

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک  
پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - سیستم‌های قدرت

برنامه‌ریزی توسعه شبکه توزیع با در نظر گرفتن تولیدات پراکنده

نگارنده: مرتضی حیدری کنگ علیا

استاد راهنما

دکتر مهدی بانژاد

استاد مشاور

دکتر مرتضی رحیمیان

شهریور ۱۳۹۵

دانشکده: مهندسی برق و رباتیک

گروه: قدرت

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مرتضی حیدری کنگ علیا به شماره دانشجویی ۹۲۳۵۶۰۴ تحت عنوان

برنامه ریزی توسعه شبکه توزیع با در نظر گرفتن تولیدات پراکنده

در تاریخ ۱۳۹۵/۶/۱۶ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد در مهندسی برق-قدرت مورد ارزیابی و با درجه‌ی بسیارخوب مورد پذیرش قرار گرفت.

| امضاء | اساتید مشاور       | امضاء | اساتید راهنما    |
|-------|--------------------|-------|------------------|
|       | دکتر مرتضی رحیمیان |       | دکتر مهدی بانژاد |
|       |                    |       |                  |

| امضاء | نماینده تحصیلات تکمیلی  | امضاء | اساتید داور             |
|-------|-------------------------|-------|-------------------------|
|       | دکتر امیر حسن نیا خیبری |       | دکتر یاسر دامچی         |
|       |                         |       | دکتر علی اکبر زاده کلات |
|       |                         |       |                         |

## تعهد نامه

اینجانب مرتضی حیدری کنگ علیا دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق-سیستم‌های قدرت دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه برنامه‌ریزی توسعه شبکه توزیع با در نظر گرفتن تولیدات پراکنده تحت راهنمایی دکتر مهدی بانژاد متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

## تاریخ

### امضای دانشجو

#### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده

با رشد سالانه ۷ تا ۹ درصدی بار مصرفی، شبکه‌های تأمین و توزیع توان را بر این داشته تا با کاهش هزینه‌ها و تلفات، توان مورد تقاضا مصرف‌کنندگان را با سطحی از قابلیت اعتماد تأمین کنند. از این رو به دلیل اینکه می‌توان یکی از مزایا منابع تولید پراکنده در صورتی که مکان نصب و ظرفیت آن‌ها مناسب انتخاب شود؛ کاهش تلفات انرژی الکتریکی و بهبود پروفیل ولتاژ، بیان کرد. حال می‌توان گفت که استفاده از منابع تولید پراکنده در برنامه‌ریزی توسعه شبکه توزیع نقش مهمی دارند. در این پایان‌نامه با فرض این که زیرساخت‌های لازم جهت نصب منابع تولید پراکنده در شبکه مورد مطالعه مهیا است، مسئله برنامه‌ریزی شبکه توزیع با حضور و عدم حضور منابع تولید پراکنده ارائه شده است، به طوری که مسئله برنامه‌ریزی به دو زیر مسئله: (۱) تعیین نوع، مسیر فیدر و حوزه سرویس‌دهی (۲) تعیین ظرفیت منابع تولید پراکنده تقسیم می‌شود. تابع هدف معرفی شده با قیود مشخص با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع زنبور عسل مصنوعی، حل می‌شود که می‌توان با توسعه و تطبیق عملگرهای الگوریتم به بهترین همگرایی و نیز ساختار شبکه دست‌یافت. در انتها، به منظور ارزیابی مدل جامع ارائه شده؛ برنامه‌ریزی توسعه شبکه توزیع بر روی یک شبکه نمونه پیاده‌سازی و طرح توسعه‌ی تدوین شده در دو حالت حضور و عدم حضور منابع تولید پراکنده مقایسه می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی، عملکرد مناسب روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

**واژگان کلیدی:** برنامه‌ریزی توسعه شبکه توزیع، منابع تولید پراکنده، الگوریتم اجتماع زنبور عسل.

تقدیم‌نامه

تقدیم به:

**محضر مولا و آقا امام زمان "عجل الله"  
و روح پاک شهدای مدافع حرم...**

و تقدیم به:

**پدر بزرگوار و مادر مهربانم:**

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود را  
سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام

برسم.

## سپاس‌گزاری

### الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ...

اکنون که با عنایت ایزد منان نگارش پایان‌نامه به اتمام رسیده است، فرصت را برای قدردانی از عزیزانی که مرا در طی مراحل انجام تحقیق یاری نموده‌اند، مغتنم می‌شمارم. بدین وسیله از زحمات تمام اساتید و معلمان عزیزم که با صبوری و تقوا مسئولیت تعلیم و تربیت بنده را به عهده داشته‌اند بی‌نهایت سپاسگزارم. به‌ویژه از استاد بزرگوارم آقای دکتر بانژاد که درس‌های بزرگی از ایشان فراگرفته‌ام و همواره راهنما و راه‌گشای بنده بوده‌اند، بی‌شک انجام این پایان‌نامه بدون رهنمودهای ایشان غیرممکن بود، تقدیر و تشکر می‌کنم و همچنین از آقای دکتر رحیمیان که قبول زحمت کردند و مشاوره‌ی این تحقیق را بر عهده گرفتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از خداوند منان موفقیت روزافزون و طول عمر باعزت را برای این دو بزرگوار و تمام اساتید و معلمان دلسوز مسئلت دارم.

در پایان از خانواده خوبم به‌ویژه برادر عزیزم رضا حیدری و دوست خوبم محمود حسین پور که از آغاز تاکنون همواره مشوق و پشتیبان این‌جانب بودند و همچنین از کلیه دوستانی که با یاری و راهنمایی‌هایشان، بسیاری از سختی‌ها را آسان نموده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از جان طمع بریدن آسان بود ولیکن

از دوستان جانی مشکل توان بریدن

من الله التوفيق

مرتضی حیدری کنگ علیا

۱۳۹۵

## فهرست عنوان‌ها

|    |  |
|----|--|
| ی  | فهرست شکل‌ها   |
| ل  | فهرست جدول‌ها  |
| م  | فهرست علائم اختصاری  |
| ۱  | فصل ۱ مقدمه  |
| ۲  | ۱-۱- مقدمه‌ای بر برنامه‌ریزی شبکه توزیع  |
| ۴  | ۲-۱- اهداف پایان‌نامه  |
| ۶  | ۳-۱- جمع‌بندی و ساختار پایان‌نامه  |
| ۹  | فصل ۲ مفاهیم برنامه ریزی شبکه توزیع و مروری بر کارهای انجام‌شده                |
| ۱۰ | ۱-۲- مقدمه   |
| ۱۱ | ۲-۲- افق زمانی   |
| ۱۲ | ۳-۲- پیش‌بینی بار  |
| ۱۳ | ۱-۳-۲- تقسیم‌بندی مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی                                  |
| ۱۴ | ۴-۲- ملاحظات فنی برنامه‌ریزی   |
| ۱۴ | ۱-۴-۲- پخش بار شبکه توزیع  |
| ۱۶ | ۲-۴-۲- بررسی شبکه توزیع از دیدگاه شعاعی بودن و ارائه یک روش حل برای پخش بار آن |
| ۲۰ | ۳-۴-۲- تلفات شبکه توزیع  |
| ۲۱ | ۵-۲- ملاحظات اقتصادی برنامه‌ریزی   |
| ۲۱ | ۱-۵-۲- تحلیل ارزش فعلی   |
| ۲۲ | ۶-۲- روش‌های حل مسئله برنامه‌ریزی شبکه توزیع                                   |
| ۲۴ | ۱-۶-۲- روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی   |
| ۲۶ | ۲-۶-۲- روش‌های برنامه‌ریزی ابتکاری و فوق‌ابتکاری                               |
| ۳۲ | ۷-۲- الگوریتم اجتماع زنبورعسل مصنوعی   |
| ۳۲ | ۱-۷-۲- کاربرد و مزایای الگوریتم ABC در مهندسی                                  |
| ۳۳ | ۲-۷-۲- جستجوی غذا در طبیعت   |
| ۳۴ | ۳-۷-۲- ساختار الگوریتم ABC   |
| ۳۴ | ۴-۷-۲- اجتماع مصنوعی زنبورعسل  |
| ۳۵ | ۵-۷-۲- بهینه‌سازی الگوریتم ABC   |
| ۳۵ | ۶-۷-۲- زنبورها در واقعیت   |
| ۳۷ | ۷-۷-۲- مراحل کلی الگوریتم ABC  |
| ۴۱ | ۸-۲- منابع تولیدات پراکنده   |
| ۴۱ | ۱-۸-۲- طراحی سیستم توزیع با در نظر گرفتن DG                                    |



- ۲-۸-۲- مزایای فنی و اقتصادی استفاده از DG..... ۴۱
- ۲-۹- پیشینه پژوهش در زمینه DEP و DG..... ۴۳

### فصل ۳ ارائه مدل جامع پیشنهادی برای برنامه ریزی شبکه توزیع با در نظر گرفتن DG..... ۴۹

- ۳-۱- مقدمه..... ۵۰
- ۳-۲- مدل ارائه شده برای مسئله برنامه ریزی شبکه توزیع..... ۵۱
- ۳-۲-۱- مدلسازی پست..... ۵۱
- ۳-۲-۲- مدلسازی فیدر..... ۵۲
- ۳-۲-۳- مدلسازی بار..... ۵۲
- ۳-۲-۴- مدلسازی DG..... ۵۳
- ۳-۳- فرمول بندی ریاضی مسئله برنامه ریزی شبکه توزیع..... ۵۴
- ۳-۳-۱- بیان و تشریح تابع هدف مسئله..... ۵۴
- ۳-۳-۲- قیود مسئله..... ۵۷
- ۳-۴- نحوه انتخاب نوع فیدر..... ۶۱
- ۳-۵- پخش بار در شبکه توزیع..... ۶۳
- ۳-۶- بیان روش بهینه سازی جهت حل مسئله برنامه ریزی شبکه توزیع..... ۶۴
- ۳-۶-۱- ساختار و نحوه بهینه سازی مدل جامع پیشنهادی ارائه شده..... ۶۵

### فصل ۴ نتایج شبیه سازی روش پیشنهادی در برنامه ریزی شبکه توزیع..... ۶۹

- ۴-۱- مقدمه..... ۷۰
- ۴-۲- معرفی شبکه نمونه..... ۷۱
- ۴-۳- نتایج حاصل از اعمال الگوریتم بر مدل جامع ارائه شده..... ۷۴
- ۴-۳-۱- حالت اول - بدون در نظر گرفتن DG..... ۷۵
- ۴-۳-۲- حالت دوم - با در نظر گرفتن DG..... ۸۲
- ۴-۴- تحلیل نتایج..... ۹۱

### فصل ۵ نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۹۳

- ۵-۱- نتیجه گیری..... ۹۴
- ۵-۲- پیشنهادها..... ۹۶

### مراجع..... ۹۷

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: هزینه‌های سیستم قدرت [۱] ..... ۲
- شکل ۲-۱: مراحل برنامه‌ریزی جهت حل مسئله DEP ..... ۵
- شکل ۱-۲: فلوجارت روش پیشرو- پسرو جهت پخش بار شبکه شعاعی مورد استفاده [۱۱] ..... ۲۰
- شکل ۲-۲: فلوجارت الگوریتم ژنتیک در حالت کلی [۳۳] ..... ۲۹
- شکل ۳-۲: فلوجارت الگوریتم رقابت استعماری در حالت کلی [۳۶] ..... ۳۱
- شکل ۴-۲: انواع رقص چرخشی زنبوران عسل در طبیعت [۳۹] ..... ۳۴
- شکل ۵-۲: رفتار زنبوران عسل با توجه به میزان نکتار موجود در منبع غذایی خود ..... ۳۶
- شکل ۶-۲: فلوجارت کلی الگوریتم ABC [۳۹] ..... ۴۰
- شکل ۷-۲: بلوک دیاگرام موضوعات مرتبط به DG ..... ۴۳
- شکل ۱-۳: منحنی هزینه - جریان چهار نوع فیدر متفاوت [۴۹] ..... ۶۲
- شکل ۲-۳: ساختار اولیه داده‌های مربوط به روش حل ..... ۶۵
- شکل ۳-۳: بلوک دیاگرام مراحل کلی حل مسئله DEP ..... ۶۷
- شکل ۱-۴: نحوه قرارگیری نقاط بار و پست‌ها در منطقه جغرافیایی مورد مطالعه ..... ۷۴
- شکل ۲-۴: مسیرهای ممکن جهت تغذیه بارها از مسیر بهینه ..... ۷۵
- شکل ۳-۴: روند همگرایی در طول ۵۰۰ تکرار الگوریتم ABC ..... ۷۶
- شکل ۴-۴: مسیر و نوع فیدر بهینه جهت تغذیه نقاط بار با اعمال ABC ..... ۷۶
- شکل ۵-۴: پروفیل ولتاژ شبکه نمونه سیستم توزیع نهایی ..... ۷۸
- شکل ۶-۴: روند همگرایی روش GA در طول ۵۰۰ تکرار الگوریتم ..... ۸۰
- شکل ۷-۴: مسیر و نوع فیدر بهینه جهت تغذیه نقاط بار با اعمال GA ..... ۸۰
- شکل ۸-۴: مقایسه روند همگرایی دو الگوریتم ABC و GA در طول ۵۰۰ تکرار برای حالت اول ..... ۸۲
- شکل ۹-۴: روند همگرایی روش ABC در طول ۵۰۰ تکرار الگوریتم ..... ۸۳
- شکل ۱۰-۴: مسیر و نوع فیدر بهینه جهت تغذیه نقاط بار ..... ۸۴
- شکل ۱۱-۴: پروفیل ولتاژ شبکه نمونه سیستم توزیع نهایی ..... ۸۶

