بهینه سازی چند هدفه شبکه توزیع و بازآرایی بهینه با منظور کردن منابع تولید پراکنده با استفاده از مدل بهبودیافته الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری

علی اکبر اکبری
کارشناس ارشد برق قدرت
Aliakbarakbari٦٦٦٦@gmail.com

حسین کریمیان فرد
کارشناس ارشد برق قدرت
karimianfard@gmail.com

تاریخ دریافت:
۹/۵/۱۴۰۱
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۹/۲۸

کلمات کلیدی:
الگوریتم مبتنی بر آموزش و یادگیری،
بازآرایی،
پروفیل ولتاژ،
تلفات توان،
تولید پراکنده،
شاخص پایداری ولتاژ.

چکیده

امروزه مسائلی همچون تجدید ساختار، مسائل زیست محیطی، مشکلات و محـدودیـت¬هـا در خطوط انتقـال و توزیع ، سـبـب ورود روز افزون سیستم¬های تولید پراکنده (DG) شده است. واحدهای تولید پراکنده با توجه به مشخصات، تکنولوژی و مکان اتصال به شبکه، می¬توانند باعث تأثیرات مثبتی از جمله بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات توان و قابلیت اطمینان در شـبکه¬های توزیع شـوند؛ بنابراین با افزایش اسـتفاده از منابع تولید پراکنده و همچنین مسـائل فنی و مالی این تکنولوژی¬ها، مسـائل جدیدی از جمله تعیین ظرفیت و مکان اتصال این تجهیزات به شبکه مورد بررسـی قرار گرفته اسـت. مسـئله بازآرایی شـبکه توزیع نیز، یکی دیگر از مسائل بهینه سازی در شبکه های توزیع می باشد، به طوری که بدون نیاز به تجهیز جدیدی، شـبکه را به منظور هدف مورد نظر بهینه می کند. در این مقاله با استفاده از یک مدل بهبودیافته الگوریتم بهینه¬سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری (TLBO)، شبیه¬سازی هم زمان مسئله مکان یابی تولید پراکنده و مسـئله بازآرایی شـبکه توزیع را، به منظور بهینه کردن پروفیل ولتاژ، افزایش شـاخص پایداری ولتاژ و کاهش تلفات توان شـبکه انجام می دهیم. روش پیشـنهادی با سـناریو های مختلفی بر روی شـبکه های شعاعی ۳۳ شینه و ۶۹ شینه اجرا شده است که نتایج بدست آمده بعد از مقایسه با دیگر روش ها، کارآمدی روش پیشنهادی را نشان می دهد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

۱- مقدمه

امروزه منابع تولید پراکنده (DG۱) نقش مهمی را در ساختار سیستم های قدرت و بازار برق بازی می کنند. نصب منابع تولید پراکنده بر روی فیدرهای شبکه توزیع تاثیر زیادی بر بهره برداری و کنترل سیستم میگذارد[۱]. تاثیر کارآمد یک تولید پراکنده به مکان خاص آن در شبکه و اندازه بهینه آن بستگی دارد. منابع تولید پراکنده را میتوان با استراتژی های مختلفی در شبکه قدرت نصب کرد، مثلا به منظور کاهش تلفات توان شبکه، کاهش هزینه پیک بار، بهبود پروفیل ولتاژ، بهبود قابلیت اطمینان سیستم، افزایش شاخص پایداری ولتاژ که هر کدام از این اهداف، مکان و اندازه خاصی را برای منابع تولید پراکنده به دنبال دارد[۲-۳]. رااو و همکاران [۴] یک الگوریتم درجه دوم را برای پیدا کردن مکان و اندازه بهینه منابع تولید پراکنده با هدف کمینه کردن تلفات توان شبکه توزیع ارائه کردند. هدایتی و همکاران [۵] روشی را برای بهبود پروفیل ولتاژ و تلفات توان شبکه با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده ارائه کردند. در مرجع [۶] وانگاند و همکاران یک روشی تحلیلی برای تعین اندازه و مکان منابع تولید پراکنده به منظور کاهش تلفات توان ارائه کردند. سلی و همکاران [۷] با استفاده از الگوریتم ژنتیک مکان و اندازه بهینه منابع تولید پراکنده را با هدفی چند منظوره ارائه کردند. در[۸] مکان یابی و اندازه بهینه منابع تولید پراکنده به همراه جبران کننده استاتیکی ولتاژ به منظور کاهش تلفات و هزینه سرمایه گذاری را توسط الگوریتم تکاملی سیستم ایمنی ارائه کرده اند.

بازآرایی۲، در واقع بهترین پیکربندی شبکه از بین تمام پیکربندی های موجود شبکه، با حفظ ساختار شعاعی شبکه به منظور رسیدن به هدف خاص در شبکه می با شد. از آنجایی که شبکه های توزیع به صورت شعاعی پیکربندی می شوند، سوییچ هایی که در حالت عادی باز (NO۳) یا بسته (NC۴) هستند، نقاط استراتژیک شبکه برای امر بازآرایی محسوب میشوند. به طور کلی بازآرایی به منظور کاهش تلفات توان و از بین بردن اضافه بار و یا بهبود پروفیل ولتاژ در شبکه صورت می گیرد [۱۰]. بازآرایی شبکه توزیع اولین بار توسط مرلین و بک در سال ۱۹۷۵ ارائه شد[۱۱]. مرلین و بک با استفاده از تکنیک بهینه سازی شاخه و قید، به تعیین ساختاری از شبکه توزیع با هدف کمینه کردن تلفات توان حقیقی شبکه پرداخته اند.

