

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

روش نوین بازآرایی شبکه توزیع برق جهت کاهش تلفات با استفاده از روش تجزیه بندرز

محمود زاده باقری^{*1}

¹استادیار گروه مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج ، یاسوج، ایران

mzadehbagheri@gmail.com

عبدالصالح همت زاده²

² دانشجوی دکتری گروه مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج ، یاسوج، ایران

hematzadehsaleh@gmail.com

چکیده

در این مقاله روشی جدید برای بازآرایی شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم جداسازی بندرز ارائه می‌شود. تابع هدف مسئله در این مقاله کمینه کردن هزینه تلفات توان اکتیو می‌باشد که دارای محدودیت‌هایی همچون ظرفیت توان انتقالی خطوط، کمینه و بیشینه توان تأمین پست‌ها و توان تولیدی منابع تولید پراکنده، انحراف ولتاژ باس‌ها و بهره‌برداری شعاعی از شبکه می‌باشد. مسئله از طریق روش الگوریتم جداسازی بندرز به دو زیرمسئله اصلی و فرعی تقسیم می‌شود. در زیرمسئله اصلی توپولوژی شعاعی بهینه شبکه توزیع برق تعیین می‌گردد. در زیرمسئله فرعی این توپولوژی از دیدگاه فنی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این دو زیرمسئله توسط معادله برش‌های بندرز به یکدیگر مرتبط می‌شوند. مدل در نرم‌افزار GAMS برنامه‌نویسی می‌شود و کارایی روش پیشنهادی را در بازآرایی شبکه توزیع برق و بهبود ولتاژ باس‌ها خواهیم دید. نتیجه نهایی نشان دهنده موفقیت این تکنیک در معرفی ساختار جدیدی برای شبکه توزیع با حداقل تلفات می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

بازآرایی شبکه توزیع، روش تجزیه بندرز ، بخش بار بهینه.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

1. مقدمه

اکثر سیستم‌های توزیع الکتریکی به صورت پیکربندی شعاعی عمل می‌کنند که البته این روال در حال تغییر می‌باشد. دو نوع از کلیدها در سیستم‌های توزیع استفاده می‌شود که عبارتند از: کلیدهای جداکننده¹ که در حالت عادی بسته (NC²) می‌باشند و کلیدهای مانور³ که در حالت عادی باز (NO⁴) می‌باشند. طرح‌های عملکردی مختلفی در سیستم‌های توزیع الکتریکی وجود دارد؛ یکی از این طرح‌ها، بازآرایی شبکه توزیع می‌باشد که می‌تواند منجر به کاهش تلفات توان، بهبود پروفیل ولتاژ و رفع اضافه بارهای موجود در شبکه شود [1]-[3]. بازآرایی فیدر یک کارکرد بسیار مهم در شبکه‌های توزیع خودکار و با اتوماسیون بالا می‌باشد تا در طی بهره‌برداری نرمال و عملکرد نرمال شبکه منجر به کاهش تلفات فیدرها گردد، پروفیل ولتاژ بهبود یابد و بارها متعادل شوند [4]. علاوه بر این بازآرایی در شرایط غیرعادی و عملکرد غیرعادی برای بازیابی سرویس⁵ بعد از رخداد خطا، با جداسازی تجهیزات خطادار و تامین توان به مناطق غیر خطادار با کمترین قطع بار به کار می‌رود [5]. بارها می‌توانند از فیدری به فیدر دیگر با تغییر وضعیت باز و بسته بودن کلیدهای موجود در فیدرها انتقال یابند. مثلاً بازآرایی شبکه به منظور کاهش تلفات توان می‌تواند به صورت رابطه زیر فرمول‌بندی شود:

$$\min P_{loss} = \sum_{i=1}^{n_b} r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2}$$