- شکل ۴-۱۲: روند همگرایی الگوریتم GA برای ۵۰۰ تکرار از الگوریتم..... ۸۷
- شکل ۴-۱۳: ساختار سیستم توزیع با اعمال الگوریتم GA..... ۸۸
- شکل ۴-۱۴: مقایسه روند همگرایی دو الگوریتم ABC و GA در طول ۵۰۰ تکرار برای حالت دوم..... ۸۹
- شکل ۴-۱۵: مقایسه هزینه‌های سیستم مورد مطالعه در دو حالت با حضور و عدم حضور DG..... ۹۰
- شکل ۴-۱۶: مقایسه توان تلفاتی سیستم مورد مطالعه در دو حالت با حضور و عدم حضور DG..... ۹۰
- شکل ۴-۱۷: مقایسه مینیمم ولتاژ سیستم مورد مطالعه در دو حالت با حضور و عدم حضور DG..... ۹۱

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۳- شاخص انتخاب فیدر با توجه نوع هادی..... ۶۵
- جدول ۲-۳- شاخص انتخاب DG باتوجه به ظرفیت موجود..... ۶۶
- جدول ۱-۴- فرضیات و مقادیر ثابت در دوره برنامه‌ریزی..... ۷۰
- جدول ۲-۴- مشخصات نقاط بار شبکه مورد مطالعه [۴۴]..... ۷۲
- جدول ۳-۴- اطلاعات پست‌های موجود و پیشنهادی..... ۷۳
- جدول ۴-۴- اطلاعات فنی و اقتصادی ترانسفورماتورها [۲۸]..... ۷۳
- جدول ۵-۴- اطلاعات فنی و اقتصادی فیدرها..... ۷۳
- جدول ۶-۴- پارامترهای ABC اعمال شده به مسئله..... ۷۴
- جدول ۷-۴- جریان و نوع فیدر انتخابی حاصل از سیستم توزیع نهایی..... ۷۷
- جدول ۸-۴- مشخصه‌ی نهایی پست‌ها در سیستم توزیع نهایی بعد از اجرای روش پیشنهادی..... ۷۸
- جدول ۹-۴- جزئیات هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری پست‌ها در سیستم توزیع نهایی..... ۷۹
- جدول ۱۰-۴- پارامترهای GA اعمال شده به مسئله..... ۷۹
- جدول ۱۱-۴- مشخصات پست‌ها در سیستم توزیع نهایی بعد از اعمال GA به مسئله..... ۸۱
- جدول ۱۲-۴- هزینه‌های طرح برنامه‌ریزی با اعمال GA به مسئله..... ۸۱
- جدول ۱۳-۴- مشخصات و محل نصب واحدهای DG استفاده شده در شبکه نمونه..... ۸۳
- جدول ۱۴-۴- مشخصات نهایی واحدهای DG انتخابی پس از اعمال روش پیشنهادی..... ۸۴
- جدول ۱۵-۴- جریان و نوع فیدر انتخابی حاصل از سیستم توزیع نهایی..... ۸۵
- جدول ۱۶-۴- مشخصات پست در ساختار سیستم توزیع نهایی..... ۸۶
- جدول ۱۷-۴- هزینه‌های طرح برنامه‌ریزی با اعمال الگوریتم ABC..... ۸۷
- جدول ۱۸-۴- مشخصات پست‌ها در ساختار نهایی شبکه توزیع با اعمال الگوریتم GA..... ۸۸
- جدول ۱۹-۴- جزئیات هزینه‌های طرح برنامه‌ریزی با اعمال الگوریتم GA..... ۸۹

## فهرست علائم اختصاری

### مجموعه‌ها:

|                |   |
|----------------|---|
| $\Omega^s$     | مجموعه پست‌ها ( موجود و پیشنهادی).                      |
| $\Omega^b$     | مجموعه شاخه‌ها (موجود و پیشنهادی).                      |
| $\Omega_i^n$   | مجموعه نقاطی که به صورت مستقیم به گره $i$ متصل می‌شوند. |
| $\Omega^l$     | مجموعه نقاط بار (در حوزه الکتریکی معین).                |
| $\Omega^n$     | مجموعه نقاط شبکه.                                       |
| $\Omega^c$     | مجموعه انواع هادی سیم‌ها.                               |
| $\Omega^{dg}$  | مجموعه واحدهای DG انتخاب شده.                           |
| $\Omega^{sb}$  | مجموعه شاخه‌های انتخاب شده ( موجود و پیشنهادی).         |
| $\Omega^{sc}$  | مجموعه هادی‌های انتخاب شده.                             |
| $\Omega^{sdg}$ | مجموعه واحدهای DG انتخاب شده.                           |

### اندیس‌ها

|      |                               |
|------|-------------------------------|
| $s$  | : شاخص پست‌ها.                |
| $b$  | : شاخص خطوط.                  |
| $l$  | : شاخص نقاط بار.              |
| $n$  | : شاخص نقاط شبکه.             |
| $h$  | : شاخص ساعت.                  |
| $dg$ | : شاخص واحدهای تولید پراکنده. |

### ثابت‌ها:

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| $C_h^l$                              | هزینه پریونیت شده انرژی تلف شده در سال $h$ ام (\$/KWh). |
| $n_y$                                | تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی (سال).                       |
| $PW$                                 | ضریب ارزش فعلی .  |
| $Inf$                                | نرخ تورم.   |
| $Int$                                | نرخ بهره.   |
| $\underline{\varphi}, \bar{\varphi}$ | به ترتیب از چپ حداقل، حداکثر درصد مجاز بارگذاری پست.    |

|                  |  |
|------------------|--|
| $\alpha$         | تعداد ساعات در یک سال (۸۷۶۰ ساعت).                                 |
| $\gamma$         | ضریب تلفات .   |
| $\kappa$         | ضریب بار.  |
| $d_{ij}$         | فاصله‌ی بین گره $i$ و $j$ (برحسب کیلومتر).                         |
| $\kappa\rho$     | نوع فیدر انتخاب شده.   |
| $X, Y$           | مختصات جغرافیایی نقاط بار $i$ - $j$ .                              |
| $P_{ih}^D$       | کل توان اکتیو مورد تقاضا بار در نقطه $i$ در سال $h$ أم (MW).       |
| $Q_{ih}^D$       | کل توان راکتیو مورد تقاضا بار در نقطه $i$ أم در سال $h$ أم (MVar). |
| $S_{ih}^D$       | کل توان ظاهری مورد تقاضا بار در نقطه $i$ أم در سال $h$ أم (MVA).   |
| $\Delta V_{max}$ | ماکزیمم افت ولتاژ.   |
| $V_0$            | دامنه ولتاژ نامی (V).  |
| $V_{ih}$         | ولتاژ نقطه $i$ أم در سال $h$ أم.                                   |

## توابع:

|                  |   |
|------------------|---|
| $CF$             | هزینه کل طرح (برحسب دلار)                                     |
| $IC_{DEP}$       | کل هزینه سرمایه‌گذاری طرح (\$)                                |
| $OC_{DEP}$       | کل هزینه بهره‌برداری طرح (\$)                                 |
| $P_{ijh}^{loss}$ | تلفات مسی فیدر نصب شده بین نقاط $i$ و $j$ در سال $h$ أم (KW). |

## متغیرها:

|                        |   |
|------------------------|---|
| $C_i^S$                | هزینه توسعه و نگهداری پست $i$ أم در افق برنامه‌ریزی (\$).           |
| $C_{ij}^F(\rho\kappa)$ | هزینه تقویت و ساخت فیدر نوع $\kappa\rho$ بین گره $i$ و $j$ (\$/Km). |
| $C_i^{dg}$             | هزینه احداث واحد DG، $i$ أم در افق برنامه‌ریزی (\$).                |
| $I_{\rho\kappa}^{max}$ | ماکزیمم جریان مجاز عبوری از فیدر نوع $\kappa\rho$ (A).              |
| $r_{ij}$               | مقاومت بر طول فیدر ایجاد شده بین گره $i$ و $j$ ( $\Omega$ /Km).     |
| $B_{ij}, G_{ij}$       | ماتریس سوسپتانس و کنداکتانس عناصر.                                  |
| $P_i^{cu}$             | تلفات مسی پست $i$ أم در بارگذاری مجاز (KW).                         |
| $P_i^{iron}$           | تلفات آهنی پست $i$ أم در بارگذاری مجاز (KW).                        |
| $Q_{ih}, P_{ih}$       | توان اکتیو / راکتیو محاسبه شده در گره $i$ أم در سال $h$ أم.         |

|   |                  |
|---|------------------|
| کل توان اکتیو ارائه شده توسط پست در نقطه $i$ در سال $h$ (MW).   | $P_{ih}^S$       |
| کل توان اکتیو ارائه شده توسط پست در نقطه $i$ در سال $h$ (MVar).   | $Q_{ih}^S$       |
| کل توان ظاهری ارائه شده توسط پست در نقطه $i$ در سال $h$ (MVA).  | $S_{ih}^S$       |
| جریان عبوری از طریق فیذر $i$ - $j$ در سال $h$ (A).  | $I_{ijh}$        |
| ظرفیت انتخاب شده از پست $i$ (MVA).  | $CS_i$           |
| ظرفیت مجاز بارگذاری واحد DG $i$ در سال $h$ (KWh).   | $S_{ih}^{DG}$    |
| حداکثر ظرفیت تولیدی واحد DG $i$ در سال $h$ (KWh).   | $S_{i-cap}^{DG}$ |
| متغیر تصمیم‌گیری دودویی معادل ۱ هست، اگر پست $i$ نقطه بار ز $h$ را در شرایط نرمال بهره-<br>برداری، تغذیه کند؛ در غیر این صورت، صفر می‌باشد. | $\zeta_{ij}$     |

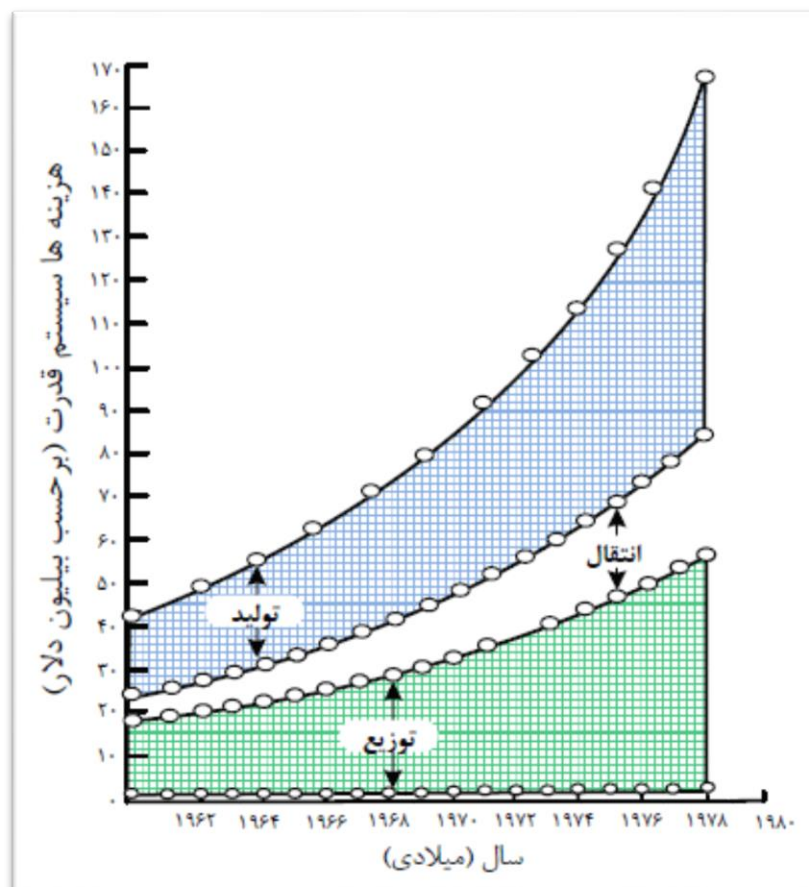




## فصل ۱ مقدمه

## ۱-۱- مقدمه‌ای بر برنامه‌ریزی شبکه توزیع

صنعت برق در سال ۱۸۸۲، وقتی که اولین نیروگاه در نیویورک احداث شد، به وجود آمد. با رشد سریع بار، صنعت برق چاره‌ای جز رشد سریع برای پاسخ به تقاضا بار نداشت و سیستم انرژی الکتریکی در کل آمریکا گسترش یافت. به‌طورکلی، یک سیستم انرژی الکتریکی متشکل از سه قسمت؛ تولید، انتقال و توزیع می‌باشد. با بررسی شکل (۱-۱) متوجه خواهیم شد که ابتدا بیشترین هزینه سرمایه‌گذاری در بخش تولید و با اختلاف اندکی از آن در بخش توزیع، می‌شود. نظر به اینکه شبکه توزیع نقش واسط را بازی می‌کند؛ از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد [۱].



