

جایابی و ظرفیت‌یابی هم‌زمان منابع تولید پراکنده و ادوات حفاظتی با استفاده از ترکیب الگوریتم کلونی مورچگان و تحلیل سلسله مراتبی

مسعود جعفری^{۱*}، کارشناس ارشد، حسن منصف^۲، دانشیار
^۱ دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تهران- تهران- ایران
MJafari@ece.ut.ac.ir
^۲ دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تهران- تهران- ایران
HMonsef@ut.ac.ir

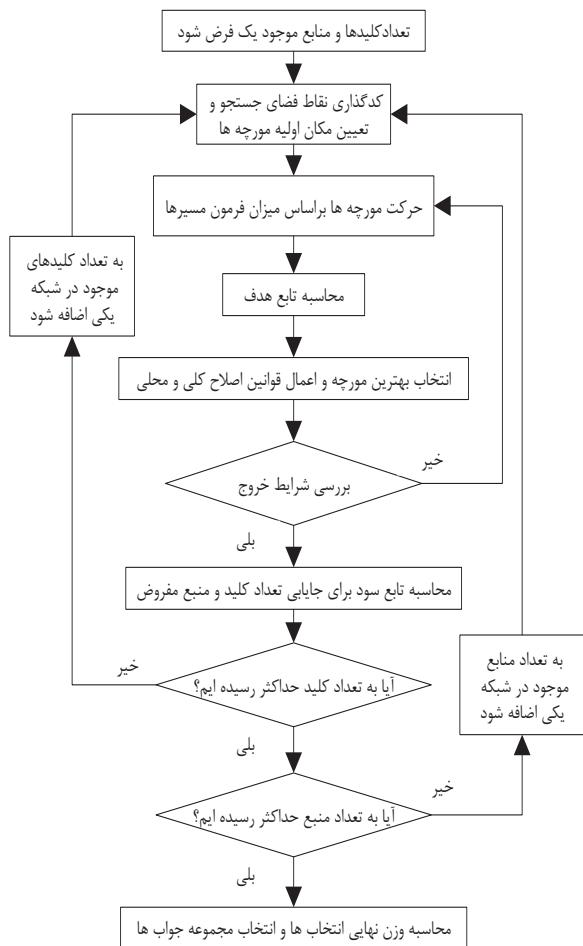
دریافت مقاله: ۹۰/۱/۲۶

پذیرش مقاله: ۹۰/۵/۱۵

چکیده: یکی از موضوعات مهم که در سال‌های اخیر در صنعت برق رخ داده است، استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه‌های قدرت است. از جمله مزایای مهم این سیستم‌ها، افزایش قابلیت اطمینان، کاهش تلفات شبکه، بهبود پروفیل ولتاژ است. منابع تولید پراکنده در هنگام بروز خطا در شبکه، با ایجاد نواحی جزیره‌ای می‌توانند باعث کاهش میزان قطعی بارها و در نتیجه، کاهش انرژی توزیع نشده شبکه شوند. از جمله ادوات حفاظتی شبکه توزیع که هماهنگی مناسبی با منابع تولید پراکنده دارند، کلیدهای بازبسته بوده که قابلیت سنکرون کردن نواحی مجزای شبکه را دارا می‌باشند. به منظور هماهنگی در عملکرد ادوات حفاظتی و منابع تولید پراکنده در این مقاله از ترکیب الگوریتم کلونی مورچگان، آنالیز حساسیت و روش تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شده، به طوری که با جایابی و ظرفیت‌یابی هم‌زمان منابع تولید پراکنده و ادوات حفاظتی، شاخص‌های قابلیت اطمینان، پروفیل ولتاژ و تلفات شبکه بهبود می‌یابند، و هزینه‌های سرمایه‌گذاری شبکه کمینه می‌گردند. شبیه‌سازی‌ها روی شبکه توزیع ۳۴ شینه اصلاح شده IEEE انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم کلونی مورچگان، تحلیل سلسله مراتبی، جایابی بهینه، قابلیت اطمینان، منابع تولید پراکنده.

جایابی برای حداکثر تعداد کلیدها و DGهای مفروض در مسئله انجام شد، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره و با توجه به درجه اهمیت بین بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان، افزایش سود سیستم، بهبود در پروفیل ولتاژ و بهبود تلفات شبکه، تعداد بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده و در نتیجه، مکان بهینه این تعداد کلید، و مکان ظرفیت بهینه DGها به دست خواهد آمد. در ادامه، به بررسی کامل الگوریتم ارائه شده می‌پردازیم. فرآیند کلی الگوریتم پیشنهادی در روندنمای در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): روندنمای کلی روش پیشنهادی برای جایابی هم‌زمان منابع و کلیدها با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان

۳. شماره‌گذاری خطوط و باس‌های شبکه

قبل از هر چیز در مسئله جایابی، باید خطوط و باس‌های موجود به صورت صحیح و مناسب شماره‌گذاری شوند.

۱. شاخه‌ای از شبکه به عنوان شاخه اصلی در نظر گرفته می‌شود.
۲. از دورترین باس در شاخه اصلی نسبت به پست فوق توزیع، شماره‌گذاری را شروع می‌کنیم و هرگاه به شاخه فرعی رسیدیم،

۱. مقدمه

با توجه به اهمیت فراوان سیستم توزیع، جنبه‌های متنوع و گسترده آن در زمینه‌های طراحی و بهره‌برداری، نظر بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. کارشناسان در مقالات مختلف، انواع مدل‌ها و روش‌های بهینه‌سازی را برای طرح الگوریتم جایابی بهینه ادوات حفاظتی و منابع تولید پراکنده مورد بررسی قرار داده‌اند. مطالعات انجام شده در این بخش، در دو دسته کلی جایابی کلیدهای حفاظتی، هنگامی که مکان منابع تولید پراکنده در شبکه مشخص باشد [۱-۵] و جایابی منابع تولید پراکنده، هنگامی که مکان کلیدهای حفاظتی در شبکه مشخص باشد [۶-۹] انجام شده است؛ اما تاکنون مطالعاتی بر روی جایابی و ظرفیت‌یابی هم‌زمان منابع تولید پراکنده و ادوات حفاظتی، به دلیل پیچیدگی موضوع صورت نگرفته است. در این مقاله، با ارائه الگوریتم جدید از ترکیب الگوریتم‌های کلونی مورچگان و تحلیل سلسله مراتبی و همچنین معرفی مدل نسبتاً کاملی از تابع هدف، مسئله جایابی هم‌زمان کلیدها و منابع، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. متغیرهای تصمیم در این مسئله عبارت‌اند از:

۱. مکان بهینه کلیدهای بازبست
۲. تعداد بهینه کلیدهای بازبست
۳. ظرفیت بهینه نصب منابع تولید پراکنده
۴. تعداد بهینه منابع تولید پراکنده
۵. مکان بهینه منابع تولید پراکنده

۲. الگوریتم حل مسئله

الگوریتم معرفی شده برای حل مسئله جایابی و ظرفیت‌یابی به صورت ترکیبی از الگوریتم‌های جستجوی مستقیم و کلونی مورچگان و تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد، به طوری که در ابتدا تعداد منابع تولید پراکنده و کلیدها یک فرض می‌شود و برای DG و کلید مورد نظر با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان، مکان و ظرفیت بهینه به دست خواهد آمد. در تکرارهای بعدی، تعداد کلیدها افزایش می‌یابد و برای هر تعداد از کلیدها، مکان بهینه و برای DG مفروض، مکان و ظرفیت بهینه با توجه به مقدار تابع هدف محاسبه خواهد شد. در انتهای هر جایابی بهینه، تابع سودی با توجه به تعداد منابع تولید پراکنده، تعداد کلیدها و مقدار بهبود در شاخص‌های شبکه محاسبه می‌گردد، سپس تعداد DGهای شبکه افزایش می‌یابد و مرحله قبل دوباره تکرار می‌شود تا به حداکثر تعداد ممکن برای DGهای شبکه برسیم. بعد از آنکه

شماره‌گذاری را در باس‌های شاخه فرعی ادامه می‌دهیم.