در بخش بعدی فرمول بندی مسئله که شامل توابع هدف، فرضیات و قیود مسئله میشود، مطرح می گردد. بخش سوم شامل معرفی الگوریتم پیشنهادی و بخش چهارم مربوط به معرفی شبکه های تست، نتایج شبیه سازی و مقایسه می با شد و در بخش پنجم نتیجه گیری کلی از روش پیشنهادی و نتایج بدست آمده بیان خواهد شد.

۲- فرمول بندی مسئله

۲-۱-تابع تک هدف

در این مقاله، هدف از قرار دادن منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع شعاعی، کمینه کردن تلفات توان، بهبود پروفیل ولتاژ، افزایش شاخص پایداری ولتاژ با در نظر گرفتن تمام قیود بهره برداری می باشد. هر یک از توابع هدف و قیود مسئله به طور جداگانه در بخش های زیر بررسی می شود.

کمینه کردن تلفات توان: مسئله مکان یابی بهینه تولید پراکنده به طوری که منجر به کمینه شدن تلفات توان در شبکه شود، از طریق رابطه زیر تعریف می شود:

$$Of_{۱} = Minimize(P_{loss}) \qquad (۱)$$

$$P_{loss} = \sum_{i=۱}^{nb}\sum_{j=۱}^{nb}\frac{r_{i,j}}{v_i v_j}\cos(\partial_i - \partial_j)(p_i p_j + q_i q_j) + \frac{r_{i,j}}{v_i v_j}\sin(\partial_i - \partial_j)(q_i p_j - p_i q_j) \qquad (۲)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

تلفات توان حقیقی شبکه توزیع از رابطه (۲) به دست می آید. که در آن P_{loss} برابر مقدار تلفات توان حقیقی شبکه؛ p_i و q_i به ترتیب برابر توان اکتیو و راکتیو شین i ام؛ $r_{i,j}$ برابر مقاومت خط شبکه توزیع متصل بین شین های i ام و j ام؛ v_i و v_j به ترتیب اندازه ولتاژ شین i ام و j ام؛ nb تعداد کل شین های موجود در شبکه و ∂_i و ∂_j به ترتیب زاویه ولتاژ فاز شین i ام و j ام می باشد.

بهبود پروفیل ولتاژ: تجربه نشان داده که متصل کردن منابع تولید پراکنده نزدیک به بار باعث بهبود پروفیل ولتاژ شبکه خواهد شد. رابطه بهبود پروفیل ولتاژ به صورت زیر تعریف می شود:

$$Of_۲ = \sum_{i=۱}^{nb} (v_i - v_{rated})^۲ \qquad (۳)$$

بیشینه شاخص پایداری ولتاژ: به منظور بهبود پروفیل ولتاژ در شرایطی که بار شبکه زیاد است، حفظ و نگه داری شاخص پایداری ولتاژ بین یک حد خاصی ضروری می باشد. شاخص پایداری ولتاژ در شبکه های توزیع شعاعی به صورت زیر تعریف می شود:

$$Of_۳ = VSI_i = |v_j|^۴ - ۴[p_i r_{i,j} + q_i x_{i,j}]|v_j|^۲ \\ -۴[p_i x_{i,j} + q_i r_{i,j}]^۲ \quad i = ۱,۲,۳,\dots,nb \qquad (۴)$$

که در اینجا VSI_i شاخص پایداری ولتاژ شین i ام و $x_{i,j}$ راکتانس خط شبکه توزیع متصل بین شین های i ام و j ام می باشد.

۲-۲-تابع چند هدفه

با برر سی مطالعات گذ شته در زمینه مکان یابی بهینه منابع تولید پراکنده، مشخص میشود که بسیاری از محققان توابع مختلف تک هدف را در حل مسئله مکان یابی بهینه منابع تولید پراکنده به کار برده اند. خیلی اوقات، این اهداف متضاد با یکدیگر هستند؛ بنابراین بهینه سازی اهداف مختلف به طور همزمان به کار چالش برانگیزی برای محققان تبدیل شده است. وینوکومار و همکاران [۹] از یک تابع چند هدفه برای مکان یابی بهینه منابع تولید پراکنده در سیستم توزیع استفاده کردند. تابع چند هدفه شامل تعدادی از توابع به طور همزمان بهینه سازی شده می باشد، با در نظر گرفتن قیود شبکه. در این مقاله یک تابع چند هدفه برای بهینه کردن همزمان تلفات توان، بهبود پروفیل ولتاژ و حداکثر کردن شاخص پایداری ولتاژ به کار برده شده است. رابطه تابع چند هدفه که از ترکیب توابع تک هدفه بدست می آید به صورت زیر تعریف می شود:

$$F = min(Of_۱ + pc_۱ Of_۲ + pc_۲ Of_۳) \quad (۵)$$

که در آن F تابع چند هدفه؛ $pc_۱$ و$pc_۲$ به ترتیب ضرایب جریمه برابر ۰/۶ و ۰/۳۵ می باشد. $Of_۱$ تابع کاهش تلفات توان؛ $Of_۲$ تابع بهبود پروفیل ولتاژ؛ $Of_۳$ تابع شاخص پایداری ولتاژ می باشد.

