



بهره برداری چندهدفه شبکه توزیع دربرگیرنده توربین بادی با لحاظ نمودن کمینه سازی آلاینده‌گی زیست محیطی در شبکه

رضا صداقتی*

استادیار، گروه برق، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران.

چکیده مبسوط

مقدمه: رشد روز افزون بارهای مصرفی و ضرورت تأمین مناسب، به موقع و با قابلیت اطمینان شبکه‌های برق، ضرورت نگرش مجدد در بهره‌برداری بهینه از سیستم‌ها و خطوط برق را بیش از پیش ایجاب می‌نماید. از طرفی، در سال‌های اخیر حمایت‌های زیادی از منابع تولیدات پراکنده مبتنی بر انرژی‌های نو خصوصاً توربین‌های بادی صورت گرفته است. یکی از عمده مسأله‌های توربین‌های بادی مسأله نوسانات شدید باد و وابستگی توان خروجی به سرعت باد می‌باشد. به موازات این مشکل، در بحث مدیریت شبکه، خطای ناشی از پیش‌بینی بار مصرفی در آینده نیز می‌تواند به هر چه سخت‌تر شدن صورت مسأله بیانجامد. یکی از تکنیک‌های مناسب بدون هزینه‌گذاری اولیه، روش تجدید ساختار و توپولوژی شبکه با هدف بهبود وضع شبکه است.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق جهت بررسی مسأله تجدید ساختار و توپولوژی شبکه توزیع با حضور منابع توربین بادی به ارائه روشی نوین جهت مدیریت همزمان آن‌ها پرداخته شده است. یک تابع چند هدفه جهت دستیابی به کاهش تلفات اکتیو شبکه، کاهش هزینه‌های کلی شبکه، بهبود پروفیل ولتاژ باس‌های موجود، و کاهش میران آلاینده‌گی کل تولیدی توسط شبکه در نظر گرفته شده که به‌منظور کمینه نمودن آن از الگوریتم بهینه‌سازی کرم شب تاب بهره گرفته شده است.

نتایج و بحث: حل مسأله تجدید ساختار با در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از توربین‌های بادی لحاظ شده است. حضور منابع بادی در شبکه توانسته توابع هدف را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد.

نتیجه‌گیری: به منظور ارزیابی روش پیشنهادی شبیه‌سازی‌هایی روی شبکه ۳۲ باسه IEEE صورت گرفته که حاکی از اثرپذیری الگوریتم در نظر گرفته شده در قیاس با سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی خواهد بود. ساختار پیشنهادی دارای قدرت مناسبی جهت در نظر عدم قطعیت متغیرهای تصادفی مسأله بوده بطوری که مقدار انحراف استاندارد هر یک از توابع هدف بعد از بهینه‌سازی کاهش یافته و در حقیقت میزان اطمینان پاسخ‌های یافت شده افزایش یافته است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۶

واژه‌های کلیدی: شبکه توزیع،

آلاینده‌گی زیست محیطی، توربین

بادی، تجدید ساختار، الگوریتم کرم

شب تاب.

نویسنده مسئول: رضا صداقتی

نشانی: شیراز، بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بیضا، دانشکده مهندسی برق، گروه قدرت. تلفن: ۰۹۱۷۳۳۴۷۰۶۸. پست الکترونیکی: reza.sedaghati@iau.ac.ir

استاد: رضا صداقتی. بهره برداری چندهدفه شبکه توزیع دربرگیرنده توربین بادی با لحاظ نمودن کمینه سازی آلاینده‌گی زیست محیطی در شبکه. پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۲؛ ۱ (۳)، ۴۰-۲۸.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

در فصلنامه پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



در اینجا جهت یافتن بهترین داده‌های آموزشی برای شبکه عصبی، روش خوشه‌بندی داده‌ها استفاده گردیده است. دیباپرایا (۲۰۱۶) با استفاده از تئوری فازی به حل مسأله تجدید ساختار پرداخت. تحقیق مشابهی توسط آهاجا با استفاده از الگوریتم تکاملی ژنتیک جهت حل مسأله تجدید ساختار صورت پذیرفت (آهوچا و همکاران ۲۰۱۹). منابع انرژی تولیدات پراکنده مبتنی بر انرژی‌های نو نیز با توجه به مزایای زیادی که با خود به همراه داشته‌اند در این سال‌ها از رشد و اقبال مناسبی برخوردار بوده است. در مقالات هافنر و همکاران (۲۰۱۸) و پورکار و همکاران (۲۰۲۰) اهمیت بررسی و آنالیز منابع تولید انرژی نو بطور همزمان در سیستم‌های سنتی و متداول برق مطرح و مقایسه گردید. در مقاله بی و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی و تحلیل اثرات استفاده از توربین‌های بادی در بهبود وضعیت کلی شبکه پرداخته شده است. تحقیقات مشابهی در مقاله لی و همکاران (۲۰۱۵) بر روی ضرورت استفاده از توربین‌های بادی به عنوان تولیدات پراکنده صورت گرفته است. در اینجا، هدف اصلی آنالیز اثرات تغییرات سرعت باد بر روی شبکه است. شبکه‌های توزیع به عنوان آخرین لینک بین بخش تولید و مصرف کننده بیشترین سهم را در ارائه برق با کیفیت و سرویس دهی مناسب با قابلیت اطمینان را بر عهده دارد. رشد روز افزون بارهای مصرفی و ضرورت تأمین مناسب، به موقع و با قابلیت اطمینان شبکه‌های برق ضرورت نگرش مجدد در بهره‌برداری بهینه از سیستم‌ها و خطوط برق را بیش از پیش ایجاب می‌نماید. به علاوه هزینه‌های ناشی از این تأمین مشتری باید تا حد امکان مقرون به صرفه و اقتصادی بوده و در صورت امکان از سرمایه‌گذاری‌های مجدد جلوگیری گردد (چیانگ و همکاران ۲۰۱۹). یکی از تکنیک‌های مناسب بدون هزینه‌گذاری اولیه روش تجدید آرایش و توپولوژی شبکه با هدف بهبود وضع شبکه است. سیستم‌های توزیع معمولاً بصورت رینگ باز طراحی و به صورت شعاعی بهره‌برداری می‌شوند. شبکه‌های شعاعی نسبت به شبکه‌های حلقوی دارای مزایایی از قبیل پایین بودن جریان‌های اتصال کوتاه و تعداد تجهیزات حفاظتی و سوئیچینگ ساده‌تر می‌باشند. در عوض این شبکه‌ها در کل دارای قابلیت اطمینان کمتری هستند. لذا برای استفاده از مزایای شبکه‌های شعاعی همراه با غلبه بر مشکلات آن، به طور کلی سیستم توزیع باید به نحوی عمل کند که هزینه‌های بهره‌برداری آن حداقل شود ضمن اینکه محدودیت‌های زیر نیز رعایت گردند:

شبکه توزیع شعاعی بماند، بار کلیه مشترکین تأمین گردد، هماهنگی حفاظتی بین رله‌های جریانی صورت پذیرد، ترانسفورماتورها و خطوط اضافه بار نشوند و افت ولتاژ در حد مجاز باقی بماند.

استفاده از تولیدات انرژی‌های نو در سال‌های اخیر دلیل نداشتن آلاینده‌گی زیست محیطی و در دسترس بودن بطور رایگان جایگزین استفاده از تولیدات متمرکز با سوخت فسیلی در شبکه گردیده است. یکی از مهمترین انواع انرژی نو، منابع انرژی مبتنی بر توربین‌های بادی می‌باشد. فواید بسیاری که برای این نوع انرژی می‌توان بر شمرد که عبارتند از: هزینه ناچیز، - ظرفیت تولید مناسب، کاهش فاصله تولید تا مصرف، پاک بودن از جهت زیست محیطی، بهبود قابلیت اطمینان شبکه با تأمین محلی برق و ... (تیلور و همکاران ۲۰۱۵). باید توجه داشت که با ورود توربین‌های بادی بصورت مزرعه بادی در شبکه، کلیه‌ی استراتژی‌های شبکه‌های برق دستخوش تغییر گردیده که ضرورت بازنگری آن‌ها را جهت مدیریت مناسب ایجاب می‌نماید.