در این رابطه P_i و Q_i به ترتیب توان اکتیو و راکتیو خروجی از شین i ، n_b تعداد شاخه‌ها، V_i و r_i مقاومت و دامنه ولتاژ شین در شاخه i می‌باشد. به عنوان نمونه، فرآیند حل مساله بازآرایی با بستن تمامی کلیدها در شبکه توزیع یعنی هم کلیدهای جداکننده و هم کلیدهای مانور شروع می‌شود و بنابراین سیستم به تعدادی حلقه تقسیم می‌شود. مساله بازآرایی شبکه توزیع، مشابه مساله انتخاب یک کلید مانور مناسب که در حالت عادی باز می‌باشد، برای هر حلقه است تا حلقه را به شکل شعاعی تبدیل نماید. تعداد کل کلیدهای مانور بدون توجه به هر تغییری در توپولوژی شبکه یا مکان کلیدهای مانور ثابت نگه داشته می‌شود. کلیدهای مختلفی از یک حلقه برای شکستن مدار حلقه انتخاب می‌شوند؛ بعد از اینکه هر حلقه به شکل شعاعی تبدیل می‌شود، یک پیکربندی به عنوان پیکربندی جدید و بهینه پیشنهاد می‌شود [6]. بازآرایی شبکه‌های توزیع تاکنون به علت نوع کلیدهای موجود در شبکه که از نوع کلیدهای دستی⁶ بوده اند و در نتیجه هزینه کلیدزنی قابل ملاحظه‌ای داشتند، بیشتر در بلندمدت برنامه‌ریزی و انجام می‌شده است. به عنوان مثال مراجع [7]-[8] بازآرایی سالیانه را به منظور افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه بارهای قطع شده در هنگام وقوع اغتشاشات احتمالی، کاهش تلفات و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری سالانه مورد توجه قرار داده است. مرجع [9] بازآرایی را به صورت فصلی و نهایتاً مرجع [10] بازآرایی شبکه را به صورت ماهیانه و گاهاً هفتگی مطرح نموده است. کلیدهای مانور موجود در شبکه‌های قدیمی تقریباً همگی از نوع کلیدهای دستی بوده‌اند. این نوع از کلیدها دارای هزینه کلیدزنی بالاتری می‌باشند و تعداد عملکرد آن‌ها نیز محدود می‌باشد. یکی از مسائل مهم بهره‌برداری در

¹ Sectionalizing-switches

² Normally-Closed

³ Tie-switch

⁴ Normally-Open

⁵ Service Restoration

⁶ Manual Switches

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

مدیریت آرایش سیستم، بازآرایی شبکه می باشد. هنگامی که شرایط بهره برداری تغییر می کند شبکه توزیع با در نظر گرفتن دو هدف باید آرایش خود را تغییر دهد. 1- کاهش تلفات توان حقیقی 2- برطرف کردن تراکم در شبکه. هدف اول با عنوان بازآرایی شبکه به منظور کاهش تلفات، شناخته می شود و هدف دوم با عنوان متعادل سازی بار مد نظر قرار می گیرد. یکی دیگر از مسائل بهره برداری از شبکه بازیابی سرویس به تعداد ممکن از مصرف کنندگان بعد از وقوع یک خطا می باشد. مفهوم بازیابی با هدف کاهش تلفات و انتخاب فیدر مناسب برای مصرف کنندگان جدید، در مطالعات برنامه ریزی نیز می تواند مورد بررسی قرار گیرد. شبکه توزیع معمولاً به صورت مش طراحی می شود و اغلب در حالت شعاعی از آن بهره برداری می گردد. بازآرایی شبکه توزیع از طریق باز و بسته کردن کلیدهای خطوط و فیدرها انجام می شود. این بازآرایی می تواند علاوه بر کاهش هزینه تلفات توان اکتیو، معیارهای امنیت و کیفیت توان شبکه را نیز بهبود می بخشد. مسئله بازآرایی شبکه توزیع از طریق روش های کلاسیک بهینه سازی در طول دو دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. بعضی مراجع یک تابع حذف خطی ساده را در نظر گرفته اند. این فرض منجر به ارائه هزینه های تلفات قانع کننده نشده است. در طرف دیگر مدل های همراه با متغیرهای باینری نتایج بهتری را نشان داده اند. در مرجع [1] مفهوم بازآرایی شبکه و کمینه کردن تلفات را ارائه کردند. آن ها آرایش اولیه شبکه را مش در نظر گرفته و کلیدهای سیستم را بسته فرض کردند و با استفاده از تکنیک شاخه و حد⁷ از بین حالت های مختلف کلیدزنی در جستجوی حالت بهینه بودند. در مرجع [11] برای حل مسئله بازآرایی شبکه توزیع از یک روش ابتکاری بر اساس پخش بار بهینه استفاده می کنیم. آن ها نیز حالت اولیه تمام کلیدها را بسته در نظر گرفتند. در این روش حلقه ها یکی پس از دیگری باز می شوند تا شبکه نهایی شعاعی گردد. یکی از محدودیت های واضح این روش این است که کلید انتخاب شده برای باز شدن، تنها در مرحله آخر به صورت بهینه انتخاب می شود. زیرا در بقیه مراحل همواره تعدادی حلقه وجود دارد که ممکن است در شرایط واقعی شبکه حضور نداشته باشند. در نتیجه توپولوژی به دست آمده از این مقاله ممکن است بهینه و یا نزدیک به بهینه نیز نباشد. در مرجع [12] بازآرایی شبکه را با استفاده از الگوریتم ژنتیک مدنظر قرار داده اند. اگرچه آن ها کارایی این الگوریتم را در این مسئله نشان داده اند ولی زمان حل مسئله بسیار طولانی می باشد که این یک نقطه ضعف بزرگ محسوب می شود. در این مقاله از روش تجزیه بندرز برای حل مسئله بازآرایی شبکه توزیع استفاده می کنیم. برنامه نویسی مسئله در نرم افزار GAMS انجام می شود. زیرمسئله اصلی به صورت یک مسئله MINLP فرموله می شود. از حل کننده DICOPT برای حل مسئله MINLP استفاده می کنیم. زیرمسئله فرعی به صورت NLP فرموله می شود و از حل کننده CPLEX برای حل آن بهره می بریم. ساختار مقاله به صورت زیر سازمان دهی می شود. در بخش 2 فرمول نویسی مسئله را بررسی می کنیم. در بخش 3 روند حل مسئله و جزئیات حل با استفاده از روش بندرز را خواهیم دید. در بخش 4 نتایج به دست آمده روی سیستم نمونه 32 باسه را خواهیم دید.