۲-۳ قیود شبکه

برای حل مسئله مکان یابی منابع تولید پراکنده و بازآرایی باید قیود زیر رعایت شود که شامل توازن توان در شین ها، رعایت محدوده ولتاژ شین ها، حفظ جریان شاخه ها در محدوده مجاز و حد توان تولیدی توسط هر یک از منابع تولید پراکنده در شین مورد نظر و حفظ ساختار شعاعی شبکه می باشد، که به صورت معادلات زیر بیان می شود:

محدودیت توازن توان؛ حفظ توازن توان در شبکه به صورت معادله زیر بیان می شود:

$$p_{ui}^b - p_{ui}^c - v_{ui} \sum_{j=۱}^{n} v_{uj} Y_{uij} \cos(\lambda_{ui} - \lambda_{uj} - \theta_{uij}) = ۰ \qquad (۶)$$

$$q_{ui}^b - q_{ui}^c - v_{ui} \sum_{j=۱}^{n} v_{uj} Y_{uij} \sin(\lambda_{ui} - \lambda_{uj} - \theta_{uij}) = ۰ \qquad (۷)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

در اینجا ui شماره شین دریافتی توان و uj شماره شین تزریقی توان به شین ui می باشد، p_{ui}^{b} توان اکتیو خروجی از ژنراتور در شین ui و q_{ui}^{b} توان راکتیو خروجی از ژنراتور در شین ui می باشد. p_{ui}^{c} توان اکتیو بار در شین ui ام و q_{ui}^{c} توان راکتیو بار در شین ui ام می باشد. v_{ui} و v_{uj} به ترتیب اندازه ی پروفیل ولتاژ در شین ui ام و uj ام می باشد. Y_{uij} و θ_{uij} به ترتیب اندازه و زاویه ادمیتانس خط شبکه متصل بین شین های ui ام و uj ام می باشد. λ_{ui} و λ_{uj} به ترتیب زاویه فاز ولتاژ در شین ui ام و uj ام می باشد.

محدودیت ولتاژ شین ها؛ اندازه ولتاژ در هر شین باید بین محدوده تعیین شده باشد، که به صورت زیر بیان می شود:

$$v_i^{min} < v_i < v_i^{max} \qquad (۸)$$

در اینجا v_i^{min} و v_i^{max} به ترتیب کمترین و بیشترین حد مجاز در نظر کرفته شده برای ولتاژ شین ها می باشد، که کمترین آن برابر ۰/۹۵ پریونیت و بیشترین حد مجاز آن برابر ۱/۰۱ پریونیت می باشد.

محدودیت جریان شاخه ها؛ بار گذاری روی هر شاخه شبکه نباید از حدکثر ظرفیت برای هر شاخه تجاوز کند، که به صورت زیر بیان می شود:

$$I_{ij} < I_{ij}^{max} \qquad (۹)$$

در اینجا I_{ij} جریان بین شین های i ام و j ام می باشد و I_{ij}^{max} نیز بیشترین مقدار مجاز جریان برای این شاخه می باشد.

محدودیت تولید توان منابع تولید پراکنده؛ توان تولیدی هر یک از منابع تولید پراکنده باید بین حداکثر و حداقل توان در نظر گرفته شـــده برای آن ها باشد.

$$p_{i,min}^{DG} < p_i^{DG} < p_{i,max}^{DG} \qquad (۱۰)$$

در اینجا p_i^{DG} ظرفیت تولید توان اکتیو منبع انرژی پراکنده در شین i ام میبا شد، $p_{i,min}^{DG}$ و $p_{i,max}^{DG}$ به ترتیب حداقل و حداکثر توان اکتیو تولیدی در نظر گرفته شده برای منابع انرژی پراکنده در شین i ام میباشد.

حفظ ساختار شعاعی شبکه؛ بدین معنی که در شبکه حلقه ای وجود ندا شته با شد. این عمل با ت شکیل یک ماتریس مربعی انجام می شود، بدین صورت که هر ردیف در ماتریس زیر نماینگر هر حلقه از شبکه مورد نظر می باشد که عبارات ۱و۰ نشانگر جایگاه هر سوییچ در شبکه است. عدد صفر (۰) حالت وضعیت خاموش شدن سوییچ و عدد یک (۱) حالت روشن شدن سوییچ در شبکه می باشد. باید توجه کرد که برای حفظ شعاعی بود شبکه باید در هر ردیف حتما یک سوییچ خاموش باشد، در غیر این صورت ساختار شعاعی شبکه حفظ نشده است، اگر بیش از یک صفر در هر ردیف وجود داشته باشد، نشان دهنده بی برق بودن بخشی از شبکه می باشد.

