

برنامه‌ریزی بهینه تولید میکروتوربین در فضای شبکه هوشمند به منظور کاهش تلفات انرژی روزانه

مجتبی روحانی، مریم اخوان حجازی
 دانشکده مهندسی برق
 دانشگاه کاشان
 کاشان، ایران

ابوالفضل رحیمی نژاد
 دانشکده مهندسی برق
 دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
 تهران، ایران

چکیده — در این مقاله برنامه‌ریزی بهینه توان تولیدی میکروتوربین با هدف کاهش تلفات روزانه انرژی در شبکه هوشمند انجام گرفته است. همچنین مقایسه‌ای کامل و منصفانه با برنامه‌ریزی تولید در شبکه امروزی انجام شده است. برنامه‌ریزی میکروتوربین چه در شبکه امروزی و چه در شبکه هوشمند برای یک روز و با داشتن پروفیل روزانه بار انجام گرفته است. پروفیل بار برای شبکه امروزی بصورت یک پروفیل سه سطحی است که پیش‌بینی شده است، در صورتیکه در شبکه هوشمند پروفیل ۲۴ ساعته و بطور دقیق اندازه‌گیری شده است. در این مقاله بمنظور بهینه نمودن میزان تولید منابع تولید پراکنده از روش بهینه سازی تکاملی بر پایه تدریس و یادگیری (Teaching-learning-based Optimization) استفاده شده است و نتایج آن با روش تجمع ذرات (Particle Swarm Optimization (PSO)) مقایسه شده است. شبکه مورد مطالعه در این مقاله شبکه شعاعی ۶۹ باسه است که در مقالات زیادی به عنوان شبکه نمونه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های انجام گرفته تاثیر چشمگیر فضای هوشمند در کاهش تلفات را نشان می‌دهد. همچنین برتری روش TLBO نسبت به روش PSO در نتایج کاملاً مشهود است.

واژه‌های کلیدی شبکه هوشمند، میکروتوربین، کاهش تلفات انرژی،

TLBO

مقدمه

مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی جوامع بشری را با سه بحران بزرگ آلودگی زیست محیطی، مالی و انرژی رودرو ساخته است. روند رو به رشد مصرف انرژی الکتریسیته و همچنین تولید بخش اعظم این انرژی از سوخت‌های فسیلی نیز باعث تشدید بحران‌های یاد شده می‌شود [۱]. از

طرفی حدود ۱۵ انرژی الکتریسیته تولیدی در نیروگاه‌ها در مسیر رسیدن به مشترک نهایی تلف می‌شود که سهم بالایی از آن مربوط به شبکه‌های توزیع است [۲]. میزان این انرژی تلف شده بسیار بالا بوده و کاهش آن می‌تواند تاثیر چشمگیری در مرتفع نمودن بحران‌های یاد شده داشته باشد. لذا حداقل کردن این تلفات همواره یکی از اساسی‌ترین مسائل در شبکه‌های قدرت بوده و هست و روش‌های متنوعی برای کاهش تلفات عرضه شده است. بطور کل می‌توان روش‌های موجود برای کاهش تلفات را به سه دسته کلی تقسیم‌بندی نمود. دسته اول روش‌هایی هستند که بر اساس تغییر در مسیر عبور توان اکتیو باعث کاهش تلفات می‌شوند. دسته دوم روش‌هایی هستند که با کاهش میزان توان راکتیو عبوری از خطوط دامنه جریان را کاهش داده و باعث کاهش در تلفات می‌شوند. دسته سوم روش‌هایی هستند که همزمان از هر دو روش عنوان شده برای کاهش تلفات استفاده می‌کنند. از ابزار مورد نیاز برای این تغییرات و کاهش تلفات می‌تواند به تغییر آرایش شبکه توزیع^۱ ([۳]) در سطوح مختلف بار، استفاده از بانک‌های خازنی ([۴])، عناصر FACTS ([۵ و ۶])، منابع تولید پراکنده^۲ (DG) ([۷ و ۸]) و ... اشاره کرد.

منابع تولید پراکنده یکی از مهمترین روش‌های مورد استفاده برای کاهش تلفات شبکه هستند که علاوه بر کاهش تلفات مزایای زیاد دیگری مانند افزایش قابلیت اطمینان، کاهش هزینه خرید توان، بهبود پروفیل ولتاژ و ... را بدنبال خواهند داشت. از طرفی برای عملکرد مناسب منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع نیاز است که این منابع بصورت مناسب در شبکه قرار گرفته و تولید آنها با توجه به شرایط شبکه بهینه باشد. لذا مکان‌یابی و برنامه‌ریزی تولید منابع تولید پراکنده از مهمترین مسائل مربوط به نصب منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع است.

۱ - Reconfiguration
 ۲ - Distributed Generation

بار روزانه بوده و در شبکه امروزی تک مقدار می‌باشد. اما مقایسه انجام گرفته در مقاله مورد نظر کامل و منصفانه نبوده و دارای نقص‌هایی است که عبارتند از:

آیا بار در شبکه‌های امروزی نمی‌تواند بصورت چند سطحی باشد و یک مدل چند سطحی برای تولید DG نیز تعیین کرد که در ساعات مختلف میزان تولید DG تغییر کند.

مدل چند سطحی در شبکه‌های امروزی دارای چه مقادیری خواهد بود و رفتار آن چه تفاوتی با مدل شبکه هوشمند دارد.

میزان کاهش تلفات در شبکه‌های امروزی و شبکه‌های هوشمند تا چه اندازه با هم تفاوت خواهند داشت.

در مدل چند سطحی بار در شبکه‌های امروزی آیا میزان بار ممکن است با مقدار واقعی تفاوت داشته باشد.

تفاوت در مدل بار شبکه‌های امروزی با مقدار واقعی تا چه اندازه در میزان تلفات کاهشی شبکه می‌تواند تاثیر گذار باشد.

در این مقاله برنامه‌ریزی میکروتوربین بمنظور کاهش تلفات در فضای شبکه هوشمند و شبکه امروزی انجام گرفته است و با هم مقایسه شده است. مقایسه انجام گرفته تمام حالات ممکن را در نظر گرفته و لذا بصورت کامل و منصفانه می‌باشد. بدین منظور پروفیل بار در هر دو حالت بصورت چندسطحی است. پروفیل بار در شبکه هوشمند بصورت ۲۴ ساعته و در شبکه امروزی بصورت ۳ سطحی در نظر گرفته شده است. در شبکه امروزی پروفیل بار در ۳ حالت مورد بررسی قرار می‌گیرد. حالت اول فرض می‌شود که میزان بار در هر سطح میانگین مقادیر بار در هر ۸ ساعت شبکه هوشمند است. به عبارت دیگر در این حالت فرض می‌شود که پیش‌بینی با دقت بالایی بار را تخمین زده است. در حالت دوم مقدار بار در هر سطح حداکثر مقدار بار در هر ۸ ساعت شبکه هوشمند است و در حالت ۳ فرض می‌شود خطای پیش‌بینی باعث شده است که میزان بار به اندازه ۱۰٪ نسبت به حالت ۲ بیشتر باشد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در تمام حالات فوق اطلاع از میزان دقیق بار که در شبکه هوشمند میسر می‌گردد تاثیر چشمگیری در کاهش تلفات شبکه خواهد داشت. همچنین بهینه‌سازی‌های انجام گرفته با دو روش TLBO و PSO انجام می‌گیرد که سرعت روش TLBO در رسیدن به نتیجه بهینه بالاتر است.

ادامه این مقاله بصورت زیر بخش‌بندی شده است. در بخش ۲ مسئله مورد بررسی در این مقاله بیان می‌شود. در بخش ۳ روش بهینه‌سازی

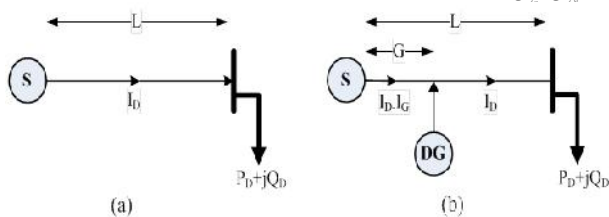
مکان‌یابی DG در مرحله طراحی انجام گرفته و برای انواع متفاوت آن قابل اجراست. اما برنامه‌ریزی تولید DG در مرحله بهره‌برداری بوده و تنها برای انواع برنامه‌پذیر DG امکان پذیر است. از مهمترین منابع تولید پراکنده با قابلیت برنامه‌پذیر بودن می‌توان به پیل سوختی و میکروتوربین اشاره کرد که میکروتوربین‌ها به دلیل دینامیک بهتر سرعت پاسخ‌گویی بهتری داشته و در مسائل برنامه‌ریزی عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند. لذا با توجه به اینکه در این مقاله کاهش تلفات در شبکه هوشمند انجام می‌گیرد، برنامه‌ریزی تولید منابع تولید پراکنده مدنظر بوده و نوع DG انتخابی نیز میکروتوربین می‌باشد.