۳. هر خط نیز شماره باس ماقبل خودش را می‌گیرد تا شماره‌گذاری کل شبکه تمام شود.

۴. کدگذاری مورچه‌ها در الگوریتم کلونی مورچگان

طبق الگوریتم کلونی مورچگان برای هر مورچه، مکان ابتدایی به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود [۲-۴]. همانند حالت قبل برای یک شبکه توزیع نمونه، برای جایابی کلیدها، هر مورچه یکی از ۳۳ شاخه مفروض و برای جایابی منابع تولید پراکنده، هر یک از ۳۴ باس شبکه را انتخاب می‌کند.

هر مورچه برای اتمام مسیرش در هر تکرار از الگوریتم باید به تعداد مجموع کلیدها و دو برابر تعداد منابع تولید پراکنده، مرحله مکانی را پشت سر بگذارد، به‌طوری‌که در بخش اول، هر مورچه مکان منابع تولید پراکنده و در بخش دوم، ظرفیت مناسب هر منبع و در بخش آخر، مکان کلیدها را به دست می‌آورد. برای انتخاب مکان کلیدها این فرض وجود دارد که روی هر شاخه، تنها مجاز به نصب یک کلید می‌باشیم. یعنی هر مورچه در بخش انتخاب کلیدها نمی‌تواند به مکانی که قبلاً آنجا رفته باز گردد تا اینکه مسیر خودش را به اتمام برساند؛ اما در انتخاب مکان و ظرفیت منابع تولید پراکنده این فرض وجود ندارد و در هر باس شبکه، استفاده بیش از یک منبع مجاز است. بنابراین، در حالت کلی به فرمول زیر می‌رسیم:

$$X_i = \left\{ \begin{array}{l} [x \ y \ z] | x_i \in \{1, \dots, P\}, i = 1, \dots, N, y_i \in \{C_{\min}, \dots, C_{\max}\} \\ z_j \in \{1, \dots, R\}, j = 1, \dots, M \end{array} \right\} \quad (1)$$

به‌طوری‌که:

X : لیست مکانی مورچه‌ها

K : تعداد مورچه‌ها

P : تعداد باس‌های شبکه

N : تعداد منابع تولید پراکنده

R : تعداد کلیدها

M : تعداد خطوط

C_{\min} : حداقل ظرفیت هر منبع

C_{\max} : حداکثر ظرفیت هر منبع

پس از پایان یک تکرار از الگوریتم، ماتریسی به نام لیست مکانی کلیدها و منابع طبق رابطه (۱) شکل می‌گیرد که در آن، لیست شاخه‌های مورد نظر برای جایابی کلیدها و باس‌های مورد نظر برای جایابی منابع تولید پراکنده و ظرفیت‌های مناسب برای هر منبع که توسط هر مورچه به ثبت رسیده، ذخیره شده است.

۵. محاسبه تابع هدف

تابع هدف مسئله به‌صورت ترکیبی از شاخص‌های قابلیت اطمینان، تلفات شبکه و پروفیل ولتاژ، طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\text{Objective Function:} \quad (2)$$

$$\min (F_1 + F_2 + F_3)$$

$$F_1 = k_1 \times \left\{ W_{SAIFI} \times \frac{SAIFI}{SAIFI_T} + \right. \quad (3)$$

$$+ W_{SAIDI} \times \frac{SAIDI}{SAIDI_T}$$

$$\left. + W_{AENS} \times \frac{AENS}{AENS_T} \right\}$$

$$F_2 = k_2 \times \sum_{i=1}^l (|V_b - V_i|) \quad (4)$$

$$F_3 = k_3 \times P_{Loss} \quad (5)$$

به‌طوری‌که:

$$SAIDI = \frac{\sum N_i u_i}{\sum N_i} \quad \text{متوسط دوره قطع سیستم}$$

$$SAIFI = \frac{\sum N_i r_i}{\sum N_i} \quad \text{متوسط فرکانس قطع سیستم}$$

$$AENS = \frac{\sum L_a(i) u_i}{\sum N_i} \quad \text{متوسط انرژی توزیع نشده سیستم}$$

$$N_i \quad \text{تعداد مشتری‌ها در نقطه بار } i \text{ ام}$$

$$u_i \quad \text{زمان خروج در نقطه بار } i \text{ ام}$$

$$r_i \quad \text{نرخ قطعی‌ها در نقطه بار } i \text{ ام}$$

$$L_a(i) \quad \text{متوسط بار وصل شده به نقطه بار } i \text{ ام}$$

$$V_i \quad \text{ولتاژ نقطه بار } i \text{ ام}$$

$$V_b \quad \text{ولتاژ مبنای شبکه، که برابر یک پریونیت می‌باشد.}$$

$$P_{Loss} \quad \text{مقدار تلفات شبکه توزیع}$$

$$l \quad \text{تعداد باس‌های شبکه}$$

$$W_x, k_x \quad \text{ضرایب وزنی}$$

$$X_T \quad \text{مقادیر کلی شاخص‌های قابلیت اطمینان}$$

با قیود زیر:

$$m \leq M_{\max} \quad (6)$$

$$n \leq N_{\max} \quad (7)$$

$$P_{\min} \leq P_{DG}(i) \leq P_{\max} \quad (8)$$

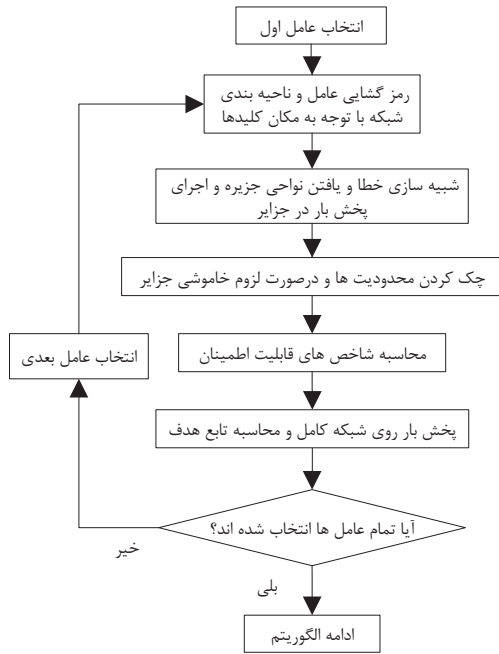
$$Q_{\min} \leq Q_{DG}(i) \leq Q_{\max} \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m P_{DG}(i) \leq P_{DG, total} \quad (10)$$