$$matrix = \begin{bmatrix} ۱ & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & ۱ & 1 & 1 & 1 \\ ۱ & ۱ & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

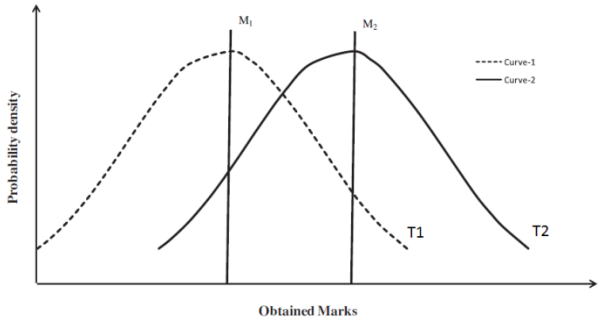
۳- مقدمه ای بر الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم بهینه ســازی مبتنی بر آموزش و یادگیری (TLBO۵) یکی از جدیدترین الگوریتم های بهینه ســازی تکاملی اســت که بر اســاس اصــول یادگیری و آموزش معلم و دانش آموزان طراحی گردیده اســت، که با اســتفاده از یادگیری و یاددهی به بهینه ســازی مســائل مختلف می پردازد. این الگوریتم اولین بار توسط رائو و همکارانش در سال ۲۰۱۱ جهت حل مسائل طراحی مکانیکی مطرح شد[۱۲]. چندین ماه بعد، در سال ۲۰۱۲ آنها از این الگوریتم جهت حل مسائل بهینه سازی پیوسته غیر خطی پیچیده استفاده کرده اند [۱۳]. الگوریتم پیشنهادی در این مقاله الگوریتم TLBO می باشد، به دلیل اینکه بر خلاف سایر الگوریتم های بهینه سازی الهام گرفته شده از طبیعت، پارامترهای کنترلی خاصی ندارد و پارامترهای کنترلی، تنها اندازه جمعیت اولیه و حداکثر تعداد تکرار می با شد و به سادگی این الگوریتم پیاده سازی و اجرا می شود. روند کار این الگوریتم به دو مرحله یا فاز تقسیم می شود: فاز معلم؛ که به معنی یادگیری از معلم است و فاز دانش آموز؛ که به معنی یادگیری از طریق تعامل بین دانش آموزان می باشد[۱۳].

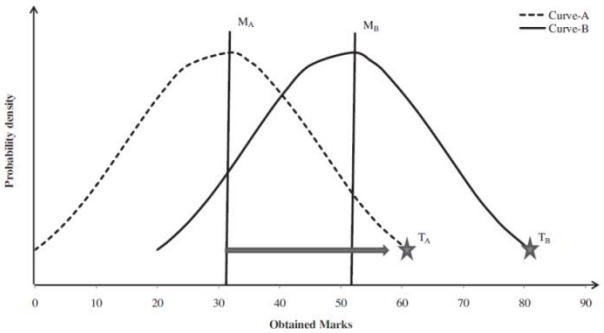
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

۳-۱ روند کار الگوریتم TLBO

فرض کنید دو معلم متفاوت T_1 و T_2 ، یک موضوع را با محتوای یکسان در دو کلاس تدریس می کنند، که سطح شایستگی دانش آموزان نیز در هر دو کلاس یکسان است؛ همان طور که در شکل (۱) دیده می شود توزیع نمرات بدست آمده در هر دو کلاس که توسط دو معلم متفاوت تحت تدریس قرار گرفتند نیز متفاوت می باشد. با ارزیابی نمرات بدست آمده از هر دو کلاس مشاهده می شود که معلم دوم (T_2) عملکرد بهتری در مقایسه با معلم اول (T_1) داشته است، زیرا میانگین نمرات کلاس دوم (M_2) در مقایسه با میانگین نمرات کلاس اول (M_1) بیشتر است. شکل (۲) نمرات بدست آمده توسط دانش آموزان در یک کلاس را نسبت به یک تابع چگالی احتمال نشان می دهد. در اینجا معلم به عنوان فرد آگاه تر در جامعه در نظر گرفته شده است و معلم تلاش می کند تا سبب افزایش سطح کلی دانش دانش آموزان کلاس شود و دانش آموزان نمراتی یا نتایج بهتری کسب کنند. بنابراین، یک معلم با توجه به قابلیت های خود سبب افزایش میانگین نمرات در یک کلاس می شود. در شکل(۲)، معلم T_A سعی خواهد کرد تا میانگین M_A را با توجه به قابلیت های خود به سمت خود حرکت دهد، که این موجب افزایش سطح دانش دانش آموزان کلاس شده و میانگین جدید نمرات دانش آموزان کلاس M_B خواهد شد. معلم T_A سطح دانش دانش آموزان کلاس را از M_A به M_B افزایش می دهد، اما در گام بعد نیاز به یک معلم جدید و با کیفیت تر است تا بتواند میانگین نمرات کلاس را مجددا افزایش دهد، یعنی در این مرحله T_B معلم جدید است. مطابق این روند در هر مرحله معلم جدید که آگاه ترین فرد از جامعه است سبب افزایش میانگین دانش آن جامعه شده و در تلاش است دانش آن جامعه را به سطح دانش خود برساند.