برنامه‌ریزی شبکه برای کاهش تلفات معمولاً با در نظرگیری بار شبکه بصورت یک عدد ثابت در نظر گرفته می‌شود، در صورتیکه تغییرات بار بصورت روزانه و ساعت به ساعت بوده و لذا تغییر در میزان بار، نقطه کار شبکه را از حالت بهینه خارج نموده و باعث ایجاد نقاط زیربینه می‌شود [۹]. لذا در نظرگیری بار بصورت یک پروفیل روزانه و برنامه‌ریزی روزانه DG تاثیر بیشتری در کاهش تلفات خواهد داشت. این پروفیل روزانه بار در شبکه‌های امروزی به علت عدم وجود تجهیزات هوشمند و مخابره اطلاعات، نیاز است که با پیش‌بینی بدست آید که قطعاً در آن خطا وجود خواهد داشت.

در [۱۰] مکان‌یابی و تعیین سائز DG برای یک شبکه با پروفیل بار روزانه در نظر گرفته شده است. با توجه به پروفیل روزانه بار کاهش تلفات بصورت روزانه و درحقیقت کاهش انرژی تلف شده انجام می‌گیرد. با حال این با توجه به مطالب عنوان شده باید دید چنانچه در این پروفیل خطایی رخ دهد شبکه تا چه اندازه از نقطه بهینه دور خواهد شد. از طرفی با معرفی شبکه‌های هوشمند که از آنها به عنوان شبکه‌هایی برای آینده یاد می‌شود، امکان دسترسی به اطلاعات دقیق شبکه بصورت لحظه‌ای فراهم خواهد بود [۱۱]. وجود این امکانات به بهره‌بردار شبکه این امکان را می‌دهد تا شبکه را در حالت بهینه‌تری بهره‌برداری کرده و لذا هزینه‌های شبکه کاهش یابد [۱۲]. با این امکانات کاهش تلفات بصورت دقیق‌تر انجام خواهد گرفت و لذا تلفات بیشتری کاهش خواهد یافت [۱۳ و ۱۴]. همچنین می‌توان از روش‌های نوین نیز مانند پاسخ‌گویی بار یا برنامه‌ریزی خودروهای الکتریکی به منظور کاهش تلفات بهره گرفت [۱۵].

در [۱۶] برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده با هدف حداقل کردن انرژی تلف شده روزانه شبکه در فضای شبکه هوشمند انجام گرفته است و با عملکرد آن در شبکه امروزی مقایسه شده است. در شبکه هوشمند پروفیل

TLBO معرفی می‌شود. در بخش ۴ مطالعه موردی مورد ارزیابی قرار گرفته و در بخش ۵ نتیجه‌گیری بیان می‌شود.



شکل ۱- شبکه ساده شعاعی (a) بدون حضور DG و (b) با حضور DG

تعریف مسئله

مزایای استفاده از منابع تولید پراکنده به عنوان

توابع هدف

حضور DG در شبکه‌های توزیع مزایای متنوعی برای شبکه توزیع به همراه دارد که هرکدام از آنها می‌تواند به عنوان یک تابع هدف برای تعیین مکان و اندازه بهینه DG مورد نظر قرار گیرد [۱۷-۱۸]. مهمترین این مزایا عبارتند از ۱- کاهش تلفات شبکه، ۲- کاهش هزینه خرید توان اکتیو از بازار برق، ۳- افزایش قابلیت اطمینان شبکه و ۴- بهبود پروفیل ولتاژ شبکه. که در این مقاله کاهش تلفات به عنوان تابع هدف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کاهش تلفات با استفاده از منابع تولید پراکنده

منابع تولید پراکنده منابعی هستند که در پایین‌ترین سطح شبکه و نزدیک به مصرف‌کنندگان نهایی قرار می‌گیرند. قرار گرفتن این نوع منابع در نزدیکی مصرف‌کنندگان باعث می‌شود که شارش توان از سمت شبکه بالادست به سمت مصرف‌کنندگان کاهش یافته و لذا تلفات کاهش یابد [۱۹]. البته باید در نظر داشت که قرار گرفتن DG در محل نامناسب و تولید غیر بهینه می‌تواند نتیجه عکس داشته باشد [۲۰]. لذا انتخاب اندازه و محل نصب DG مسئله‌ای بسیار مهم می‌باشد. در شکل ۱ دو حالت مختلف برای یک شبکه ساده در نظر گرفته شده‌است. در حالت اول بار از طریق شبکه اصلی تأمین شده و در حالت دوم یک DG در مسیر قرار می‌گیرد و قسمتی از بار را تأمین می‌کند [۲۱]. در حالت a تلفات شبکه را می‌توان با رابطه زیر محاسبه کرد:

$$P_{loss}^a = \frac{rL(P_D^2 + Q_D^2)}{U^2} \quad (1)$$

این تلفات برای حالت دوم که DG نیز وارد شده است بصورت زیر حساب می‌شود:

$$P_{loss}^b = \frac{r}{U^2} \left[G((P_D - P_{DG})^2 + (Q_D - Q_{DG})^2) + (L-G)(P_D^2 + Q_D^2) \right] \quad (2)$$

$$P_{loss}^b = \frac{rL}{U^2} \left[\frac{P_D^2 + Q_D^2 + \frac{G}{L}(P_{DG}^2 + Q_{DG}^2)}{+ Q_{DG}^2 - 2P_{DG}P_D - 2Q_{DG}Q_D} \right] \quad (3)$$

اختلاف اتلاف در دو حالت برابر خواهد بود با:

$$X = P_{loss}^a - P_{loss}^b = \frac{rG}{U^2} \left[\frac{P_{DG}^2 + Q_{DG}^2}{-2P_{DG}P_D - 2Q_{DG}Q_D} \right] \quad (4)$$

برای کاهش تلفات باید مقدار X در رابطه بالا بیشینه شود. پارامترهای قابل تغییر برای بیشینه کردن این مقدار، مقدار توان اکتیو و راکتیو DG و G که مشخص کننده مکان DG است، می‌باشد. بنابراین با انتخاب بهترین محل و تعیین سایز بهینه DG از نظر تولید اکتیو و راکتیو می‌توان مقدار تلفات را به حداقل آن رساند [۲۱]. البته باید در نظر داشت که افزایش تعداد DG نیاز به سرمایه‌گذاری بیشتر دارد و لذا تعداد DG نیز باید بصورت بهینه انتخاب شود.

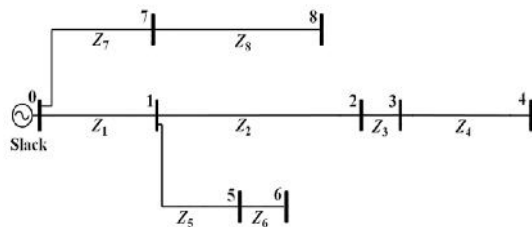
انتخاب محل DG بر اساس بار کلی شبکه انجام می‌گیرد و جز پارامترهای طراحی است. ولی تعیین اندازه توان تولیدی DG جز پارامترهای بهره‌برداری بوده که در هر زمان با توجه به میزان بار می‌تواند متفاوت باشد. در این مقاله تعیین اندازه DG مورد بحث می‌باشد.

بنابراین می‌توان مسئله مورد نظر در این مقاله را به شکل زیر فرموله کرد:

$$\min f = P_{loss} = \sum_{i=1}^{n_b} r_i [(v_i^{rec} - v_i^{send})] / (r_i + jx_i) \quad (5)$$

که در آن r_i و x_i به ترتیب مقاومت و راکتانس خط i ام و v_i^{send} و v_i^{rec} ولتاژ باس ابتدا و انتهای خط i ام می‌باشند. n_b نیز تعداد خطوط

شبکه می‌باشد. این تابع نیز دارای قیودی می‌باشد که این قیود مربوط به توان تولیدی DGها، توان انتقالی از خطوط و ولتاژ باس‌ها می‌باشد که بصورت زیر تعریف می‌شوند.