به‌طوری‌که:

$$m \quad \text{تعداد منابع تولید پراکنده}$$

$$M_{\max} \quad \text{حداکثر مجاز تعداد منابع تولید پراکنده}$$



شکل (۲): روندنمای محاسبه شاخص ترکیبی، برای هر جانمایی از کلیدها

فرآیند محاسبه تابع هدف سیستم در روندنمای شکل (۲) نشان داده شده است. برای هر ترکیبی از کلیدها و منابع، نواحی قابلیت اطمینان مشخص خواهند شد، سپس با در نظر گرفتن قابلیت شبکه برای جزیره‌ای شدن، مقادیر شاخص‌های قابلیت اطمینان از طریق شبیه‌سازی خطا در تک‌تک خطوط شبکه به دست خواهد آمد. پس از انجام شبیه‌سازی خطا بر روی تک‌تک خطوط شبکه و محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان، با انجام پخش بار روی شبکه توزیع کامل و مجهز به تولید پراکنده، مقادیر تلفات شبکه و ولتاژ شین‌ها به دست می‌آید و با استفاده از رابطه‌های (۲) تا (۵) مقدار تابع هدف برای تک‌تک مورچه‌ها در الگوریتم کلونی مورچگان محاسبه می‌گردد [۱۰-۱۴].

۶. محاسبه تابع سود

در این مرحله، تابع سود که تفاوت هزینه خرید، نصب و نگهداری منابع تولید پراکنده و کلیدهای بازبست و از طرف دیگر، سود حاصل از تغییر در مقدار انرژی توزیع نشده شبکه و بهبود تلفات است، به صورت زیر محاسبه می‌شود. بازه زمانی محاسبه تابع سود به منظور منطقی بودن خرید تجهیزات، ۲۰ ساله فرض می‌شود. در محاسبات شبکه نیز بار شبکه به عنوان بار سال بیستم در نظر گرفته شده است. رشد بار در هر سال، ۳ درصد در نظر گرفته شده است. با توجه به این ضرایب، مقدار تابع سود طبق رابطه زیر به دست می‌آید:

n	تعداد کلیدهای بازبست
N_{max}	حداکثر مجاز تعداد کلیدهای بازبست
P_{DG}	توان اکتیو DGها
Q_{DG}	توان راکتیو DGها
P_{min}, P_{max}	محدودیت توان اکتیو انتخاب DGها
Q_{min}, Q_{max}	محدودیت توان راکتیو انتخاب DGها
$P_{DG, total}$	حداکثر ظرفیت کلی منابع تولید پراکنده

هدف برای این مسئله، حداقل کردن این تابع ترکیبی است. قیود مسئله شامل سه بخش است: بخش اول، قیود مربوط به منابع تولید پراکنده‌اند که شامل تعداد و محدودیت‌های توان‌های اکتیو و راکتیو هر منبع است. بخش دوم، قید محدودیت ولتاژ مجاز روی بارهای شبکه است، به طوری که در حین تشکیل جزایر، ولتاژ روی بارها نباید از حدود مجاز تجاوز کند. بخش سوم، محدودیت‌های مربوط به کلیدهاست که شامل تعداد کلیدها و مکان‌های ممکن و کاندیدا برای جاگذاری می‌باشند:

$$P_{DG-i, min} \leq P_{DG-i} \leq P_{DG-i, max} \quad (11)$$

$$Q_{DG-i, min} \leq Q_{DG-i} \leq Q_{DG-i, max} \quad (12)$$

$$V_{i- min} \leq V_i \leq V_{i- max} \quad (13)$$

به طوری که:

P_{DG-i} توان اکتیو تولیدی منبع آم در حالت جزیره

Q_{DG-i} توان راکتیو منبع آم در حالت جزیره

V_i ولتاژ در نقطه بار آم

$P_{DG-i, min}, P_{DG-i, max}$ مقادیر محدودیت توان اکتیو منبع آم در حالت جزیره

$Q_{DG-i, min}, Q_{DG-i, max}$ مقادیر محدودیت توان راکتیو منبع آم در حالت جزیره

$V_{i- min}, V_{i- max}$ مقادیر محدودیت ولتاژ نقاط بار

منابع تولید پراکنده مدل شده، قابلیت کنترل ولتاژ را دارند و به صورت منابع PV مدل‌سازی شده‌اند. در صورت تشکیل جزیره شامل یک یا چند منبع، بزرگ‌ترین منبع به صورت باس اسلک عمل می‌کند و پخش بار نیوتن-رافسون در جزایر تشکیل شده، اجرا می‌شود، و در صورتی که یکی از قیود مربوط به تشکیل جزیره نقض شوند، ناحیه جزیره شده خاموش خواهد شد.

۷. انتخاب تعداد بهینه منابع و کلیدها

در این بخش از الگوریتم، با توجه به مقدار تابع سود و درجه اهمیت بین سود سیستم و بهبود شاخص‌های مختلف سیستم، از روش تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده می‌شود [۱۵]. تصمیم‌گیری چند معیاره در واقع، روشی برای یافتن جواب بهینه در مسائلی است که کاربر در آن‌ها با چندین معیار متضاد روبه‌روست و باید میان طرح‌های مختلف پیشنهادی، با توجه به معیارهای موجود، مناسب‌ترین طرح را انتخاب کند. به دلیل اهمیت مشترکین، و بهبود تعداد مشترکینی که از دریافت خدمات از شبکه رضایت دارند، شاخص‌های قابلیت اطمینان بالاترین وزن‌ها را به خودشان اختصاص می‌دهند. تلفات و انحراف ولتاژ در مراحل بعدی اهمیت قرار دارند و به دلیل درجه کم اهمیت سود شبکه توزیع از مسئله جایابی، تابع سود سیستم نسبت به دیگر معیارها از درجه پایین‌تری برخوردار است. بنابراین، ماتریس قضاوت مربوط به معیارهای تعریف شده، به صورت جدول (۱) خواهد بود.