شکل(۱) تابع توزیع نمرات بدست آمده از دانش آموزانی که توسط دو معلم متفاوت آموزش دیده اند



شکل(۲) مدلی برای تغییر و بهبود میانگین نمرات بدست آمده از دانش آموزان یک کلاس

۳-۲ فاز معلم

همان طور که در شکل(۲) مشاهده شد میانگین یک کلاس بسته به یک معلم خوب از M_A به M_B افزایش می یابد. یک معلم خوب تلاش می کند تا سطح دانش، دانش آموزان را به سطح دانش خود برساند، اما در عمل این امر امکان پذیر نیست و یک معلم تنها می تواند میانگین یک کلاس را بسته به قابلیت های خود تا حدی به سمت خود حرکت دهد. در اینجا فرض می شود M_i میانگین نمرات کلاس و (T_i)، معلم کلاس در هر تکرار i ام باشد. M_i سعی خواهد کرد تا به سمت T_i حرکت کند، بنابراین در حال حاضر میانگین جدید T_i خواهد شد،که M_{new} نامیده می شود. در اینجا، اختلاف بین میانگین کنونی و میانگین جدید توسط رابطه زیر به روز رسانی می شود، که dM_i خوانده می شود:

$$dM_i = R_i(M_{new} - T_F M_i) \qquad (۱۱)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

در اینجا T_F ضریب یادگیری می باشد، که تصمیم می گیرد میانگین چقدر تغییر کند. اگر T_F برابر با یک در نظر گرفته شود میانگین کلاس حداکثر می تواند به سطح دانش معلم کلاس برسد و دانش جدیدی خلق نخواهد شد، اما اگر برابر دو در نظر گرفته شود فرآیند آموزش شتاب بیشتری می گیرد و دانش جدیدی فراتر از دانش معلم خلق می شود. R_i یک عدد تصادفی در محدوده [۱،۰] است. مقدار T_F می تواند به صورت تصادفی و با احتمال یکسان توسط رابطه (۱۲) یک یا دو در نظر گرفته شود:

$$T_F = round[۱ + rand(۰,۱)\{۲ - ۱\}] \qquad (۱۲)$$

مقدار اختلاف بین میانگین کنونی و میانگین جدید با متغیرهای کنترلی، یا همان نمرات بدست آمده از دانش آموزان در یک کلاس جمع شده و متغیر کنترلی جدید را بوجود می آرود، که از طریق رابطه (۱۳) محاسبه می شود:

$$X_{new,i} = X_{old,i} + dM_i \qquad (۱۳)$$

در اینجا $X_{old,i}$ متغیر کنترلی می باشد که نیاز به آموزش دارد و $X_{new,i}$ متغیر کنترلی آموزش دیده می باشد. اگر $X_{new,i}$ از $X_{old,i}$ بهتر باشد، به این منظور که جواب تابع هدف مسئله بهتر شده باشد، جایگزین آن می شود، در غیر این صورت همان را حل قبلی باقی می ماند و تغییری حاصل نمی شود.

۳-۳ فاز دانش آموز

دانش آموزان سـطح دانش خود را از دو طریق می توانند افزایش دهند؛ یکی از طریق معلم و دیگری از طریق تعامل بین خود. در این مقاله فرض بر این ا ست، که در هر مرحله از راه حل برای هر دانش آموز یک دانش آموز دیگر به صورت تـصادفی انتخاب شده و دانش آموزان از این طریق باهم تعامل دارند. یک دانش آموز تنها در صورتی چیز جدیدی یاد می گیرد، که دانش آموزی که با او تعامل دارد، دارای سطح دانش بیشتری نسبت به او باشد.

$$For\ i = ۱ : P_n$$
$$If \quad f(x_i) < f(x_j)$$
$$X_{new,i} = X_{old,i} + r_i(x_i - x_j) \qquad i \neq j \qquad (۱۴)$$
$$Else$$
$$X_{new,i} = X_{old,i} + r_i(x_j - x_i) \qquad i \neq j \qquad (۱۵)$$
$$End\ If$$

در اینجا اگر سطح دانش، دانش آموز i ام $f(x_i)$، از سطح دانش، دانش آموز j ام $f(x_j)$، کمتر باشد، از رابطه (۱۴) برای به روز رسانی متغیر کنترلی جدید استفاده می شود، در غیر این صورت از رابطه (۱۵) استفاده خواد شد، P_n هم تعداد کل جمعیت دانش آموزان می باشد.

٤- مطالعات عددی

برای بررسی کارایی و بهینه بودن روش ارائه شده، از شبکه ۳۳ شینه شعاعی [۱۴] و ۶۹ شینه [۱۵] استفاده می شود. چندین سناریو مختلف بر روی این شبکه ها در نظر گرفته شده است.