شکل ۲- شبکه ۹ باسه شعاعی

عنوان مثال برای شبکه مورد نظر در شکل ۲ ماتریس BIBC و ماتریس BCBV نشان داده شده است.

$$BIBC = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$BCBV = \begin{bmatrix} Z_1 & Z_1 & Z_1 & Z_1 & Z_1 & Z_1 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & Z_2 & Z_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_3 & Z_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_5 & Z_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_7 & Z_7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_8 & Z_8 \end{bmatrix}$$

به عنوان مثال در ماتریس BIBC خط ۳ بیان کننده این است که باس‌های ۳ و ۴ بعد از خط ۳ بوده و هیچ باس دیگری بعد از این خط وجود ندارد. همچنین در ماتریس BCBV ستون ۳ بیان کننده این واقعیت است که باس ۳ بعد از افت ولتاژهای ناشی از امپدانس‌های خط ۱، خط ۲ و خط ۳ از باس مرجع وجود دارد. حاصلضرب این دو ماتریس یک ماتریس مربعی به تعداد باس‌هاست که بیان‌گر امپدانس‌های موجود در مسیر هر باس می‌باشد. چنانچه این حاصلضرب در ماتریس جریان خطوط ضرب شود افت ولتاژهای موجود در مسیر هر باس مشخص می‌شود. اگر این افت ولتاژها از ولتاژ باس مرجع کم شود ولتاژ باس‌ها بدست می‌آید. بنابراین می‌توان الگوریتم پخش بار را بصورت زیر بیان نمود

$$P_i^{\min} \leq P_i < P_i^{\max} \quad (6)$$

$$F_i^{\text{line}} \leq \text{limit}_i \quad (7)$$

$$V_i^{\min} \leq V_i < V_i^{\max} \quad (8)$$

که در این روابط P_i توان تولیدی DG نام است که P_i^{\max} و P_i^{\min} حدود پایین و بالای آن می‌باشد. F_i^{line} توان انتقالی از خط نام است که limit_i حد حرارتی آن می‌باشد. V_i نیز ولتاژ باس نام و V_i^{\min} و V_i^{\max} حدود آن می‌باشد. محاسبه تلفات بر اساس آنالیز پخش بار شبکه توزیع انجام می‌گیرد که با محاسبه ولتاژ باس‌ها، تلفات طبق رابطه (۵) قابل محاسبه است. برای پخش بار شبکه توزیع روش‌های غیر از روش‌های نیوتن-رافسون و گوس-سایدل معرفی شده است که از جمله آنها می‌توان به روش Backward/Forward اشاره کرد [۲۲]. در این مقاله از یک روش قوی با سرعت بالا در همگرایی استفاده شده است که اساس آن بر پایه روش Backward/Forward است. این پخش بار که در زیر بطور اجمالی ارائه شده است.

پخش بار شبکه توزیع

در این روش دو ماتریس برای شبکه محاسبه می‌شود. یکی ماتریس BIBC^۳ و دیگری ماتریس BCBV^۴. ماتریس اول ماتریسی است که تعداد سطر آن برابر تعداد خطوط و تعداد ستون‌های آن برابر تعداد باس‌هاست و مشخص کننده این است که هر خط قبل از کدام باس‌ها قرار گرفته است و ماتریس دوم که به تعداد باس‌ها سطر و به تعداد خطوط ستون دارد مشخص کننده این است که هر باس بعد از کدام امپدانس‌ها و در واقع کدام افت ولتاژها قرار گرفته است. به

۳ - Bus Injection to Branch Current

۴ - Bus Current to Bus Voltage

گام ۱- حدس اولیه برای ولتاژها (اپریونیت با زاویه صفر)
گام ۲- تشکیل ماتریس BIBC و BCBV
گام ۳- تشکیل ماتریس DLF طبق رابطه (۹)

$$DLF = BCBV \times BIBC \quad (9)$$

گام ۴- محاسبه جریان تزریقی هر باس طبق رابطه (۱۰)

$$I_i = \frac{P_i - JQ_i}{V_i^*} \quad (10)$$

که در این رابطه I_i جریان تزریقی باس i و P_i و Q_i توان‌ها اکتیو و راکتیو تزریقی باس i و ولتاژ باس i می‌باشد.

گام ۵- محاسبه افت ولتاژها طبق رابطه (۱۱)

$$\Delta = DLF \times I \quad (11)$$

گام ۶- محاسبه ولتاژ هر باس بر اساس رابطه زیر

$$V_{new} = V_0 - \Delta \quad (12)$$

که در آن V_{new} ولتاژ باس‌ها در تکرار حاضر و V_0 ولتاژ باس مرجع است.

گام ۷- چک کردن شرط همگرایی

گام ۸- در صورت عدم احراز شرط همگرایی برگشت به گام ۴

با تعیین ولتاژها مقدار تلفات شبکه به راحتی قابل محاسبه می‌باشد. با فعال کردن «Ruler» در بخش «View» می‌توانید تنظیمات ستون‌ها، حاشیه‌ها و فواصل خاص را مشاهده کنید. برای پیدا کردن اجزای نامطلوب بند همچون فواصل بین حروف، فواصل بین سطر، فواصل خاص، فواصل بین صفحات و سرفصل‌ها نشان‌های بند (¶) را در مجموعه ابزارهای «Paragraph» فعال کنید.

مدل بار

تعیین سایز DG در ۴ مرحله انجام می‌گیرد. در مرحله ۱ فرض می‌شود که بار شبکه در فضای هوشمند بصورت یک پروفیل ۲۴ ساعته دقیق بوده و بر اساس آن تعیین سایز DG انجام می‌گیرد.

مرحله دوم فرض می‌شود که بار در شبکه امروزی بصورت یک پروفیل ۳ سطحی بصورت دقیق پیش‌بینی شده و مقدار بار در هر سطح میانگین میزان بار در هر ۸ ساعت شبکه هوشمند است.

در مرحله چهارم فرض می‌شود که پیش‌بینی بار با خطا روبرو بوده است و میزان این خطا ۱۰٪ نسبت به حالت سوم می‌باشد. این حالت بیان‌گر پدید آمدن شرایط زیربهبه در شبکه خواهد بود.

برنامه‌ریزی DG برای این ۴ حالت انجام گرفته و نتایج با هم مقایسه می‌شود. با مقایسه این نتایج می‌توان به مقدار کمی تاثیر شبکه هوشمند بر روند کاهش تلفات با استفاده از برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده دست یافت. بنابراین می‌توان مراحل شبیه‌سازی این مقاله را بصورت گام به گام در زیر مشاهده کرد:

گام ۱- ابتدا مدل بار برای شبکه مورد مطالعه اعمال می‌شود.

گام ۲- برای تمام سطوح بار میزان بهینه تولید DG با هدف کاهش تلفات و با استفاده از روش بهینه‌سازی مورد نظر انجام می‌گیرد.

گام ۳- میزان تلفات در هر سطح مشخص می‌شود.

گام ۴- میزان تلفات در هر سطح در زمان سطح مورد نظر ضرب شده و میزان انرژی تلفاتی در هر سطح مشخص می‌شود.

گام ۵- مجموع انرژی تلف شده در هر سطح میزان کل تلفات روزانه شبکه را نتیجه می‌دهد.

فلوچارت تعیین میزان بهینه تولید DG برای هر سطح بار در شکل ۳ نشان داده شده است.

اختلاف این دو مقدار بروز می‌شوند. اختلاف این دو مقدار را می‌توان بصورت زیر در پارامتر $Diff_Mean$ ذخیره نمود

$$Diff_Mean_i = r_i(M_new - T_f M_i) \quad (13)$$

که در آن T_f پارامتر معلم است که بصورت رندم از بین ۱ و ۲ انتخاب می‌شود. r_i نیز یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ است. با استفاده از رابطه (۱۴) هر مجموعه از متغیرها بروز می‌شوند.

$$X_{new,i} = X_{old,i} + Diff_Mean_i \quad (14)$$

فاز دانش آموز

دانش‌آموزان علاوه بر استفاده از دانش معلم از دانش یکدیگر نیز بهره می‌برند. بیان ریاضی این فاز به این صورت است که در این فاز و در هر تکرار هر مجموعه متغیر (دانش‌آموز) بصورت رندم یکی از دانش‌آموزان دیگر را انتخاب می‌کند. به عنوان مثال دانش آموز i دانش‌آموز j را انتخاب می‌کند و این i حتماً مخالف j است. اگر دانش‌آموز j دارای دانش بیشتری نسبت به دانش‌آموز i باشد در اینصورت دانش‌آموز i وضعیت خود را بر اساس رابطه (۷) بروز می‌کند.

$$X_{new,i} = X_{old,i} + r_i(X_j - X_i) \quad (15)$$

در غیر این صورت وضعیت دانش‌آموز بصورت زیر تغییر می‌کند.

