شده است. سخت‌گیری و یا تسهیل در انتخاب توان تولیدی بدون در نظر گرفتن این ریسک، ریزشبکه را با چالش‌هایی مواجه خواهد ساخت. با تعیین بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید ریزشبکه با توجه به شاخص ریسک تحویل، میزان احتمال تأمین توان در محاسبات منظور شده و هزینه جبران نیز بهینه می‌گردد. شاخص معرفی شده در رابطه (۱۸)، میزان ریسک تولید، $Risk(P_G)$ ، را برای توان‌های مختلف در تولیدات متفاوت نمایش می‌دهد.

$$Risk(P_G) = P_G \times F(P_G) = P_G \times (1 - \int_0^{P_G} f_{P_G}(x) dx) \quad (18)$$

P_G میزان توان درخواستی از یک نوع تولید خاص، f_{P_G} تابع چگالی احتمال تولید و F تابع توزیع تجمعی همان نوع تولید هستند. برنامه‌ریزی توان، باید به نحوی انجام شود که تولید، ریسک جلاپی نداشته باشد.

۴-۵- توزیع هوشمندانه توان در سطح ریزشبکه

توزیع هوشمندانه توان تولیدی در ریز شبکه از جنبه‌های مختلف از جمله کاهش تلفات، افزایش قابلیت‌اطمینان، امنیت و ... مفید است. در خرابی‌های احتمالی، هرچه فرآیند توزیع توان تولیدی کارآمدتر باشد، توانایی سیستم در تأمین تقاضا بهتر است. معادله (۱۹) شاخص توزیع تولید توان، E_{lp} ، را در این مقاله نشان می‌دهد.

$$E_{lp} = \sum_{i=1}^n (\alpha_i \times f_{loss_i} \times (P_{Demand_i} - P_{G_i}^{acs})) \quad (19)$$

$$\alpha = \begin{cases} 1 & P_{Demand} > P_{G_i}^{acs} \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (20)$$

اهداف مسئله متنوع می‌باشد، یک الگوریتم فازی در ترکیب با سه الگوریتم GWO، FA و PSO برای ادغام اهداف استفاده می‌شود. در این روش، برای الگوریتم فازی، از توابع عضویت خطی استفاده شده است که برای بهترین پاسخ هر یک از اهداف مقدار صفر و برای بدترین پاسخ آن، مقدار یک اطلاق می‌شود. بهترین و بدترین پاسخ مربوط به هر هدف توسط ناظر خبره تعیین می‌گردد. سپس برای افزایش تأثیر تغییرات بزرگ در پاسخ نهایی از تابع درجه دوم بر روی تمام توابع عضویت بهره‌گیری می‌شود. در نهایت نیز مجموع مقادیر توابع عضویت تمامی اهداف کمینه گردیده است.

در ادامه توابع عضویت فازی تعریف شده و سپس مجموع این توابع در سه الگوریتم پیشنهادی قرار می‌گیرد.

$$G_1 = C(P_{diesel}) + C(P_{inj}) \quad (24)$$

$$+ C(P_{wind}) + C(P_{pv}) + C(Emission) \quad (24)$$

$$G_2 = Risk(P_G) \quad (25)$$

$$G_3 = E_{lp} \quad (26)$$

$$G_4 = T_{connect} \quad (27)$$

$$G_5 = S_{changing} \quad (28)$$

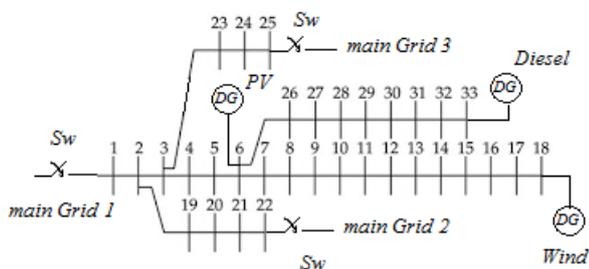
$$Min \text{ Fuzzy Fitness} = \sum \alpha_i \mu_i^2 (G_i) \quad (29)$$

که در آن، G_i هدف نام، μ_i تابع عضویت فازی و α_i ضرایب اهمیت هدف می‌باشند.

در توابع عضویت فازی، ارزش هر هدف با یک مقدار مینیمم و ماکزیمم از همان جنس مقایسه و سپس یک مقدار بدون واحد به آن پاسخ داده می‌شود. پس از ارزش‌گذاری هر هدف، مقادیر بدون واحد با یکدیگر ترکیب و در نهایت ارزش نهایی پاسخ کاندید بدست می‌آید.