شکل ۱-۱: هزینه‌های سیستم قدرت [۱]

با توجه به رشد سالانه ۷ تا ۹ درصدی مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی، نیاز به توسعه سیستم توزیع انرژی برای غلبه بر کمبود انرژی موجود است. از این‌رو طراحی مناسب شبکه آینده، تجدید ساختار و نیز توسعه

شبکه فعلی از اهمیت بالایی برخوردار است. به طوری که باید مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری با در نظر گرفتن قیود مختلف فنی و اقتصادی حداقل شود. نظر به این که شبکه‌های توزیع نقش واسط میان مصرف‌کنندگان و سیستم فوق توزیع را بازی می‌کنند، برنامه‌ریزی توسعه پست‌های توزیع تأثیر بسزایی در طراحی و توسعه دیگر بخش‌های سیستم مانند تعیین محل دقیق پست‌های فوق توزیع، مسیر فیدرهای فشار متوسط و توسعه پست‌های موجود خواهند داشت. این مسئله را برنامه‌ریزی توسعه شبکه توزیع<sup>۱</sup> می‌نامند.

سیستم قدرت متداول که متشکل از ژنراتورها، خطوط انتقال و نهایتاً خطوط توزیع می‌باشد سال‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. اما اخیراً این سیستم قدرت با توجه به تنوع تولیدکننده‌های آن از جمله انرژی هسته‌ای<sup>۲</sup>، زمین‌گرایی<sup>۳</sup>، برق آبی و ... که به کمک تولیدکننده‌های متداول آمده‌اند دارای گستردگی بیشتر شده است. اما در قرن ۲۱ با توجه به کمبود سوخت فسیلی و آلاینده‌گی بسیار زیاد آن و همچنین اهمیت محیط زیست، استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر بسیار اهمیت یافته است، به طوری که منابع انرژی غیرمتداول که به صورت منابع تولید پراکنده<sup>۴</sup> می‌باشند و با توجه به اینکه می‌توان DG را در محل بار یا نزدیک به آن نصب کرد، در تولید توان، کاهش هزینه‌ها، کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ در شبکه توزیع نقش مهمی ایفا خواهند کرد [۲] و [۳].

هدف اصلی سیستم توزیع، تأمین و رساندن انرژی الکتریکی (ولتاژ مناسب) برای مصرف‌مشرکان در محل مصرف می‌باشد لذا کارکردهای مورد نیاز شبکه توزیع را می‌توان به صورت ذیل دسته‌بندی کرد:

- تمامی حوزه تحت نظر شبکه را پوشش داده و همه مشترکان که خواهان توان هستند به شبکه متصل کند.
- حداکثر انرژی برای تأمین بار مصرفی مشترکان را دارا باشد.

<sup>1</sup>Distribution Expansion Planning (DEP)

<sup>2</sup> Nuclear Energy

<sup>3</sup> Geothermal

<sup>4</sup> Distributed Generation (DG)

- به هر دلیلی (عوامل محیطی، جغرافیایی و الکتریکی) کیفیت توان را حفظ و توان را در سطح مجازی از ولتاژ تحویل مشترکان بدهد.

بنابراین، برای داشتن سیستمی با مشخصات استاندارد و برآورده کردن شرایط مذکور باید مطالعات برنامه‌ریزی شبکه توزیع انجام شود. هدف از DEP، پاسخ قابل اعتماد به بار مورد تقاضا می‌باشد که این کار مستلزم تعیین ظرفیت قابل توسعه پست‌های موجود، افزودن پست جدید و تعیین نوع و ظرفیت مناسب فیدر؛ با کمترین هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری با در نظر گرفتن ملاحظات فنی و اقتصادی متناسب با شرایط مسئله می‌باشد. از این‌رو، با توجه به وجود متغیرهای تصمیم‌گیری زیاد تحت قیود متنوع‌ای از جمله ماکزیمم بارگذاری مجاز پست‌ها، افت ولتاژ مجاز، حد حرارتی فیدرها و شعاعی بودن شبکه فشار متوسط، DEP یک مسئله پیچیده است [۴] و [۵].

تاکنون، روش‌های متفاوتی برای حل مسئله DEP محققان پیشنهاد داده‌اند؛ این روش‌ها به‌طور کلی به دو روش ریاضی و ابتکاری تقسیم می‌شوند. از آنجایی که روش‌های حل ریاضی روش‌هایی مطمئن و دارای جواب قطعی هستند، ولی با توجه به اینکه برنامه‌ریزی توسعه پست‌ها یک مسئله غیر محدب و غیر خطی است و همچنین به دلیل پیچیدگی موضوع، استفاده از این روش‌ها نیاز به خطی‌سازی و تقریب دارد که در بعضی موارد دقیق و صحیح نمی‌باشد. الگوریتم‌های هوشمند نیز برای حل مسئله مذکور به کار گرفته شده‌اند و مقایسه آن‌ها در رسیدن به جواب مناسب در زمان کمتر با در نظر گرفتن قیود مختلف فنی و اقتصادی در حل مسائل واقعی نیز بررسی شده است؛ ولی مشاهده می‌شود که هنوز راه‌حل‌های مطرح شده، پست‌های موجود را که جابجایی آن‌ها از محل فعلی به محلی دیگر برای شرکت‌های برق هزینه بالایی دارد، در نظر نمی‌گیرند [۶].

## ۱-۲- اهداف پایان‌نامه

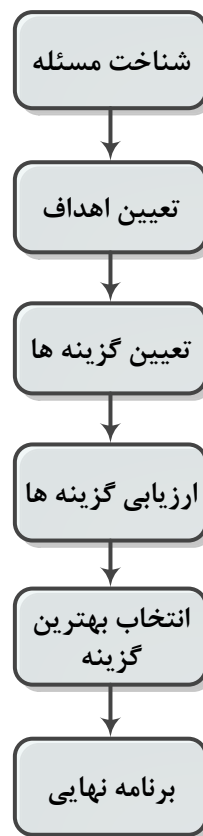
اهداف اصلی که در این پایان‌نامه مدنظر خواهد بود، می‌توان به این صورت بیان کرد:

- ❖ توسعه و تعیین میزان افزایش ظرفیت و یا احداث پست جدید.

- ❖ لحاظ کردن نوع فیدر به منظور بهبود قید افت ولتاژ و حد حرارتی فیدرها
- ❖ استفاده از یک روش ابتکاری برای تعیین ظرفیت نصب DG
- ❖ مقایسه روش ابتکاری استفاده شده با الگوریتم ژنتیک به منظور بیان کار آیی روش استفاده شده در حل مدل جامع پیشنهادی برای مسئله برنامه ریزی شبکه توزیع
- ❖ بررسی مدل جامع پیشنهادی ارائه شده در دو حال حضور و عدم حضور DG در حل مسئله

## DEP

در واقع باید یکسری ملزومات و استراتژی را مدنظر داشت تا بتوان در برنامه ریزی به تحقق این اهداف رسید. لذا ساختار کلی روند برنامه ریزی برای رسیدن به اهداف را می توان در فلوچارت ذیل خلاصه کرد.



شکل ۱-۲: مراحل برنامه ریزی جهت حل مسئله DEP

### ۱-۳- جمع‌بندی و ساختار پایان‌نامه

با افزایش بار مورد تقاضا و همچنین کاهش منابع انرژی و افزایش آلاینده‌گی‌های زیست محیطی ایجاد شده از تولید توان، حرکت به سمت هوشمندسازی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. لذا استفاده از منابع تولید انرژی پاک و درعین حال کمینه‌کردن هزینه‌ها و هوشمندسازی شبکه باید تابع هدف دیده شود که در این پایان‌نامه هدف ارائه مدلی جامع با توجه به مسائل پیش روی شبکه برای برنامه‌ریزی شبکه توزیع با در نظر گرفتن DG تا برنامه‌ای بهتر، ارزان‌تر و قابل‌انعطاف حاصل گردد. حال با فرض اینکه شبکه مورد مطالعه دارای تمام زیرساخت‌های لازم جهت احداث DG می‌باشد، با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم اجتماع زنبورعسل مصنوعی<sup>۱</sup>، بهترین طرح برای توسعه شبکه تدوین می‌گردد

این پایان‌نامه در پنج فصل تنظیم شده است که در فصل جاری به معرفی اجمالی مسئله DEP و ضرورت استفاده از DG پرداخته شد. و علاوه براین، اهداف کلی پایان‌نامه نیز بیان شد. محتوای فصول بعدی به صورت ذیل می‌باشد:

**فصل دوم:** به بررسی مفاهیم برنامه‌ریزی شبکه توزیع، مزایا و چالش‌هایی پیشرو شبکه توزیع می‌پردازد. در ادامه پیشینه‌ی کارهای صورت گرفته توسط محققین در زمینه برنامه‌ریزی سیستم توزیع و راه کارهای حل آن معرفی می‌شود. در واقع این فصل بیشتر ما را با سیستم قدرت به خصوص شبکه توزیع و روش‌های حل مسئله برنامه‌ریزی شبکه توزیع آشنا خواهد کرد.

**فصل سوم:** به ارائه مدل جامع پیشنهادی برای حل مسئله برنامه‌ریزی شبکه توزیع پرداخته که در حضور و عدم حضور DG فرمول‌بندی می‌شود. این امر مستلزم رعایت یکسری شرایط و قیود فنی و اقتصادی می‌باشد که باید در روند حل مسئله مدنظر داشت تا بتوان شبکه توزیع مناسبی در جهت کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری، طراحی و برنامه‌ریزی نمود.

---

<sup>۱</sup> Artificial Bee Colony (ABC)

**فصل چهارم:** در این فصل، یک سیستم تست معرفی و با توجه به روش ارائه شده در این پایان نامه که در فصل سوم بیان گردیده، با سیستم نمونه شبیه سازی و با هم مقایسه می شوند. همچنین نتایج شبیه سازی روش ابتکاری به کار برده شده در دو حالت حضور DG و عدم حضور DG با الگوریتم ژنتیک مقایسه و بررسی می شود.

**فصل پنجم:** در این فصل، نتیجه گیری کلی از کار انجام شده بیان و در نهایت برای توسعه تحقیق و ادامه کار در زمینه برنامه ریزی توسعه شبکه توزیع با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده، راه کارهایی پیشنهاد می شود.





فصل ۲ مفاهیم برنامه ریزی شبکه توزیع و مروری بر کارهای  
انجام شده

## ۲-۱- مقدمه

یک سیستم توزیع توان الکتریکی به طور کلی شامل قسمت‌های مختلف از جمله پست فوق توزیع<sup>۱</sup> متصل به هر فیدر، یک یا چند هدایت کننده حامل توان الکتریکی از یک پست به نقاط بار مورد تقاضا در طول یک مسیر (فیدر فشار متوسط یا اولیه<sup>۲</sup>)، نقاط بار (فیدر فشار ضعیف یا ثانویه<sup>۳</sup>) و پست توزیع<sup>۴</sup> می‌باشد. شبکه توزیع معمولاً از پست‌های فوق توزیع شروع می‌شوند که این پست‌ها از چند خط فوق توزیع تغذیه و بعد از کاهش ولتاژ، از طریق فیدر اولیه‌ای شبکه تحت شعاع خود را پوشش می‌دهد.

شبکه‌های توزیع همانند خطوط انتقال و پست‌های فوق توزیع، دارای ساختار استاندارد نیستند. این پست‌ها ممکن است به صورت یک ترانسفورماتور تک فاز یا سه فاز با یک سیستم حفاظتی ساده روی یک تیر<sup>۵</sup> نصب شوند، که با اسم پست‌های هوایی شناخته می‌شوند. یا به صورت پست‌های زمینی که با کابل‌های زیرزمینی در یک اتاقک سرپوشیده پیاده‌سازی می‌شوند که نسبت به پست‌های هوایی دارای تجهیزات کامل‌تر از جمله بریکر، طرح‌های حفاظتی پیچیده و چند ترانسفورماتور موازی می‌باشند [۷].

▪ شبکه‌های توزیع شامل دو بخش کلی ذیل هستند:

الف) **فیدر فشار متوسط:** این بخش شامل خطوط ولتاژ متوسط<sup>۶</sup> به صورت خطوط هوایی و یا کابل‌های زیرزمینی که عموماً به صورت شعاعی بهره‌برداری می‌شوند، می‌باشد. بدین ترتیب انتقال توان در این فیدرها به صورت یک طرفه از سمت پست فوق توزیع به پست توزیع می‌باشد.

ب) **فیدر فشار ضعیف:** این بخش شامل خطوط ولتاژ پایین<sup>۷</sup> می‌باشد. که انرژی الکتریکی را با ولتاژ مصرف به صورت تک فاز و یا سه فاز به مشترکان تحویل می‌دهد.