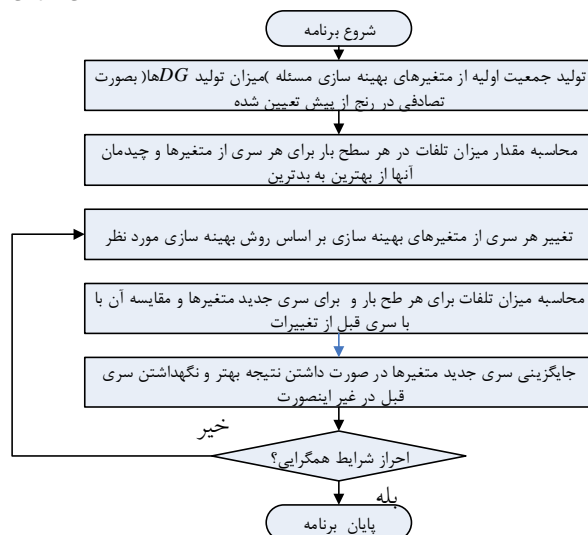
$$X_{new,i} = X_{old,i} + r_i(X_j - X_i) \quad (16)$$

پس از اینکه تمام دانش‌آموزان وضعیت خود را تغییر دادند، با استفاده از تابع هدف سطح آنها ارزیابی می‌شود. در این شرایط بهترین دانش‌آموز با معلم مرحله قبل مقایسه می‌شود و چنانچه دارای نتیجه بهتری باشد با معلم تکرار قبل جایگزین می‌شود. این روند تا احراز شرایط هم‌گرایی ادامه می‌یابد. فلوجارت روش TLBO در شکل ۴ نشان داده شده است.

مطالعه موردی

شبکه مورد مطالعه

شبکه نمونه مورد مطالعه در این پایان نامه شبکه ۶۹ باسه شعاعی است که در مقالات زیادی برای اهداف مختلف مانند خازن گذاری [۲۵]، مکان-یابی DG [۲۶] و یا بازاریابی شبکه توزیع [۲۷] مورد استفاده قرار گرفته است. شمای تک خطی این شبکه در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۳- فلوجارت تعیین اندازه بهینه توان تولیدی DG با استفاده از روش‌های تکاملی

روش بهینه‌سازی TLBO

الگوریتم TLBO یک روش بهینه‌سازی هوشمند است که بر اساس تاثیرگذاری معلم بر دانش‌آموزان برای افزایش سطح علمی کلاس توسط آقای رآو [۲۳ و ۲۴] معرفی شد. اساس این روش بر این اصل استوار است که معلم سعی می‌کند سطح کلاس را به خود نزدیک نموده و دانش‌آموزان علاوه بر بهره‌گیری از دانش معلم و با رابطه با دیگر هم‌کلاسی‌ها از دانش آنها برای افزایش سطح خود استفاده می‌کنند. از آنجا که معلم نمی‌تواند سطح تک تک دانش‌آموزان را به خود برساند لذا سعی در این دارد که سطح متوسط کل کلاس بالا رود و سطح کلاس را بر اساس امتحانات و نمرات دانش‌آموزان ارزیابی می‌کند.

بیان ریاضی این روش به این صورت است که در ابتدا جمعیتی از متغیرهای مسئله (دانش‌آموزان و معلم) بصورت تصادفی تعریف می‌شود. تمام این جمعیت با استفاده از تابع هدف با هم مقایسه می‌شوند و مجموعه متغیرها با بهترین پاسخ به عنوان معلم در نظر گرفته می‌شود. این روش به دو فاز تقسیم‌بندی می‌شود، فاز معلم و فاز دانش‌آموز.

فاز معلم

در این فاز معلم سعی می‌کند که میانگین کلاس را به خود برساند. ولی از آنجا که این امر بسیار مشکل است سعی در افزایش میانگین کلاس از مقدار M_i به M_new دارد. هر مجموعه از متغیرهای مسئله بر اساس

است. برای این شبکه ۴ میکروتوربین ۲۰۰ کیلوواتی در ۴ باس که زیرشاخه‌های اصلی این شبکه را تشکیل می‌دهند در نظر گرفته شده است. این DG ها به ترتیب در باس‌های ۱۲، ۲۷، ۲۷e و ۴۲ قرار داده می‌شود.

مدل بار

همانطور که عنوان شد مدل بار بصورت یک پروفیل بار روزانه در نظر گرفته می‌شود. برای حالت امروزی بار روزانه بصورت یک بار سه سطحی است که شامل سطح نرمال، سطح پرباری یا پیک و سطح کم‌باری می‌باشد و هر کدام از این سطوح ۸ ساعت از روز را به خود اختصاص می‌دهند. در سمت دیگر با توجه به محیط هوشمند شبکه و وجود زیرساخت‌های اندازه‌گیری هوشمند و بستر مخابراتی اطلاعات بار لحظه به لحظه مخابره شده و پروفیل بار بصورت یک پروفیل ۲۴ ساعته است که میزان بار را در هر ساعت با دقت بالا نمایش می‌دهد. این پروفیل بار به عنوان پروفیل واقعی بار در نظر گرفته می‌شود. مدل بار برای شبکه امروزی نیز در ۳ حالت برای تعیین اندازه بهینه DG مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین تعیین بهینه اندازه توان تولیدی DG در شبکه هوشمند در ۴ حالت انجام می‌گیرد.

۱- حالت اول شبکه هوشمند است که با استفاده از داده‌های دقیق

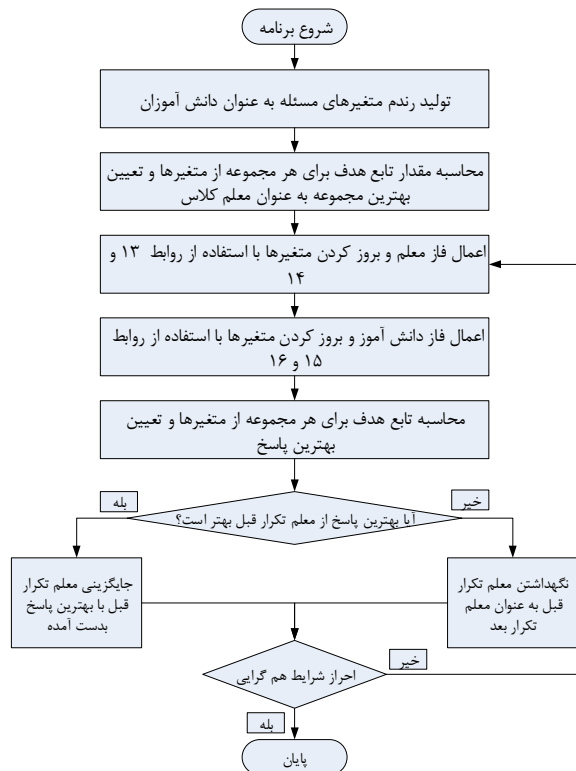
پروفیل بار با دقت بسیار بالا ارزیابی شده و تعیین اندازه بهینه تولید DG بر اساس این پروفیل انجام می‌گیرد.

۲- در حالت دوم فرض می‌شود که پیش‌بینی بار در شبکه امروزی با دقت بسیار بالا صورت گرفته و میزان بار در هر ۸ ساعت میانگین پروفیل بار ۸ ساعت متناظر در شبکه هوشمند است. البته این فرض کمی دور از انتظار است و برای تامین بار باید بدترین شرایط در نظر گرفته شود. این حالت در شکل ۶ نشان داده شده است.

۳- در حالت سوم فرض می‌شود که پروفیل بار روزانه برای شبکه امروزی در هر ۸ ساعت بیشترین بار موجود در ۸ ساعت متناظر در پروفیل شبکه هوشمند است. این حالت در شکل ۷ نشان داده شده است.