جدول (۱): ماتریس قضاوت معیارها

معیار	SAIDI	SAIFI	AENS	تلفات	پروفیل ولتاژ	سود سیستم
SAIDI	۱	۱	۱	۲	۲	۳
SAIFI	۱	۱	۱	۲	۲	۳
AENS	۱	۱	۱	۲	۲	۳
تلفات	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱	۱	۱/۵
پروفیل ولتاژ	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱	۱	۱/۵
سود سیستم	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۶۶	۰/۶۶	۱

برای به دست آوردن وزن نهایی معیارها، از روش میانگین حسابی استفاده، و وزن نهایی انتخاب‌ها محاسبه می‌شود. مقادیر فوق در جدول (۲) نشان داده شده است. درجه ارزش‌ها نیز به ۵ گروه تقسیم‌بندی می‌شود: خیلی خوب، خوب، متوسط، بد و خیلی بد. همانند جدول ماتریس قضاوت معیارها و با استفاده از روش میانگین حسابی وزن نهایی مربوط به درجه ارزش‌ها محاسبه می‌گردند. مقادیر فوق نیز در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول (۲): وزن نهایی مربوط به معیارها

معیار	SAIDI	SAIFI	AENS	تلفات	پروفیل ولتاژ	سود سیستم
وزن	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۱۱۵	۰/۱۱۵	۰/۰۷۷

جدول (۳): وزن نهایی مربوط به درجه‌های ارزش

درجه ارزش	خ ب	ب	م	خ	خ خ
وزن	۰/۰۸۴	۰/۱۰۶	۰/۱۴۵	۰/۲۲۲	۰/۴۴۳

فلوچارت کامل مربوط به تعیین تعداد و مکان بهینه کلیدها و منابع

$$Profit Fun_{total} = CostFun_{new} - CostFun_{old} \quad (14)$$

به طوری که:

$$Cost Fun_{old} = \sum_{y=1}^s ((P_L(y) \times d_1 + P_{Loss-old}(y) \times d_2) \times h - ENS_{old}(y) \times d_1) \quad (15)$$

$$Cost Fun_{new} = \sum_{y=1}^s (P_L(y) \times d_1 + P_{Loss-new}(y) \times d_2) \times h - ENS_{new}(y) \times d_1 - (C_R \times n + C_{DG-ins} \times m) - \sum_{i=1}^m C_{DG} \times P_{DG}(i) \quad (16)$$

$$ENS(y) = \sum L_a(i, y) u_i \quad (17)$$

به طوری که:

C_{DG} هزینه خرید هر DG بر حسب دلار بر کیلووات

C_{DG-ins} هزینه نصب هر تعداد DG بر حسب دلار

$P_{DG}(i)$ توان حداکثر تولیدی منبع i ام بر حسب کیلووات

$P_{DG}(i, y)$ توان تولیدی منبع i ام در سال y ام

$P_{loss-old}(y)$ تلفات شبکه بدون حضور منابع در سال y ام

بر حسب کیلووات

$P_{loss-new}(y)$ تلفات در حضور منابع در سال y ام بر حسب کیلووات

h کل ساعات یک سال

d_1 سود فروش هر کیلووات ساعت انرژی به مشتریها

d_2 هزینه تولید هر کیلووات ساعت انرژی

n تعداد کلیدهای بازیست

y سال مورد نظر

s طول بازه زمانی مورد نظر بر حسب سال

m تعداد DGها

$ENS(y)$ مقدار شاخص انرژی توزیع نشده سیستم در سال y ام

$L_a(i, y)$ متوسط بار وصل شده به نقطه بار i ام در سال y ام

u_i مدت زمان خروج بارها

C_R هزینه خرید، نصب و نگهداری کلیدها می‌باشد.

$P_L(y)$ مقدار بار کلی شبکه در سال y ام

بنابراین با توجه به روابط بالا، سود شبکه از نصب کلیدها و منابع محاسبه می‌شود و در ادامه به عنوان معیاری در جهت انتخاب تعداد و مکان بهینه کلیدها و منابع قرار می‌گیرد.

محدودیت‌های حل مسئله جایابی هم‌زمان، طبق جدول (۵) می‌باشد.

جدول (۵): محدودیت‌های شبیه‌سازی

محدودیت‌ها	توان کلی منابع	توان راکتیو کیلو وار	توان اکتیو کیلو وات	حداکثر تعداد منابع	حداکثر تعداد کلیدها
مقدار	۱۵۰۰	۶۵۰-۱۳۰	۶۰۰-۱۰۰	۶	۶

پس از اجرای الگوریتم مورد نظر، نتایج نهایی به دست آمده برای جایابی کلیدها و منابع در جدول (۶) آورده شده است. با توجه به ردیف‌های ابتدایی جدول، می‌توان در مورد نحوه عملکرد الگوریتم روی شبکه بحث کرد. با توجه به جدول (۷)، باس شماره ۱۳ با ظرفیت ۴۵۰ کیلووات - معادل یک چهارم ظرفیت کل شبکه و یکی از باس‌های انتهایی در یک شاخه فرعی - بهترین گزینه برای جایابی منبع به منظور تشکیل جزیره در هنگام بروز خطا و بهبود قابلیت اطمینان شبکه است. از طرف دیگر، کلید مورد نظر اول برای جایابی روی خط ۱۴ قرار گرفته است. در نگاه اول، جایابی این کلید اشتباه به نظر می‌رسد، زیرا طبق جدول (۷)، باس ۱۴ هیچ باری ندارد و وجود خط ۱۳ در مسیر بار ۱۳ با توجه به نرخ خطای این خط، جزیره ۱۳ را دچار مخاطره می‌سازد؛ اما با نگاه دقیق‌تر می‌توان دید در صورتی که خط ۱۳ در شبکه اصلی قرار گیرد، در هنگام خطا روی آن، سه چهارم دیگر شبکه تهدید خواهد شد، پس بهینه‌ترین مکان برای کلید و منبع اول به دست آمده است. از طرف دیگر، ظرفیت بهینه منبع ۶۰۰ کیلووات است که با توجه به جدول (۵)، حداکثر توان یک منبع می‌باشد که بتواند بهترین تأثیر را روی تلفات و پروفیل ولتاژ داشته باشد.

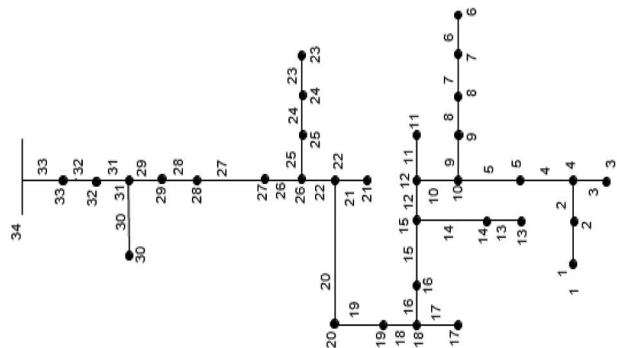
بنابراین، با یک نگاه کلی‌تر به جدول‌های (۵) تا (۸) می‌توان دید که منابع تولیدی نزدیک مراکز بار جایابی می‌شوند. از طرف دیگر، کلیدها نیز برای حداکثر کردن پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم، در نزدیکی منابع و در واقع، روی خطوطی که کمتر در خطر خروج در هنگام خطا هستند، جایابی شده‌اند.

ستون انتهایی جدول (۶) وزن نهایی هر انتخاب را با توجه به روش تحلیل سلسله مراتبی مشخص می‌کند، به طوری که وزن بیشتر، معادل مطلوب‌تر بودن جواب است. مجموعه جواب نهایی مسئله، ردیف‌های تیره شده می‌باشند که بیشترین مقدار وزن نهایی را دارا هستند.

تولید پراکنده، در شکل (۱) نشان داده شده است.

۸. شبیه‌سازی

روش ارائه شده در مقاله بر روی شبکه توزیع ۳۴ شینه اصلاح شده IEEE مطابق شکل (۳)، پیاده‌سازی شده است [۱۶]. نرم‌افزار مورد استفاده برای پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها MatlabR2007 است. ورودی‌های الگوریتم شامل اطلاعات ساختار شبکه، بارها، مشخصات خطوط و منابع تولید پراکنده به صورت فایل‌های Excel به نرم‌افزار داده شده است.