<sup>1</sup> Sub-transmission Substation

<sup>2</sup> Primary Feeders

<sup>3</sup> Secondary Feeder

<sup>4</sup> Distribution Substation

<sup>5</sup> Pole Mounted

<sup>6</sup> Medium / High Voltage (MV/HV)

<sup>7</sup> Low Voltage (LV)

منظور از MV؛ خط‌های ۱۲ یا ۲۰ کیلوولت و منظور از LV؛ خط‌های ۴۰۰ ولت یا متناظرش در سایر شبکه‌های می باشد. با توجه به اینکه موقعیت بارهای شبکه به شدت متغیر است و ساخت‌وساز و تغییر یا توسعه شهر به شدت آرایش خط‌های ۴۰۰ ولت را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از طرفی پیش‌بینی بار برای هر بار خیلی مشکل می‌باشد، معمولاً مطالعه شبکه توزیع برای بخش فشار متوسط انجام می‌شود. در واقع ترانسفورماتورهای توزیع را به‌عنوان نقاط بار در نظر گرفته می‌شوند؛ چون این ترانسفورماتورها بار چند صد بار (مسکونی، تجاری، صنعتی و کشاورزی) را تغذیه می‌کنند و چون حجم بار بالاست و تنوع مصرف‌کننده ایجاد می‌کند، پس باید با دقت بیشتری پیش‌بینی بار را انجام داد. از طرفی، چون محل ترانسفورماتورهای توزیع عملاً ثابت، طراحی شبکه فشار متوسط تقریباً ثابت می‌ماند و تغییرات آن نسبت به شبکه فشار ضعیف به شدت کمتر می‌شود. لذا با توجه به قسمت‌های فوق، حل مسئله DEP دشوار خواهد شد و برنامه‌ریز باید مطمئن شود که ظرفیت مناسب از پست‌های توزیع و فیدر برای پاسخ بار در یک افق برنامه‌ریزی وجود دارد.

## ۲-۲-۱ افق زمانی<sup>۱</sup>

با توجه به گسترش مصرف‌کنندگان توان الکتریکی، برنامه‌ریزی شبکه توزیع جهت تأمین توان مورد تقاضا یک امر ضروری می‌باشد که با توسعه ظرفیت پست‌های موجود، افزودن پست جدید و احداث فیدر مناسب با در نظر گرفتن تمام ملاحظات الکتریکی، جغرافیایی و اقتصادی ممکن می‌شود. لذا حل مسئله برنامه‌ریزی با توجه به شبکه مورد مطالعه در افق برنامه‌ریزی<sup>۲</sup>، برنامه‌ریزی سیستم توزیع در دو دوره زمانی؛ برنامه‌ریزی کوتاه-مدت<sup>۳</sup> و برنامه‌ریزی بلند-مدت<sup>۴</sup> صورت می‌پذیرد. هدف از برنامه کوتاه-مدت، توسعه‌ی سیستم موجود در یک بازه‌ی زمانی کوتاه جهت تأمین بار مصرف‌کنندگان می‌باشد. درحالی‌که

<sup>۱</sup> Time Horizon

<sup>۲</sup> Planning Horizon

<sup>۳</sup> Short-term planning

<sup>۴</sup> Long-term planning

هدف از برنامه ریزی بلند - مدت، پوشش تمامی اهداف و ملاحظات برنامه ریزی کوتاه- مدت، با کمترین هزینه و لحاظ ارزش فعلی متناسب با اهدافی که در برنامه ریزی بلند- مدت دنبال می شود [۷].

در واقع با بیان دو حالت فوق برای افق برنامه ریزی، تعیین تمامی اهداف و ملزومات به صورت جزئی و دقیق برای پست های توزیع و فیدرها با در نظر گرفتن متغیرهای تصمیم گیری متنوع در حالت برنامه ریزی کوتاه- مدت (بین یک تا پنج سال) انجام می شود. در مقابل، حالت دیگر برنامه ریزی شامل توسعه و تعیین حوزه سرویس دهی پست ها، نوع و مسیر فیدرها با حفظ اهداف حالت کوتاه- مدت، که عموماً این نوع برنامه ریزی برای یک دوره بلند- مدت (پنج تا سی سال) انجام می شود [۸].

### ۲-۳- پیش بینی بار

سیستم قدرت الکتریکی دارای تعدادی المان به هم پیوسته می باشد که در کنار هم جهت تولید و تغذیه نقاط بار مختلف در مناطق گوناگون به کار می روند. مسلماً سیستم قدرت از تجهیزات و بخش های متفاوتی برای این کار بهره می برد که یکی از آن ها سیستم توزیع می باشد که جایابی مناسب آن، پاسخگو بار مورد تقاضای اطراف خود می باشد. طراحی و برنامه ریزی سیستم آینده مستلزم تعیین مکان و ظرفیت پست ها، تعیین نوع و مسیر مناسب فیدرها و دیگر تجهیزات می باشد. لذا اولین مرحله در طراحی و برنامه ریزی، پیش بینی بار<sup>۱</sup> مورد تقاضای آینده ی منطقه ی جغرافیایی مورد مطالعه می باشد که بر اساس آن می توان بهترین طراحی را پی ریزی کرد.

پیش بینی بار یک فرآیند یکپارچه و مرکزی در برنامه ریزی و بهره برداری از توان الکتریکی می باشد که با توجه به دو مقوله ی حوزه و مکان های جغرافیایی، بار الکتریکی به دوره های مختلفی از افق برنامه ریزی دسته بندی می شود. بر اساس گفته گروس و گالیانا<sup>۲</sup> در سال ۱۹۸۷ پیش بینی بار به صورت ساعتی، روزانه، هفتگی. ماهانه انجام می شود [۹].

<sup>۱</sup> Load forecasting

<sup>۲</sup> Gross and Galiana

سرینی واسان و لی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۵ پیش‌بینی بار در ترم‌هایی از افق برنامه‌ریزی به صورت ذیل بیان کردند:

- پیش‌بینی کوتاه-مدت بار (STLF)<sup>۲</sup>: با توجه به واحدهای تولید که ممکن است به صورت فصلی میزان تولید آن‌ها تغییر کند (واحدهای آبی و بادی) و جهت اطمینان و امنیت شبکه در اثر اضافه بار و همچنین برنامه‌ریزی برای تعمیرات از این پیش‌بینی استفاده می‌شود.
- پیش‌بینی میان-مدت بار (MTLF)<sup>۳</sup>: معمولاً از این پیش‌بینی برای تجدید ساختار (تغییر آرایش مسیرهای فیدر و گسترش پست‌ها) و تجهیزاتی که به دلایلی خراب و یا صدمه دیده‌اند، استفاده می‌شود.
- پیش‌بینی بلند-مدت بار (LTLF)<sup>۴</sup>: در برنامه‌ریزی سیستم قدرت به خاطر این که هزینه‌ی زیادی صرف احداث و توسعه شبکه می‌شود لذا نیاز به برنامه‌ریزی بلند-مدت دارد تا با در مدار قراردادن و یا خارج کردن هر کدام از آن‌ها باعث افت بازده نشود. ولیکن باید برای این منظور بار را به صورت بلند-مدت پیش‌بینی کرد.

برای این منظور، پیش‌بینی بار با روش‌های متفاوتی انجام می‌شود که در مرجع [۱۰] دو روش کلاسیک؛ که مبتنی بر روش‌های استاتیکی و پیش‌بینی مقادیر آینده توسط ترکیب ریاضی اطلاعات مهم و روش سری‌های زمانی، انجام می‌شود.

### ۲-۳-۱ تقسیم‌بندی مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی

مصرف‌کنندگان انرژی الکتریسیته را می‌توان به سه دسته‌ی اصلی تقسیم‌بندی کرد:

(۱) مصرف‌کنندگان صنعتی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> Srinivasan and Lee

<sup>۲</sup> Short-Term Load Forecasting

<sup>۳</sup> Medium-Term Load Forecasting

<sup>۴</sup> Long-Term Load Forecasting

<sup>۵</sup> Industrial

(۲) مصرف کنندگان تجاری<sup>۱</sup>

(۳) مصرف کنندگان بخش خانگی<sup>۲</sup>

## ۲-۴- ملاحظات فنی برنامه ریزی

به طور کلی طراح برای برنامه ریزی سیستم توزیع ناگزیر می باشد که ملاحظات مد نظر داشته باشد و آن ها را برای هر چه بهتر طراحی و برنامه ریزی کردن سیستم توزیع رعایت کند. این ملاحظات فنی می تواند، نحوه و روش استفاده از پخش بار<sup>۳</sup> برای سیستم های گوناگون و نیز نحوه مدل و محاسبه تلفات شبکه باشد. که هر کدام را به اختصار بیان خواهیم کرد.

### ۲-۴-۱ پخش بار شبکه توزیع

در واقع برنامه ریزی سیستم قدرت، نیازمند آگاهی از یک سری اطلاعات می باشد که می توان به ولتاژ پاس ها، جریان شاخه ها و نیز توان تلف شده در سیستم اشاره کرد. به دست آوردن این اطلاعات مستلزم استفاده از روش های پخش بار می باشد. تعدادی از روش های مختلفی که در سیستم قدرت برای این منظور به کار گرفته می شوند، عبارت اند از:

- روش نیوتن - رافسون<sup>۴</sup>
- روش گوس سایدل<sup>۵</sup>
- روش پخش بار مستقیم

روش های بیان شده، سریع و اکثر شبکه های عادی، ولتاژ بالا و از نوع واگرا هستند و اصلاً همگرا نمی شوند را با بازده بسیار بالا حل می کنند. ولیکن مطالعات نشان داده است که برای شبکه هایی که از

<sup>1</sup> Commercial

<sup>2</sup> Residential

<sup>3</sup> Power Flow

<sup>4</sup> Newton-Raphson

<sup>5</sup> Gauss-Seidel

شرایط خاصی (مثلاً کاهش نسبت  $X/R$ ) برخوردار هستند، خوب جواب نمی‌دهد و حتی در بعضی موارد هم اصلاً قادر به حل شبکه‌هایی که دارای  $X$  و  $R$  نزدیک به هم دارند، نیستند.

شبکه‌های توزیع به دلیل این که دارای مقاومت و اندوکتانس متغیر هستند و نیز با توجه به شعاعی بودن آن‌ها (از یک سو تغذیه می‌شوند) در زمره‌ی شبکه‌های با رفتار نامناسب قرار می‌گیرند. لذا روش‌های ذکر شده در شبکه‌های توزیع دچار مشکل می‌شوند. این نقص زمانی آشکار می‌شود که شبکه‌های بزرگ شعاعی مورد مطالعه قرار می‌گیرند. البته تمهیداتی برای رسیدن به جواب و حل این‌گونه شبکه‌ها در نظر گرفته شده است تا مشکل واگرایی روش‌های پخش بار شبکه‌ها مرتفع شود.

روش‌های معمول پخش بار را می‌توان به صورت ذیل دسته‌بندی و بیان کرد [۱۱]:

- روش ماتریس ادمیتانس<sup>۱</sup>
- روش ماتریس امپدانس<sup>۲</sup>
- روش‌های نیوتن رافسون

**روش ماتریس ادمیتانس:** در این روش از ماتریس ادمیتانس شبکه استفاده شده و به صورت ذیل

بیان می‌گردد:

$$I_{Bus} = Y_{Bus} \cdot V_{Bus} \quad (۱-۲)$$

یکی از مزایای این روش، غیر حساس بودن به ولتاژ اولیه پست‌ها و دارای روش کد نویسی راحت و آسان و همچنین یکی از نقص‌های این روش، کند بودن مخصوصاً در حل شبکه‌های شعاعی و نیازمند تکرار زیاد برای شبکه‌های بزرگ می‌باشد که علت آن می‌تواند تهی بودن ماتریس ادمیتانس باشد چون که یک باس روی باس‌های مجاور خود تأثیر می‌گذارد و بقیه درایه‌های ماتریس خالی می‌باشد.

<sup>۱</sup> Admittance

<sup>۲</sup> Impedance

**روش ماتریس امپدانس:** این روش از ماتریس امپدانس شبکه بهره می برد که به صورت ذیل بیان

می شود:

$$V_{Bus} = Z_{Bus} \cdot I_{Bus} \quad (2-2)$$

این روش دارای سرعت حل بالاتری نسبت به روش ماتریس ادمیتانس و به حافظه‌ی بیشتری نیاز دارد. در واقع همگرایی هر دو روش فوق، به تعداد پست‌های تولید (ولتاژ و توان تولیدی در آن‌ها مشخص می باشد) وابسته است. لذا با افزایش تعداد پست‌های تولیدی روش‌های ذکر شده در حل دچار مشکل می شوند. از اینرو باید روش‌های خاص حل شبکه‌های توزیع شعاعی ارائه داد.