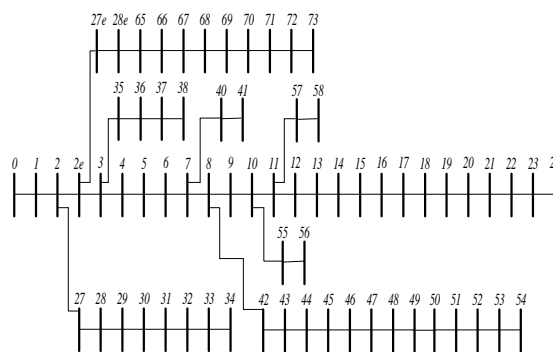
۴- در حالت ۳ فرض می‌شود که پیش‌بینی بار نسبت به حالت سوم که بیشینه بار ۸ ساعته است ۱۰٪ اختلاف داشته است. این حالت به منظور بررسی شرایط خطا در پیش‌بینی بار در شبکه‌های امروزی و شرایط نقطه زیربهینه^۵ است. به عبارت دیگر در این

۵ - Suboptimal Point



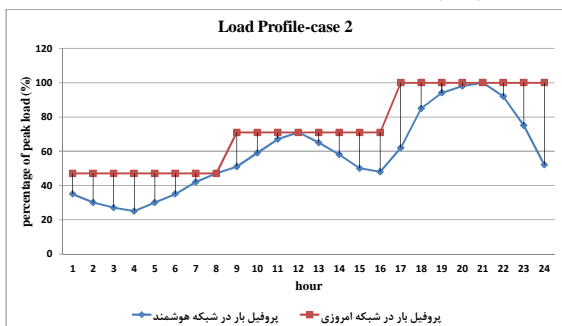
شکل ۴- فلوچارت روش TLBO

اطلاعات مربوط به خطوط و میزان بار این شبکه از [۲۸] استخراج شده است.



شکل ۵- شمای تک خطی شبکه ۶۹ باسه شعاعی

اطلاعات موجود در [۲۸] به عنوان اطلاعات در شرایط پیک شبکه در نظر گرفته می‌شود. مقدار ولتاژ مبنا KV ۱۲/۶۶ و مقدار توان مبنا KVA ۱۰ می‌باشد. نتایج پخش بار شبکه توزیع برای این شبکه نشان می‌دهد که این شبکه در شرایط پرباری خود دارای ۲۸۰۲،۲KW بار و ۲۲۴/۹۷KW تلفات



شکل ۷- پروفیل بار در دو حالت شبکه هوشمند و شبکه امروزی

حالت ۳

نتایج دو روش که با هم یکی است نتایج از اعتبار مورد نظر برخوردار است.

بنابراین در فضای شبکه هوشمند با تعیین بهینه توان تولیدی هر DG می‌توان تلفات را به مقدار ۳۰٪ کاهش داد. حال می‌رویم سراغ حالت دوم و فرض می‌کنیم که شبکه قابلیت اندازه‌گیری دقیق و ساعت به ساعت میزان بار را نداشته و برای تعیین توان بهینه تولیدی DG ها نیاز است که پروفیل بار پیش‌بینی شود.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی حالت ۲

در حالت دوم فرض می‌شود که پیش‌بینی با دقت بسیار بالایی انجام گرفته و مقادیر بدست‌آمده میانگین پروفیل بار واقعی است. به عبارت دیگر پروفیل پیش‌بینی شده یک پروفیل ۳ سطحی است که هر سطح آن میانگین ۸ ساعت از پروفیل واقعی بار است. همانطور که قبلاً اشاره شد این حالت در شکل ۵ نشان داده شده است. با اجرای برنامه بهینه‌سازی برای تعیین مقادیر بهینه تولید DG نتایج جدول ۲ حاصل می‌شود. کل تلفات در این شرایط ۱۳۶۷ کیلووات می‌باشد که از مقادیر بدست‌آمده توسط شبکه هوشمند نیز کمتر است و به نظر می‌رسد که عملکرد شبکه امروزی در کاهش تلفات بهتر از شبکه هوشمند بوده است. اما این حالت نمی‌تواند قابل قبول باشد. توجه به این مطلب ضروری است که با توجه به عدم اطلاع دقیق از میزان بار در زمان برنامه‌ریزی برای تولید بهینه DG ها از مدل پیش‌بینی بار استفاده شد. لذا میزان توان تولیدی DG ها بر اساس این مقدار بار صورت می‌گیرد. از طرفی با رسیدن به ساعات مورد نظر، شبکه با پروفیل واقعی بار روبرو خواهد بود حال آنکه توان تولیدی DG برای مدل پیش‌بینی شده بهینه شده- اند و لذا شبکه اندکی از نقطه بهینه خود دور می‌شود. با محاسبه تلفات ساعت به ساعت برای شبکه مورد نظر با توجه به پروفیل بار واقعی و میزان توان تولیدی ژنراتورها، میزان تلفات کل شبکه در حالت ۱، ۱۴۴۳ کیلووات خواهد شد که همانطور که مشخص است نسبت به شبکه هوشمند نه تنها بهتر نیست که ۱/۵ نیز بیشتر است. به عبارت دیگر حضور شبکه هوشمند

حالت فرض شده است که پیش‌بینی بار ۱۰ خطا داشته است و هدف بررسی تاثیر این خطا در میزان تلفات شبکه است.

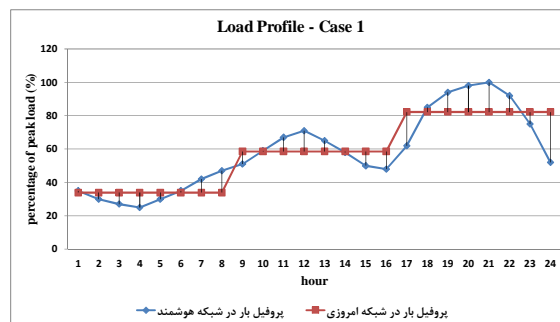
نتایج حاصل از شبیه‌سازی در شبکه هوشمند

حالت اول

نظر به تجهیزات دقیق و هوشمند اندازه‌گیری در شبکه هوشمند پروفیل بار برای شبکه مورد مطالعه با دقت بسیار بالا بدست آمده است که در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. نتایج حاصل از پخش بار شبکه توزیع برای این پروفیل بار نشان می‌دهد که میزان تلفات روزانه این شبکه با توجه به پروفیل واقعی بار ۲۰۲۳ کیلووات می‌باشد. با انجام برنامه بهینه‌سازی برای تعیین میزان بهینه تولید هر میکروتوربین در این شبکه مجموعاً تلفات روزانه شبکه به ۱۴۲۲ کیلووات کاهش می‌یابد که ۳۰٪ کاهش در تلفات را نتیجه داده است. میزان تولید هر DG در هر ساعت در جدول ۱ آورده شده است. میزان تلفات ساعت به ساعت در دو حالت بدون حضور DG و با حضور DG در شبکه هوشمند در شکل ۸ باهم مقایسه شده است. همانطور که مشخص است تلفات

شبکه بخصوص در ساعات پیک کاهش چشمگیری داشته است. همچنین در این شکل تلفات ساعت به ساعت بدست‌آمده از دو روش PSO و TLBO با هم رسم شده است که به دلیل نتایج بسیار نزدیک بهم بر هم منطبق شده و قابل تشخیص نمی‌باشند. بنابراین می‌توان ادعا نمود با توجه

به



شکل ۶- پروفیل بار در دو حالت شبکه هوشمند و شبکه امروزی حالت

۲

عنوان مقاله

بیست و نهمین کنفرانس بین‌المللی برق - ۱۳۹۳ تهران، ایران

و اطلاع دقیق از میزان بار می‌تواند تلفات را ۱/۵ بیشتر نسبت به شبکه است.