شکل (۳): شبکه ۳۴ شینه اصلاح شده IEEE

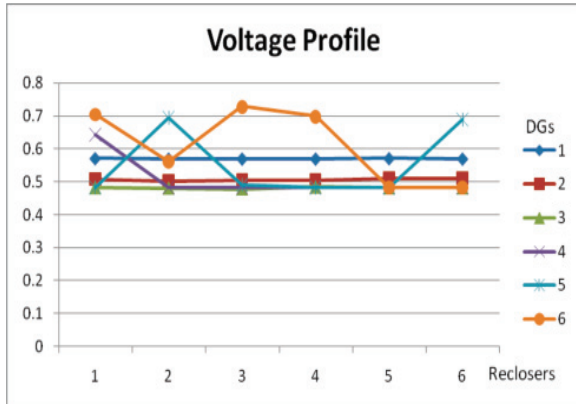
اطلاعات شبکه، شامل اطلاعات خطوط، بارها و مقادیر نرخ متوسط خطا و طول دوره تعمیر در بخش پیوست آورده شده است. مقادیر نرخ بروز خطا و طول دوره تعمیر در واحد طول خطوط شبکه یکسان فرض شده‌اند. مقادیر مختلف ضرایب وزنی در تابع هدف شبیه‌سازی شده به صورت تجربی و با انجام آزمایش‌های تکراری انتخاب می‌شوند. اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه تابع هدف و پارامترهای مختلف الگوریتم بهینه‌سازی در جدول (۴) آمده است.

جدول (۴): پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه تابع هدف

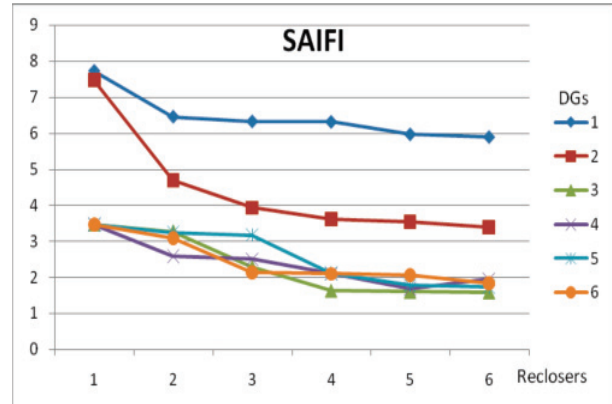
پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
W_{SAIFI}	0.33	C_R	4500\$
W_{SAIDI}	0.34	1	34
W_{AENS}	0.33	k_1	1
$SAIFI_T$	10	k_2	0.5
$SAIDI_T$	100	k_3	0.03
$AENS_T$	350	V_{i-max}	1.1
s	20 years	V_{i-min}	0.85
d_1	8 c/kwh	q_0	0.9
d_2	10c/kwh	τ_0	0.2
h	8760h	ρ	0.73
C_{DG}	318 \$/kw	Iteration	150
α	0.1	β	1
Number of Ants	500		

جدول (۶): مکان و ظرفیت نصب منابع تولید پراکنده و کلیدها در حالت استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان

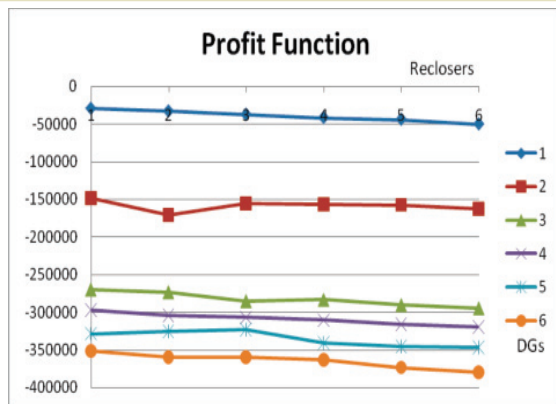
شماره آزمایش	تعداد منابع	شماره شین نصب منابع تولید پراکنده	ظرفیت نصب منابع تولید پراکنده مطابق با محل نصب منبع	تعداد کلیدها	شماره خط برای نصب کلیدهای بازست	مقدار تابع هدف	وزن نهایی
۱	۱	۱۳	۶۰۰	۱	۱۴	۲/۹۱۰۲	-/۱۲۷۳
۲	۱	۱۳	۶۰۰	۲	۱۴	۲/۶۹۰۵	-/۱۴۲۴
۳	۱	۱۳	۶۰۰	۳	۱۴	۲/۶۸۳۹	-/۱۴۲۴
۴	۱	۱۳	۶۰۰	۴	۱۴	۲/۶۶۹	-/۱۴۲۴
۵	۱	۱۳	۶۰۰	۵	۱۳	۲/۶۶۲۷	-/۱۴۲۴
۶	۱	۱۳	۶۰۰	۶	۱۳	۲/۶۳۳۴	-/۱۴۲۴
۷	۲	۱۳	۵۲۰	۱	۹	۱/۴۹۶۱	-/۱۷۶۹
۸	۲	۷	۶۰۰	۲	۹	۱/۱۸۲۳	-/۲۱۳۱
۹	۲	۶	۶۰۰	۳	۹	۱/۰۸۲۸	-/۲۷۲۲
۱۰	۲	۱۳	۵۲۰	۴	۸	۱/۰۴۹۱	-/۲۷۲۲
۱۱	۲	۱۳	۵۱۰	۵	۹	۱/۰۳	-/۲۷۲۲
۱۲	۲	۱۳	۵۲۰	۶	۹	۱/۰۲۹۹	-/۲۷۲۲
۱۳	۳	۱۳	۴۲۰	۱	۱۵	-/۹۵۳۵	-/۳۶۴۹
۱۴	۳	۹	۵۶۰	۲	۱۵	-/۹۱	-/۳۶۴۹
۱۵	۳	۱۳	۴۲۰	۳	۱۴	-/۱۸۶۹۵	-/۴۱۵۷
۱۶	۳	۵	۴۷۰	۴	۱۰	-/۱۳۰۹	-/۴۱۵۷
۱۷	۳	۱۳	۴۶۰	۵	۱۳	-/۱۸۱۳۹	-/۴۱۵۷
۱۸	۳	۱۳	۴۶۰	۶	۱۳	-/۱۸۰۲۷	-/۴۱۵۷
۱۹	۴	۱۳	۴۱۰	۱	۱۵	-/۹۲۴۳	-/۳۲۶۱
۲۰	۴	۱۲	۳۹۰	۲	۱۲	-/۹۰۶۱	-/۴۱۵۷
۲۱	۴	۴	۴۱۰	۳	۱۴	-/۱۵۵۵۵	-/۴۱۵۷
۲۲	۴	۱۳	۴۴۰	۴	۱۴	-/۱۸۰۴۱	-/۴۱۴
۲۳	۴	۹	۵۵۰	۵	۹	-/۷۹۶۸	-/۴۱۴
۲۴	۴	۱۳	۴۶۰	۶	۱۴	-/۷۹۱۴	-/۴۱۴
۲۵	۵	۱۳	۲۶۰	۱	۱۵	-/۹۲۶	-/۳۶۳۲
۲۶	۵	۱۳	۳۶۰	۲	۱۵	-/۱۸۷۹۵	-/۳۲۱۹
۲۷	۵	۱۴	۴۶۰	۳	۹	-/۱۸۶۴	-/۲۶۱۵
۲۸	۵	۱۵	۳۸۰	۴	۱۴	-/۱۸۱۰۵	-/۴۱۴
۲۹	۵	۱۳	۳۸۰	۵	۱۴	-/۱۸۰۳۴	-/۴۱۴
۳۰	۵	۱۴	۳۵۰	۶	۱۵	-/۷۸۱۸	-/۳۷۲۷
۳۱	۶	۱۳	۱۷۰	۱	۱۵	-/۹۱۶۷	-/۳۲۱۹
۳۲	۶	۱۳	۴۵۰	۲	۱۵	-/۱۸۶۸۵	-/۳۳۷۸
۳۳	۶	۱۳	۱۶۰	۳	۱۴	-/۷۹۴۵	-/۳۷۲۷
۳۴	۶	۱۳	۲۰۰	۴	۱۴	-/۷۹۰۸	-/۳۷۲۷
۳۵	۶	۱۳	۲۵۰	۵	۱۴	-/۷۸۹۷	-/۴۱۴
۳۶	۶	۱۳	۳۶۰	۶	۱۴	-/۷۸۵۴	-/۴۱۴