۶- شبیه‌سازی و نتایج

به منظور اعتبارسنجی مدل ارائه شده در این مقاله، و برای ارزیابی نتایج، از سیستم 33-Bus IEEE به عنوان یک ریزشبكة استفاده شده است. شکل (۱) شبکه تست مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل (۱): شبکه تست نمونه ۳۳ باسه IEEE ریزشبكة

این ریزشبكة قادر است با استفاده از کلیدهای تعبیه شده در سه باس ۱، ۲۲ و ۲۵ به شبکه‌های اصلی متصل شود. این خطوط برق زمانی که تولید ریزشبكة کافی نیست، می‌توانند تقاضای مورد نیاز سیستم را تأمین نمایند. دو واحد انرژی‌های تجدیدپذیر - فتوولتائیک و بادی - به ترتیب در باس‌های ۶ و ۱۸ و یک واحد دیزل در باس ۳۳ قرار دارد.

که در آن f_{loss} احتمال خرابی و $P_{G^{acs}}$ میزان تولید برق قابل دسترس در زمان خرابی و P_{Demand} میزان تقاضا است.

۴-۶- هزینه شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی

یکی از اهداف این طرح، مشارکت خودروهای الکتریکی در کاهش ریسک تولیدات ریزشبكة می‌باشد. برای مشارکت صاحبان خودرو و مالکین پارکینگ‌های الکتریکی بایستی هزینه این مشارکت به نحوی تأمین گردد. از این رو معادله (۲۱) هزینه جبران این هم‌کاری را بیان می‌کند.

$$C(P_{ch}) = \sum_{i=1}^{npar} (k_i P_{ch_i}) \quad (21)$$

در معادله (۲۱)، $C(P_{ch})$ هزینه شارژ و دشارژ در پارکینگ‌های ریزشبكة، P_{ch} توان شارژ یا دشارژ شده از پارکینگ خودروهای الکتریکی، $npar$ تعداد پارکینگ خودروهای الکتریکی و پارامتر k مربوط به هزینه مشارکت در شارژ و دشارژ خودروها است.

۴-۷- افزایش پایداری ریزشبكة

از مشکلاتی که معمولاً برای ریزشبكة‌ها به علت سطح کوچک بهره‌برداری در آن‌ها رخ می‌دهد، چالش نوسانات ناپایدارکننده است. هر نوع نوسانی شامل سوئیچ‌زنی می‌تواند مشکلات عدیده‌ای را برای سیستم ایجاد نماید. از این رو در این مقاله به کاهش تغییرات ناگهانی امکان در ریزشبكة پرداخته می‌شود. جهت دوری از پیچیدگی و اثبات کارایی مدل، در طرح اولیه تنها کاهش سوئیچ‌زنی خطوط مدنظر قرار گرفته است. اما به راحتی می‌توان این مدل را به تمامی تغییرات تعمیم داد.

$$S_{changing} = \sum_{j=1}^{nl} \sum_{t=1}^T \delta_{changing_{jt}} \quad (22)$$

$$\delta_{changing} = \begin{cases} 0 & \text{if } status(j, t) = status(j, t-1) \\ 1 & \text{if } status(j, t) \neq status(j, t-1) \end{cases} \quad (23)$$

که در این روابط $S_{changing}$ تغییر وضعیت‌ها در مدت‌زمان بهره‌برداری T ، $status(j, t)$ وضعیت جزء j ام در زمان t ام و $status(j, t-1)$ وضعیت همان جزء در زمان $t-1$ است.

۵- روش بهینه‌سازی

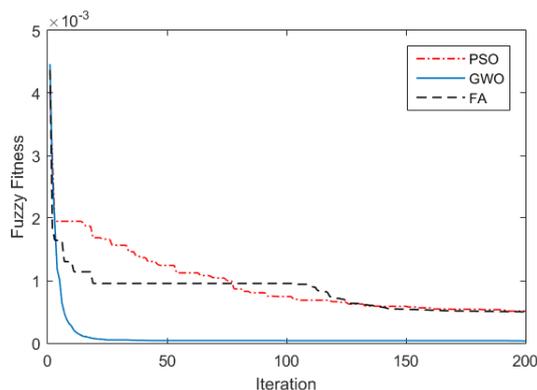
با توجه به نوع مسئله ارائه شده در این مقاله، الگوریتم‌های تکاملی می‌توانند کمک بزرگی در یافتن بهترین پاسخ برای آن‌ها باشند. از بین روش‌های مختلف این الگوریتم‌ها، بهینه‌سازی گرگ خاک‌ستری (GWO)، الگوریتم کرم شبتاب (FA) و بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) عملکرد خوبی در دقت و سرعت دارند. در این مقاله از این سه روش برای به دست آوردن پاسخ بهینه استفاده شده است. از آنجایی که