2. فرموله کردن مسئله بازآرایی شبکه توزیع

مسئله ی بازآرایی شبکه توزیع همراه با پخش بار بهینه باید قادر باشد تا توپولوژی بهینه را تعیین کند. این توپولوژی باید محدودیت های فنی بهره برداری از سیستم را نیز ارضا کند. تابع هدف ما کمینه کردن هزینه تلفات توان اکتیو می باشد که به صورت زیر بیان می گردد.

$$Z = \sum_{i \in N} \sum_{k \in \phi_i} C_k^i (S_k^i)^2 \quad (1)$$

⁷- Branch and bound technique

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

بیان تابع هدف مسئله به این نحو می‌تواند با در نظر گرفتن ولتاژ باس‌ها برابر یک توجیه گردد. در این صورت جمله s^2 ، می‌تواند بیان‌کننده مجذور جریان باشد. محدودیت‌های مسئله بهینه‌سازی به صورت زیر خواهد بود.

محدودیت تعادل توان در هر باس

$$\sum_{K \in \Phi_i^{in}} S_k^i - \sum_{l \in \Phi_i^{out}} S_l^i = S_i \quad \forall i \in N_d \quad (2)$$

محدودیت کمینه توان تولیدی ژنراتورها

$$\sum_{K \in \Phi_p^{out}} S_k^p \geq \sum_{t \in \Phi_p} S_{t,p}^{min} \cdot y_t^p; \quad \forall p \in N_g \quad (3)$$

محدودیت بیشینه توان تولیدی ژنراتورها

$$\sum_{K \in \Phi_p^{out}} S_k^p \leq \sum_{\Phi_p} S_{t,p}^{max} \cdot y_t^p; \quad \forall p \in N_g \quad (4)$$

محدودیت توان عبوری خطوط یا گرمایی خطوط^۸

$$S_l^i \leq S_{l,i}^{max} \cdot W_l^i; \quad \forall l \in \Phi_i, \quad \forall i \in N \quad (5)$$

شرایط بهره‌برداری شعاعی از شبکه

$$\sum_{l \in \Phi_i^{in}} W_l^i \leq 1; \quad \forall i \in N \quad (6)$$

محدودیت توان حقیقی تولیدی ژنراتورها

$$y_t^p \cdot P_t^{min} \leq P_t^p \leq P_t^{max} \cdot y_t^p \quad (7)$$

محدودیت توان راکتیو تولیدی ژنراتورها

$$y_t^p \cdot Q_t^{min} \leq Q_t^p \leq Q_t^{max} \cdot y_t^p \quad (8)$$

توان راکتیو خروجی خازن‌های موازی

$$Q_r^n = B_{r,b}^n \cdot y_{r,b}^n \cdot (V_n)^2 \quad (9)$$

معادله پخش بار توان حقیقی

$$\sum_{n \in N} V_i \cdot V_n (G_{in} \cos(\delta_i - \delta_n) - B_{in} \sin(\delta_i - \delta_n)) = P_i^g - P_i^d \quad (10)$$

معادله پخش بار توان راکتیو

$$\sum_{n \in N} V_i \cdot V_n (G_{in} \sin(\delta_i - \delta_n) - B_{in} \cos(\delta_i - \delta_n)) = Q_i^g - Q_i^d \quad (11)$$