**روش نیوتن رافسون:** این روش با توجه به سرعت همگرایی اش از محبوبیت خاصی برخوردار می -

باشد و با حد اولیه‌ی نسبتاً مناسب برای ولتاژ باس‌ها اغلب در کمتر از ۱۰ تکرار حل می کند. مشکل اساسی این روش نیاز به محاسبه ماتریس ژاکوبین است که تقریباً چهار برابر ماتریس  $Y_{Bus}$  شبکه می - باشد. در واقع این روش برای شبکه‌هایی که نسبت  $X/R$  بالایی دارند به خاطر این که می توان فرض‌هایی در جهت ساده کردن روابط شبکه لحاظ کرد و نیز ماتریس ژاکوبین را غیر دکوپله در نظر گرفت و حتی از محاسبه آن خودداری کرد، استفاده می شود. لذا به این علت روش نیوتن رافسون بیشتر برای حل شبکه انتقال مورد استفاده قرار می گیرد. این روش‌ها همان‌طور که قبلاً گفته شد برای سیستم‌های بد (شبکه توزیع) مناسب نیستند.

#### ۲-۴-۲ بررسی شبکه توزیع از دیدگاه شعاعی بودن و ارائه یک روش حل برای پخش بار آن

همان‌طور که بیان شد سیستم قدرت متشکل از سه بخش تولید، انتقال و توزیع می باشد. بخش تولید تحت عنوان منبع ورودی برای شبکه انتقال در نظر گرفته می شود. مسلماً بخش انتقال باید به صورت یک شبکه حلقوی مدل شود تا این که اگر خطی که کار انتقال توان از بخش تولید به توزیع را دارد به هر دلیلی از مدار خارج شد بتواند خطی دیگر، جایگزین و کار انتقال توان را انجام دهد که اساساً شبکه حلقوی یا



"دوسویه تغذیه"<sup>۱</sup> می گویند. ولی شبکه توزیع از لحاظ ساختار (متصل به بارهای متقارن یا نامتقارن و دارای نسبت X/R پایین) با شبکه انتقال متفاوت و دارای ساختاری شعاعی می باشد، اساساً شبکه توزیع را شبکه شعاعی یا "تک سویه تغذیه" می گویند.

پس در واقع، یکی از بخش های مهم در DEP، زیر برنامه ای است که جهت بررسی و تشخیص شعاعی بودن شبکه و نقاطی که هنوز بی بار مانده اند، استفاده می شود. به طوری که در طی فرآیند حل مسئله برنامه ریزی با توجه به این که شعاعی بودن شبکه یکی از قیود مسئله است، اگر توسط زیر برنامه تأیید نگردد، فرآیند حل متوقف می شود.

شبکه ی شعاعی، شبکه ای می باشد که هیچ گونه حلقه ی بسته ای نداشته باشد و شبکه فقط به صورت یک بخش باشد. در حقیقت ساختار هر شبکه را می توان به کمک یک گراف نشان داد. حال در صورتی می توان گفت، شبکه شعاعی یک درخت یکپارچه می باشد که براساس نظریه گراف دارای شرایط ذیل باشد:

الف) تعداد شاخه ها حتماً برابر تعداد گره ها منهای یک باشد.

ب) هیچ گونه مسیر بسته ای در گراف وجود نداشته باشد.

حال می توان این برداشت را در شبکه ی توزیع شعاعی استفاده کرد. خواهیم داشت که تعداد فیدر در حالت وصل که در شبکه توزیع شعاعی به کار می رود، برابر تعداد پست های توزیعی هستند که از پست های فوق توزیع تغذیه می شوند. به عبارتی در یک شبکه شعاعی، p پست فوق توزیع و q پست توزیع که به عنوان شین های تغذیه کننده محسوب می شوند. در نهایت دوباره باید متذکر شد که عدم وجود حلقه شرط لازم برای شعاعی بودن و شرط کافی عدم وجود نقاط فاقد تغذیه می باشد [۱۲] و [۱۳].

پس از بررسی شعاعی بودن شبکه توزیع، حال به ارائه ی روش پخش باری مختص این گونه شبکه ها می پردازیم و از همین روش در این پایان نامه استفاده می کنیم.

<sup>۱</sup> Double Feed

در این بخش به ارائه روش پخش بار پیشرو-پسرو<sup>۱</sup> جهت حل شبکه‌های شعاعی توزیع پرداخته می‌شود. ایده اصلی این روش توسط دکتر شیرمحمدی و همکارانش در سال ۱۹۸۸ ارائه شد [۱۴]. آن‌ها با کمک محاسبه جریان شاخه‌ها با استفاده از یک تکنیک جبران‌سازی و قانون جریان کیرشئف یک روش جدید پخش بار را در شبکه‌های توزیع ارائه کردند. بعداً این روش برای شبکه‌های حلقوی ضعیف گسترش یافت.

این روش همان‌طور که از نامش پیداست در دو مرحله‌ی پیشرو و پسرو انجام و اطلاعات شبکه توزیع شعاعی محاسبه می‌کند:

**جاروب پیشرو<sup>۲</sup>:** در این گام با فرض ولتاژ تمامی گره‌ها برابر یک پریونیت و باس انتهایی که فقط یک شاخه به آن متصل است به سمت ابتدای فیدر جاروب و هریک از جریان شاخه‌ها محاسبه می‌گردد. در حقیقت با مشخص بودن توان اکتیو، راکتیو و امپدانس جریان به صورت ذیل محاسبه می‌شود [۵]:

$$I_n^k = \left( \frac{S_{barnchi}^k}{V_i^k} \right)^* \quad (۳-۲)$$

$I_n^k$ : جریان محاسبه شده در تکرار  $k$  ام از الگوریتم

$S_{barnchi}^k$ : توان  $i$  امین شاخه در تکرار  $k$  ام از الگوریتم

$V_i^k$ : ولتاژ باس  $i$  ام در تکرار  $k$  ام از الگوریتم

**جاروب پیشرو<sup>۳</sup>:** در این گام، طول فیدر از ابتدا تا انتهای فیدر جاروب می‌شود و ولتاژ برای تمامی باس‌ها محاسبه می‌گردد.

$$V_j^k = V_j^k - (Z_n \times I_n^k) \quad (۴-۲)$$

<sup>۱</sup> Backward-Forward Power Flow

<sup>۲</sup> Backward Swept

<sup>۳</sup> Forward Swept

می توان بیان کرد که در جاروب پیشرو ولتاژ باس ها و در جاروب پسرو، جریان شاخه ها به روزرسانی می شوند. لذا با محاسبه ولتاژ در این گام، وقتی که یک بار این تکرار کامل شد، تلفات هم به دست می آید. حال با مقایسه ی تلفات ولتاژ باس ها دو تکرار متوالی، از اختلاف آن ها یک مقدار خطا ایجاد خواهد شد که اگر قابل قبول نباشد جریان شاخه ها با اعمال مقادیر جدید محاسبه و این روند تا جایی ادامه پیدا می کند تا به خطای قابل قبول که معیار توقف برنامه می باشد، برسد [۵].

روابط (۵-۲) و (۶-۲)، معیار توقف روند الگوریتم پخش بار پیشرو - پسرو را نشان می دهند:

$$\text{Loss}_n^k = (V_i^k - V_j^k) \times I_n^k \quad (۵-۲)$$

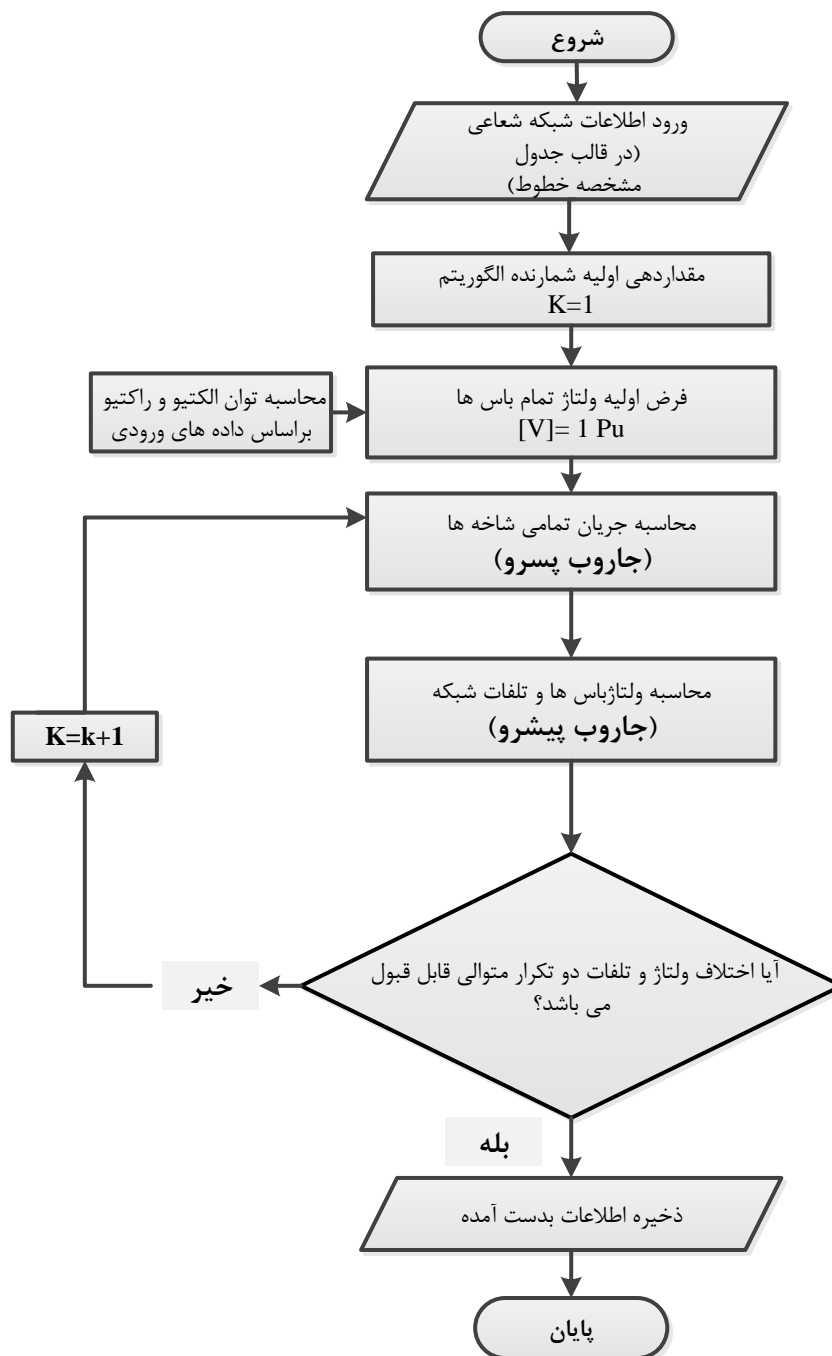
$V_i^k$  ولتاژ باس  $i$  ام در تکرار  $k$  ام

$V_j^k$  ولتاژ باس  $j$  ام در تکرار  $k$  ام

$$e = \text{Max}|(V_j^k - V_j^{k-1})| \quad (۶-۲)$$

برای حل بهتر و جلوگیری از اشتباه، از جدول مشخصه ی خطوط، که تمام محل خطوط شبکه را دارا

می باشد، استفاده می شود. به طور خلاصه روش پیشرو-پسرو در فلوچارت ذیل بیان شده است.



شکل ۲-۱: فلوجارت روش پیشرو- پسرو جهت پخش بار شبکه شعاعی مورد استفاده [۱۱]

## ۲-۴-۳ تلفات شبکه توزیع

از آنجایی که در برنامه ریزی سیستم قدرت، طراحان و برنامه ریزان به دنبال کاهش هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری البته با در نظر گرفتن پاسخ به بار مورد تقاضای مصرف کنندگان هستند، تلفات شبکه مورد توجه قرار می گیرد. چون که اگر بتوانند تلفات را به حداقل برسانند می توان گفت که هزینه های

برنامه ریزی کاهش پیدا می کند. لذا هزینه ی تلفات که ناشی از تلفات آهنی و مسی پست و فیدر می باشد در زیرمجموعه ی هزینه بهره برداری قرار می گیرد.

امروزه با توجه به پیشرفت فن آوری و گسترش شبکه های هوشمند، از روش های متفاوتی جهت کاهش تلفات شبکه بهره می برند. که می توان به واحدهای ذخیره ساز و منابع تولید پراکنده اشاره کرد یکی از مزایای این واحدها، این است که در نزدیکی بار احداث می شوند هم نیاز به خط طولانی برای انتقال توان به شبکه توزیع نیست و هم تأثیر چشم گیری در کاهش تلفات، افزایش قابلیت اعتماد و همچنین کاهش هزینه های بهره برداری دارند [۱۶]. مرجع [۱۵] کاهش تلفات شبکه توزیع با استفاده از تجدید ساختار در حضور DG بررسی کرده است.

## ۲-۵- ملاحظات اقتصادی برنامه ریزی

برای برنامه ریزی، یکی از ملاک هایی که اهمیت پیدا می کند شاخص های اقتصاد مهندسی<sup>۱</sup> هست که برای داوری بین یک یا چند طرح و تعیین طرح اقتصادی تر استفاده می شود. ارزش خالص فعلی<sup>۲</sup> طرح یکی از این شاخص هاست که بیان گر آن است که به دنبال سرمایه گذاری در یک طرح، در طول عمر مفید آن چه مقدار سود حاصل می شود. یا به عبارتی سود حاصل از سرمایه گذاری در یک طرح در طی عمر مفید آن در سال پایه، ارزش خالص فعلی آن طرح را بیان می کند.