امروزی با پیش‌بینی کاملاً دقیق بار، کاهش دهد که عددی نسبتاً قابل توجه

جدول ۱- میزان توان بهینه تولیدی هر DG در هر ساعت

DG موجود در باس ۴۲		DG موجود در باس ۲۷		DG موجود در باس ۲۷		DG موجود در باس ۱۲		توان (KW)
PSO	TLBO	PSO	TLBO	PSO	TLBO	PSO	TLBO	زمان
۵۲,۵۶	۶۸,۸۵	۱۱,۱۴	۱۱,۶۵	۳,۰۱	۸,۳۵	۱۹,۴۴	۲۵,۱۹	۱ ساعت
۴۸,۵۲	۵۸,۶۳	۸,۳۱	۹,۹۷	۵,۹۵	۷,۱۵	۱۷,۹۶	۲۱,۵۷	۲ ساعت
۵۸,۶۳	۵۲,۵۳	۹,۹۷	۸,۹۸	۷,۱۵	۶,۴۳	۲۱,۵۷	۱۹,۴۰	۳ ساعت
۶۸,۸۵	۴۸,۵۲	۱۱,۶۶	۸,۳۱	۸,۳۶	۵,۹۵	۲۵,۱۹	۱۷,۹۶	۴ ساعت
۸۳,۳۹	۵۸,۶۳	۱۳,۹۹	۹,۹۷	۱۰,۰۴	۷,۱۵	۳۰,۲۸	۲۱,۵۷	۵ ساعت
۹۳,۹۷	۶۸,۸۵	۰,۰۰	۱۱,۶۵	۱۴,۱۵	۸,۳۵	۳۳,۹۲	۲۵,۱۹	۶ ساعت
۱۰۲,۵۱	۸۳,۳۹	۱۷,۰۲	۱۳,۹۹	۱۲,۲۱	۱۰,۰۴	۳۶,۸۳	۳۰,۲۸	۷ ساعت
۱۱۹,۹۲	۹۳,۹۶	۱۹,۷۲	۱۵,۶۷	۱۴,۱۶	۱۱,۲۵	۴۲,۶۸	۳۳,۹۱	۸ ساعت
۱۳۷,۷۲	۱۰۲,۵۱	۲۲,۴۲	۱۷,۰۲	۱۶,۱۲	۱۲,۲۱	۴۸,۵۵	۳۶,۸۳	۹ ساعت
۱۴۶,۷۸	۱۱۹,۹۲	۲۳,۷۸	۱۹,۷۲	۱۷,۰۹	۱۴,۱۶	۵۱,۴۹	۴۲,۶۸	۱۰ ساعت
۱۳۳,۳۳	۱۳۷,۷۲	۲۱,۷۵	۲۲,۴۲	۱۵,۶۲	۱۶,۱۱	۴۷,۰۸	۴۸,۵۵	۱۱ ساعت
۱۱۷,۷۳	۱۴۶,۷۸	۲۱,۹۶	۲۳,۷۸	۰,۰۰	۱۷,۰۹	۴۱,۹۵	۵۱,۴۹	۱۲ ساعت
۱۰۰,۳۷	۱۳۳,۳۳	۱۶,۶۸	۲۱,۷۵	۱۱,۹۷	۱۵,۶۲	۳۶,۱۰	۴۷,۰۸	۱۳ ساعت
۹۶,۰۹	۱۱۷,۷۳	۱۶,۰۱	۱۹,۳۸	۱۱,۴۹	۱۳,۹۱	۳۴,۶۴	۴۱,۹۵	۱۴ ساعت
۱۲۶,۵۵	۱۰۰,۳۷	۲۰,۷۳	۱۶,۶۸	۱۴,۸۹	۱۱,۹۷	۴۴,۸۱	۳۶,۱۰	۱۵ ساعت
۱۷۹,۴۵	۹۶,۰۹	۲۸,۵۵	۱۶,۰۱	۲۰,۵۴	۱۱,۴۹	۶۱,۸۳	۳۴,۶۴	۱۶ ساعت
۲۰۰,۰۰	۱۲۶,۵۵	۳۱,۷۵	۲۰,۷۳	۲۲,۸۹	۱۴,۸۹	۶۸,۹۲	۴۴,۸۱	۱۷ ساعت
۲۰۰,۰۰	۱۷۹,۴۵	۱,۷۳	۲۸,۵۵	۲۰۰,۰۰	۲۰,۵۴	۷۵,۲۸	۶۱,۸۳	۱۸ ساعت
۲۰۰,۰۰	۲۰۰,۰۰	۰,۰۰	۳۱,۷۵	۳۲,۴۵	۲۲,۸۹	۷۸,۵۷	۶۸,۹۲	۱۹ ساعت
۱۹۶,۳۰	۲۰۰,۰۰	۳۰,۹۳	۳۴,۱۴	۲۲,۲۸	۲۴,۹۰	۶۷,۰۳	۷۵,۳۳	۲۰ ساعت
۱۵۶,۰۱	۲۰۰,۰۰	۲۵,۱۴	۳۵,۳۴	۱۸,۰۷	۲۵,۹۱	۵۴,۴۴	۷۸,۵۶	۲۱ ساعت
۱۰۴,۶۷	۱۹۶,۳۰	۱۷,۳۶	۳۰,۹۴	۱۲,۴۶	۲۲,۲۷	۳۷,۵۶	۶۷,۰۳	۲۲ ساعت
۱۵۶,۰۱	۱۵۶,۰۱	۲۵,۱۴	۲۵,۱۴	۱۸,۰۷	۱۸,۰۷	۵۴,۴۴	۵۴,۴۴	۲۳ ساعت
۱۰۴,۶۷	۱۰۴,۶۷	۱۷,۳۶	۱۷,۳۶	۱۲,۴۶	۱۲,۴۶	۳۷,۵۶	۳۷,۵۶	۲۴ ساعت

جدول ۲ نتایج حاصل از بهینه کردن اندازه DG در حالت ۲ با استفاده از دو روش PSO و TLBO

میزان تلفات در هر ساعت (KW)		DG موجود در باس ۴۲		DG موجود در باس ۲۷e		DG موجود در باس ۲۷		DG موجود در باس ۱۲		
TLB	PSO	TLB	PSO	TLB	PSO	TLB	PSO	TLB	PSO	
۱۶,۵۶	۱۶,۶	۶۶,۵	۶۶,۵	۱۱,۳	۱۱,۳	۸,۱	۸,۱	۲۴,۴	۲۴,۴	۸ ساعت اول
۵۱,۰۳	۵۱,۰	۱۱۹	۱۱۹	۱۹,۶	۱۹,۶	۱۴,۱	۱۴,۱	۴۲,۴	۴۲,۴	۸ ساعت دوم
۱۰۳,۳۲	۱۰۳,۳	۱۷۳	۱۷۳	۲۷,۶	۲۷,۶	۱۹,۹	۱۹,۹	۵۹,۸	۵۹,۸	۸ ساعت سوم

جدول ۳- نتایج حاصل از بهینه کردن اندازه DG در حالت ۳

میزان تلفات در هر ساعت (KW)		DG موجود در باس ۴۲		DG موجود در باس ۲۷e		DG موجود در باس ۲۷		DG موجود در باس ۱۲		
TLB	PSO	TLB	PSO	TLB	PSO	TLB	PSO	TLB	PSO	
۳۲,۴	۳۲,۴	۹۴,۰	۹۴,۰	۱۵,۷	۱۵,۷	۱۱,۲	۱۱,۲	۳۳,۹	۳۳,۹	۸ ساعت اول
۷۵,۹	۷۵,۹	۱۴۶,۸	۱۴۶,۸	۲۳,۸	۲۳,۸	۱۷,۱	۱۷,۱	۵۱,۵	۵۱,۵	۸ ساعت دوم
۱۵۶,۳	۱۵۶,۴	۲۰۰,۰	۲۰۰,۰	۳۵,۳	۲۰۰,۰	۲۵,۹	۰,۰	۷۸,۶	۷۸,۵	۸ ساعت سوم

جدول ۴- نتایج حاصل از بهینه کردن اندازه DG در حالت ۴

میزان تلفات در هر ساعت (KW)		DG موجود در باس ۴۲		DG موجود در باس ۲۷e		DG موجود در باس ۲۷		DG موجود در باس ۱۲		
TLB	PSO	TLB	PSO	TLB	PSO	TLB	PSO	TLB	PSO	
۳۹,۴	۳۹,۵	۱۰۴,۰	۱۰۳,۹	۱۷,۳	۲۰۰	۱۲,۴	۰,۰	۳۷,۳	۳۷,۳	۸ ساعت اول
۹۲,۷	۹۲,۷	۱۶۳,۲	۱۶۳,۲	۲۶,۲	۲۶,۲	۱۸,۸	۱۸,۸	۵۶,۷	۵۶,۷	۸ ساعت دوم
۱۹۲,۴	۱۹۲,۴	۲۰۰,۰	۲۰۰,۰	۴۱,۴	۴۱,۴	۳۱,۰	۳۱,۰	۹۴,۹	۹۴,۹	۸ ساعت سوم

که این حالت در شکل ۷ توصیح داده شد. با در نظر گیری این حالت برای شبکه و اجرای برنامه بهینه‌سازی نتایج جدول ۳ برای شبکه حاصل می‌شود. در این حالت نیز با قرار دادن مقادیر بهینه DG و در نظر گیری پروفیل واقعی بار میزان کل تلفات روزانه ۱۴۷۴ کیلووات خواهد شد که نسبت به شبکه هوشمند ۵۳ کیلووات بیشتر خواهد بود. به عبارت دیگر حضور شبکه هوشمند در شبکه مورد مطالعه روزانه تلفات را ۳/۶ بیشتر کاهش می‌دهد که در مقایسه با تلفات کل شبکه و شبکه توزیع و اعمال آن بصورت ماهانه و حتی سالانه تاثیر بسیار بزرگی بر بهره‌برداری از شبکه خواهد داشت. عملکرد بهتر روش TLBO در یافتن سریعتر پاسخ‌ها در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