Iteration

جدول (۴): نتایج توابع عضویت در سناریو اول

	Fuzzy Membership		Fuzzy Fitness
	Cost		
GWO	0.0059		3.5×10^{-5}
PSO	0.0226		5.11×10^{-4}
FA	0.0188		5.0077×10^{-4}

نمودار همگرایی سه روش بهینه‌سازی الگوریتم ازدحام ذرات، گرگ خاکستری و کرم شب‌تاب در ترکیب با الگوریتم فازی در شکل (۲) آمده است.



شکل (۲): نمودار همگرایی الگوریتم‌های PSO، GWO و FA در سناریوی اولیه

ب: سناریو دوم: برنامه‌ریزی تولید ریزشبه بر اساس

هزینه و توزیع هوشمندانه توان

در سناریوی دوم علاوه بر هزینه، شاخص توزیع هوشمندانه توان در سطح ریزشبه نیز در نظر گرفته شده است. نتایج این شبیه‌سازی در جداول (۵) و (۶) نشان داده شده است.

جدول (۵): نتایج شبیه‌سازی در سناریو دوم

Algorithm	GWO	PSO	FA
Fuzzy Fitness	0.0080	0.0052	0.0055
Convergence Iteration	200	181	132

جدول (۶): نتایج توابع عضویت در سناریو دوم

	Fuzzy Membership		Fuzzy Fitness
	Cost	ELP	
GWO	0.0534	0.0717	0.0080
PSO	0.0540	0.0479	0.0052
FA	0.0548	0.0495	0.0055

شکل (۳): نمودار همگرایی روش‌های بهینه‌سازی را نامحاش می‌دهد.

برای کاهش ریسک واحدهای تجدیدپذیر، پارکینگ خودروهای برقی بر روی باس‌های ۶ و ۱۸ قرار گرفته‌اند.

پارامترهای هزینه تولید دیزل با توجه به مرجع [۱۶] در جدول (۱) آورده شده است. پارامتر مربوط به توان خریداری شده از شبکه‌های بالادست اصلی $d=6$ در نظر گرفته شده است.

جدول (۱): پارامترهای هزینه تولید توان و انتشار کربن واحد دیزل [۱۶]

a	b	c	γ_E	β_E	α_E	ω_E	μ_E
0	3.25	0.00834	3.38	-3.55	5.326	0.002	2

در واحدهای تجدیدپذیر، حداقل احتمال تولید که می‌تواند در پرو سه بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید قرار گیرد، $f_{min} = 50\%$ در نظر گرفته می‌شود. این بدان معناست که در هر زمان، فقط آن دسته از تولیدکنندگان توان می‌توانند در بهینه‌سازی شرکت کنند که احتمال تحویل توان آن‌ها بیش از ۵۰ درصد باشد. پارامتر هزینه تولید برق بادی $g=1/75$ و پارامتر هزینه تولید برق فتوولتائیک $h=1/6$ است [۱۶].

در این مقاله مدت‌زمان برنامه‌ریزی تولید ۲۴ ساعت در نظر گرفته شده است. پیک بار هر باس مطابق با مرجع [۱۹] برای شبکه ۳۳ باسه IEEE بوده و نسبت بار مصرفی به اوج بار برای هر ساعت از دوره بهره‌برداری در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲): نسبت مصرف بار به پیک بار برای ساعات بهره‌برداری

H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
0.33	0.33	0.33	0.33	0.4	0.4	0.5	0.55
H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16
0.55	0.55	0.6	0.6	0.6	0.6	0.55	0.55
H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
0.6	0.7	1	1	1	1	0.7	0.5

به‌منظور ارائه بهتر مدل پیشنهادی، سناریوهای متعددی تعریف و سپس نتایج بدست آمده، بررسی می‌شوند. در این سناریوهای پنج‌گانه، اهداف مختلف مسئله بررسی می‌شود. این سناریوها با سه الگوریتم GWO، PSO و FA بهینه‌سازی و مقایسه شده‌اند. در این مقایسه، شاخص تکرار همگرایی به معنای تکراری است که در آن الگوریتم در ۲ درصد مقدار نهایی خود قرار دارد. حداکثر تکرار هر الگوریتم ۲۰۰ در نظر گرفته می‌شود.