⁸- Thermal limits of lines

محدودیت ولتاژ باسها

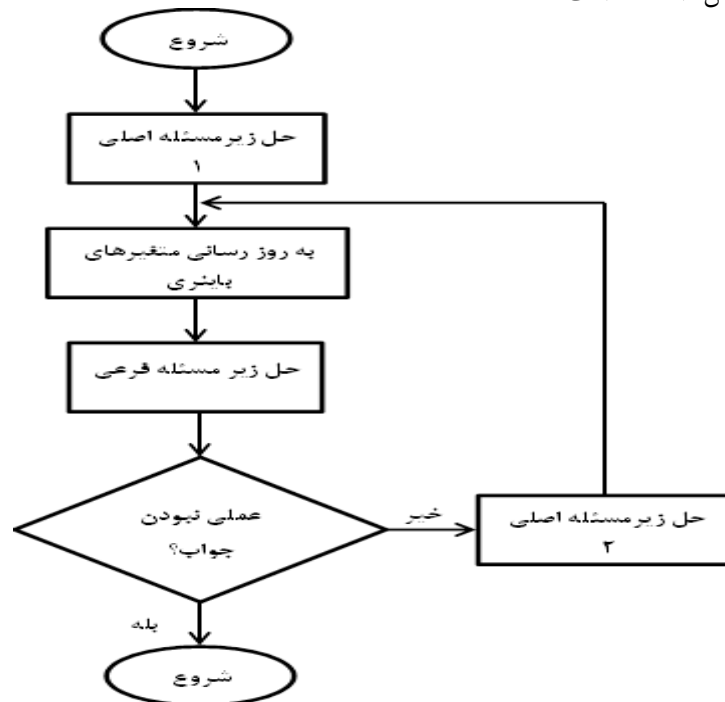
$$V^{\min} \leq V_n \leq V^{\max} ; \forall n \in N \quad (12)$$

محدودیت زاویه ولتاژ باسها

$$-\pi \leq \delta_n \leq +\pi ; n \in N, \delta_{ns} = 0 \quad (13)$$

3. روند حل مسئله

مسئله بهینه‌سازی بازاریابی شبکه توزیع همراه با محدودیت‌های پخش بار جریان متناوب دارای تابع هدف غیرخطی می‌باشد. این مسئله دارای متغیر باینری برای تعیین حالت وضعیت خطوط و محدودیت‌های غیرخطی پخش بار جریان متناوب می‌باشد. غیرمحدب بودن مسئله موجب افزایش زمان اجرای برنامه و بالا رفتن احتمال عدم همگرا شدن مسئله می‌گردد. برای برطرف کردن این مشکل از روش تجزیه بندرز استفاده می‌شود. به طور کلی این روش دارای یک زیرمسئله اصلی و چندین زیرمسئله فرعی می‌باشد که از طریق معادلات برش بندرز به یکدیگر متصل می‌شوند. در مسئله مورد نظر ما زیرمسئله اصلی تعیین‌کننده توپولوژی بهینه برای شبکه می‌باشد و در زیرمسئله فرعی این توپولوژی بهینه به دست آمده از نظر برآورده کردن محدودیت‌های فنی مورد بررسی قرار می‌گیرد. مسئله اصلی صورت MINLP و زیرمسئله به صورت NLP برنامه‌ریزی می‌شود. الگوریتم استفاده شده برای نوشتن برنامه تجزیه بندرز به صورت فلوچارت در شکل (1) نشان داده شده است.



شکل (1): فلوچارت روش تجزیه بندرز

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

مسئله اصلی تابع هدف کمینه کردن هزینه تلفات شبکه را دربردارد و محدودیت‌های (1) الی (7) را دربرمی‌گیرد. زیرمسئله فرعی محدودیت‌های (6) تا (12) را در نظر می‌گیرد. روند حل مسئله به این گونه است که ابتدا برنامه زیرمسئله اصلی را حل می‌کند در گام بعدی توپولوژی به دست آمده که با متغیرهای باینری تعیین می‌شود به زیرمسئله فرعی منتقل می‌شود. عملی بودن مسئله به وسیله معیار توقف که در ادامه توضیح داده خواهد شد، بررسی می‌گردد. اگر مسئله از نظر فنی تمام محدودیت‌ها را برآورده کرده حل مسئله پایان می‌یابد. در غیر این صورت باید زیرمسئله فرعی شماره 2 حل گردد. تنها تفاوت این زیرمسئله با زیرمسئله‌ی شماره 1 در این است که شامل محدودیت معادله بندرز نیز می‌گردد. معادله‌ی برش بندرز به صورت معادله (13) بیان می‌شود. در این معادله w تابع هدف زیرمسئله فرعی می‌باشد. π_i^1 مقدار حاشیه‌ای متغیر باینری مشخص‌کننده حالت خطوط می‌باشد. $Z.L_i^1$ مقدار واقعی متغیر باینری می‌باشد. به دلیل باینری بودن این متغیر باید در زیرمسئله فرعی، این متغیر را در یک معادله خطی مقداردهی می‌شود.