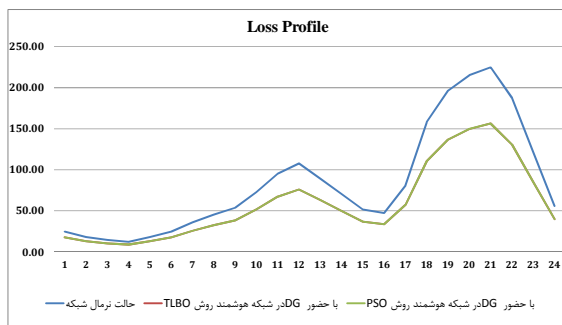
شکل ۹ همگرایی روش‌های مختلف در سطح پرباری را نشان می‌دهد (کم‌باری و پرباری نیز دارای چنین نمودارهایی می‌باشد). اگرچه روش‌های ارائه شده دارای نتایج یکسانی هستند، اما سرعت همگرایی روش TLBO نسبت به روش PSO عملکرد بهتر این روش را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از شبیه سازی حالت ۳

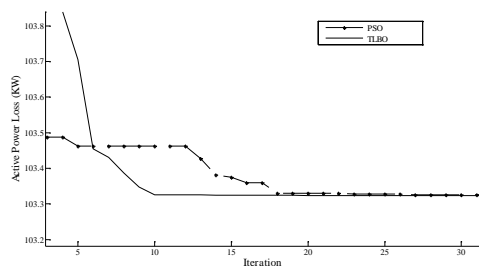
همانطور که اشاره شد حالت ۲ حالت منطقی نیست و معمولاً سعی می‌شود برنامه‌ریزی شبکه برای بدترین حالت انجام گیرد. به عبارت دیگر در پیش‌بینی‌ها معمولاً کمی بار را بیشتر از آنچه پیش‌بینی شده است در نظر می‌گیرند تا شرایط بدتر نیز پوشش داده شود. بنابراین در این حالت فرض می‌شود که پروفیل بار در هر ۸ ساعت بیشینه بار واقعی در این ۸ ساعت است

۴-۱- نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های حالت ۴

جایابی منابع تولید پراکنده جزء پارامترهای طراحی شبکه به حساب می‌آید و اطلاع دقیق از میزان بار در هر لحظه تأثیری در آن نخواهد داشت. اما تعیین اندازه بهینه تولید DG جز پارامترهای بهره‌برداری بوده و اطلاع دقیق از میزان بار می‌تواند تأثیر چشمگیری در برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده داشته باشد. از طرفی برنامه‌ریزی تولید منابع تولید پراکنده تنها برای منابعی قابل اجرا خواهد بود که برنامه‌پذیر باشند و بتوان تولید آن را با توجه به شرایط تغییر داد. لذا در این مقاله از میکروتوربین یک یک منبع تولید پراکنده برنامه‌پذیر است استفاده شده است.



شکل ۸- مقایسه میزان تلفات ساعت به ساعت در شبکه هوشمند با حضور DG و بدون حضور DG با استفاده از دو روش PSO و TLBO



شکل ۹- همگرایی روش‌های مختلف در سطح پرباری برای حالت ۲

شبکه‌های هوشمند که از آنها شبکه‌هایی برای آینده یاد می‌شود با در اختیار داشتن امکانات مناسب اندازه‌گیری و بستر مخابراتی می‌توانند اطلاعات دقیق از میزان مصرف در هر لحظه در اختیار بهره‌بردار شبکه قرار داده و به بهره‌بردار این امکان را بدهند که حداکثر استفاده از شبکه را داشته باشد.

این حالت بیانگر حساسیت موجود در شبکه‌های امروزی نسبت به اشتباه در پیش‌بینی بار است. فرض شود که بار پیش‌بینی شده با مقدار حالت ۳، ۱۰ اختلاف داشته باشد. با این پیش‌بینی بار، محاسبات برای برنامه‌ریزی توان تولیدی DG ها برای این مقادیر صورت گرفته و بر این اساس برنامه‌ریزی می‌شوند. اما با رسیدن زمان تحت مطالعه پروفیل واقعی بار با آنچه پیش‌بینی شده است متفاوت بوده و لذا میزان تلفات به مقدار قابل ملاحظه‌ای نسبت به حالت بهینه افزایش خواهد یافت. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی‌ها در جدول ۴ و نمودار همگرایی روش‌های مختلف در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

در این شرایط میزان تلفات به مقدار ۱۵۰۹ کیلووات خواهد رسید که نسبت به حالت عاری از اشتباه ۳۵ کیلووات یا به عبارت دیگر ۲/۳ بیشتر خواهد بود. به عبارت دیگر ۱۰ خطا محاسباتی در پیش‌بینی بار موجب افزایش تقریباً ۲/۵ در مقدار روزانه تلفات شبکه توزیع می‌شود که مجموع این تلفات در ماه یا سال برای یک قسمت کوچک از شبکه توزیع عدد بسیار بزرگی خواهد بود. مقایسه این حالت با شبکه هوشمند تفاوت ۶/۱ تلفات را خواهد داشت که بیانگر تأثیر بسیار بالای شبکه‌های هوشمند در کاهش تلفات روزانه شبکه است. بنابراین مشاهده می‌شود که در هر سه حالت مورد مطالعه حضور شبکه هوشمند و اطلاع از میزان بار با دقت بالا می‌تواند برنامه‌ریزی و بهره‌برداری از شبکه را به سمتی سوق دهد که حداکثر استفاده از شبکه به عمل آمده و شبکه در بهترین نقطه ممکن بهره‌برداری شود.

نتیجه‌گیری

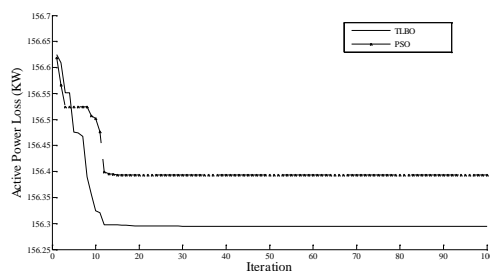
مسئله تلفات یکی از اساسی‌ترین مسائلی است که در شبکه‌های قدرت بسیار مورد توجه بوده است. از طرفی با توجه به سهم بیشتر شبکه توزیع در میزان تلفات شبکه قدرت روش‌های کاهش تلفات روی این قسمت از شبکه معطوف بوده و روش‌های گوناگونی از جمله تجدید آرایش، خازن‌گذاری و نصب منابع تولید پراکنده معرفی شده‌اند.

منابع تولید پراکنده علاوه بر کاهش تلفات مزایای بسیاری دیگری نیز برای شبکه توزیع به‌همراه دارد و لذا استفاده از این منابع در شبکه‌های توزیع بسیار مطلوب بهره‌برداران شبکه‌های توزیع می‌باشد. اما مسئله‌ای که در این رابطه باید مورد نظر باشد مسئله جایابی و تعیین اندازه بهینه تولید این منابع می‌باشد.

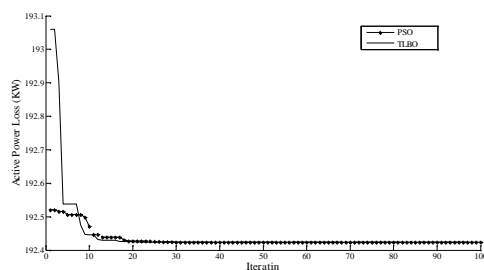
همگرایی دو روش مورد نظر می‌توان نتیجه گرفت که روش TLBO با سرعت بیشتر و در تعداد تکرار کمتری به نتایج بهینه دست می‌یابد.