از طرفی تأمین نکردن به موقع و با قابلیت اطمینان برق مصرفی و خاموشی‌های رخ داده در دراز مدت باعث ایجاد هزینه‌های گزافی بر دوش اداره‌های برق منطقه‌ای نموده که اجرای برنامه‌های از پیش تعیین شده جهت تأمین بار رو به رشد را کاملاً توجیه می‌نماید (لین و همکاران ۲۰۱۸، براون و همکاران ۲۰۱۶). در این میان، استراتژی‌های مختلفی در این زمینه ارائه می‌گردد: خازن‌گذاری، افزایش تعداد خطوط، تجدید ساختار شبکه قدرت، افزایش ظرفیت نیروگاهی و ... (دالتون و همکاران ۲۰۰۹، کیم و همکاران ۱۹۹۳). یکی از مناسب‌ترین راه‌حل‌ها از میان استراتژی‌های بیان شده در بالا "تجدید ساختار" در شبکه قدرت بوده بطوری که بدون پرداخت هیچ گونه هزینه سرمایه‌گذاری، ظرفیت شبکه برای تأمین بار افزایش یافته و در عین حال صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای صورت می‌پذیرد.

اهمیت بررسی و تحلیل تجدید ساختار در شبکه‌های توزیع همواره مورد توجه محققین قرار داشته است. ووو و دوستانش (۲۰۱۶) روشی نو مبتنی بر تکنیک بهینه‌سازی گسسته PSO ارائه نمودند که در آن به بهبود توابع هدف تلفات با رعایت قیود کامل شبکه پرداخته شد. سینگ و دوستانش (۲۰۱۷) به بررسی مسأله تجدید ساختار در شبکه‌های توزیع با هدف کاهش هزینه‌های همزمان تلفات اکتیو، راکتیو و توان ظاهری با در نظر گرفتن اثر انواع بارهای مصرفی بر روی شبکه‌های قدرت پرداختند. چونگ فو و دوستانش (۲۰۲۲) روشی نو جهت یافتن همزمان مناسب‌ترین حلقه و سوئیچینگ مربوطه و نیز اجرای خازن‌گذاری در شبکه ارائه نمودند. در اینجا روش پیشنهادی جهت بهبود میزان تلفات مسی شبکه پیاده‌سازی و بررسی گردید. سالازار و دوستانش (۲۰۱۶) به استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی جهت یافتن مناسب‌ترین توپولوژی برای کاهش تلفات شبکه پرداختند.

در نتیجه، در این تحقیق در نظر داریم تا مسأله تجدید ساختار و توپولوژی شبکه توزیع را با روشی نوین حل نماییم. روش پیشنهادی مبتنی بر پخش بار تصادفی و نیز الگوریتم بهینه‌سازی اصلاح شده کرم شب تاب جهت مدیریت بهینه استراتژی تجدید ساختار بررسی و جهت مشاهده عملکرد آن از شبکه استاندارد ۳۲- باسه IEEE بهره گرفته شده است. توابع هدف مورد بررسی عبارتند از: (۱) کمینه‌سازی مجموع هزینه‌ی تلفات توان اکتیو در شبکه- (۲) کاهش مجموع هزینه‌های جاری شبکه و (۳) کاهش مجموع آلایندگی‌های تولیدی در شبکه. در ادامه از توربین بادی که می‌تواند سیلان توان را در فیدهای شبکه تغییر دهد استفاده شده است. از آنجاییکه نوسانات سرعت باد می‌تواند تولیدی خروجی پیش‌بینی شده توربین بادی را دستخوش تغییر کرده است، لذا حل مناسب مسأله تجدید ساختار با در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از توربین‌های بادی لحاظ شده است. از آنجا که مسأله مورد بررسی یک مسأله بهینه‌سازی با انواع قیود تساوی و نامساوی می‌باشد لذا روش پیشنهادی باید توانایی حل مسأله را با لحاظ قیود امنیتی شبکه دارا باشد. در این تحقیق اثرات خطای ناشی از پیش‌بینی بار نیز در نظر گرفته شده و به علاوه با در نظر گرفتن اثر متقابل توربین‌های بادی در مکان‌های مختلف بر روی یکدیگر (تغییر سرعت باد) به ارائه روشی دقیق، کارآمد و متناسب با ساختار شبکه جهت حل مسأله خواهیم پرداخت.

مواد و روش‌ها

حداقل نمودن کل تلفات توان اکتیو

این تابع هدف به منظور کاهش تلفات اهمی کل به کار گرفته شده که در زیر تشریح شده است:

$$f_1(X) = P_{loss} = \sum_{i=1}^{N_{br}} R_i \times |I_i|^2 \quad (1)$$

که R_i مقاومت شاخه‌ی i ام، I_i جریان شاخه‌ی i ام، N_b شماره‌ی شاخه‌ها در شبکه است، و X بردار کنترل می‌باشد که شامل وضعیت کلیدهای مقسم (Sectionalizer) و کلیدهای متصل کننده (Tie) شبکه به صورت زیر است (آگالونکار و همکاران ۲۰۲۱).

$$X = [Tie, Sw, \vec{P}_{wind}]$$

$$Sw = [Sw_1, Sw_2, Sw_1, \dots, Sw_{N_{sw}}] \quad (2)$$

$$Tie = [Tie_1, Tie_2, Tie_3, \dots, Tie_{tie}]$$

$$\vec{P}_{wind} = [\vec{P}_{wind,1}, \vec{P}_{wind,2}, \dots, \vec{P}_{wind,N_{WT}}]$$

یکی از معضلات شبکه‌های توزیع، تلفات زیاد آن است به نحوی که عمده تلفات سیستم قدرت در شبکه‌های توزیع صورت می‌گیرد (چیانگ و همکاران ۲۰۱۹). کاهش تلفات انرژی الکتریکی، بهبود شرایط بهره‌برداری و تداوم در برق‌رسانی همواره از اهداف شرکت‌های توزیع بوده است. اصلاح ساختار شعاعی فیدهای توزیع بصورت گاه به گاه با تغییر وضعیت کلیدها از حالت باز بصورت بسته و بالعکس و در نتیجه انتقال بار از یک فیدر به دیگری می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای شرایط بهره‌برداری را بهبود بخشد. در سال‌های اخیر با پیشرفت‌های بعمل آمده در تکنولوژی پردازش داده و ارسال آن، شرکت‌های توزیع هر چه بیشتر علاقمند به استفاده از سیستم اتوماسیون توزیع شده‌اند. از طرفی پیچیده‌تر شدن سیستم‌های اتوماسیون را تشدید می‌نماید. پیشرفت‌های اخیر در اتوماسیون امکان کاهش تلفات با نیاز به توزیع روش‌های مختلف را فراهم آورده است. در مزایای استفاده از اتوماسیون و نحوه بکارگیری آن مطالب زیادی عنوان شده، بنحوی که برآورد شده اتوماسیون باعث کاهش ده درصدی در هزینه‌های بهره‌برداری و نگاهداری سیستم‌های توزیع شده است.