نرم‌افزار مورد استفاده در شبیه‌سازی این مقاله، نرم‌افزار MATLAB می‌باشد که کدنویسی بر بستر آن انجام پذیرفته است.

الف: سناریو اولیه: برنامه‌ریزی تولید ریزشبه بر

اساس هزینه

در این سناریو، همانند پژوهش‌های گذشته، زمان‌بندی تولید فقط بر اساس هزینه است. نتایج این شبیه‌سازی در جدول (۳) و (۴) نشان داده شده است.

جدول (۳): نتایج شبیه‌سازی در سناریو اول

Algorithm	GWO	PSO	FA
Fuzzy Fitness	3.5×10^{-5}	5.11×10^{-4}	5.0077×10^{-4}
Convergence	199	192	180

در سناریوی چهارم، ریسک تأمین توان در کنار سایر اهداف موردتوجه قرار می‌گیرد. برای بهبود این شاخص، از حضور خودروهای الکتریکی در زمان‌بندی تولید استفاده شده است. این حضور باعث می‌شود در زمان‌هایی که احتمال تحویل توان در کنار میزان تولید، بالا باشد، خودروها شارژ شده و پتانسیل جایگزینی و دشارژ در زمان‌ها با عدم قطعیت تولید پایین گردند. با این نکته، ریسک مورد بحث در مدل پیشنهادی کاهش می‌یابد. نتایج این شبیه‌سازی در جداول (۹) و (۱۰) نشان داده شده است.

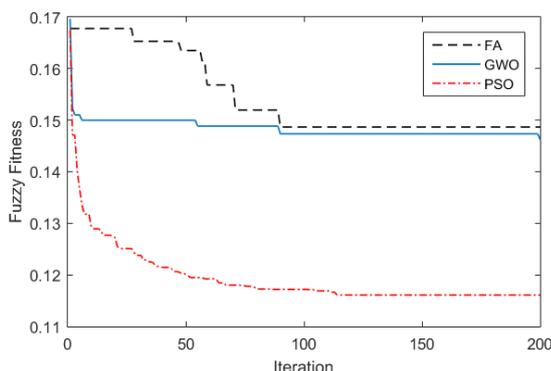
جدول (۹): نتایج شبیه‌سازی در سناریوی پیشنهادی

Algorithm	GWO	PSO	FA
Fuzzy Fitness	0.1462	0.1161	0.1487
Convergence Iteration	55	67	90

جدول (۱۰): نتایج توابع عضویت در سناریوی پیشنهادی

	Fuzzy Membership				Fuzzy Fitness
	Cost	ELP	T _{Connect}	Risk	
GWO	0.0712	0.0952	0.0986	0.35	0.1462
PSO	0.0899	0.1043	0.0875	0.30	0.1161
FA	0.0726	0.098	0.875	0.36	0.1487

شکل (۵) نمودار همگرایی روش‌های بهینه‌سازی را نشان می‌دهد.

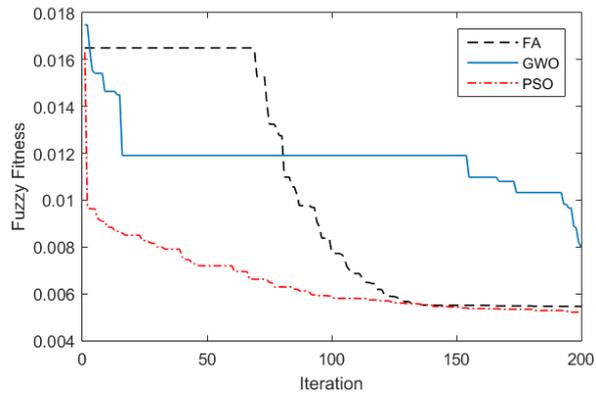


شکل (۵): نمودار همگرایی الگوریتم‌های GWO, PSO و FA در سناریوی چهارم

ی: سناریو نهایی؛ مدل کامل شده پیشنهادی: برنامه‌ریزی تولید ریزشبهه با در نظر گرفتن ریسک تأمین توان با استفاده از خودروهای الکتریکی در کنار کاهش هزینه، توزیع هوشمندانه توان و افزایش استقلال و پایداری ریزشبهه

در سناریوی نهایی، بهبود پایداری ریزشبهه از طریق کاهش تغییرات سیستم نیز به اهداف مدل پیشنهادی افزوده شده است. بدین ترتیب مدل نهایی مسئله بدست می‌آید. همان‌طور که در سناریوی چهارم مطرح شد، خودروهای الکتریکی در این سناریو نقش مهمی در بهبود ویژگی‌های ریزشبهه از جمله افزایش استقلال، کاهش ریسک و بهبود پایداری دارند.