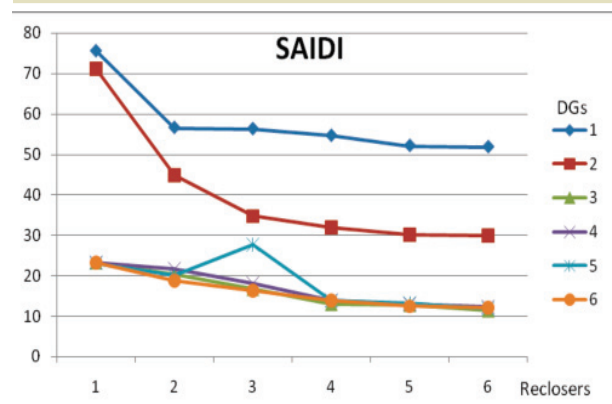
شکل (۸): تغییرات شاخص پروفیل ولتاژ



شکل (۴): تغییرات شاخص SAIFI



شکل (۹): تغییرات تابع سود

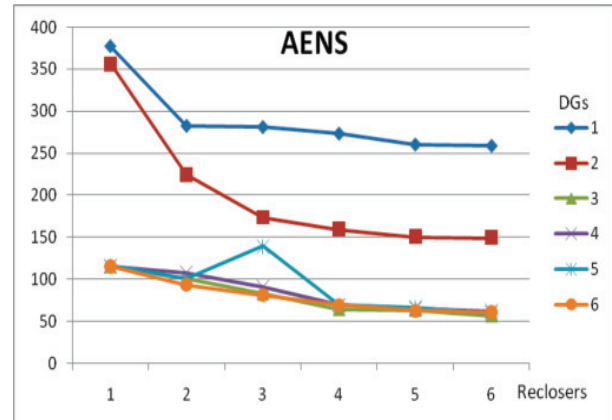


شکل (۵): تغییرات شاخص SAIDI

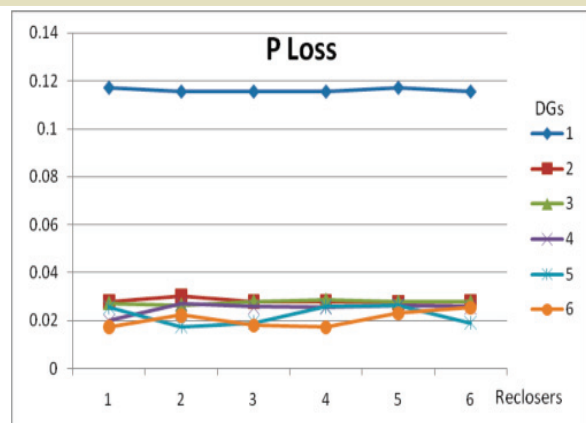
همان‌طور که در منحنی‌های ۴ تا ۹ مشخص می‌باشد، با جایابی هم‌زمان منابع تولید پراکنده و کلیدها ملاحظه شد که می‌توان هم‌زمان شاخص‌های مختلف شبکه مانند قابلیت اطمینان، پروفیل ولتاژ و تلفات را بهبود بخشید. تأثیر کلیدها روی شاخص‌های قابلیت اطمینان است و منابع تولید پراکنده علاوه بر شاخص‌های قابلیت اطمینان، پروفیل ولتاژ و تلفات را نیز بهبود می‌بخشند. بیشترین تأثیر روی پارامترهای شبکه با جایابی کلید و منبع اول به دست می‌آید. با توجه به منحنی‌های مذکور، از جایابی کلید چهارم به بعد به یک مقدار به نسبت ثابت در شاخص‌های مختلف می‌رسیم، چنان‌که در مورد منابع تولید پراکنده که از منبع سوم به بعد به این حالت پایدار رسیده‌ایم. همان‌طور که از جدول (۶) نیز مشخص است، در شبکه مورد نظر با جایابی ۳ یا ۴ منبع با ظرفیت و مکان‌های به دست آمده و تعداد کلید مفروض در همان ردیف‌ها، می‌توان به بهینه‌ترین حالت سیستم از لحاظ شاخص‌های مختلف قابلیت اطمینان، پروفیل ولتاژ، تلفات و هزینه‌های سیستم دست یافت.

۹. نتیجه

به منظور نشان دادن کارایی روش پیشنهادی آزمایشاتی بر روی شبکه استاندارد ۳۴ شینه IEEE اجرا گردید. خلاصه‌ای از نتایج شبیه-



شکل (۶): تغییرات شاخص AENS



شکل (۷): تغییرات شاخص P Loss

پیوست

سازی به شرح زیر است:

۱. با افزایش تعداد کلیدها و منابع تولید پراکنده شاخص‌های

مختلف قابلیت اطمینان، تلفات و پروفیل ولتاژ روند بهبودی دارند؛ اما همان‌طور که ملاحظه شد، با افزایش تعداد تجهیزات از مقدار مشخصی، تغییر در شاخص‌های ذکر شده ناچیز می‌شود.

۲. منابع تولید پراکنده در نزدیکی مراکز بار و کلیدها نیز برای حداکثر کردن پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم، در نزدیکی منابع و در واقع، روی خطوطی که کمتر در خطر خروج در هنگام خطا هستند، جایابی شده‌اند.

۳. کلیدهای حفاظتی تنها روی قابلیت اطمینان شبکه تأثیر دارند و منابع تولید پراکنده علاوه بر قابلیت اطمینان بر روی تلفات و پروفیل ولتاژ شبکه نیز مؤثر می‌باشند؛ اما با استفاده از روش جایابی همزمان این تأثیرات چند برابر می‌شود.