تجدید آرایش شبکه توزیع یکی از کاربردهای بسیار مؤثر اتوماسیون و از مهم‌ترین توابع آن می‌باشد که ورودی آن وضعیت بارها و وضعیت موجود کلیدها اعم از خطوط ارتباطی (رینگ باز) و سکشنالایزرها بوده و خروجی آن وضعیت جدید کلیدهای مذکور می‌باشد، به نحوی که اهداف مورد نظر بدست آید. استفاده از سیستم اتوماسیون توزیع جذابیت فراوانی در استفاده از تجدید آرایش شبکه ایجاد نموده است. تجدید آرایش یعنی برای یک پروفیل بار داده شده، یافتن ترکیب شعاعی در یک شبکه توزیع (شامل تعدادی خطوط ارتباطی (رینگ باز) و نقاط کلیدزنی) که با بستن و باز کردن کلیدها، سیلان توان بنحوی صورت گیرد که به اهداف مورد نظر دست بیابیم. هرچه تعداد کلیدها بیشتر باشد امکان تجدید آرایش بیشتر و احتمال بهبود نتیجه بیشتر خواهد شد. این کار اگر چه تلفات را به حداقل می‌رساند ولی قیمت تجهیزات و هزینه بهره‌برداری را در سیستم اتوماسیون افزایش می‌دهد. تجدید آرایش شبکه توزیع یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای رسیدن به اهداف مختلف اعم از برنامه‌ریزی و طراحی، بهره‌برداری، بازیابی سرویس و غیره می‌باشد. ولی بنا به طبیعتی که دارد یک مسأله "ذاتاً دشوار" بهینه‌سازی است. هدف اصلی از بهینه‌سازی و استفاده از تکنیک‌های آن حداقل کردن تابع هزینه می‌باشد. لذا حجم عملیات بسیار بالا است. مسأله تجدید آرایش شبکه واقعی بسیار مشکل است چون تعداد راه‌حل‌های ممکن بسیار زیاد بوده و از طرف دیگر مسأله تجدید آرایش یک مسأله بهینه‌سازی ترکیبی ریاضی است (شیرمحمدی و همکاران ۲۰۱۸).

$$f_3(X) = \sum_{i=1}^{N_{WT}} C_{Wind.1} + Cost_{grid} \quad (3)$$

که N_{WT} تعداد توربین‌های بادی شبکه را نشان می‌دهد. هزینه تولید توان شبکه توسط رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$Cost_{grid} = C_{grid} + P_{grid} \quad (4)$$

$$f_2(X) = dev(X) = \max[|1 - V_{min}|, |1 - V_{max}|] \quad (5)$$

که C_{grid} هزینه تولید هر کیلو وات توان توسط شبکه بوده و P_{grid} مجموع توان تولیدی توسط شبکه اصلی می‌باشد. هزینه تولید توان برای هر واحد تولید پراکنده توسط رابطه زیر قابل محاسبه است (علمایی و همکاران ۲۰۲۲):

$$C_{wind.1} = a_0 + a_1 \times P_{wind.i} \quad (6)$$

$$a_0 = \frac{Capital\ cost\ (\$/kW) * Capacity(kW) * Gr}{Life\ time(Year) * 365 * 24 * LF}$$

$$a_1 = Fuel\ cost(\$/kWh) + O\&M\ Cost(\$/kWh)$$

حداقل‌سازی میزان آلاینده‌های تولیدی در شبکه

این تابع هدف از نقطه نظر محیط زیست اهمیت داشته و به مینیمم‌سازی مجموع آلاینده‌های تولیدی در شبکه می‌پردازد (نیکنام ۲۰۱۹):

$$f_4(X) = Emission = \sum_{i=1}^{N_{Wind}} E_{Wind.1} + E_{Grid} \quad (7)$$

$$E_{Wind.1} = Nox_{Wind.i} + SO2_{Wind.i} = (K_1^{Wind.i} + K_2^{Wind.i}) kgMWh^{-1} \times P_{WT.i}$$

$$E_{Grid} = Nox_{Grid} + SO2_{Grid} = (K_1^{Grid} + K_2^{Grid}) lbMWh^{-1} \times P_{sub}$$

قیود و محدودیت‌ها

محدودیت‌های خطوط توزیع

حداکثر پخش بار در هر خط طبق رابطه زیر محدود شده است:

$$|P_{ij}^{line}| < P_{ij,max}^{line} \quad (8)$$

$Tie1$ وضعیت کلید $Tie\ i$ ام، $SW1$ وضعیت کلید مقسم am است. N_{Tie} تعداد کلیدهای مقسم در شبکه، و N_{SW} تعداد کلید های مقسم در شبکه می‌باشد. همچنین $\bar{P}_{wind.2}$ مقدار توان پیش بینی شده تولیدی برای واحد بادی am است. روشن است که مقدار Tie_i می‌تواند بین ۰ و ۱ باشد که به ترتیب وضعیت‌های باز و بسته را برای کلید مربوطه نشان می‌دهد.

حداقل‌سازی انحراف ولتاژ

این تابع برای کاهش انحراف ولتاژ در شبکه به کار گرفته شده که به شرح زیر است (نیکنام ۲۰۲۱):

که V_{min} و V_{max} به ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر ولتاژ می‌باشند.

حداقل‌سازی هزینه تولید توان در شبکه

این تابع هدف به منظور کاهش مجموع هزینه‌های جاری شبکه به کار گرفته شده است. تابع هزینه در اینجا برابر مجموع هزینه‌های توان تولیدی توسط شبکه اصلی و نیز هزینه تولید توان توسط تولید پراکنده می‌باشد:

که در رابطه بالا $Capital\ cost$ هزینه نصب اولیه توربین بادی بوده، $Capacity$ ظرفیت نامی توربین بادی بوده، $Life\ time$ مدت عمر مفید توربین بادی، $Fuel\ cost$ هزینه تأمین سوخت نیروگاه بادی (برای توربین بادی صفر) و $O\&M\ Cost$ هزینه‌های تعمیر و نگهداری تولید پراکنده می‌باشد.

در این مقاله مقدار پارامترهای ثابت $(K_1^{Wind.i}, K_2^{Wind.i})$ مرتبط با توربین‌های بادی صفر در نظر گرفته شده است. در واقع در این مطالعه آلاینده‌گی مرتبط با فرایند توربین‌های بادی در ارزیابی در نظر گرفته شده است. همچنین $Nox_{Wind.i}$ و $SO2_{Wind.i}$ مقدار نیتروژن و سولفور اکسید تولیدی توسط توربین بادی am و Nox_{Grid} و $SO2_{Grid}$ مقدار نیتروژن و سولفور اکسید تولیدی توسط شبکه می‌باشد. همچنین \bar{P}_{sub} توان مورد انتظار تولید شده توسط شبکه فرعی می‌باشد.

هر نوع مسأله بهینه‌سازی بدون توجه به اینکه مسأله مشتق است یا گسسته، آنرا به کار ببرد (آپوستولو و همکاران ۲۰۲۰). اغلب الگوی تشعشع برای هرگونه خاص از کرم‌های شب تاب منحصر به فرد است. تشعشع نور در اثر یک فرآیند شب تابی اتفاق می‌افتد. به هر حال دو عملکرد اصلی چنین تشعشعاتی عبارتند از جذب شریک جفت‌گیری و جذب شکارهای بالقوه. همچنین تشعشع می‌تواند به عنوان یک مکانیسم هشدار محافظ عمل کند. تشعشع منظم، نرخ تشعشع و مدت زمان تشعشع بخشی از سیستم پیام‌رسانی را تشکیل می‌دهد که سبب می‌شوند که یک جفت به یکدیگر نزدیک شوند. کرم‌های شب تاب ماده به الگوی تشعشع منحصر به فرد یک کرم شب تاب در یک گونه پاسخ می‌دهند. ما می‌دانیم که شدت نور در یک فاصله r از منبع نور از معکوس قانون مربع تبعیت می‌کند. بنابراین می‌توان گفت شدت نور I همچنانکه فاصله r افزایش می‌یابد بر حسب $I \propto \frac{1}{r^2}$ کاهش می‌یابد. به علاوه، هوا نور را جذب می‌کند که این سبب می‌شود با افزایش فاصله نور، ضعیف و ضعیف‌تر شود. این دو فاکتور سبب می‌شوند اغلب کرم‌های شب تاب تنها در یک فاصله محدود در شب که در حدود چند صد متر می‌باشد قابل دید باشند. این فاصله برای برقراری ارتباط بین کرم‌های شب تاب مناسب است (یانگ و همکاران ۲۰۱۹). تشعشع نور را می‌توان به گونه‌ای تعیین کرد که وابسته به یک تابع هدف باشد که بایستی بهینه‌سازی شود. الگوریتم کرم شب تاب از قوانین زیر استفاده می‌کند:

(۱) تمامی کرم‌های شب تاب تک جنسه هستند، بنابراین یک کرم شب تاب می‌تواند به سمت کرم‌های شب تاب دیگر بدون توجه به جنس آن‌ها جذب شوند.