نتایج این شبیه‌سازی در جداول (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است.



شکل (۳): نمودار همگرایی الگوریتم‌های GWO, PSO و FA در سناریوی دوم

ج: سناریو سوم: برنامه‌ریزی تولید ریزشبهه بر اساس

هزینه، توزیع هوشمندانه توان و استقلال ریزشبهه

در سناریوی سوم، هزینه، توزیع هوشمندانه توان و استقلال ریزشبهه برای بهینه‌سازی مهم هستند. نتایج این شبیه‌سازی در جداول (۷) و (۸) نشان داده شده است.

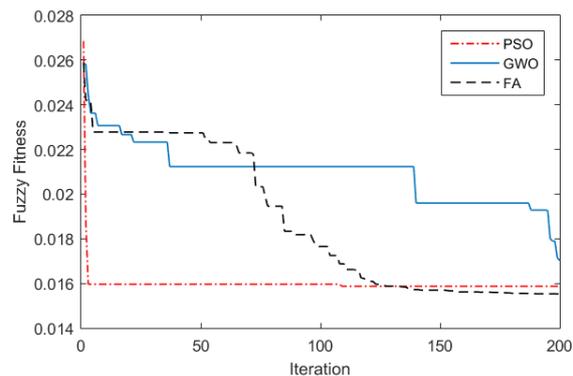
جدول (۷): نتایج شبیه‌سازی در سناریو سوم

Algorithm	GWO	PSO	FA
Fuzzy Fitness	0.0170	0.0159	0.0155
Convergence Iteration	199	3	136

جدول (۸): نتایج توابع عضویت در سناریو سوم

	Fuzzy Membership			Fuzzy Fitness
	Cost	ELP	T _{Connect}	
GWO	0.0538	0.0663	0.0986	0.0170
PSO	0.0705	0.0647	0.0819	0.0159
FA	0.0551	0.05	0.1	0.0155

شکل (۴) نمودار همگرایی روش‌های بهینه‌سازی را نمایش می‌دهد.



شکل (۴): نمودار همگرایی الگوریتم‌های GWO, PSO و FA در سناریوی سوم

د: سناریو چهارم: برنامه‌ریزی تولید ریزشبهه با در نظر

گرفتن ریسک تأمین توان با استفاده از خودروهای الکتریکی در کنار کاهش هزینه، توزیع هوشمندانه توان و افزایش استقلال ریزشبهه

H3	475	95%	70	90%	0	100%
H4	650	95%	529	90%	0	100%
H5	981	95%	707	90%	270	85%
H6	624	95%	141	90%	0	100%
H7	1321	95%	243	90%	0	100%
H8	1362	95%	188	90%	179	85%
H9	1351	95%	505	90%	347	85%
H10	1083	95%	532	90%	0	100%
H11	1472	94%	84	90%	0	100%
H12	980	95%	237	90%	146	85%
hour	Main Grid 1		Main Grid 2		Main Grid 3	
	Pw (kw)	Pb %	Pw (kw)	Pb %	Pw (kw)	Pb %
H13	1598	95%	189	90%	32	85%
H14	1605	95%	249	90%	55	85%
H15	1264	95%	151	90%	35	85%
H16	1292	95%	233	90%	184	85%
H17	1532	95%	221	90%	245	85%
H18	1841	95%	605	90%	96	85%
H19	2316	94%	647	90%	660	85%
H20	2639	94%	1126	90%	0	100%
H21	2222	95%	1012	90%	605	85%
H22	1484	95%	1285	90%	447	85%
H23	1271	95%	15	90%	526	85%
H24	1276	95%	211	90%	67	85%

جدول (۱۱): نتایج شبیه‌سازی در سناریوی پیشنهادی

Algorithm	GWO	PSO	FA
Fuzzy Fitness	0.1449	0.1144	0.1483
Convergence Iteration	13	104	112