۴. با انتخاب تعداد مناسب کلیدها و تعداد، ظرفیت و مکان مناسب منابع تولید پراکنده می‌توان در عین داشتن بهبودی نسبی در شاخص‌های شبکه از مزایای سود شبکه نیز بهره‌مند شد.

۵. با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی می‌توان با تعریف اولویت نسبی بین شاخص‌های مختلف شبکه، انتخاب مناسب را بین تعداد، مکان و ظرفیت منابع و کلیدها انجام داد. این روش می‌تواند در زمان طراحی و یا در زمان بهره‌برداری شبکه به منظور اصلاح جایابی و ظرفیت تجهیزات شبکه استفاده شود.

در این زمینه، پیشنهاد زیر نیز می‌تواند به عنوان توسعه این تحقیق در آینده مد نظر قرار گیرد:

۱. بررسی تأثیر کلیدهای مانور: الگوریتم ارائه شده تنها به بررسی شبکه‌های توزیع شعاعی پرداخته است. برخی از شبکه‌های توزیع، حلقوی طراحی می‌شوند؛ اما هنگام بهره‌برداری بصورت شعاعی بهره‌برداری می‌گردند که این کار توسط کلیدهایی به نام کلیدهای مانور امکان‌پذیر می‌باشد. حضور این کلیدها که امکان تغذیه شبکه را از ناحیه‌ای دیگر فراهم می‌کند نیز تأثیر بسیار زیادی روی شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه دارد.

۲. در نظر گرفتن شبکه توزیع واقعی با بارهای تک فاز و سه فاز و در نظر گرفتن بازبست‌ها و منابع تولید پراکنده تک فاز و سه فاز و جایابی بهینه آن‌ها.

۳. بهبود تابع هدف مسئله جایابی همزمان منابع تولید پراکنده و کلیدها با در نظر گرفتن کاهش مؤلفه‌های هارمونیک شبکه و بهبود کیفیت توان و افزایش پایداری ولتاژ شبکه هم‌زمان با بهبود قابلیت اطمینان، پروفیل ولتاژ و تلفات.

جدول (۷): اطلاعات شبکه مورد آزمایش

شماره باس	تعداد مشترکین هر باس	P (Kw)	Q (Kvar)	شماره باس	تعداد مشترکین هر باس	P (Kw)	Q (Kvar)
۱	۶	۱۴	۲۸	۱۸	۱۸	۲۸	۱۴
۲	۰	۰	۰	۱۹	۱۰	۲۳	۵۲
۳	۱۳	۴۱	۶۷	۲۰	۱	۲	۴
۴	۱۶	۴۳	۸۲	۲۱	۸	۲۰	۴۰
۵	۴۱	۱۲۱	۲۰۶	۲۲	۱	۲	۵
۶	۱۷	۳۹۳	۸۳	۲۳	۲۷	۷۰	۱۳۵
۷	۹	۲۳	۴۵	۲۴	۷	۱۷	۳۴
۸	۸۳	۲۰	۴۱۴	۲۵	۰	۰	۰
۹	۰	۰	۰	۲۶	۰	۰	۰
۱۰	۶	۱۷	۳۲	۲۷	۰	۰	۰
۱۱	۱	۱	۲	۲۸	۰	۰	۰
۱۲	۳	۷	۱۵	۲۹	۰	۰	۰
۱۳	۹۰	۲۲۵	۴۵۰	۳۰	۳	۸	۱۶
۱۴	۰	۰	۰	۳۱	۰	۰	۰
۱۵	۰	۰	۰	۳۲	۱۱	۲۹	۵۵
۱۶	۰	۰	۰	۳۳	۰	۰	۰
۱۷	۱	۲	۴	۳۴	۰	۰	۰