(۲) میزان جذب شدن متناسب با درخشندگی آنهاست، بنابراین بین دو کرم شب تابی که تشعشع انجام می‌دهند، کرمی که دارای درخشندگی کمتری است به سمت کرمی که دارای درخشندگی بیشتری است جذب می‌شود. اگر هیچ کرمی درخشنده‌تر از کرم مورد نظر نباشد، در این صورت آن کرم به صورت تصادفی حرکت می‌کند.

(۳) شفافیت یک کرم شب تاب توسط منظره تابع هدف تحت تأثیر قرار می‌گیرد یا تعیین می‌شود.

در الگوریتم کرم شب تاب دو نکته مهم وجود دارد که عبارتند از تغییر شدت نور و فرموله کردن میزان جذب شدن. در ساده‌ترین حالت برای مسائل بهینه‌سازی حداکثر، روشیابی I یک کرم شب تاب در موقعیت خاص x می‌تواند به صورت $I(x) \propto af(x)$ انتخاب شود. اگرچه، جذابیت β نسبی است، اما باید در چشمان بیننده و یا توسط دیگر کرم‌های شب تاب مشاهده شود. بنابراین، جذابیت با فاصله r_{ij} بین کرم شب تاب i و کرم شب تاب j تغییر

که P_{ij}^{line} حداکثر توان عبوری مجاز است که در شاخه بین باس‌های i و j عبور داده می‌شود و P_{ij}^{line} میزان توان عبوری در خط بین باس‌های i و j است.

معادلات پخش بار توزیع

معادلات پخش بار را می‌توان به عنوان قیود در مسأله‌ی بهینه‌سازی در نظر گرفت (نیکنام ۲۰۱۹).

$$P_i = \sum_{j=1}^{N_{bus}} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (9)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^{N_{bus}} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

که P_i و Q_i توان‌های اکتیو و راکتیو تزریق شده به باس i ام هستند. V_j دامنه ولتاژ باس i ام، δ_i زاویه ولتاژ باس i ام و θ_{ij} زاویه ادمیتانس شاخه بین باس‌های i و j هستند (نیکنام ۲۰۲۱).

حفظ ساختار شعاعی شبکه

در طی فرایند بهینه‌سازی، توپولوژی سیستم توزیع بایستی به صورت شعاعی حفظ شود. بنابراین هر زمانی که در شبکه توزیع یک حلقه تشکیل شد، یک کلید باید در حلقه‌ای که شبکه شعاعی را نگه داشته است باز شود.

محدودیت جریان فیدر: فیدر اصلی می‌تواند یک جریان زیاد را به صورت زیر تغذیه کند.

$$|I_{f,i}| \leq I_{f,i}^{max}; i = 1, 2, \dots, N_f \quad (10)$$

که $I_{f,i}$ جریان فیدر i ام، $I_{f,i}^{max}$ حداکثر جریان فیدر i ام و N_f شماره فیدرها در شبکه هستند.

قید تولید توان نیروگاه بادی:

مقدار توان اکتیو قابل قبول توسط توربین بادی بایستی از شرط زیر پیروی کند:

$$P_{WT,i}^{min} \leq P_{WT,i} \leq P_{WT,i}^{max} \quad (11)$$

که در آن $P_{WT,i}^{min}$ و $P_{WT,i}^{max}$ مقادیر مینیمم و ماکزیمم توان قابل تولید توسط توربین بادی می‌باشد.

الگوریتم بهینه‌سازی

الگوریتم کرم شب تاب اصلی

اصلی‌ترین وجه قدرتمند تکامل مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی همچون الگوریتم کرم شب تاب این است که آن‌ها می‌توانند برای

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad (12)$$

گاهی اوقات، ممکن است به تابعی نیاز داشته باشیم که با نرخ کمتری به طور یکنواخت نزول کند. در این مورد، می‌توانیم از تخمین زیر استفاده کنیم:

$$I(r) = \frac{I_0}{1 + \gamma r^2} \quad (13)$$

در فاصله‌ای کوتاه‌تر، دو فرم بالا اساساً یکی هستند. این امر به این دلیل است که بسط‌های سری حول $r = 0$ تا مرتبه $O(r^3)$ برابر با هم است.

$$e^{-\gamma r^2} \approx 1 - \gamma r^2 + \frac{1}{2} \gamma^2 r^4 + \dots \quad I(r) = \frac{I_0}{1 + \gamma r^2} \approx 1 - \gamma r^2 + \gamma^2 r^4 + \dots \quad (14)$$

از آنجاییکه جذابیت کرم شب تاب متناسب با شدت نور دیده شده توسط کرم‌های شب تاب نزدیک می‌باشد، اکنون می‌توانیم جذابیت β یک کرم شب تاب را توسط رابطه زیر تعریف نماییم:

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (15)$$

که در آن β_0 جذابیت در $r = 0$ است. چون محاسبه کردن $\frac{1}{(1+\gamma r^2)}$ سریعتر از محاسبه تابع نمایی است، تابع فوق، اگر لازم

باشد، می‌تواند توسط $\beta = \frac{\beta_0}{1+\gamma r^2}$ جایگزین شود. معادله (۱۲) یک فاصله مشخصه $\Gamma = 1/\sqrt{\gamma}$ تعریف می‌کند که در آن جذابیت به طور معینی از β_0 تا $\beta_0 e^{-1}$ تغییر می‌کند. در پیاده‌سازی، فرم واقعی تابع جذابیت $\beta(r)$ می‌تواند هر تابع نزولی یکنواختی مثل فرم عمومی زیر باشد:

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \cdot (m \geq 1) \quad (16)$$

برای یک γ ثابت، طول مشخصه با $m \rightarrow \infty$ برابر $\Gamma = \gamma^{-1/m}$ می‌شود. به طور عکس، برای یک مقیاس طول معلوم Γ در یک مسأله بهینه‌سازی، پارامتر γ می‌تواند به عنوان یک مقدار اولیه نوعی استفاده شود. یعنی $\gamma = \frac{1}{\Gamma^m}$. فاصله بین هر دو کرم شب تاب i و j در x_i و x_j ، به ترتیب، فاصله کارترین زیر است (عزیزپناه ۲۰۲۰):

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (17)$$

که در آن $x_{i,k}$ ، k امین مؤلفه مختصات فضایی x_i از i امین کرم شب تاب است. در مورد دو بعدی، داریم:

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (18)$$

که عبارت دوم بدلیل جذابیت است در حالیکه عبارت سوم به صورت تصادفی درآوردن است و α پارامتر تصادفی کردن می‌باشد. $rand$ یک تولیدکننده عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در $[0,1]$ است. برای اغلب موارد در پیاده‌سازی، می‌توانیم $\beta_0 = 1$ و $\alpha \in [0,1]$ قرار دهیم. علاوه بر این، عبارت تصادفی‌سازی می‌تواند به سادگی به یک توزیع نرمال $N(0,1)$ یا توزیع‌های دیگر، بسط داده شود. بعلاوه، اگر مقیاس‌ها به طور مشخص در ابعاد متفاوت مانند 10^5 به 10^5 در یک ابعاد در حالیکه، مثلاً $0/001$ تا $0/01$ در طول دیگری، این ایده خوبی است که α را با αS_k جایگزین کنیم که پارامتر مقیاس بندی $(k = 1, \dots, d)$ در ابعاد d باید توسط مقیاس‌های واقعی مسأله مورد نظر تعیین شود. حال پارامتر γ تغییرات جذابیت را توصیف می‌کند، و مقدار آن در تعیین سرعت همگرایی و چگونگی رفتار الگوریتم کرم شب تاب بسیار مهم است. در تئوری، $\gamma \in [0, \infty]$ ولی در عمل $\gamma = 0(1)$ توسط طول مشخصه Γ سیستمی که باید بهینه‌سازی شود تعیین می‌گردد. بنابراین، در اغلب کاربردها، این مقدار معمولاً از $0/01$ تا 100 تغییر می‌کند

مراحل طی الگوریتم برای حل مسأله به شرح زیر است:

مرحله ۱: تعریف داده‌های ورودی. در این مرحله تمامی اطلاعات شامل داده شبکه، داده الگوریتم، پارامترهای تابع هدف، پارامترهای قیود، و ... به طور کامل تعریف می‌گردند.