### ۲-۵-۱ تحلیل ارزش فعلی

در تمام مطالعات برنامه ریزی ها سرمایه گذاران به دنبال افزایش سود و همچنین کاهش هزینه های سرمایه گذاری هستند. لذا این موضوع زمانی محقق می شود که حداقل سود سالیانه سرمایه گذار مقدار ثابتی باشد. همچنین برای برنامه ریزی چه کوتاه - مدت و چه بلند - مدت باید فاکتور ارزش فعلی با توجه

<sup>۱</sup>Economic Engineering

<sup>۲</sup> Net Present Value

به نرخ بهره<sup>۱</sup> و تورم<sup>۲</sup> برای سال های برنامه ریزی مدنظر باشد که در بیشتر کارهای انجام شده به این صورت

مدل و محاسبه می شود [۲۸]:

$$PW = \frac{1+Inf}{1+Int} \quad (۷-۲)$$

$PW$  ضریب ارزش فعلی .

$Inf$  نرخ تورم.

$Int$  نرخ بهره.

## ۲-۶- روش های حل مسئله برنامه ریزی شبکه توزیع

در واقع می توان گفت که برنامه ریزی سیستم توزیع با توجه به ملاک های برشمرده شده ذیل نسبت

به برنامه ریزی تولید به مراتب دارای پیچیدگی بسیار و حل آن مشکل خواهد بود:

- ✓ وجود متغیرهای تصمیم گیری پیوسته و گسسته
- ✓ تعیین اطلاعات جغرافیایی و الکتریکی سیستم مورد مطالعه
- ✓ توسعه و تعیین ظرفیت پست ها موجود و افزودن پست جدید
- ✓ تعیین نوع و مسیر مناسب فیدر جهت تخصیص بار به پست مناسب
- ✓ هزینه های خطی و غیر خطی
- ✓ قیود غیر خطی که ارائه مدل ریاضی برای آن ها مشکل می باشد

لذا مطالعات بسیار گسترده ای جهت حل مسئله برنامه ریزی توسعه نیاز می باشد که با شناخت ذات

طراحی، روش های حل متنوعی ارائه شده است [۲۰-۱۸].

▪ روش های برنامه ریزی ریاضی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> Interest Rate

<sup>۲</sup> Inflation Rate

<sup>۳</sup> Mathematical Programming Methods

▪ روش‌های برنامه‌ریزی ابتکاری و فوق‌ابتکاری<sup>۱</sup>

نظر به اینکه، توسعه سیستم توزیع مدت زمان زیادی در پی خواهد داشت و معمولاً به صورت بلند-مدت برنامه‌ریزی می‌شوند؛ لذا حل مسئله برنامه‌ریزی با استفاده از روش‌های ذکرشده‌ی فوق به صورت یکی از روش‌های ذیل از لحاظ دوره برنامه‌ریزی صورت می‌پذیرد [۲۱] و [۴۷]:

▪ **برنامه‌ریزی ایستا<sup>۲</sup>**: یک برنامه‌ریزی تک مرحله‌ای می‌باشد که در آن مدل‌ها ثابت هستند و

فرض بر این است که در طی مدت برنامه‌ریزی شرایط سیستم ثابت می‌باشند. در این نوع برنامه‌ریزی، ضریبی برای رشد بار در نظر گرفته نمی‌شود لذا نیازی به نصب تجهیزات در سال‌های آینده نیست. و هدف تغذیه بار در سال آینده با در نظر گرفتن تجهیزات و ساختار شبکه موجود در سال مبنا می‌باشد.

▪ **برنامه‌ریزی شبه پویا<sup>۳</sup>**: در این حالت، مسئله برنامه‌ریزی به دو فاز مجزا تقسیم می‌شود؛ در

فاز اول با استفاده از برنامه‌ریزی استاتیکی سیستمی که بتواند به بار مورد تقاضای سال آینده با توجه به اینکه هیچ پستی اضافه و یا کم نشود بلکه فقط با توسعه ظرفیت پست موجود حل شود، طراحی می‌کنند. در فاز دوم از برنامه‌ریزی شبه پویا، با در نظر گرفتن رشد بار سالیانه بار مورد تقاضا در هر دوره (معمولاً پنج‌ساله) و نتایج حاصل از فاز اول، توسعه شبکه صورت می‌گیرد.

▪ **برنامه‌ریزی پویا<sup>۴</sup>**: در این روش، برنامه‌ریزی به صورت چند مرحله‌ای انجام می‌شود که توسعه

سیستم برای تمام مراحل به صورت هم‌زمان انجام و مجهولات مسئله به دست می‌آید. اگرچه می‌توان مسائل چند مرحله‌ای را به‌عنوان یک سری مسائل تک مرحله‌ای حل کرد و هر

<sup>۱</sup> Heuristic and Meta-Heuristic Methods

<sup>۲</sup> Static Planing

<sup>۳</sup> Pseudo-Dynamic Planing

<sup>۴</sup> Dyanamic Planning

مرحله را به عنوان یک موقعیت توسعه سیستم در نظر گرفت. ولیکن، نتیجه حل به این صورت از جواب بهینه کلی برخوردار نخواهد بود چون که جواب فعلی تحت تأثیر تصمیمات آینده در مدت حل مسئله قرار نمی گیرد. در واقع فرآیند برنامه ریزی دینامیکی با اینکه دارای یک راه-حل بهینه می باشد ولیکن پیچیدگی مسئله و زمان بر بودن آن از چالش های آن است.

## ۲-۶-۱ روش های برنامه ریزی ریاضی

روش های حل برنامه ریزی ریاضی، روش هایی مطمئن و دارای جواب قطعی هستند، از آنجایی که برنامه ریزی توسعه شبکه یک مسئله غیر محدب و غیر خطی است و همچنین به دلیل پیچیدگی مسئله، استفاده از این روش ها نیاز به خطی سازی و تقریب دارد که در بعضی موارد دقیق و صحیح نمی باشد. تاکنون، روش های ریاضی متفاوتی برای حل مسئله ارائه شده است که به چند مورد از آن ها که در مراجع مختلف استفاده شده است، در ادامه اشاره خواهیم کرد:

الف) **برنامه ریزی خطی**<sup>۱</sup>: یا همان بهینه سازی خطی می باشد که برای پیدا کردن مینیمم و ماکزیمم تابع خطی استفاده می شود. در سال ۱۹۵۲ کامپیوترهای دیجیتالی به طور گسترده افزایش یافت و از آن ها برای حل مسائل استفاده می شود [۲۲].

ب) **برنامه ریزی غیرخطی**<sup>۲</sup>: این روش براساس معادله کوئن- تاکر، تحت عنوان شرایط بهینه استفاده می شود. در واقع برای بعضی از متغیرهای تصمیم گیری به صورت تصادفی چند بار اجرا می شود و در نهایت اگر تابع هدف مورد بررسی محدب باشد، به جواب سراسری همگرا خواهد شد. که در مرجع [۲۳] برای حل مسئله مورد نظر استفاده شده است.

ج) **برنامه ریزی عدد صحیح**<sup>۳</sup>: یکی از روش های عدد صحیح، روش شاخه و کران است که در آن کران پایین کل هزینه های شاخه ها محاسبه می شود حال اگر هزینه ی هر شاخه بیشتر از کران آن

<sup>۱</sup> Linear Programming (LP)

<sup>۲</sup> Non Linear Programming (NLP)

<sup>۳</sup> Integer Programming (IP)



باشد آن را به عنوان جواب در نظر نمی گیرد. لذا در این روش در نظر گرفتن کران پایین از اهمیت بالایی برخوردار است، چون که محاسبه روش براساس آن می باشد که در مرجع [۲۴] کار آیی این روش و مقایسه آن با دیگر روش ها بیان شده است.

د) **برنامه ریزی خطی - عدد صحیح ترکیبی**<sup>۱</sup>: این روش را می توان متشکل از دو گام دانست؛ که در گام اول، با استفاده از روش غیر مرکب که در آن تمامی متغیرها را پیوسته فرض کرده و مسئله را حل کرده تا تعدادی از راه حل های ممکن به دست آیند. در گام دوم، با استفاده از روش های جستجو، بهترین راه حل از گام اول برای متغیرهای عدد صحیح به دست می آید. در مرجع [۲۵] از برنامه ریزی خطی - عدد صحیح ترکیبی برای برنامه ریزی یکپارچه سیستم توزیع اولیه و ثانویه استفاده شده است.

ه) **برنامه ریزی غیرخطی - عدد صحیح ترکیبی**<sup>۲</sup>: این روش تفاوتش با روش قبلی در غیرخطی بودن آن می باشد. که در این روش بحث معادله درجه دوم پیش می آید. که باید آن را تقریب زد و به صورت خطی یا به صورت غیرخطی حل کرد. لذا در اینجا هم دو مرحله همانند روش فوق خواهد داشت. که در مرجع [۲۶] برای برنامه ریزی مدارهای ثانویه توزیع به کار رفته است.

و) **برنامه ریزی دینامیکی**<sup>۳</sup>: در این نوع برنامه ریزی از برنامه ریزی غیرخطی - عدد صحیح ترکیبی استفاده می شود. برای این منظور مسئله به چند زیر مسئله تقسیم می شود و با حل هر زیر مسئله که ذاتاً یک مسئله غیرخطی است، فضای جستجو جواب کم و کم تر می شود و به بهترین جواب نزدیک می شود. [۲۱]. مرجع [۲۷] برای مسیریابی بهینه در برنامه ریزی سیستم توزیع از تکنیک برنامه ریزی دینامیکی بهره گرفته است.

<sup>۱</sup> Mixed Integer Linear Programming (MILP)

<sup>۲</sup> Integer Non Linear Programming (MINLP)

<sup>۳</sup> Dynamic Programming (DP)

از بررسی روش‌های ریاضی ارائه شده، می‌توان نتیجه گرفت که شاید میان متغیرها تعامل خوبی برقرار باشد که منجر به حل دقیق مسئله و همگرایی آن شود اما به دلیل تعدد متغیرها مسئله برنامه‌ریزی، در این روش‌ها امکان دستیابی به جواب کم یا سخت خواهد بود. در این روش‌ها در مواقعی باید مسئله ساده‌سازی شود و برخی قیود و تقریب آن‌ها نادیده گرفته شود تا جواب حاصل شود لذا روش‌های ابتکاری و فوق‌ابتکاری مورد توجه قرار می‌گیرد.

## ۲-۶-۲ روش‌های برنامه‌ریزی ابتکاری و فوق‌ابتکاری

با توجه به چالش‌ها و نقص‌هایی که در قبل برای روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی در برابر پیچیدگی‌ها و مشکل بودن حل مسئله برنامه‌ریزی سیستم توزیع برشمرده شد، از سال ۱۹۸۰ تلاش بر این شد که از روش‌های ابتکاری برای حل مسئله DEP استفاده شود. چون که می‌توانند به صورت سراسر با قیود غیرخطی با تابع هدف به کار روند. در این رویکرد، به آسانی اهدافی همچون کاهش تلفات، افزایش قابلیت اعتماد، عدم قطعیت و نصب DG معرفی می‌گردد. این روش‌ها براساس تجزیه و تحلیل مبتنی بر شهود می‌باشد در واقع اجازه اندیشیدن را به مهندسين برنامه‌ریز می‌دهند تا طرحی تقریباً نزدیک به جواب بهینه با محاسبات کم را در اختیار طراحان قرار دهند. همچنین، این روش‌ها سریع، کارآمد و دارای سرعت بالا هستند و کوچک‌ترین تغییر در متغیرهای تصمیم‌گیری از طرف برنامه‌ریز را در فرآیند برنامه‌ریزی لحاظ کرده و جواب مناسب را با توجه به قیود مدنظر در اختیار می‌گذارد [۱۸]، [۱۹] و [۲۸]. در ذیل به برخی از روش‌های ابتکاری و فوق‌ابتکاری اشاره خواهد شد:

**الگوریتم جابه‌جایی شاخه<sup>۱</sup>:** آووکای و همکارانش<sup>۲</sup> برای برنامه‌ریزی سیستم توزیع به صورت تک مرحله‌ای در سال ۱۹۹۰ الگوریتم جابه‌جایی شاخه را پیشنهاد کردند. این الگوریتم به این صورت بیان شد [۴۷]:

- ابتدا یک شاخه برای ایجاد حلقه اضافه می‌گردد

<sup>۱</sup> Baranch Exchange Technique

<sup>۲</sup> Aoki, et al

- یک شاخه برای رسیدن به ترکیب قابل قبول به صورت بهینه انتخاب می شود (معمولاً شاخه ای که باعث افزایش هزینه ها و یا نقض محدودیت ها انتخاب می شود). که سعی بر حفظ ساختار شعاعی شبکه هم دارد.
- حال اگر این جابه جایی منجر به بهبود شبکه با قیود مشخص شد، آن را حفظ می شود در غیر این صورت از جابه جایی صرف نظر می شود.
- این فرآیند تا مادامی ادامه دارد که تابع هدف با جابه جایی های دیگر بهبود پیدا نکند.