مراجع

- [۱] - YiyunGuo, Yufeng Lin, and Mingjie Sun, "The Impact of Integrating Distributed Generations on the Losses in the Smart Grid", IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp. ۱-۶, ۲۰۱۱.
- [۲] - T. Hong, J.J. Burke, "Calculating Line Losses in Smart Grid: A New Rule of Thumb", in Proc. Transmission and Distribution Conference and Exposition, ۲۰۱۰, pp. ۱-۵.
- [۳] - R.S. Rao, K. Ravindra, K. Satish, S.V.L. Narasimham, "Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation", IEEE Trans. Power Systems, vol. ۲۸, no. ۱, pp. ۳۱۷-۳۲۵, ۲۰۱۳.
- [۴] - A.A. El-Fergany, "Optimal capacitor allocations using evolutionary algorithms", IET Gen., Trans., & Dist., vol. ۷, no. ۶, pp. ۵۹۳-۶۰۱, ۲۰۱۳.
- [۵] - G. I. Rashed, Y. Sun, H.I. Shaheen, "Optimal TCSC Placement in a Power system by means of Differential Evolution algorithm considering loss minimization", in Proc. ۷th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), ۲۰۱۱, pp. ۲۲۰۹-۲۲۱۵.
- [۶] - R. Sirjani, A. Mohamed, H. Shareef, "Optimal allocation of shunt Var compensators in power systems using a novel global harmony search algorithm", Int. Jour. Electrical Power & Energy Systems, vol. ۴۳, no. ۱, pp. ۵۶۲-۵۷۲, December ۲۰۱۲.
- [۷] - D.Q. Hung; N. Mithulananthan, "Multiple Distributed Generator Placement in Primary Distribution Networks for Loss Reduction", IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. ۶۰, no. ۴, pp. ۱۷۰۰-۱۷۰۸, ۲۰۱۳.
- [۸] - S. Kansal, V. Kumar, B. Tyagi, "Optimal placement of different type of DG sources in distribution networks", Int. Jour. Electrical Power & Energy Systems, vol. ۵۳, pp. ۷۵۲-۷۶۰, December ۲۰۱۳.
- [۹] - D.Q. Hung; N. Mithulananthan, "Multiple Distributed Generator Placement in Primary Distribution Networks for Loss Reduction", IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. ۶۰, no. ۴, pp. ۱۷۰۰-۱۷۰۸, ۲۰۱۳.
- [۱۰] - N. Khalesi, N. Rezaei, M.-R. Haghifam, "DG allocation with application of dynamic programming for loss reduction and reliability improvement", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. ۳۳, No. ۲, pp. ۲۸۸-۲۹۵, February ۲۰۱۱.
- [۱۱] - Nenad Katie, VladoMarjanovic, Izabela Stefani, "Smart Grid Solution in Distribution Networks Cost/benefit Analysis", ۲۰۱۰ China International Conference on Electricity Distribution, pp. ۱-۶, Sept. ۲۰۱۰.
- [۱۲] - Abaide A.R.; Canha, L.N.; Barin, A.; Cassel, G., "Assessment of the Smart Grids applied in reducing the Cost of Distribution System Losses", ۷th International Conference on the European Energy Market (EEM), pp. ۱-۶, ۲۰۱۰.
- [۱۳] - Zhihao Li, Chenye Wu, Jiong Chen, Yiyu Shi, Jinjun Xiong, Wang A.Y., "Power Distribution Network Reconfiguration for Bounded Transient Power Loss", IEEE PES, Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), pp. ۱-۵, ۲۰۱۲.
- [۱۴] - Monica Alonso, Hortensia Amaris, Carlos Alvarez-Ortega, "Integration of renewable energy sources in smart grids by means of evolutionary optimization algorithms", Expert Systems with Applications, Vol. 39, No. 5, April 2012, pp. 5513-5522.
- [۱۵] - A.S. Masoum, S. Deilami, P.S. Moses, M.A.S. Masoum, A. Abu- "Smart load management of plug-in electric vehicles in distribution and residential networks with charging stations for peak shaving and loss



شکل ۱۰- همگرایی روش‌های مختلف در سطح پرباری برای حالت ۳



شکل ۱۱- همگرایی روش‌های مختلف در سطح پرباری برای حالت ۴

در این مقاله برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده برای اولین بار برای دو حالت شبکه یعنی شبکه هوشمند و شبکه امروزی با داشتن پروفیل بار روزانه و در حالت مورد ارزیابی قرار گرفته است. در حالت اول شبکه هوشمند مورد مطالعه قرار گرفته است که پروفیل بار با دقت بسیار بالا اندازه‌گیری شده است. در سه حالت بعد شبکه امروزی است و پروفیل بار بصورت یک پروفیل سه سطحی می‌باشد.

با انجام شبیه‌سازی‌های انجام گرفته در ۴ حالت فوق مشخص شده است که حرکت بسمت هوشمند سازی شبکه موجب کاهش چشمگیر تلفات شبکه توزیع می‌شود. به عبارت دیگر اطلاعات دقیق از میزان مصرف در هر زمان و مخابره آن با بهره‌بردار شبکه می‌تواند باعث بهره‌برداری هرچه بهتر از شبکه شده و تلفات را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. همچنین این اطلاعات و تجهیزات شبکه هوشمند امکان خطا در محاسبه میزان بار شبکه را بشدت کاهش داده و برنامه‌ریزی شبکه با دقت بالا و نتایج بسیار خوب انجام می‌گیرد.

بهینه‌سازی‌های انجام گرفته با استفاده از دو روش TLBO و PSO انجام گرفته است. با توجه به قدرت این روش‌ها در یافتن نتایج بهینه و همگرایی هر دو روش به یک عدد در شبیه‌سازی‌های انجام گرفته می‌توان ادعا نمود که نتایج بهینه به درستی بدست آمده‌اند. از طرفی با مقایسه نمودار

- minimization considering voltage regulation”, IET on Generation, Transmission & Distribution, Vol: ۵, Np. ۸, pp. ۸۷۷ – ۸۸۸, ۲۰۱۱.
- [۱۶] - Luis F. Ochoa, , Gareth P. Harrison, “Minimizing Energy Losses: Optimal Accommodation and Smart Operation of Renewable Distributed Generation”, IEEE Trans. on Power Sys, Vol. ۲۶, No. ۱, pp. ۱۹۸-۲۰۵, ۲۰۱۱.
- [۱۷] - L. R. Mattison, "Technical Analysis of the Potential for Combined Heat and Power in Massachusetts", Report, University of Massachusetts Amherst, May ۲۰۰۶.
- [۱۸] - Devender Singh, R. K. Misra, and Deependra Singh "Effect of load models in Distributed Generation planning," IEEE Transaction on Power systems, Vol. ۲۲, no. ۴, Nov. ۲۰۰۷
- [۱۹] - Duong Quoc Hung ; N. Mithulananthan, “Multiple Distributed Generator Placement in Primary Distribution Networks for Loss Reduction”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. ۶۰, No. ۴, pp. ۱۷۰۰-۱۷۰۸, ۲۰۱۳.
- [۲۰] - M. F. Shaaban, and E. F. El-Saadany, “Optimal allocation of renewable DG for reliability improvement and losses reduction”, IEEE Power and Energy Society General Meeting, PP. ۱-۸, ۲۰۱۲
- [۲۱] - Yiyun Guo, Yufeng Lin, and Mingjie Sun, “The Impact of Integrating Distributed Generations on the Losses in the Smart Grid”, IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp. ۱-۶, ۲۰۱۱.
- [۲۲] - E. Bompard, E. Carpaneto, G. Chicco, R. Napoli, “Convergence of the backward/forward sweep method for the load-flow analysis of radial distribution systems”, Int. Jour. Electrical Power and Energy Systems, Vol. ۲۲, pp. ۵۲۱-۵۳۰, ۲۰۰۰.
- [۲۳] - R.V. Rao, V.J. Savsani, , D.P. Vakharia, “Teaching-learning-based optimization: an optimization method for continuous non-linear large scale problem”, Inf. Sci. ۱۸۳, ۱-۱۵, ۲۰۱۲.
- [۲۴] - R.V. Rao, V. Patel, “An elitist teaching-learning-based optimization algorithm for solving complex constrained optimization problems” Int. J. Ind. Eng. Comput., ۳, <http://dx.doi.org/۱۰.۵۲۶۷/j.ijiec.۰۳.۰۰۷.۲۰۱۲>.
- [۲۵] - Y.C. Huang, H.T Yang, C.L Huang, “Solving the Capacitor Placement Problem in a Radial Distribution System Using Tabu Search Approach”, IEEE Trans, Power Systems, vol. ۱۱, no. ۴, November ۱۹۹۶.
- [۲۶] - S.K. Injeti, N.P. Kumar, "Optimal Planning of Distributed Generation for Improved Voltage Stability and Loss Reduction", Int. Jour. Computer Applications, vol. ۱۵, no. ۱, pp. ۴۰-۴۶, ۲۰۱۱.
- [۲۷] - A.Y. Abdelaziz, F.M. Mohamed, S.F. Mekhamer, M.A.L. Badr, “Distribution system reconfiguration using a modified Tabu Search algorithm”, Int. Jour. Electrical Power System Research, vol. ۸۰, pp. ۹۴۳-۹۵۳, ۲۰۱۰.
- [۲۸] - M. E. Baran and F. F. Wu, “Optimal Capacitor Placement on Radial Distribution Systems,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. ۴, no. ۱, pp. ۷۲۵-۷۳۴, January ۱۹۸۹.