مرحله ۲: تولید جمعیت اولیه (گرم‌های شب تاب).

مرحله ۳: تولید توابع هدف به طور جداگانه برای هر گرم شب تاب. در این مرحله، مقدار تابع هدف تولید می‌شود. با توجه به آنچه که در فصل‌های پیشین گفته شد، در اینجا باید پخش بار احتمالی ابتدا اجرا گردیده و بعد از آن توابع هدف مسأله محاسبه گردند.

مرحله ۴: تولید جذابیت با استفاده از معادله (۱۶) برای هر گرم شب تاب.

مرحله ۵: اعمال معادله (۱۷) بین هر دو گرم شب تاب برای اندازه گیری فاصله آن‌ها.

مرحله ۶: حرکت دادن گرم شب تاب با درخشندگی کمتر به سمت گرم شب تاب جذابتر (درخشنده‌تر) توسط معادله (۱۸).

مرحله ۷: اعمال فاز تغییر یافته مطابق بخش قبل.

مرحله ۸: فرایند به روزرسانی. با استفاده از گرم‌های شب تاب تغییر یافته جدید، جمعیت اولیه به روز می‌گردد.

مرحله ۹: بررسی معیار توقف. اگر معیار توقف برآورده گردد، آنگاه الگوریتم را متوقف کن و نتایج را چاپ کن؛ در غیر اینصورت به مرحله ۴ برگرد و مراحل را تکرار کن.

نتایج و بحث

به منظور مشاهده اثربخشی و کارایی رضایت بخش روش پیشنهادی، سیستم توزیع شعاعی ۳۲ باسه IEEE برای مطالعه‌ی موردی، استفاده شده است. شبیه‌سازی برای دو حالت تک هدفه و چند هدفه و با ساختار قطعی و تصادفی انجام شده است. سیستم مورد آزمایش شامل دو فیدر و پنج شاخه حلقه است. ولتاژ نامی سیستم ۱۲/۶۶ kV است. دیاگرام تک خطی سیستم مورد آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که از شکل مشاهده می‌شود، کلیدهای اتصال با خط چین نشان داده شده‌اند. درباره الگوریتم اصلاح شده گرم شب تاب پیشنهادی، تعداد تکرارهای ذرات ۲۰ عدد فرض شده‌اند و معیار توقف ۱۰۰ تکرار در نظر گرفته شده است. از آنجا که الگوریتم الگوریتم اصلاح شده گرم شب تاب پیشنهادی برای اولین بار در این پژوهش برای حل مسأله تجدیدساختار شبکه استفاده شده است، بنابراین در لحظه‌ی شروع بهینه‌سازی تک هدفه هر تابع هدف انجام شده است.

الگوریتم اصلاح شده گرم شب تاب

در این قسمت، یک تغییر جدید برای بهبود توانایی جستجوی گرم شب تاب به طور مؤثر پیشنهاد شده است. روش تغییر پیشنهادی شامل دو فاز برای افزایش دقت و سرعت همگرایی الگوریتم گرم شب تاب می‌باشد. قسمت اول روش تغییر برای به روزرسانی مقدار α به عنوان پارامتر تصادفی‌سازی در محدوده (۰ و ۱) به طور تطبیقی می‌باشد. مقدار بزرگ α گرم شب تاب را تشویق می‌کند که در نواحی ناشناخته جستجو کند در حالیکه یک مقدار کوچک، گرم شب تاب را مجبور می‌کند که به جستجوی محلی بپردازد. بنابراین، یک فرمولاسیون تطبیقی پیشنهاد شده است که مقدار α را در طول بهینه‌سازی به صورت زیر مدیریت می‌کند (آپوستولو و همکاران ۲۰۲۰):

$$\alpha^{k+1} = \left(\frac{1}{2k_{max}} \right)^{1/k_{max}} \alpha^k \quad (19)$$

که k شماره تکرار و k_{max} حداکثر تعداد تکرار می‌باشد. قسمت دوم روش تغییر به منظور افزایش تنوع جمعیت گرم شب تاب از طریق استفاده از عملگرهای جهش و تقاطع می‌باشد. به این منظور، برای هر گرم شب تاب (x_i) ، سه گرم شب تاب تصادفی (n_1, n_2, n_3) به طوری انتخاب شده‌اند که $n_1 \neq n_2 \neq n_3$ (i). حال یک راه حل آزمایشی به صورت زیر تولید می‌شود:

$$X_{Test} = X_{n1} + \sigma_1 \times (X_{n2} - X_{n3}) \quad (20)$$

$$X_{Test} = [X_{Test.1}, X_{Test.2}, \dots, X_{Test.d}]$$

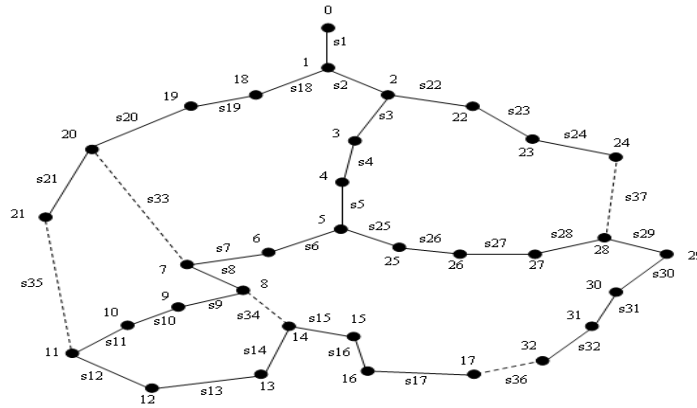
که σ مقداری تصادفی در محدوده [0.1] می‌باشد. حال با استفاده از X_i و بهترین گرم شب تاب (X_{best}) دو گرم شب تاب به صورت زیر تولید می‌شوند (عزیزپناه ۲۰۲۰):

$$X_{new1.j} = \begin{cases} X_{Test.j} & \text{if } \sigma_1 \leq \sigma_2 \\ X_{best.j} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (21)$$

$$X_{new.2} = \sigma_3 \times X_{best} + \sigma_4 \times (X_{best} - X_j) \quad (22)$$

که $\sigma_1, \dots, \sigma_4$ مقادیر تصادفی در محدوده [0.1] می‌باشند. بهترین گرم شب تاب در بین X_{new1} و X_{new2} انتخاب می‌شود و به i امین گرم شب تاب (X_i) مقایسه می‌شود. اگر این گرم شب تاب بهتر از X_i بود، جایگزین X_i می‌شود و در غیر اینصورت، X_i در موقعیت خودش باقی می‌ماند.