سناریو اول: حالت اولیه سیستم؛

سناریو دوم: فقط بازآرایی؛

سناریو سوم؛ فقط مکان یابی تولید پراکنده؛

سناریو چهارم؛ شبیه سازی هم زمان بازآرایی با مکان یابی بهینه تولید پراکنده.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

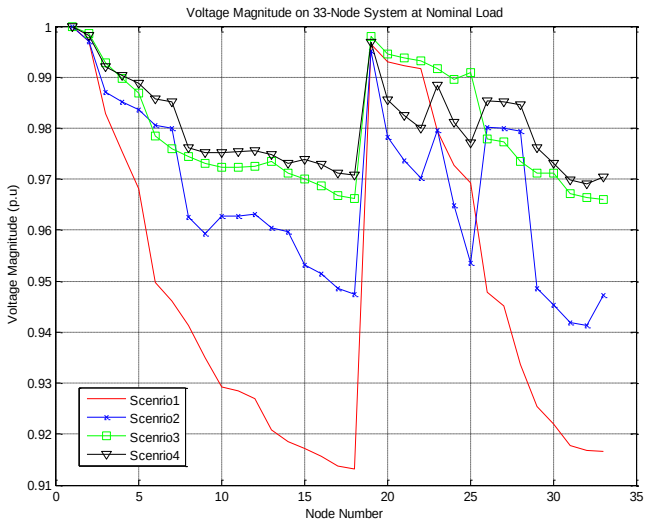
٤-١ نتایج شبیه سازی بر روی شبکه ۳۳ شینه

شبکه توزیع شعاعی ۳۳ شینه، دارای ۳۳ شین و ۳۷ شاخه با ولتاژ ۱۲٫۶۶کیلوولت و ۵ سوییچ مانور می باشد. کل بار اکتیو شبکه ۳۷۱۵ کیلو وات و بار راکتیو ۲۳۰۰ کیلو وار میباشد. تلفات توان اکتیو این سیستم برابر۲۰۲/۶۷ کیلو وات می باشد. کمترین پروفیل ولتاژ ۰/۹۱۳ پریونیت و در شین ۱۸ قرار دارد. جدول (۱) نتایج مربوط به بهینه سازی شبکه ۳۳ شینه را توسط روش پیشنهادی نشان می دهد.

جدول(۱) نتایج بهینه سازی شبکه ۳۳ شینه در سناریو های مختلف

سناریوها			تلفات توان (KW)	شاخص پایداری	انحراف ولتاژ
سناریو اول (حالت اولیه سیستم)	سوییچ باز شده	۳۳،۳۴،۳۵،۳۶،۳۷	۲۰۲/۶۷	-	-
	DG (KW)، {شین}	-			
سناریو دوم (فقط بازآرایی)	سوییچ باز شده	۷،۹،۱۴،۲۸،۳۲	۱۳۹/۹۸	۰/۹۳۰۲	۰/۰۴۴۱
	DG (KW)، {شین}	-			
سناریو سوم (فقط نصب DG)	سوییچ باز شده	۳۳،۳۴،۳۵،۳۶،۳۷	۷۲/۹۶۳۵	۰/۹۵۱۰	۰/۰۱۷۸
	DG (KW)، {شین}	۱۰۵۰ {۳۰} ۸۰۰ {۲۵} ۷۰۰ {۱۳}			
سناریو چهارم (شبیه سازی همزمان)	سوییچ باز شده	۷،۹،۱۳،۲۸،۳۲	۶۴/۹۷۲۵	۰/۹۶۲۴	۰/۰۱۴۸
	DG (KW)، {شین}	۱۲۳۸ {۲۹} ۴۱۳ {۱۵} ۱۳۸ {۱۸}			

شکل (۳) پروفیل ولتاژ سیستم ۳۳ شینه را در سناریوهای مختلف نشان می دهد.

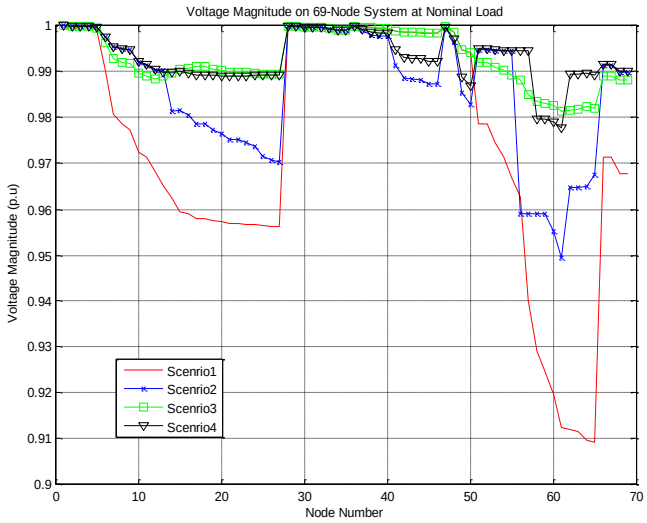


شکل(۳) پروفیل ولتاژ شبکه ۳۳ شینه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

۴-۲ نتایج شبیه سازی بر روی شبکه ۶۹ شینه

شبکه توزیع شعاعی ۶۹ شینه، دارای ۶۹ شین و ۷۳ شاخه با ولتاژ ۱۲٫۶۶کیلوولت و ۵ سوییچ مانور می باشد. کل بار اکتیو شبکه ۳۸۰۲ کیلو وات و بار راکتیو ۲۶۹۴ کیلو وار میباشد. تلفات توان اکتیو این سیستم برابر ۲۲۴/۹۷۱۴ کیلو وات می باشد. کمترین پروفیل ولتاژ ۰/۹۰۹۱۹ پریونیت و در شین ۶۵ قرار دارد. جدول (۲) نتایج مربوط به بهینه سازی شبکه ۶۹ شینه را توسط روش پیشنهادی نشان می دهد. شکل (۴) پروفیل ولتاژ سیستم ۶۹ شینه را در سناریوهای مختلف نشان می دهد.