$$w + \sum_L \pi_i^1 (Z_i^1 - Z.L_i^1) \leq 0; \forall i \in N \quad (14)$$

زیرمسئله فرعی همان طور که گفته شد عملی بودن توپولوژی را از نقطه نظر فنی بررسی می‌کنیم. برای عملی کردن جواب‌های به دست آمده از زیرمسئله اصلی از مفهوم متغیرهای زیر(نماینده)¹⁰ استفاده می‌کنیم. همچنین برای توان اکتیو و راکتیو تزریقی در هر باس متغیر جدیدی تعریف می‌شود تا زیرمسئله فرعی ما در هر حال عملی گردد. در نتیجه معادلات پخش بار جریان متناوب به صورت زیر تغییر خواهند کرد.

$$\sum_{n \in N} V_i \cdot V_n (G_{in} \cos(\delta_i - \delta_n) - B_{in} \sin(\delta_i - \delta_n)) = P_i^g + P_n - P_i^d \quad (15)$$

$$\sum_{n \in N} V_i \cdot V_n (G_{in} \sin(\delta_i - \delta_n) - B_{in} \cos(\delta_i - \delta_n)) = Q_i^g + Q_n - Q_i^d \quad (16)$$

P_n و Q_n متغیرهای نماینده که بیان‌کننده توان اکتیو و راکتیو لازم برای عملی کردن مسئله بهینه‌سازی می‌باشند. در این صورت تابع هدف زیرمسئله فرعی کمینه کردن مجموع این متغیرهای نماینده می‌باشد. در نهایت جواب به دست آمده باید بهینه و عملی باشد بدین معنی که تمامی این متغیرهای نماینده مقداری برابر با صفر را داشته باشند. در نتیجه معیار غیرعملی بودن یا نبودن مسئله از طریق صفر بودن یا نبودن مقدار تابع هدف زیرمسئله فرعی بررسی می‌گردد.

4. نتایج به دست آمده از شبکه مورد آزمایش

به منظور روش پیشنهادی در این مقاله از یک شبکه توزیع 12/6 کیلوولتی فرضی با مشخصات زیر بهره می‌بریم.

✓ 32 باسه

✓ دو فیدر

✓ 37 خط

✓ بار کل راکتیو مصرفی 2300 کیلووار Kvar

✓ بار کل اکتیو مصرفی 3715 کیلووات Kwh

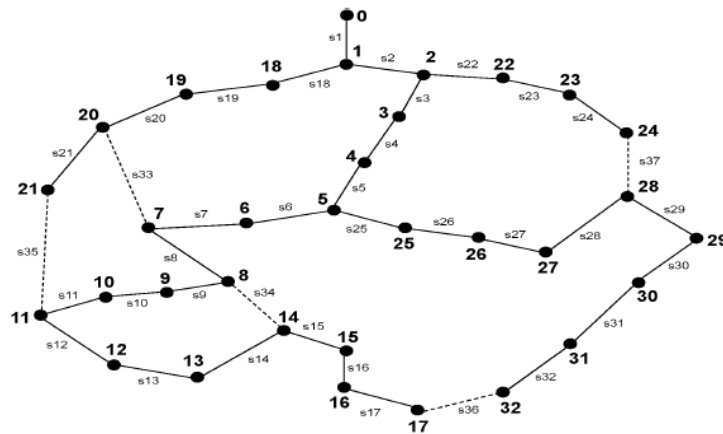
¹⁰- Slack variables

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

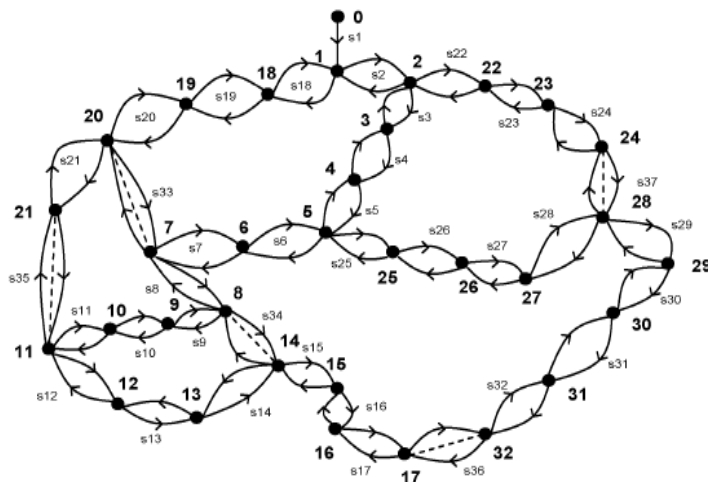
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