جدول (۱۲): نتایج توابع عضویت در سناریوی پیشنهادی

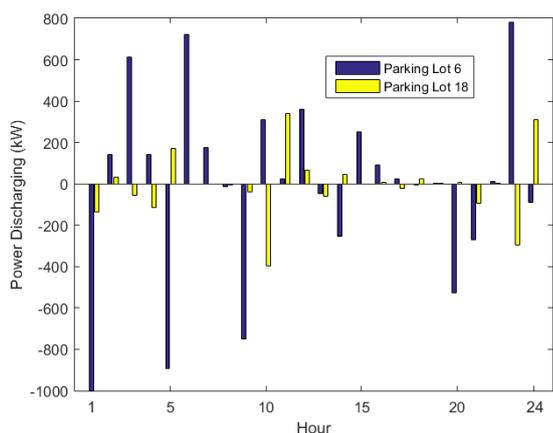
	Fuzzy Membership					Fuzzy Fitness
	Cost	ELP	T _{Connect}	S _{changing}	Risk	
GWO	0.07	0.13	0.1	0	0.34	0.1462
PSO	0.09	0.10	0.09	0.3	0.30	0.1144
FA	0.07	0.08	0.1	0	0.36	0.1483

در بین سه الگوریتم PSO، FA و GWO، الگوریتم ازدحام ذرات بهترین دقت را دارد. برنامه زمان‌بندی تولید برگرفته از الگوریتم PSO در جداول (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است. در این جدول، تولید برق هر واحد (Pw) به همراه احتمال آن (Pb) در طول دوره بهره‌برداری آورده شده است.

جدول (۱۳): نتایج برنامه‌ریزی تولید بهینه واحدهای بادی، فتوولتاییک و دیزل توسط PSO

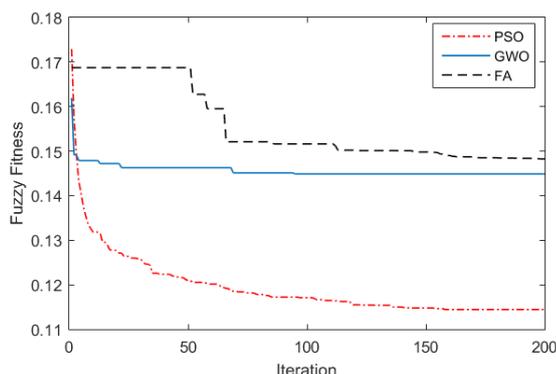
Hour	PV		Wind		Diesel (kw) Pb=75%
	Pw (kw)	Pb %	Pw (kw)	Pb %	
H1	0	100%	166	97%	206
H2	0	100%	196	97%	0
H3	0	100%	125	95%	0
H4	0	100%	20	92%	0
H5	0	100%	17	67%	233
H6	0	100%	0	100%	0
H7	117	96%	0	100%	0
H8	269	97%	0	100%	62
H9	430	98%	0	100%	200
H10	446	99%	0	100%	70
H11	307	98%	0	100%	0
H12	439	97%	0	100%	0
H13	515	98%	0	100%	0
H14	526	99%	0	100%	0
H15	343	99%	0	100%	0
H16	232	98%	0	100%	0
H17	131	95%	0	100%	97
H18	0	100%	39	66%	0
H19	0	100%	48	81%	36
H20	0	100%	0	100%	470
H21	0	100%	240	84%	0
H22	0	100%	458	86%	22
H23	0	100%	171	94%	134
H24	0	100%	81	96%	0

میزان شارژ و دشارژ بهینه خودروهای الکتریکی جهت کاهش ریسک و بهبود عملکرد ریزش‌بکه نیز در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶): میزان بهینه شارژ و دشارژ پارکینگ خودروهای الکتریکی در سناریوی پیشنهادی

نمودار همگرایی سه روش بهینه‌سازی الگوریتم ازدحام ذرات، گرگ خاکستری و کرم شب‌تاب در ترکیب با الگوریتم فازی در شکل (۷) آمده است.



با توجه به نتایج شبیه‌سازی، الگوریتم در کنار تولید توان واحدهای بادی، فتوولتاییک و دیزل، به منظور جبران بخشی از توان مصرفی موردنیاز ریزش‌بکه بر اساس اهداف تعیین‌شده، اقدام به خرید انرژی از شبکه‌های بالادست کرده که برنامه‌ریزی آن در جدول (۱۴) آمده است.