طریقه اعمال روش پیشنهادی در حل مسأله تجدیدساختار



شکل ۱- شمای خطی شبکه ۳۲ باسه IEEE

موفقیت و اثربخشی روش پیشنهادی مشهود است. جدول ۱ نتایج حاصل از بهینه‌سازی تلفات توان اکتیو سیستم را نشان می‌دهد.

در ادامه به ترتیب نتایج شبیه‌سازی در سیستم تست ۳۲ باسه در حالت‌های تک هدفه و چند هدفه بررسی می‌شوند و در جداول و نمودارها، نتایج مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در تمامی حالات،

جدول ۱- بهینه‌سازی تک هدفه تابع هدف تلفات توسط روش پیشنهادی بر روی شبکه تست اول در ساختار قطعی

کلیدهای باز	حداقل ولتاژ	تلفات توان (کیلووات)	روش بهینه سازی
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۷۸۱۹۶۴	۱۳۹/۵۳	PSO-ACO (سالازار و همکاران ۲۰۱۶)
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۷۸۱۹۶۴	۱۳۹/۵۳	DPSO (سانور و همکاران ۲۰۱۸)
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۷۸۱۹۶۴	۱۳۹/۵۳	DPSO-HBMO (سانور و همکاران ۲۰۱۸)
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۷۸۱۹۶۴	۱۳۹/۵۳	McDermott et al (چن و همکاران ۲۰۲۲)
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۷۸۱۹۶۴	۱۳۹/۵۳	Vanderson Gomes (چن و همکاران ۲۰۱۶)
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۷۸۱۹۶۴	۱۳۹/۵۳	PSO-SFLA (ایموقلو و همکاران ۲۰۱۵)
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۷۸۱۹۶۴	۱۳۹/۵۳	DPSO-ACO (آگوگلیا و همکاران ۲۰۱۸)
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۷۸۱۹۶۴	۱۳۹/۵۳	MSFLA (یانگ ۲۰۱۹)
s7, s10, s14, s32,s37	۰/۹۳۷۸۱۹۶۴	۱۴۰/۲۶	Shirmohammadi (شیرمحمدی و همکاران ۲۰۱۸)
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۷۸۱۹۶۴	۱۳۹/۵۳	الگوریتم کرم شب تاب اصلی
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۷۸۱۹۶۴	۱۳۹/۵۳	الگوریتم اصلاح شده کرم شب تاب پیشنهادی

نتایج بهینه‌سازی تک هدفه‌ی انحراف ولتاژ در جدول ۲ آمده است. در اینجا مجدداً مشاهده می‌گردد که الگوریتم پیشنهادی به بهترین راه حل بهینه دست یافته است. انحراف ولتاژ اولیه‌ی سیستم قبل از تجدید آرایش u. p. ۰/۰۸۶۹۰۹۲ بوده است. جدول ۳ ضرایب آلاینده‌گی را برای انواع منابع تولید پراکنده از جمله توربین بادی نشان می‌دهد.

توجه داشته باشید که تلفات توان کل قبل از تجدید آرایش kV ۲۰۲/۶۷ بوده است. همانطور که از جدول ۱ دیده می‌شود، الگوریتم کرم شب تاب پیشنهادی پیشنهادی به راه حل بهینه که توسط دیگر روش‌های شناخته شده در این ناحیه یافته شده است، نائل خواهد شد.

جدول ۲- بهینه‌سازی تک هدفه تابع هدف ولتاژ توسط روش پیشنهادی بر روی شبکه تست اول در ساختار قطعی

کلیدهای باز	حداقل ولتاژ	انحراف ولتاژ (پرینیت)	روش بهینه سازی
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۸۷۹۶۸۱	۰/۰۶۱۲۰۰۳۱	DPSO-ACO (آگوگلیا و همکاران ۲۰۱۸)
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۰۹۳۸۷۹۶۸۱	۰/۰۶۱۲۰۰۳۱	PSO-ACO (سالازار و همکاران ۲۰۱۶)
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۸۷۹۶۸۱	۰/۰۶۱۲۰۰۳۱	DPSO (سانور و همکاران ۲۰۱۸)

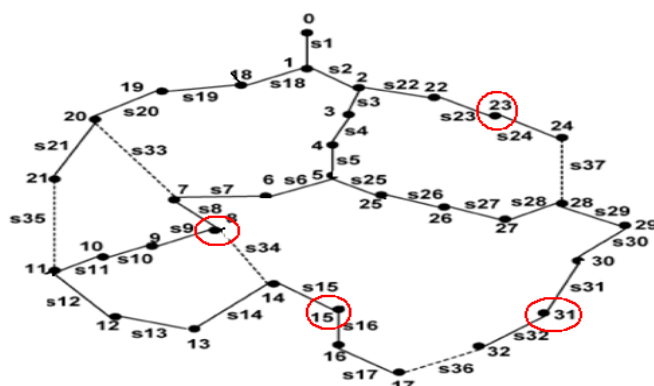
کلیدهای باز	حداقل ولتاژ	انحراف ولتاژ (پریونیت)	روش بهینه سازی
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۸۷۹۶۸۱	۰/۰۶۱۲۰۰۳۱	DPSO-HBMO (سائور و همکاران ۲۰۱۸)
s7,s10,s14,s32,s37	0/93781902	۰/۰۶۱۲۸۰۹۷	GA
s6,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۸۷۹۶۸۱	۰/۰۶۱۲۰۰۳۱	PSO
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۸۷۹۶۸۱	۰/۰۶۱۲۰۰۳۱	الگوریتم کرم شب تاب اصلی
s7,s9,s14,s32,s37	۰/۹۳۸۷۹۶۸۱	۰/۰۶۱۲۰۰۳۱	الگوریتم اصلاح شده کرم شب تاب پیشنهادی

جدول ۳- ضرایب تابع هدف آلاینده‌گی برای منابع تولید پراکنده مختلف

ضرایب آلودگی (kg/MWh)							نوع آلودگی
احتراق داخلی	پیل سوختی	فتوولتائیک	باد	میکروتوربین	توربین گازی	شبکه	
۲/۱۳۱۹	۰/۵۲۱۶۳	.	.	۰/۱۹۹۵	۰/۰۱۳۶	۲/۲۹۵۲	گاز ناکس (اکسید ازت)
۶/۴۹۵۴	۵۰۵/۵۸	.	.	۷۲۳/۹۳	۴۸۸/۹۷	۹۲۱/۲۵	گاز دی اکسید کربن
۰/۲۰۵۹	۳۶۲۸/۷	.	.	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۲۷	۳/۵۸۳۴	گاز دی اکسید گوگرد

توربین بادی در شبکه صرف نظر گردیده بود. در ادامه به بررسی و اعمال ساختار تصادفی پیشنهادی مبتنی بر پخش بار احتمالی می‌پردازیم. مکان توربین‌های بادی در شبکه در شکل ۲ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج جداول بالا، برتری قدرت جستجوی الگوریتم اصلاح شده کرم شب تاب پیشنهادی بخوبی مشاهده می‌گردد. تا بدین جای محاسبات هدف نشان دادن پاسخ مناسب الگوریتم تکاملی پیشنهادی بود. همچنین در تمامی جداول بالا از حضور



شکل ۲- شمای خطی شبکه ۳۳ باسه IEEE با حضور توربین بادی (نقاط قرمز رنگ)

در اینجا از چارچوب احتمالی پیشنهادی مبتنی بر پخش بار احتمالاتی استفاده شده است.

جدول ۴ نتایج بهینه‌سازی تک هدفه هر یک از توابع هدف را بصورت جداگانه با حضور توربین بادی در شبکه نشان می‌دهد.