شماتیک این سیستم در شکل (2) نشان داده شده است. خطوط خطچین شاخه‌های تشکیل‌دهنده حلقه¹¹ می‌باشند. خطوط می‌تواند به دو صورت مدل شوند. هر خط را با دو جهت گردش توان می‌توان مدل کرد این نوع مدل کردن برای برنامه نوشتن محدودیت بهره‌برداری شعاعی از شبکه، مناسب نمی‌باشد. از این رو هر خط را به صورت دو خط مدل کرده که تنها توان در یک جهت می‌توان جاری شود. شکل (3) شبکه استفاده شده برای مسئله‌ی بهینه‌سازی را نشان می‌دهد. ابتدا برای اطمینان از حل صحیح گام به گام مسئله، کد هر دو زیرمسئله اصلی و فرعی به صورت جداگانه نوشته می‌شود تا از صحت هر یک از مراحل اطمینان کامل را داشته باشیم. زیرمسئله اصلی در مقاله مرجع دارای محدودیتی به نام تعادل کلی تولید و مصرف می‌باشد.



شکل (2): شبکه 32 باسه استفاده شده [16]



شکل (3): شبکه استفاده شده برای بهینه [16]

¹¹- Looping branches

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

از این رو زیرمسئله‌ی فرعی را با متغیرهای باینری به دست آمده از مقاله مرجع تست شده است که نتایج نشان می‌دهند در این مرحله مشکلی وجود نمی‌آید و جمع متغیرهای کمکی که به عنوان تابع هدف تعریف شده بودند برابر صفر می‌شود. در این حالت ولتاژ باس‌ها در مقایسه با مرجع [13] مطابق با جدول (1) می‌باشد. در نهایت مسئله‌ی کامل بعد از اجرا شدن به مدت پنج ساعت و پنج دقیقه به جواب بهینه همگرا می‌شود که با توجه به مقادیر داده شده در جدول دیده می‌شود نتایج بهتری حاصل شده است. همچنین ولتاژهای باس‌ها در مقادیر مناسب‌تری پس از بازآرایی شبکه قرار گرفته‌اند. در شکل 4 مقایسه مقادیر جدول بهتر دیده می‌شود.