جدول (۸): مشخصات خطوط شبکه

شماره خط	باس مبدا	باس مقصد	R (p.u)	X (p.u)	B (p.u)	r (t/year)	Time (h)	u (t/year)
۱	۱	۲	۰/۰۰۲۸۵۳	۰/۰۰۲۱۱	۰/۰۰۶۴۷۸	۱/۸۵	۰/۱۵	۰/۱۲۷
۲	۲	۴	۰/۰۰۱۶۵	۰/۰۰۱۲۱	۰/۰۰۰۴۳۸	۰/۱۰۶	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱
۳	۳	۴	۰/۰۰۰۵۰۷	۰/۰۰۰۳۷۱	۰/۰۰۱۳۴۵	۰/۱۲۸	۰/۰۳	۰/۰۱
۴	۴	۵	۰/۰۰۱۵۸	۰/۰۰۱۱۵۶	۰/۰۰۴۱۹۳	۱/۰۲۱	۰/۰۸	۰/۰۸
۵	۵	۱۰	۰/۰۰۱۱۹۱	۰/۰۰۰۸۷۱	۰/۰۰۰۳۱۶	۰/۱۷۰	۰/۰۶	۰/۰۵
۶	۶	۷	۰/۰۰۰۳۱۲	۰/۰۰۰۲۲۹	۰/۰۰۰۸۲۹	۰/۲۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۰۴
۷	۷	۸	۰/۰۰۲۱۴۶	۰/۰۰۱۵۶۹	۰/۰۰۵۶۹۴	۱/۳۸۷	۰/۱۱	۰/۱۵
۸	۸	۹	۰/۰۰۰۷۹۶	۰/۰۰۰۵۸۲	۰/۰۰۰۲۱۱۲	۰/۱۵۱۲	۰/۰۴	۰/۰۲
۹	۹	۱۰	۰/۰۰۰۷۶۵	۰/۰۰۰۱۲۱	۰/۰۰۰۴۳۸	۰/۱۰۷	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱
۱۰	۱۰	۱۲	۰/۰۰۰۳۴۳۷	۰/۰۰۰۲۵۱۴	۰/۰۰۰۹۱۲	۲/۲۲۱	۰/۱۸	۰/۲۹
۱۱	۱۱	۱۲	۰/۰۰۱۳۸۵	۰/۰۰۰۷۳۵	۰/۰۰۰۲۰۹۱	۰/۶۱۷	۰/۰۳	۰/۰۳
۱۲	۱۲	۱۵	۰/۰۰۲۸۸۹	۰/۰۰۲۱۱۳	۰/۰۰۰۷۶۵	۱/۸۶۷	۰/۱۵	۰/۲۸
۱۳	۱۳	۱۴	۰/۱۵۴۴۶۵	۰/۱۵۴۱۷۶	۰/۱۶۱۶۴۱	۴/۰۲۴	۰/۳۲	۰/۳۰
۱۴	۱۴	۱۵	۰/۰۰۳۰۶۵	۰/۰۰۰۶۵۸۱	۰/۰۰۰۸	۱/۹۸	۰/۱۶	۰/۳۱
۱۵	۱۵	۱۶	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰۰۴
۱۶	۱۶	۱۸	۰/۰۰۲۱۷۱۴	۰/۰۰۱۵۸۸	۰/۰۰۵۶۱۱	۱۴/۰۳۵	۱/۱۲	۱۵/۲۶
۱۷	۱۷	۱۸	۰/۰۰۱۹۹۵۱	۰/۰۰۱۵۸۷	۰/۰۰۳۰۱۱۱	۸/۸۹۱	۰/۷۱	۶/۳۲
۱۸	۱۸	۱۹	۰/۰۰۰۳۰۷	۰/۰۰۰۲۲۴	۰/۰۰۰۸۱۳	۰/۱۹۸	۰/۰۲	۰/۰۰۰۴
۱۹	۱۹	۲۰	۰/۰۰۱۲۰۵۱	۰/۰۰۰۸۱۱۳	۰/۰۰۳۱۹۷۳	۷/۱۸۹	۰/۶۲	۴/۸۵
۲۰	۲۰	۲۲	۰/۰۰۰۴۹۵	۰/۰۰۰۳۶۲	۰/۰۰۱۳۱۴	۰/۳۲۰	۰/۰۳	۰/۰۱
۲۱	۲۱	۲۲	۰/۰۰۰۲۵۹۱	۰/۰۰۱۳۷۵	۰/۰۰۰۳۹۱۱	۱/۱۵۴	۰/۰۹	۰/۱۱
۲۲	۲۲	۲۶	۰/۰۰۰۶۰۱۹	۰/۰۰۰۴۴۰۲	۰/۰۰۱۵۹۷۱	۳/۸۹۱	۰/۳۱	۱/۲۱
۲۳	۲۳	۲۴	۰/۰۰۱۱۷۵	۰/۰۰۰۶۲۳۵	۰/۰۰۱۷۷۳۴	۵/۲۳۶	۰/۴۲	۲/۱۹
۲۴	۲۴	۲۵	۰/۰۰۴۱۱۷۷	۰/۰۰۲۱۸۵	۰/۰۰۶۲۱۴۵	۱۸/۳۴۹	۱/۴۷	۲۶/۹۴
۲۵	۲۵	۲۶	۰/۰۰۱۴۶۱	۰/۰۰۰۷۷۶	۰/۰۰۰۲۰۲۷	۰/۶۵۱	۰/۰۵	۰/۰۳
۲۶	۲۶	۲۷	۰/۰۰۰۱۸۳	۰/۰۰۰۱۳۴	۰/۰۰۰۴۸۵	۰/۱۱۸	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱
۲۷	۲۷	۲۸	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰۰۴
۲۸	۲۸	۲۹	۰/۰۰۱۲۱۴	۰/۰۰۱۲۱۸	۰/۰۰۴۸۴۵۱	۱۱/۳۳	۰/۹۱	۱۰/۲۷
۲۹	۲۹	۳۱	۰/۰۰۱۵۳۱۳	۰/۰۰۱۵۲۸۵	۰/۰۰۶۱۱۴	۱۴/۲۹۱	۱/۱۴	۱۶/۳۴
۳۰	۳۰	۳۱	۰/۰۰۰۴۹۶۳	۰/۰۰۰۲۶۳۴	۰/۰۰۰۷۴۹۱	۲/۲۱۲	۰/۱۸	۰/۳۹
۳۱	۳۱	۳۲	۰/۰۰۱۳۱۶۱	۰/۰۰۱۳۱۳۷	۰/۰۰۵۲۵۲۵	۱۲/۲۸۲	۰/۹۸	۱۲/۰۷
۳۲	۳۲	۳۳	۰/۰۰۰۰۷۰۶	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۲۸۱۹	۰/۶۵۰	۰/۰۵	۰/۰۳
۳۳	۳۳	۳۴	۰/۰۰۱۰۵۴	۰/۰۰۱۰۵۲	۰/۰۰۴۲۰۵	۰/۹۸۳	۰/۰۸	۰/۰۸

- Optimal Placement of DG Sources in Power Systems*", IEEE Trans. Power Syst., vol.17, no.4, pp.127- 135, Jan. 2004.
- [9] Quezada M., Abbad J. R. and San Roman T. G., "Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing Penetration of DG", IEEE Trans. Power Syst., vol.12, no.1, pp. 247- 254, Aug. 2006.
- [10] Hadjsaid N. N., Canard J. F., and Dumas F., "Dispersed Generation Impact on Distribution Networks", IEEE Comput. Appl. Power, vol. 12, no. 2, pp. 22-28, Apr. 1999.
- [11] Kashem M. A., Negnevitsky M., Ledwich G., "Distributed Generation for minimization of power losses in distribution systems", IEEE Trans. on Power Syst., vol. 23, no. 2, pp. 192-199, Aug. 2006.
- [12] Wang G., Liu Z., Liu N. and Zhang J., "Reliability Evaluation of Distribution System with Distributed Generation Based on Islanding Algorithm", IEEE Trans. on Power Syst., vol. 18, no. 4, pp. 2697-2700, April 2008.
- [13] Chen G., "A Novel QEA-based Optimum Switch Placement Method for Improving Customer Service Reliability", IEEE Trans. on Power Syst., vol. 16, no. 2, pp. 620-623, April 2008.
- [14] Moradi A, and Fotuhi-Firuzabad M., "Optimal Switch Placement in Distribution Systems Using Trinary Particle Swarm Optimization Algorithm", IEEE Trans on Power Del., vol. 23, no. 1, pp. 271-279, January 2008.
- [۱۵] قدسی‌پور، سید حسن، فرآیند تحلیل سلسه مراتبی AHP، تهران، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، زمستان ۱۳۸۵.
- [16] IEEE 34 Node Test Feeder.
- [1] Pregelj A., Begovic M. and Rohatgi A., "Recloser Allocation for Improved Reliability of DG-Enhanced Distribution Networks", IEEE Trans. on Power Syst., vol. 21, no. 3, pp. 101-107, August 2006.
- [2] Wang L. and Singh Ch., "Reliability-Constrained Optimum Recloser Placement in Distributed Generation Using Ant Colony System Algorithm", IEEE Trans. on Syst., Man, and Cyber., vol. 38, no. 6, pp. 137-143, Nov. 2008.
- [3] Li Zh., Yuqin X., and Zengping W., "Research on Optimization of Recloser Placement of DG-enhanced Distribution Networks", IEEE Trans. on Power Syst., vol. 14, no. 2, pp. 132-136, April 2008.
- [4] Falaghi H., Haghifam M. R. and Singh Ch., "Ant Colony Optimization-Based Method for Placement of Sectionalizing Switches in Distribution Networks Using a Fuzzy Multiobjective Approach", IEEE Trans. on Power Del., vol. 24, no. 1, pp. 625-629, January 2009.
- [5] Mao Y. and Miu K. N., "Switch Placement to Improve System Reliability for Radial Distribution Systems with Distributed Generation", IEEE Trans. Power Syst., vol. 18, pp. 1346-1352, May 2003.
- [6] Hedayati H., Nabaviniaki S. A. and Akbarimajd A., A Method for Placement of DG Units in Distribution Networks, IEEE Trans. Power Del., vol.16, no.2, pp.165-172, Dec. 2007.
- [7] Acharya N., Mahat P., Mithulananthan N., "An Analytical Approach for DG Allocation in Primary Distribution Network", Electrical Power & Energy Syst., vol.14, no.1, pp.1276- 1283, Oct. 2006.
- [8] Wang C. and Nehrir M. H., "Analytical Approach for