شکل(٤) پروفیل ولتاژ شبکه ٦٩ شینه

جدول(۲) نتایج بهینه سازی شبکه ٦٩ شینه در سناریو های مختلف

سناریوها			تلفات توان (KW)	شاخص پایداری	انحراف ولتاژ
سناریو اول (حالت اولیه سیستم)	سوییچ باز شده	۶۹،۷۰،۷۱،۷۲،۷۳	۲۲۴/۹۸	-	-
	DG (KW)، {شین}	-			
سناریو دوم (فقط بازآرایی)	سوییچ باز شده	۱۳،۵۵،۶۱،۶۹،۷۰	۹۸/۶۸	۰/۹۱۲۱	۰/۰۲۶۴
	DG (KW)، {شین}	-			
سناریو سوم (فقط نصب DG)	سوییچ باز شده	۶۹،۷۰،۷۱،۷۲،۷۳	۷۱/۶۴	۰/۹۲۴۱	۰/۰۰۵۹
	DG (KW)، {شین}	۵۳۳ {۱۷} ۱۲۰۰ {۶۱} ۵۷۰ {۶۴}			
سناریو چهارم (شبیه سازی همزمان)	سوییچ باز شده	۱۲،۵۷،۶۱،۶۹،۷۰	۳۸/۳۶	۰/۹۵۴۷	۰/۰۰۵۳
	DG (KW)، {شین}	۱۴۰ {۲۴} ۱۲۶۰ {۶۱} ۴۲۲ {۶۴}			

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

۳-٤ مقایسه روش پیشنهادی

به منظور کارایی روش پیشنهادی نسبت به دیگر روش های اکتشافی هر دو شبکه ۳۳ و ۶۹ شینه را با الگوریتم جستجوی هماهنگ (HSA۶)، الگوریتم ژنتیک (GA۷) [۳] و الگوریتم آتش بازی (FWA۸) [۱۶] مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول(۳) مقایسه روش پیشنهادی در شبکه ۳۳ شینه در بهینه ترین جواب(شبیه سازی هم زمان مکان یابی DG و بازآرایی)

روش	تلفات توان (KW)	کمترین پروفیل ولتاژ P.u	سوییچ های باز شده در شبکه	مجموع کل ظرفیت DG (KW)
الگوریتم پیشنهادی (TLBO)	۶۴/۹۷	۰/۹۶۹۱	۷،۹،۱۳،۲۸،۳۲	۱۷۸۹
GA	۷۵/۱۳	۰/۹۷۶۶	۷،۱۰،۲۸،۳۲،۳۴	۱۶۰۴
HSA	۷۳/۰۵	۰/۹۷۰۰	۷،۱۰،۱۴،۲۸،۳۲	۱۷۲۵
FWA	۶۷/۱۱	۰/۹۷۱۳	۷،۱۱،۱۴،۲۸،۳۲	۱۷۹۳

جدول (۳) و (۴) به ترتیب نشان دهنده مقایسه روش پیشنهادی با دیگر روش ها در سیستم ۳۳ و ۶۹ شینه می باشد. حالت مورد مقایسه در نظر گرفتن شبیه سازی هم زمان بازآرایی و مکان یابی سه واحد تولید پراکنده با فرض تزریق توان اکتیو به شبکه می باشد(بهترین جواب).

جدول(٤) مقایسه روش پیشنهادی در شبکه ٦۹ شینه در بهینه ترین جواب(شبیه سازی هم زمان مکان یابی DG و بازآرایی)

روش	تلفات توان (KW)	کمترین پروفیل ولتاژ P.u	سوییچ های باز شده در شبکه	مجموع کل ظرفیت DG (KW)
الگوریتم پیشنهادی (TLBO)	۳۸/۳۶	۰/۹۷۷۷	۱۲،۵۷،۶۱،۶۹،۷۰	۱۸۲۲
GA	۴۶/۲۰	۰/۹۷۲۷	۷،۱۰،۲۸،۳۲،۳۴	۱۶۰۴
HSA	۴۰/۰۳	۰/۹۷۳۶	۷،۱۰،۱۴،۲۸،۳۲	۱۷۲۵
FWA	۳۹/۲۵	۰/۹۷۹۶	۷،۱۱،۱۴،۲۸،۳۲	۱۷۹۳

۵- نتیجه گیری

در این مقاله شبیه سازی همزمان مسئله مکان یابی بهینه منابع تولید پراکنده و مسئله بازآرایی شبکه به منظور بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات توان و افزایش شاخص پایداری شبکه با استفاده از روش بهینه سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری (TLBO) ارائه شد. روش پیشنهادی را بر روی شبکه های استاندارد ۳۳ و ۶۹ شینه مورد آزمایش قرار دادیم، سپس نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی را با روش های دیگری از جمله الگوریتم GA، الگوریتم HSA و الگوریتم FWA، با شرایط یکسانی مورد مقایسه قرار دادیم که نتایج بدست آمده، نشان از برتری این روش نسبت به دیگر روش ها می باشد.