در این روش، جابه جایی شاخه ها در دو مرحله صورت می پذیرد:

جابه جایی درون ناحیه ای<sup>۱</sup>: این جابه جایی بین بین المان های زیرمجموعه ای هر پست، برای تعیین حوزه سرویس دهی هر پست انجام می شود.

جابه جایی بین ناحیه ای<sup>۲</sup>: در این جابه جایی، شبکه شعاعی مناسب برای هر ناحیه ای تحت پوشش پست تعیین می گردد [۲۹-۳۰].

**سیستم هوشمند (خبره)<sup>۳</sup>**: از این سیستم برای تعیین مکان پست ها و پیکربندی فیدر استفاده می شود. این روش براساس یک سری اطلاعات از بارها و مجموعه قوانین ابتکاری که مهندسين توزیع تعریف می کنند، در فرآیند حل مسئله بهره می جویند. به نمونه ای که برای برنامه ریزی شبکه توزیع با استفاده از سیستم خبره مبتنی بر دانش به مرجع [۳۱] اشاره کرد که برای کشور تایوان استفاده شده است.

در بررسی روش های ابتکاری، مشاهده می شود که برای حل مسئله برنامه ریزی، مسئله را به صورت چند زیر مسئله در نظر می گیرند که شاید به دلیل عدم توجه به فضای جستجو، به جواب سراسری دست نیافتنی باشد. لذا با توجه به اینکه فوق ابتکاری ابتدا جواب های ممکن را ایجاد می کنند و بعد به بررسی

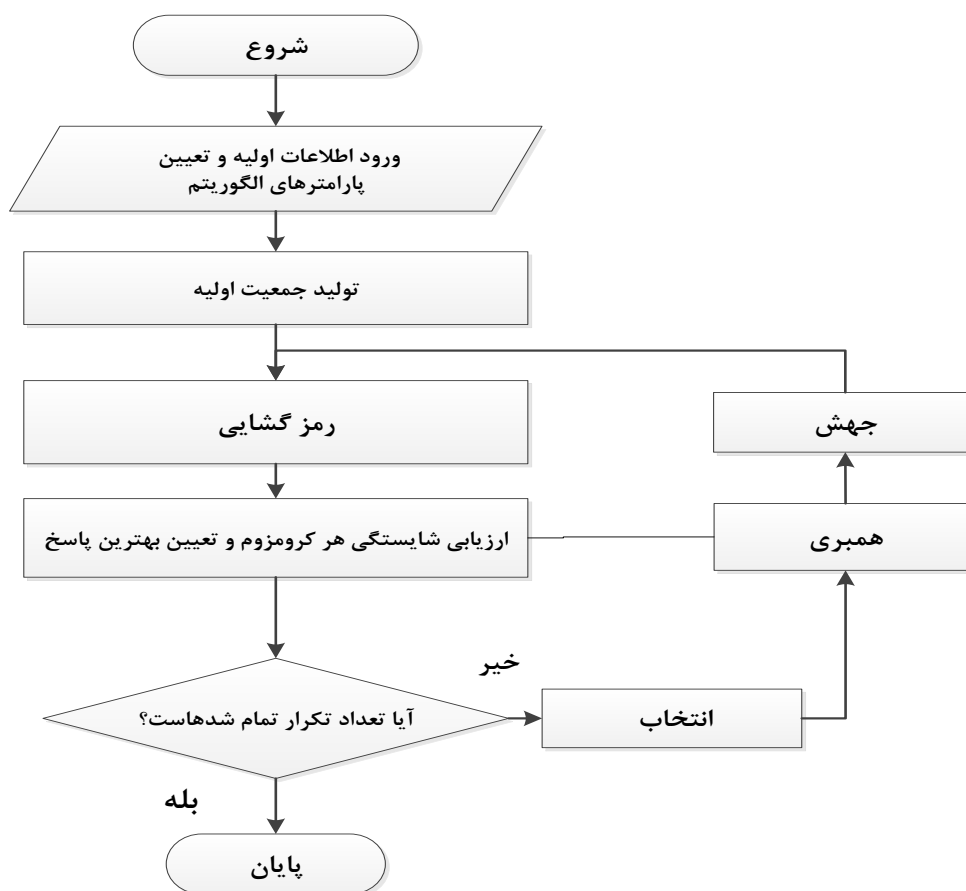
<sup>1</sup> Interzone Baranch Exchange

<sup>2</sup> Interazone Baranch Exchange

<sup>3</sup> Expert System

جواب مناسب می‌پردازند، توانایی بیشتری در رسیدن به جواب بهینه را نسبت به روش‌های ابتکاری دارند. در این قسمت به معرفی برخی از روش‌های فوق ابتکاری که بیشتر تحت عنوان الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند شناخته می‌شوند، می‌پردازیم.

**الگوریتم ژنتیک<sup>۱</sup>:** از آنجایی که در مسائل پیچیده‌ای که متغیرهای تصمیم‌گیری زیادی دارند، روش‌های ریاضی که اغلب با گرادینان جهتی سروکار دارند در جواب‌های بهینه محلی گرفتار می‌شوند. در الگوریتم ژنتیک فرآیند جستجو برای پاسخ مسئله از چندین جهت انجام می‌شود و به دلیل عملکرد جهش، این الگوریتم قادر به فرار از جواب بهینه محلی می‌باشد. یکی دیگر از مزایای این روش نسبت به روش ریاضی؛ قابلیت ایجاد چندین پاسخ نزدیک به جواب بهینه را دارد در صورتی که روش ریاضی تنها یک راه حل برای مسئله پیدا می‌کند. از این روش در مراجع [۶]، [۳۲] و [۳۳] بهره گرفته شده است.



<sup>۱</sup> Genetic Algorithm

## شکل ۲-۲: فلوجارت الگوریتم ژنتیک در حالت کلی [۳۳]

**الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه<sup>۱</sup>:** این روش یک الگوریتم بهینه‌سازی فوق ابتکاری می‌باشد که بر اساس تکامل یک گروه از قورباغه‌ها که به دنبال مکانی با بیشترین میزان غذای در دسترس می‌گردند، بیان می‌شود. از آنجایی که در الگوریتم‌های فوق ابتکاری، تابع هدف دارای فرآیندی دقیق و آگاهانه و فضای تصمیم به صورت هوشمندانه انتخاب می‌شود؛ در این الگوریتم تابع هدف برای ترکیبی از متغیرهای تصمیم محاسبه و از تابع هدف برای رسیدن به بهترین جواب به ازای ترکیب‌های مختلف استفاده می‌کنند.

یوسف و لنسی<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۰ برای اولین بار جهت تعیین قطر بهینه لوله‌ها در طراحی و توسعه شبکه آب شهری از این الگوریتم استفاده کردند. نتایج حاصل را با نتایج روش‌های دیگر (بهینه‌سازی خطی، الگوریتم ژنتیک) مقایسه کردند که مشاهده شد که سرعت همگرایی و عملکرد الگوریتم جهش قورباغه نسبت به سایر روش‌ها بهتر بوده است. یوسف با توسعه این الگوریتم، از آن برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی استفاده کرد [۳۴].

در الگوریتم SFLA، قورباغه‌ها دو عنصر مهم و استراتژی تصادفی و قطعیت به‌منظور پیدا کردن پاسخ بهینه دارا می‌باشند. عنصر تصادفی؛ انعطاف و قدرت مانور جستجو را در روش تضمین می‌کند و عنصر قطعیت؛ به الگوریتم اجازه استفاده از داده‌های سطحی به‌طور مؤثر در جهت جستجوی ابتکاری را می‌دهد.

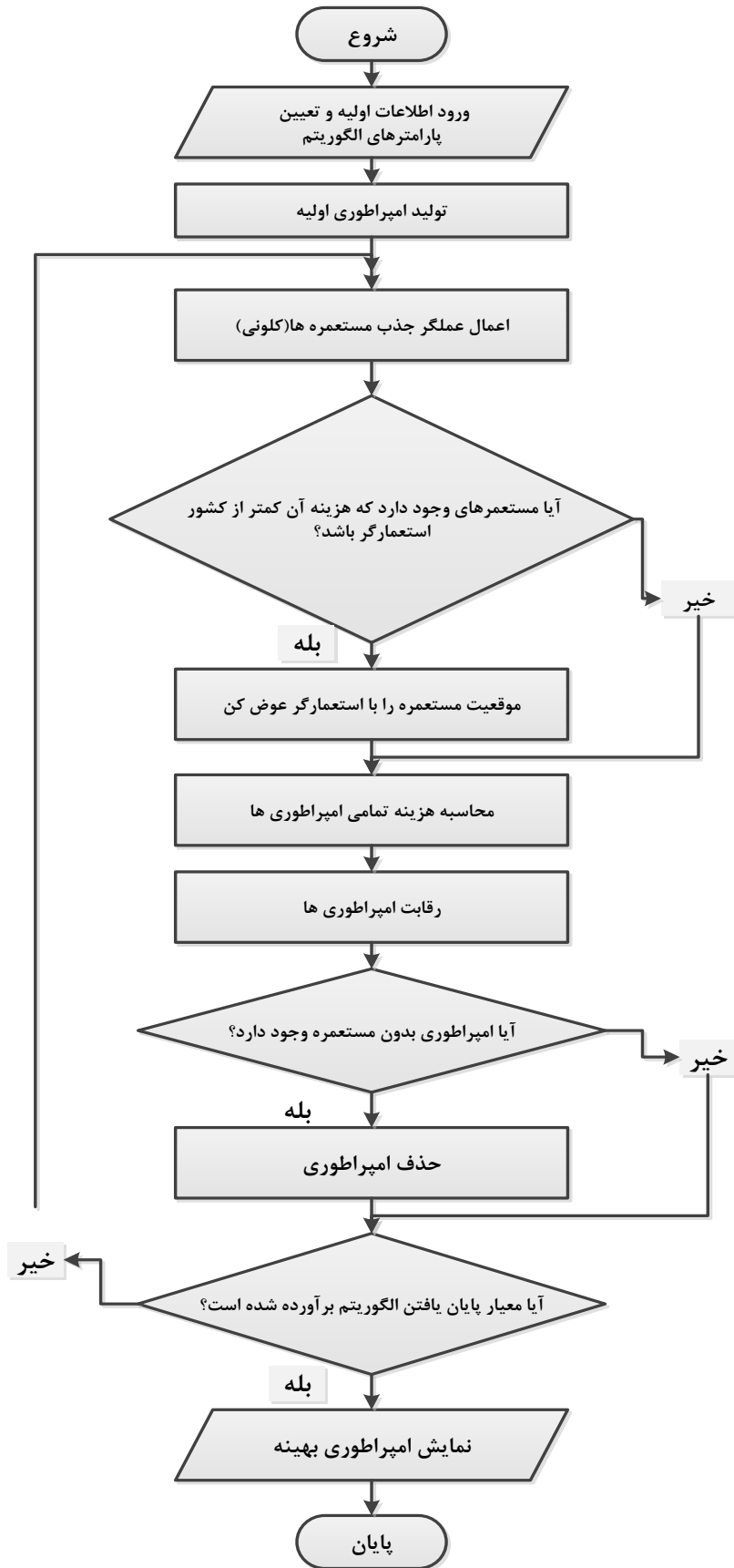
**الگوریتم رقابت استعماری<sup>۳</sup>:** این روش تنها روشی است که از ساختار هوش اجتماعی بشر برای مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌کند. این الگوریتم اولین بار در سال ۲۰۰۷ استفاده شد که همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی دارای عناصر جمعیت اولیه تصادفی تحت عنوان "کشور" می‌باشد، شروع می‌شود.

<sup>۱</sup> Shuffled Frog Leaping Algorithm (SFLA)

<sup>۲</sup> Eussuff And Lansy

<sup>۳</sup> Imperialist Competitive Algorithm (ICA)

تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخبه‌ها در الگوریتم ژنتیک) تحت عنوان امپریالیست برگزیده می‌شوند. و مابقی جمعیت به‌عنوان مستعمره در نظر گرفته می‌شود. حال استعمارگران با توجه به قدرتی که دارند، کشورهایی به‌عنوان مستعمره با یک فرآیندی خاصی به سمت خود می‌کشانند. قدرت کل امپراتوری وابسته به دو بخش کشور امپریالیست و مستعمره می‌باشد [۳۶] و [۳۵].



شکل ۲-۳: فلوجارت الگوریتم رقابت استعماری در حالت کلی [۳۶]

الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات<sup>۱</sup>: این روش بیشتر برای وقتی که عدم قطعیت در نظر گرفته می‌شود کار آیی دارد. در مراجع [۵] و [۳۷] از روش استفاده شده است.