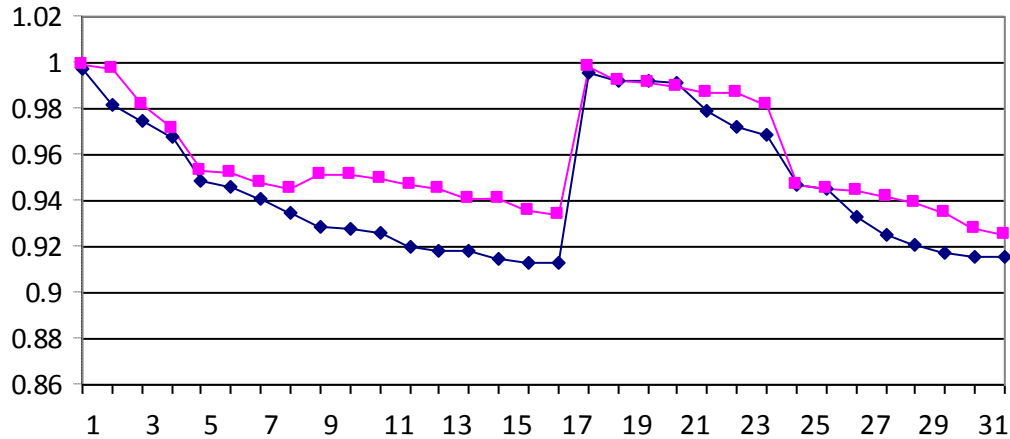
جدول (1): مقایسه پروفایل ولتاژ

| شماره باس | آرایش مرجع [13] | آرایش روش پیشنهادی | شماره باس | آرایش مرجع [13] | آرایش روش پیشنهادی |
|-----------|-----------------|--------------------|-----------|-----------------|--------------------|
| 1 | 0/997 | 0/999 | 24 | 0/969 | 0/982 |
| 2 | 0/982 | 0/997 | 25 | 0/947 | 0/947 |
| 3 | 0/975 | 0/982 | 26 | 0/945 | 0/945 |
| 4 | 0/968 | 0/971 | 27 | 0/933 | 0/944 |
| 5 | 0/949 | 0/953 | 28 | 0/925 | 0/942 |
| 6 | 0/946 | 0/952 | 29 | 0/921 | 0/939 |
| 7 | 0/941 | 0/948 | 30 | 0/917 | 0/935 |
| 8 | 0/935 | 0/945 | 31 | 0/916 | 0/928 |
| 9 | 0/929 | 0/951 | 32 | 0/916 | 0/925 |
| 10 | 0/928 | 0/951 | | | |
| 11 | 0/926 | 0/950 | | | |
| 12 | 0/920 | 0/947 | | | |
| 13 | 0/918 | 0/945 | | | |
| 14 | 0/918 | 0/941 | | | |
| 15 | 0/915 | 0/941 | | | |
| 16 | 0/913 | 0/936 | | | |
| 17 | 0/913 | 0/934 | | | |
| 18 | 0/996 | 0/998 | | | |
| 19 | 0/992 | 0/992 | | | |
| 20 | 0/992 | 0/991 | | | |
| 21 | 0/991 | 0/990 | | | |
| 22 | 0/979 | 0/987 | | | |
| 23 | 0/972 | 0/987 | | | |

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



شکل (4) : پروفیل ولتاژ در دو مورد بررسی شده

جدول (2): جریان های فیدر قبل و بعد از بازآرایی

| مقادیر بر حسب آمپر | مقادیر بر حسب آمپر | مقادیر بر حسب آمپر | مقادیر بر حسب آمپر |
|----------------------|-----------------------------------|---|--|
| قبل از بازآرایی [13] | بعد از بازآرایی بدست آمده از [13] | بعد از بازآرایی بدست آمده از [11] و [5] | بعد از بازآرایی بدست آمده از روش تجزیه بندرز |
| IF1-2=328 | IF1-18=248 | IF1-18=235 | IF1-18=234 |
| IF1-18=28.5 | IF1-18=104 | IF1-18=111 | IF1-18=110.56 |

5. نتیجه گیری

در این مقاله یک روشی جدید برای بازآرایی شبکه توزیع مطابق با معادلات غیرخطی جریان متناوب ارائه گردیده است. به دلیل غیرخطی بودن و وجود متغیرهای باینری از تکنیک جداسازی بندرز استفاده گردیده است. مسئله به دو زیرمسئله اصلی و فرعی تقسیم شده است که از طریق معادله‌ی برش بندرز به یکدیگر مرتبط می‌شوند. برای عملی کردن مسئله‌ی غیرخطی پخش بار از مفهوم متغیرهای کمکی استفاده گردیده است. پروفایل ولتاژ توپولوژی بهینه با مرجع [13] مقایسه شده است. نتایج نشان دهنده‌ی جواب‌هایی به مراتب بهتر در بهینه‌سازی و بازآرایی شبکه توزیع می‌باشد.

یازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

منابع

- [1] Merlin, A.; and Back, H., "Search for minimum-loss operating spanning tree configuration in an urban power distribution system," presented at the Proc. 5th Power System Computation Conference, Paper 1.2/6, 1975.
- [2] Venkatesh, B.; Ranjan, R.; and Gooi, H. B., "Optimal reconfiguration of radial distribution systems to maximize loadability," IEEE Transaction on Power Del, vol. 19, no. 1, pp. 260–266, Feb 2004.
- [3] Rao, R.S.; Ravindra, K.; Satish, K.; Narasimham, S.V.L., "Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation," IEEE Transactions on Power Systems, vol.28, no.1, pp.317-325, Feb 2013.
- [4] Khedkar, M. K.; and Gohokar, V. N., "An integrated approach for automation of distribution system," in IEEE/PES Transm and Distrib Conf, Asia Pacific, vol. 3, pp.2106–2110, Oct 2002.
- [5] Zhou, Q.; Shirmohammadi, D.; and Liu, W.H.E., "Distribution feeder reconfiguration for service restoration and load balancing," IEEE Transaction on Power System., vol. 12, no. 2, pp. 724-729, May 1997.
- [6] Wu, Y.K; Lee, C.Y; Liu, L.C; and Tsai, S.H, "Study of Reconfiguration for the Distribution System With Distributed Generators," IEEE Transactions on Power Delivery, vol.25, no.3, pp.1678-1685, July 2010.
- [7] Farahani, V.; Vahidi, B.; Abyaneh, H.A., "Reconfiguration and Capacitor Placement Simultaneously for Energy Loss Reduction Based on an Improved Reconfiguration Method," IEEE Transactions on Power Systems, vol.27, no.2, pp.587-595, May 2012.
- [8] Chandramohan, S.; Atturulu, N.; Kumudini, D.R.P.; and Venkatesh, B., "Operating cost minimization of a radial distribution system in a deregulated electricity market through reconfiguration using NSGA method," International Journal of Electrical Power & Energy Systems; 32(2):126–32, 2010.
- [9] Zidan, A.; El-Saadany, E. F., "Network reconfiguration in balanced distribution systems with variable load demand and variable renewable resources generation," Power and Energy Society General Meeting, IEEE, vol., no., pp.1-8, 22-26 July 2012.
- [10] Shariatkhah, M.H; Haghifam, M.R.; Salehi, J.; and Moser, A., "Duration based reconfiguration of electric distribution networks using dynamic programming and harmony search algorithm," International Journal of Electrical Power & Energy Systems; 41:1–10, 2012.
- [11] F. V. Gomes et al., "A new distribution system reconfiguration approach using optimum power flow and sensitivity analysis for loss reduction", IEEE Trans. Power System., vol. 21, no. 4, pp. 1616-1623, Nov. 2006

یازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

- [12] K. Nara, T. Satoh, and M. Kitagawa, "Distribution system loss minimum reconfiguration by genetic algorithm", in Proc 3rd Symp. Expert Syst. Applicat. to Power Syst., Tokyo, Japan, 1991, pp. 724-730.
- [13] M. E. Baran and F. F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," IEEE Trans. Power Del., vol. 4, no. 2, pp. 1401-1407, Apr. 1989.
- [14] B. Moradzadeh, K. Tomsovic, "Mixed Integer Programming-Based Reconfiguration of A Distribution System with Battery Storage"North American Power Symposium (NAPS), 2012
- [15] M.A.MatosandP.Melo, "Multiobjective reconfiguration for loss reduction and service restoration using simulated annealing," in Proc. IEEE Power Tech, Budapest, Hungary, Aug. 1999, p. 213.
- [16] H. M. Khodr , Martinez-Crespo and M. A. Matos, " Distribution Systems Reconfiguration Based on OPF Using Benders Decomposition ," in Proc. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 24, NO. 4, OCTOBER 2009.

یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

پیوست

| | | | |
|------------------|--|--------------|---|
| N | مجموعه باس‌های شبکه | p_t^{\max} | بیشینه توان اکتیو تولیدی ژنراتور t |
| N_d | مجموعه باس‌های مصرف شبکه | p_t^{\min} | کمینه توان اکتیو تولیدی ژنراتور t |
| N_g | مجموعه باس‌های تولیدی شبکه | Q_t^p | توان راکتیو تولیدی ژنراتور t متصل به باس p |
| N_{dr} | مجموعه باس‌های مصرف با بانک خازنی | Q_t^{\max} | بیشینه توان راکتیو تولیدی ژنراتور t |
| ϕ_i | مجموعه خطوط متصل به باس i | Q_t^{\min} | کمینه توان راکتیو تولیدی ژنراتور t |
| ψ_p | مجموعه ژنراتورهای متصل به باس p | Q_r^n | توان راکتیو تولیدی خازن r متصل به باس n |
| Ω_c | مجموعه بانک‌های خازنی یا راکتورها | $B_{r,b}^n$ | سوسپتانس خازن r متصل به باس n |
| B | مجموعه بلوک‌های بانک‌های خازنی | V_n | اندازه ولتاژ باس n |
| s_i | بار متصل به باس i (برحسب KVA) | δ | زاویه ولتاژ باس n |
| s_i^i | توان ظاهری خط l متصل به باس i | P_i^g | مجموع توان تولیدی ژنراتورها متصل به باس i |
| $s_{l,i}^{\max}$ | ماکزیمم توان قابل عبور از خط l متصل به باس i | Q_i^d | مجموع توان راکتیو تولیدی ژنراتورها متصل به باس i |
| w_i^k | متغیر باینری برای اتصال خط k به باس i | V^{\min} | کمینه ولتاژ مجاز در هر باس |
| y_p^t | متغیر باینری برای اتصال ژنراتور t به باس p | V^{\max} | بیشینه ولتاژ مجاز در هر باس |
| p_t^p | توان اکتیو تولیدی ژنراتور t متصل به باس p | $y_{r,b}^n$ | متغیر باینری برای اتصال بلوک b از بانک خازنی r به باس n |
| | | c_k^i | ضریب هزینه تلفات مربوط به انتقال توان از خط k متصل به باس i |