جدول (۱۴): نتایج برنامه‌ریزی تولید بهینه خرید انرژی از شبکه‌های بالادست توسط GWO

Hour	Main Grid 1		Main Grid 2		Main Grid 3	
	Pw (kw)	Pb %	Pw (kw)	Pb %	Pw (kw)	Pb %
H1	837	95%	600	90%	551	85%
H2	768	95%	64	90%	23	85%

از آنجایی که سرمایه اولیه خرید خودروهای الکتریکی تو سط صاحبان آن‌ها و برای حمل‌ونقل پرداخته شده، استفاده مضاعف از این خودروها در شبکه برق، بهره‌وری اقتصادی بالایی را برای شرکت به همراه خواهد داشت. از این‌رو، برای ایجاد انگیزه در صاحبان خودروها جهت مشارکت در طرح‌های شرکت برق، باید مطلوبیت کافی به وجود آورده شود. در این مقاله، این هدف از طریق ایجاد بازار خریدوفروش انرژی حاصل گردیده است.

مراجع

- [1]. S. Chandak, P. K. Rout, "The implementation framework of a microgrid: A review," *International Journal of Energy Research*, 45(3): 1-25, 2020.
- [2]. M. Tasto-veliz, P. Arevalo, F. Jurado, "A comprehensive electrical-gas-hydrogen Microgrid model for energy management applications," *Energy Conversion and Management*, 228: 1-13, 2021.
- [3]. S. AL-Ismail, "DC Microgrid Planning, Operation, and Control: A Comprehensive Review," *IEEE Access*, 9: 36154- 36172, 2021.
- [4]. SK. A. Shezan, "Feasibility analysis of an islanded hybrid wind-diesel-battery microgrid with voltage and power response for offshore Islands," *Journal of Cleaner Production* 288, 2021.
- [5]. C. Huang, H. Zhang, Y. Song, L. Wang, T. Ahmad, X. Luo, "Demand response for industrial micro-grid considering photovoltaic power uncertainty and battery operational cost," *IEEE Transactions on Smart Grid*, Early Access, 2021.
- [6]. X. Wen, D. Abbes, B. Francois, "Modeling of photovoltaic power uncertainties for impact analysis on generation scheduling and cost of an urban micro grid," *Mathematics and Computers in Simulation*, 183: 116-128, 2021.
- [7]. M. Gaber and R. A. Ibrahim, "Data-Driven Optimal Generation Scheduling Applying Uncertainty in Microgrid," *8th International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA)*, Singapore, 2024.
- [8]. T. Hai, M. Aksoy, A. Rezvani, "Optimal energy management and scheduling of a microgrid considering hydrogen storage and PEMFC with uncertainties," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 88, 2024.
- [9]. V. Dinesh Kumar, S. Siva Subramanian, V. Tamilselvan, "An efficient day-ahead cost-based generation scheduling of a multi-supply microgrid using a balancing composite motion optimization (BCMO) approach," *Solar Energy*, Vol. 269, 2024.
- [10]. A. S. Alghamdi, "Microgrid energy management and scheduling utilizing energy storage and exchange incorporating improved gradient-based optimizer," *Journal of Energy Storage*, Vol. 97, 2024
- [11]. Wang, Z. Zhang, O. Abedinia, S. Gholami-Farkoush, "Modeling and analysis of a microgrid considering the uncertainty in renewable energy resources, energy storage systems and demand management in electrical retail market," *Journal of Energy Storage*, 33, 2021.
- [12]. M. N. Acosta, F. Gonzalez-Longatt, D. Topic, M. A. Andrade, "Optimal Microgrid-Interactive Reactive Power

شکل (۷): نمودار همگرایی الگوریتم‌های PSO، GWO و FA در سناریوی نهایی

۷- بحث و بررسی

با اجرای مدل پیشنهادی این مقاله، شاخص‌های ریزشبهه که مورد هدف گذاری واقع شده، بهبود قابل‌ملاحظه‌ای می‌کنند که میزان این بهبود در جدول (۱۵) بیان شده است.