جدول ۴- نتایج بهینه‌سازی تک هدفه با حضور توربین بادی در ساختار تصادفی پیشنهادی

وضعیت کلیدها	بهترین راه حل	روش	تابع هدف
s6,s14,s35,s17,s37	۱۰۱/۱۲۱۹۲	GA	تلفات توان
s7,s14,s35,s32,s37	۱۰۱/۳۹۶۷۷	PSO	(کیلووات)
s7,s14,s11,s30,s37	۹۶/۲۴۷۲۲	الگوریتم کرم شب تاب اصلی	
s7,s14,s10,s30,s37	۹۳/۹۷۰۳۳۱	الگوریتم اصلاح شده کرم شب تاب پیشنهادی	
s6,s34,s10,s32,s37	۰/۰۴۹۱۲۵۸	GA	تغییرات ولتاژ

تابع هدف	روش	بهترین راه حل	وضعیت کلیدها
(پریونیت)	PSO	۰/۰۴۸۸۵۴۹	s6,s34,s10,s32,s37
	الگوریتم کرم شب تاب اصلی	۰/۰۴۷۳۹۳۲	s6,s14,s11,s32,s37
	الگوریتم اصلاح شده کرم شب تاب	۰/۰۴۱۸۸۸	s6,s14,s11,s32,s37
	پیشنهادی		
هزینه	GA	۱۵۴/۱۱۹۰۱	s6,s11,s35,s36,s37
(دلار)	PSO	۱۵۴/۰۹۳۴۳	s7,s14,s10,s32,s37
	الگوریتم کرم شب تاب اصلی	۱۵۴/۰۱۰۹۴	s7,s14,s11,s32,s37
	الگوریتم اصلاح شده کرم شب تاب	۱۵۳/۹۶۰۹۰	s7,s14,s10,s30,s37
	پیشنهادی		
آلودگی	GA	۳۷۱۶۸/۲۳۱	s6,s14,s21,s26,s37
(کیلوگرم)	PSO	۳۷۱۶۷/۹۸۵	s4,s14,s21,s26,s37
	الگوریتم کرم شب تاب اصلی	۳۷۰۸۵/۱۴۲	s6,s34,s11,s32,s37
	الگوریتم اصلاح شده کرم شب تاب	۳۶۸۰۲/۵۱۷	s33,s14,s35,s36,s22
	پیشنهادی		

یافته شده در چهارچوب تصادفی پیشنهادی با در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از نوسانات سرعت باد می‌باشد. جهت مشاهده تأثیر در نظر گرفتن نوسانات باد در معادلات، جدول ۵ مقادیر انحراف استاندارد هر یک از این توابع را قبل و بعد از تجدید آرایش نشان می‌دهد.

همانطور که از جدول ۴ مشاهده می‌گردد حضور منابع تولید توان بادی در شبکه توانسته تمامی توابع هدف را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد. از نقطه نظر بهینه‌سازی، برتری عملکرد الگوریتم پیشنهادی نسبت به PSO، GA و الگوریتم اصلی کرم شب تاب بخوبی مشاهده می‌گردد. باید توجه کرد که نقاط بهینه

جدول ۵- مقادیر انحراف استاندارد توابع هدف با حضور توربین بادی در ساختار تصادفی پیشنهادی

انحراف استاندارد	تلفات توان (کیلووات)	انحراف ولتاژ (پریونیت)	هزینه (دلار)	آلودگی (کیلوگرم)
مقدار اولیه σ	۴/۳۸۲۱	۰/۰۰۷۹۲	۶/۷۰۲۱	۴۶۹/۴۳۲۱
مقدار نهایی σ	۳/۰۲۰۱	۰/۰۰۳۱۳	۵/۲۰۱۱	۴۶۱/۲۹۵

گردید. همچنین یک تابع چهار هدفه جهت مدیریت بهینه شبکه توزیع با حضور توربین‌های بادی در نظر رفته شد. جهت جستجوی فضای مسأله پیش رو، یک الگوریتم بهینه‌سازی قدرتمند مبتنی بر الگوریتم کرم شب تاب ارائه گردید. نتایج شبیه‌سازی حاکی از برتری الگوریتم پیشنهادی نسبت به دیگر الگوریتم‌های مشهور در زمینه تجدید آرایش می‌باشد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی مشاهده گردید که حضور توربین بادی به عنوان یک منبع انرژی نو در شبکه می‌تواند باعث کاهش تلفات اکتیو شبکه، بهبود پروفیل ولتاژ باس‌های موجود، کاهش هزینه‌های کلی شبکه و کاهش میزان آلاینده‌گی کل تولیدی توسط شبکه گردد. همچنین، ساختار تصادفی پیشنهادی دارای قدرت مناسبی جهت در نظر عدم قطعیت متغیرهای تصادفی مسأله بوده بطوری که با کاهش انحراف استاندارد توابع هدف مورد بررسی باعث گردید تا میزان اطمینان پاسخ‌های یافته شده افزایش یابد. با توجه به نتایج حاصله پیشنهاد می‌گردد

همانطور که مشاهده می‌گردد، تجدید آرایش باعث شده تا مقدار انحراف استاندارد هر یک از توابع هدف بعد از بهینه‌سازی کاهش یافته و در حقیقت میزان اطمینان پاسخ‌های یافت شده افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله جهت مدل‌سازی عدم قطعیت ناشی از نوسانات سرعت باد و نیز خطای پیش‌بینی بارهای اکتیو و راکتیو از ایده پخش بار احتمالی استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی با روش پیشنهادی، بر روی شبکه تست IEEE با حضور توربین‌های بادی نشان داده شده است. در این راستا جهت مدل‌سازی عدم قطعیت ناشی از نوسانات سرعت باد و نیز خطای پیش‌بینی بارهای اکتیو و راکتیو از ایده پخش بار احتمالی استفاده

در ادامه این پژوهش مطالعات کیفیت توان و قابلیت اطمینان یا پیاده سازی اصول حفاظتی شبکه می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