مراجع

[۱] W, El-Khattam., Salama, M.M.A., "Distributed Generation Technologies, Definitions and Benefits," Elect Power Syst Res., Vol. ۷۱, pp. ۱۱۹-۱۲۸, ۲۰۰٤.

[۲] Pavlos, S., Georgilakis, Nikos. D., "Hatziargyriou. Optimal Distributed Generation Placement in Power Distribution Networks: Models, Methods, and Future Research," IEEE Trans Power Syst., Vol. ۲۸, pp. ۳٤۲۰–۳٤۲۸, ۲۰۱۳.

[۳] R, Srinivasa. Rao., K, Ravindra., K, Satish., and S. V. L. Narasimham. "Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation," IEEE Trans Power Syst., Vol. ۲۸, □□. ۳۱۷□۳۲۵, ۲۰۱۳.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

[٤] N. S. Rau and Y.-H. Wan. "Optimum location of resources in distributed planning," IEEE Trans Power Syst., Vol. ۹, □□. ۲۰۱۴□۲۰۲۰, ۱۹۹۴.

[٥] H, Hedayati., S, A. Nabaviniaki., and A, Akbarimajd., "A method for placement of DG units in distribution networks," IEEE Trans Power Del., Vol. ۲۳, Pp. ۱٦۲۰–۱٦۲۸, ۲۰۰۸.

[٦] C, Wang., and M, H. Nehrir., "Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems," IEEE Trans Power Syst., Vol. ۱۹, pp. ۲۰٦۸–۲۰۷٦, ۲۰۰٤.

[۷] G, Celli., E, Ghiani., S, Mocci., and F, Pilo., "A multi-objective evolutionary algorithm for the sizing and the sitting of distributed generation, "IEEE Trans Power Syst., Vol. ۲۰, pp. ۷٥۰–۷٥۷, ۲۰۰٥.

[۸] سـید عباس طاهر، اکرم شـاهقلیان،" جایابی بهینه منابع تولید پراکنده به همراه SSVR در شـبکه های توزیع با اسـتفاده از الگوریتم تکامل ایمنی"، نشریه انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران، سال ۱۱، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۳.

[۹] Vinothkumar, K., Selvan, MP., "Distributed generation planning: a new approach based on goal programming, "Electric Power Compon Syst., Vol. ٤۰, pp .۴۹۷□۵۵۲, ۲۰۱۲.

[۱۰] J., J. Young., K, J. Chul., Jin-O, Kim., J.-O, Joong-Rin Shin., K, Y. Lee., "An efficient simulated annealing algorithm for network reconfiguration in large-scale distribution systems," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. ۱۷, pp. ۱۰۷۰–۱۰۷۸, ۲۰۰۲.

[۱۱] A, Merlin., and H, Back., "Search for a minimal-loss operating spanning tree configuration in an urban power distribution system," Proc. ٥ th Power Syst. Comput. Conf. (PSCC), Cambridge, UK., pp. ۱–۱۸, ۱۹۷٥.

[۱۲] R, V. Rao., and V, J. Savsani., and D, P. Vakharia., "Teaching–learning based optimization: A novel method for constrained mechanical design optimization problems," Computer-Aided Design., Vol. ٤۳, pp. ۳۰۳–۳۱٥, ۲۰۱۱.

[۱۳] R, V. Rao., and V, J. Savsani., and D, P. Vakharia.,"Teaching–Learning-Based Optimization: An optimization method for continuous non-linear large scale problems," Information Sciences., Vol. ۱۸۳, pp. ۱۸۳ ۱–۱٥, ۲۰۱۲.

[۱٤] M, E. Baran., and F, Wu., "Network reconfiguration in distribution system for loss reduction and load balancing," IEEE Trans Power Del., vol. ٤, pp. ۱٤۰۱–۱٤۰۷, ۱۹۸۹.

[۱٥] J, S. Savier., and D, Das., "Impact of network reconfiguration on loss allocation of radial distribution systems," IEEE Trans Power Del., vol. ۲, pp. ۲٤۷۳–۲٤۸۰, ۲۰۰۷.

[۱٦] A. Mohamed Imran, M. Kowsalya, D.P. Kothari, "A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution network," Electr Power Energy Syst., vol. ٦۳, pp. ٤٦۱–٤۷۲, ۲۰۱٤.

زیرنویس‌ها

[۱] Distributed Generation (DG)
[۲] Reconfiguration
[۳] Normally Open (NO)
[٤] Normally Close (NC)
[٥] Teaching Learning Base Optimization (TLBO)
[٦] Harmony Search Algorithm (HSA)
[۷] Genetic Algorithm (GA)
[۸] Fireworks Algorithm (FWA)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]