جدول (۱۵)، مقایسه وضعیت شاخص‌های ریزشبهه در سناریوهای

اولیه و نهایی

شاخص	$\mu(\text{Schanging})$	$\mu(\text{ELP})$	$\mu(\text{T Connect})$	$\mu(\text{Risk})$
سناریو اولیه	*	0.24	0.10	0.51
سناریو نهایی	0.02	0.10	0.09	0.29
بهبود(درصد)	*	58%	10%	43%

همان‌طور که مشخص است بر اساس برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ صورت گرفته خودروهای الکتریکی، به همراه استفاده از ظرفیت واحدهای تجدیدپذیر عملکرد سیستم در کاهش ریسک، افزایش استقلال ریزشبهه و توزیع هوشمندانه موفقیت‌آمیز بوده است. در مورد عملکرد تغییرات ($\mu(\text{Schanging})$) نیز لازم به توضیح است که در سناریو اولیه، ریزشبهه تماماً وابسته به شبکه بالادست بوده و عملاً کلیدزنی رخ نمی‌دهد تا میزان آن بهینه گردد. اما در سناریو نهایی با کاهش وابستگی، این تغییرات نیز تا حد امکان کمینه می‌شوند.

در میان الگوریتم‌های بهینه‌سازی، بهترین عملکرد دقت مربوط به الگوریتم ازدحام ذرات و پس‌از آن الگوریتم کرم شبتاب و الگوریتم گرگ خاکستری عملکرد تقریباً یکسانی داشته‌اند.

۸- نتیجه‌گیری

ریزشبهه‌ها یکی از مفاهیم مهم در سیستم قدرت بوده که می‌توانند در زمینه شبکه‌های هوشمند مورد استفاده قرار گیرند. این ریزشبهه‌ها قادرند به وسیله تولیدات محلی به‌طور مستقل از شبکه اصلی، عملکرد پایدار داشته و در نتیجه چه تحت تأثیر اتفاقات و خاموشی‌های شبکه‌های بالادست واقع شوند.

یکی از مهم‌ترین انواع این تولیدات محلی، واحدهای تجدیدپذیر هستند. این واحدها دارای ماهیت احتمالاتی بوده و چالش‌هایی را در برنامه‌ریزی تولید بوجود می‌آورند.

در این مقاله به برنامه‌ریزی تولیدات ریزشبهه با در نظر گرفتن ریسک تأمین توان از واحدهای انرژی تجدیدپذیر در حضور خودروهای الکتریکی پرداخته شده است. وجود خودروهای الکتریکی ضمن افزایش استقلال و پایداری ریزشبهه و بهبود توزیع توان در سطح آن، باعث کاهش ریسک ناشی از تولیدات تجدیدپذیر و سایر منابع می‌گردد.

بهینه‌سازی مدل پیشنهادی در این مقاله با سه الگوریتم PSO، GWO و FA و در ترکیب با الگوریتم‌های فازی صورت گرفته که در میان آن‌ها بهترین دقت مربوط به الگوریتم ازدحام ذرات می‌باشد.

- Management for Day-Ahead Operation," *Energies*, 14: 1-20, 2021.
- [13]. J. Jithendranath, D. Das, "Multi-Objective Optimal Power Flow in Islanded Microgrids with Solar PV Generation by NLTVMOPSO," *IETE Journal of Research*; Taylor and Francis, 2021.
- [14]. J. Arkhangelski, M. Abdou-Tankari, G. Lefebvre, "Day-Ahead Optimal Power Flow for Efficient Energy Management of Urban Microgrid," *IEEE Transactions on Industry Applications*, 57(2): 1285-1293, 2021.
- [15]. H. Fattahi, H. Abdi, F. Khosravi, S. Karimi, "Numerical and Analytical Solution of Probabilistic Optimal Power Flow Problems Considering Renewable Energy Resources Uncertainty," *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, 10(2): 49-72, 2019.
- [16]. P. P. Biswas, P.N. Sugathan, G. A. J. Amaratunga, "Optimal power flow solutions incorporating stochastic wind and solar power," *Energy Conversion and Management*, 148: 1134-1207, 2017.
- [17]. K. S. P. Kumar, S. Gaddada, "Statistical scrutiny of Weibull parameters for wind energy potential appraisal in the area of northern Ethiopia," *Renewables: Wind, Water, and Solar*, 2:1-15, 2015.
- [18]. M. Aien, M. Rashidinejad, M. Fotuhi Firuz-Abad, "Probabilistic optimal power flow in correlated hybrid wind-PV power systems: A review and a new approach," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 41, 2015.
- [19]. V. Vita, "Development of a Decision-Making Algorithm for the Optimum Size and Placement of Distributed Generation Units in Distribution Networks," *Energies*, 10:1-13, 2017