References

- Ahuja, A., Das, S., and Pahwa, A., , “An AIS-ACO hybrid approach for multi-objective distribution system reconfiguration,” *IEEE Trans. on Power Syst.*, 2019; 22(3):1101-1111. DOI: 10.1109/TPWRS.2007.901286.
- Agalgaonkar, P., Kulkarni, S.V., Khaparde, Soman, S.A., “. Placement and penetration of distributed generation under standard market design,”. *Int J Emerg Electr Power Syst* 2021; 1(1). DOI: 10.2202/1553-779X.1003.
- Apostolopoulos, T., Vlachos, A., “Application of the Firefly Algorithm for Solving the Economic Emissions Load Dispatch Problem,” *Int. J. Comb.*, 2020:1-23. DOI: 10.1155/2011/523806.
- Azizipanah-Abarghoee, R., Niknam, T., Roosta, A., Malekpour, A.R., and Zare, M., “Probabilistic multiobjective wind thermal economic emission dispatch based on point estimated method”, *Energ*, 2020, 37, 322–335. DOI: 10.1016/j.energy.2011.11.023
- Augugliaro, A., Dusonchet, L., Favuzza, S., Ippolito, M.G., Sanseverino, E.R., “A new backward/forward method for solving radial distribution networks with PV nodes”, *Electric Pow Syst Res.*, 2018; 78: 330-336, 2018. DOI: 10.1016/j.epr.2007.03.001.
- Bie, Z., Li, G., Liu, H., Wang, H., “Studies on voltage fluctuation in the integration of wind power plants using probabilistic load flow, ” *IEEE Power and Energy Soc. Gen*, 2023; 1-7. DOI: 10.1109/PES.2008.4596131.
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., Bossanyi, E., *Wind Eng. Handbook*, John Wiley & Sons, Ltd, 2016
- Braun, R.J., Klein, S.A., Reindl, D.T., “Evaluation of system configurations for solid oxide fuel cell-based micro-combined heat and power generators in residential applications,” *J Power Sources*, 2016; 158:1290 – 305,. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2005.10.064.
- Chen, H., Chen, J., Shi, D., Duan, X., “Power Flow Study and Voltage Stability Analysis for Distribution Systems with Distributed Generation”, *IEEE Pow. Eng. Society General*, 2016. DOI: 10.1109/PES.2006.1709198.
- Chen, T.H., Chen, M.S., Hwang, K.J., Kotas, P., Chebli, E.A., “Distribution System Power Flow Analysis – A Rigid Approach”, *IEEE Trans. Pow. Deliv.*, 2022; 6(3):1146-1152. DOI: 10.1109/61.85860.
- Chiang, H.D., and Jean-Jameau, R.M., “Optimal network reconfiguration in distribution systems, part 1: A new formulation and a solution methodology,” *IEEE Trans. Power Del.*, 2019; 5(4):1902–1909. DOI: 10.1109/61.103687.
- Chung-Fu, C., “Reconfiguration and capacitor placement for loss reduction of distribution systems by ant colony search algorithm,” *IEEE Trans. on Power Syst.*, 2022; 23(4): 1747 – 1755. DOI: 10.1109/TPWRS.2008.2002169.
- Dalton, G.J., Lockington, D.A., Baldock, T.E., “Feasibility analysis of renewable energy supply options for a grid-connected large hotel,” *Renew. Energy*, 2009; 34: 955-64. DOI: 10.1016/j.renene.2008.08.012.
- Debaprya, D., “A fuzzy multi-objective approach for network reconfiguration of distribution systems,” *IEEE Trans. Power Del.*, 2016; 21(1): 202-209. DOI: 10.1109/TPWRD.2005.852335.
- Eminoglu, U., Hocaoglu, M.H., “A new power flow method for radial distribution systems including voltage dependent load models”, *Electric Pow Syst Res.*, 2015; 76: 106-114. DOI: 10.1016/j.epr.2005.05.008.
- Haffner, S., Pereira, L.F.A., Pereira, L.A., and Barreto, L.S., “Multistage model for distribution expansion planning with distributed generation—Part I: problem formulation, ” *IEEE Trans. on Power Deliv.*, 2018; 23(2): 915-923. DOI: 10.1109/TPWRD.2008.917916.
- Kim, H., Ko, Y., Jung, K.H., “Artificial neural-network based feeder reconfiguration for loss reduction in distribution systems,” *IEEE Trans Power Deliv.*, 1993; 8(3):1356-66. DOI: 10.1109/61.252662.
- Li, X., Pei, J., and Zhang, S., “A probabilistic wind farm model for probabilistic load flow calculation,” *Asia-Pac. Power and Energy Engineering*, 2015. DOI: 10.1109/APPEEC.2010.5448689.
- Liu, T., Xu, G., Cai, P., Tian, L., Q. Huang, Q., “Development forecast of renewable energy power generation in China and its influence on the GHG control strategy of the country, ” *Renew. Energy*, 2018; 36:1284-92. DOI: 10.1016/j.renene.2010.09.020.
- Niknam, T., “Application of honey-bee mating optimization on state estimation of a power distribution system including distributed generators,” *J Zhejiang Univ Sci*, 2021;9(12):1753–64. DOI: 10.1631/jzus.A0820047.

21. Niknam, T., H.D.Mojarrad, H.D., and Meymand, H.Z., "A novel hybrid particle swarm optimization for economic dispatch with valve point loading effects", *Energy Convers. Manage.* 2019, 52, 1800–1809. DOI: 10.1016/j.enconman.2010.11.004
22. Olamaie, J., Niknam, T., Gharehpetion, G., "Application of particle swarm optimization for distribution feeder reconfiguration considering distributed generators," *Appl Math Comput* , 2022; 20(1):575–86. DOI: 10.1016/j.amc.2007.12.053.
23. Porkar, S., Poure, P., Abbaspour-Tehrani-fard, A., Saadate, S., "A novel optimal distribution system planning framework implementing distributed generation in a deregulated electricity market," *Electr Power Syst Res.*, 2020; 80(7): 828-837 . DOI: 10.1016/j.epsr.2009.12.008.
24. Salazar , H., Gallego, R., Romero, R., "Artificial neural networks and clustering techniques applied in the reconfiguration of distribution systems," *IEEE Trans. on Power Deliv.* , 2016; 21(3): 1735 – 1742. DOI: 10.1109/TPWRD.2006.875854.
25. Sauer, P., Pai, M., "Power System Steady-State Stability and the Load Flow Jacobian", *IEEE Trans. Pow. Syst.*, 2018; 5(4): 1-65. DOI: 10.1109/59.99389.
26. Shirmohammadi, D., and Hong, H.W., "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line loss reduction," *IEEE Trans. Power Del.*, 2018; 4(1): 1492–1498. DOI: 10.1109/61.25637.
27. Singh, D., Misra, R.K., "Multi-objective feeder reconfiguration in different tariff structures," *IET Gener. Trans & Distri.* , 2017; 4(8): 974 – 988. DOI: 10.1049/iet-gtd.2010.0128.
28. Taylor, T., Lubkeman, D., "Implementation of heuristic search strategies for distribution feeder reconfiguration," *IEEE Trans Power Deliv.*, 2015; 5(3): 239-245. DOI: 10.1109/61.107279.
29. Wu, W.C., Tsai , M.S., "Application of enhanced integer coded particle swarm optimization for distribution system feeder reconfiguration", *IEEE Trans. on Power Syst.*, 2011; 26(3): 1591 – 1599. DOI: 10.1109/TPWRS.2010.2094212.
30. Yang, X.S., "Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms," Frome: Luniver Press. (2019), ISBN 1905986106.
31. Yang, X.S., " Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms," Frome: Luniver Press., 2019, ISBN 1905986106.



Multi-Objective Operation of the Distribution System Including Wind Turbines, Taking Into Account the Minimization of Environmental Pollution in the Network

Reza Sedaghati*

Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran

Received: 27 Oct 2023

Accepted: 17 Dec 2023

Keywords: Distribution System, Environmental Pollution, Wind Turbine, Reconfiguration, Firefly Algorithm.

Extended Abstract

Introduction: The ever-increasing growth of consumption loads and the necessity of proper, timely and reliable supply of power networks require a new attitude in the optimal operation of power systems and lines more than ever. On the other hand, in recent years, there has been a lot of support for distributed generation sources based on renewable energies, especially wind turbines. One of the main problems of wind turbines is the problem of extreme wind fluctuations and the dependence of output power on wind speed. Parallel to this problem, in the discussion of network management, the error caused by forecasting the consumption load in the future can also lead to the problem becoming more and more difficult. One of the suitable techniques without initial cost is the method of network topology reconfiguration with the objective of improving the network situation.

Materials and Methods: Therefore, in this research, in order to investigate the problem of reconfiguration of the distribution network with the presence of wind turbine sources, a new method for their simultaneous management has been presented. A multi-objective function is considered to reduce the active losses of the network, reduce the overall costs of the network, improve the voltage profile of the existing buses, and reduce the total emissions generated by the network, which uses the firefly optimization algorithm to minimize it.

Results and Discussion: Solving the problem of renewing the structure by considering the uncertainty caused by wind turbines is considered. The presence of wind resources in the network has been able to significantly reduce the objective functions.

Conclusion: The results of this research showed that the American land reclamation method is better than the other mentioned methods because it has estimated more flow in flood calculation. An important result of flood zoning resulting from the breaking of Tangab dam is that the urban area of Firozabad is safe from this flood and the villages are not flooded as far as the studied area is concerned. Based on the obtained results, it can be concluded that the result of the possible failure of the dam, based on this research, the flood caused by the failure of the dam, except for 1 hectare of the industrial sector, which is a very small area, will cause damage only to agricultural lands.

Corresponding author: Reza Sedaghati

Address: Department of Electrical Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran.. **Tel:** +989173247068

Email: reza.sedaghati@iau.ac.ir.

Citation: Sedaghati R Multi-Objective Operation of the Distribution System Including Wind Turbines, Taking Into Account the Minimization of Environmental Pollution in the Network. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2023; 1(3): 28-40.

© 2023, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.