## ۲-۷- الگوریتم اجتماع زنبورعسل مصنوعی

الگوریتم اجتماع زنبورعسل مصنوعی<sup>۲</sup>، یک الگوریتم جستجو بوده و اولین بار در سال ۲۰۰۵ توسعه یافت؛ این الگوریتم از شبیه‌سازی رفتار جستجوی غذای گروه‌های زنبورعسل ایجاد شده و نسخه ابتدایی این الگوریتم، از ترکیب جستجوی محلی<sup>۳</sup> و جستجوی تصادفی<sup>۴</sup> تشکیل شده است. الگوریتم زنبور می‌تواند برای بهینه‌سازی ترکیبی (چندهدفه) یا بهینه‌سازی تابعی به کار می‌رود. در مرجع [۳۹]، شرح روش آمده است.

به دلایل ذیل که بیان می‌شود از این الگوریتم در روند حل و شبیه‌سازی مدل ارائه شده در فصل بعد استفاده خواهد شد. لذا به‌طور کامل مراحل آن را بیان خواهیم کرد [۳۹]، [۴۰] و [۵۱].

## ۲-۷-۱ کاربرد و مزایای الگوریتم ABC در مهندسی

- ارزیابی بهتر سیستم‌های تست در مقیاس بالا نسبت به دیگر الگوریتم‌ها.
- بهینه‌سازی توابع چندهدفه.
- عمل کردن بهتر در فضای جستجوی سراسری.
- کنترل بهتر پارامترهای تصمیم‌گیری.
- استفاده برای حل مسئله‌ای که DG دارد و همچنین جایابی DG
- کنترل بهتر یکنواختی پخش بار
- کاهش تلفات شبکه شعاعی

<sup>۱</sup> Particle Swarm Optimaization (PSO)

<sup>۲</sup> Artificial Bee Colony (ABC)

<sup>۳</sup> Local

<sup>۴</sup> Random



## ۲-۷-۲ جستجوی غذا در طبیعت

یک اجتماع زنبور عسل به منظور بهره‌برداری از منابع غذایی می‌تواند در مسافت‌های طولانی و نیز در جهت‌های گوناگون پخش شوند. قطعات گل‌دار با مقادیر زیادی نکتار<sup>۱</sup> و گرده که با تلاشی کم قابل جمع‌آوری است، به وسیله تعداد زیادی زنبور بازدید می‌شوند. از طرف دیگر قطعاتی از زمین که گرده یا نکتار کمتری دارد، تعداد کمتری زنبور را جلب می‌کنند. روند جستجوی غذای یک اجتماع به وسیله زنبورهای کارگر<sup>۲</sup> که برای جستجوی گلزارهای امیدبخش (دارای امید بالا برای وجود نکتار یا گرده) فرستاده می‌شوند، آغاز می‌گردد.

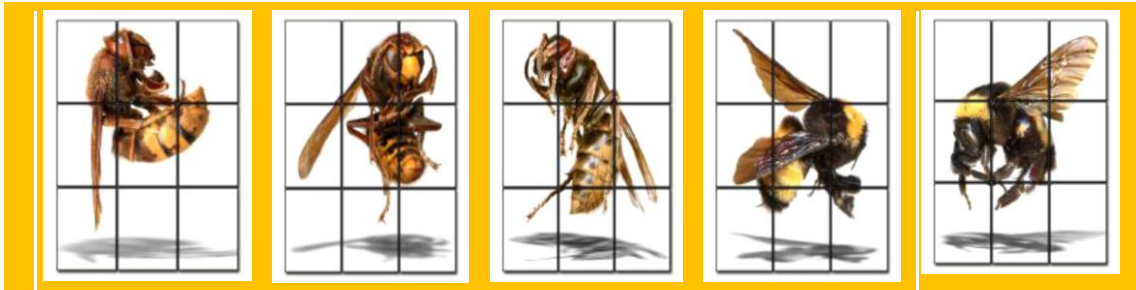
زنبورهای کارگر به صورت تصادفی از گلزاری به گلزار دیگر حرکت می‌کنند. در طول فصل برداشت محصول (گل‌دهی)، اجتماع با آماده نگه‌داشتن تعدادی از جمعیت اجتماع به‌عنوان زنبور کارگر به جستجوی خود ادامه می‌دهند. هنگامی که جستجوی تمام گلزارها پایان یافت، هر زنبور کارگر، بالای گلزاری که اندوخته کیفی مطمئنی از نکتار و گرده دارد، رقص خاصی را اجرا می‌کند. این رقص که به نام "رقص چرخشی"<sup>۳</sup> شناخته می‌شود، اطلاعات مربوط به جهت آن بخش از گلزار نسبت به کندو، فاصله تا گلزار و کیفیت گلزار را به زنبورهای دیگر انتقال می‌دهد. این اطلاعات زنبورهای اضافی و پیرو را به سوی گلزار می‌فرستد. بیشتر زنبورهای پیرو به سوی گلزارهایی که امید بیشتری برای یافتن نکتار و گرده در آن‌ها وجود دارد، می‌روند. پس از آنکه تمام زنبورها به سمت ناحیه مشابه رفتند، مجدداً به صورت تصادفی و به علت محدوده رقصشان در پیرامون گلزار پراکنده می‌شوند تا به موجب این کار سرانجام نه یک گلزار، بلکه بهترین گل‌های موجود درون آن تعیین موقعیت شوند.

---

<sup>1</sup> Nectar

<sup>2</sup> Employed Bee

<sup>3</sup> Waggle Dance



شکل ۲-۴: انواع رقص چرخشی زنبوران عسل در طبیعت [۳۹]

### ۲-۷-۳ ساختار الگوریتم ABC

الگوریتم ABC، هر نقطه در فضای پارامتری متشکل از پاسخ‌های ممکن را به‌عنوان منبع غذا تحت بررسی قرار می‌دهد. زنبورهای کارگر به‌عنوان کارگزاران شبیه‌سازی شده، به صورت تصادفی فضای پاسخ‌ها را ساده کرده و به‌وسیله تابع شایستگی کیفیت موقعیت‌های بازدید شده را گزارش می‌دهند. جواب‌های ساده شده رتبه‌بندی شده و مابقی زنبورها همچون نیروهای تازه‌ای هستند که فضای پاسخ‌های پیرامون خود یا همان گلزار را برای یافتن بالاترین رتبه-محل‌ها جستجو می‌کنند. الگوریتم به صورت گزینشی دیگر گلزارها را برای یافتن نقطه بیشینه تابع شایستگی جستجو می‌نماید.

### ۲-۷-۴ اجتماع مصنوعی زنبور عسل

شمار زیادی از مدل‌های مهندسی و الگوریتم‌هایی که برای حل مسائل پیچیده به کار می‌رود براساس کنترل و مرکزگرایی بنا شده‌اند. برخی از سیستم‌های طبیعی (اجتماع‌های حشرات اجتماعی) به ما یاد می‌دهند که یک سری ارگانیسم‌های ساده خارجی قابلیت تولید سیستم‌هایی را دارند که به کمک برهم‌کنش‌های پویا قابلیت انجام اعمال بسیار پیچیده را دارند.

گروه زنبورها به خاطر استقلال داخلی اجتماع، عملکردهای توزیع شده و سیستم درون‌سازمانی یکی از بهترین اجتماع‌ها برای توضیح این مسئله شناخته شده است. در سال‌های اخیر محققان برای تولید سیستم‌های جدید مصنوعی (در حیطه هوش مصنوعی) شروع به تحقیق درباره طرز رفتار حشرات اجتماعی کرده‌اند.

### ۲-۷-۵ بهینه‌سازی الگوریتم ABC

حشرات اجتماعی (زنبور عسل، زنبور معمولی، مورچه‌ها، مورانه‌ها) برای میلیون‌ها سال بر روی کره زمین زندگی کرده‌اند. آن‌ها آشیانه‌های مختلف خود را پیچیده‌تر از بسیاری از ساخته‌های بشر، ساخته و آذوقه‌شان را سازمان‌دهی نموده‌اند. اجتماع حشرات اجتماعی بسیار انعطاف‌پذیر محسوب شده و به خوبی قابلیت همساز شدن با محیط جدید را دارد. این انعطاف‌پذیری این امکان را به اجتماع می‌دهد تا بتواند حتی با مواجه شدن با شرایط سخت و طاقت‌فرسا، به زندگی خود ادامه دهد.

پویا گرایی جمعیت حشرات نتیجه‌ای از عملکردها و تعاملات بین حشرات با یکدیگر و با محیط اطراف است. تعاملات بین حشرات بر اساس یک سری عوامل فیزیکی و شیمیایی امکان‌پذیر شده است. محصول نهایی این تعاملات و عملکردها، رفتار اجتماعی این گونه حشرات محسوب می‌شود. مثالی برای چنین رفتارهایی، رقص مورچه‌ها در هنگام جمع‌آوری محصول است. مثال دیگری برای این حالت ترشح فرومون (هورمون جنسی) در مورچه‌ها است. این ماده موجب راه‌گذاری برای مورچه‌های دیگر خواهد شد. این سیستم‌های ارتباطی بین حشرات مختلف موجب به وجود آمدن مقوله‌ای به نام "هوش اشتراکی"<sup>۱</sup> می‌شود. به این معنی که حشرات فوق به هنگام قرار گرفتن در کنار یکدیگر دارای فاکتوری هوشمند می‌شوند که در غیاب یکدیگر قادر به انجام چنین کاری نیستند.

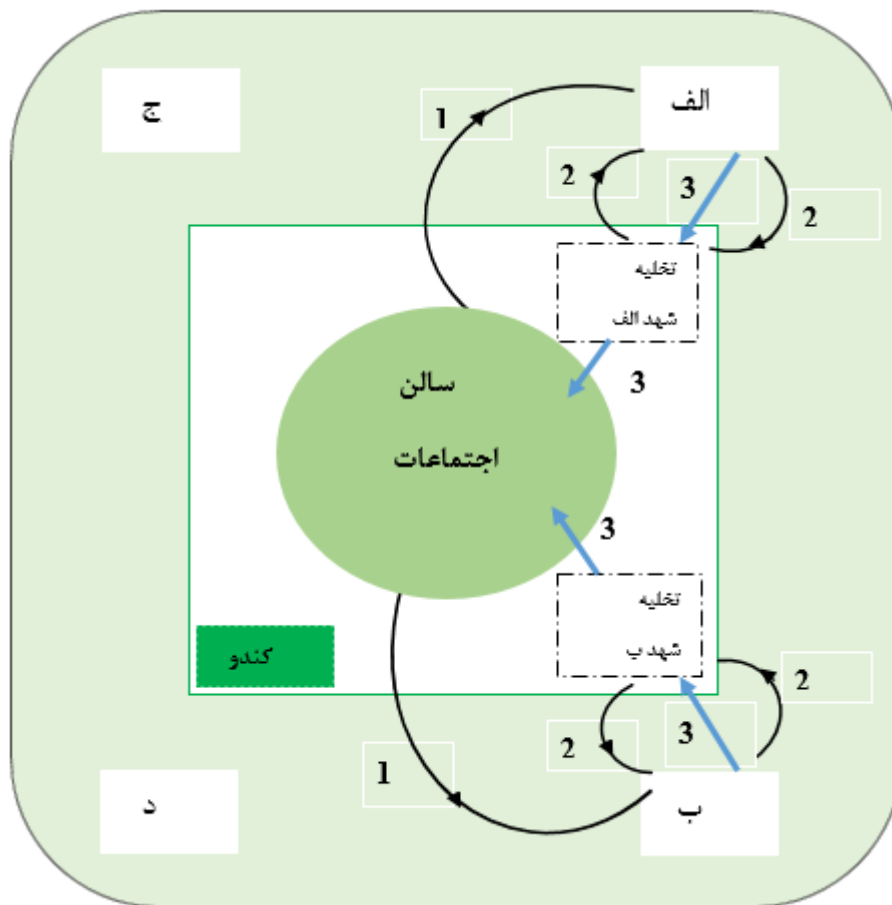
### ۲-۷-۶ زنبورها در واقعیت

سیستم سازمانی زنبورها بر اساس یک سری قواعد ساده خارجی حشرات بنا شده است. با اینکه نژادهای بسیار زیادی از حشرات مختلف بر روی کره زمین موجود هستند، که باعث تفاوت‌هایی در الگوی رفتاری آن‌ها می‌شود، ولی با این حال این سری حشرات اجتماعی را می‌توان دارای قابلیت حل مسائل پیچیده دانست. بهترین مثال برای این حالت، روند تولید نکتار (شهد) است. در این روند که در نوع خود

<sup>۱</sup> Collective Intelligence

یک فرآیند ساماندهی شده پیشرفته محسوب می‌گردد؛ هر زنبور ترجیح می‌دهد که راه قبلی زنبور هم کندوی خود را دنبال کند و خود به دنبال گل جدید نگرود.

هر کندوی زنبور عسل دارای مکانی معروف به سالن رقص است که در آنجا زنبورها با انجام حرکتی خاص، هم‌کندویی‌های خود را راضی می‌کنند تا راه آن‌ها را برای رسیدن به گل‌ها برگزینند (شکل ۲-۴). اگر یک زنبور تصمیم بگیرد که به دنبال نکتار برود، با انتخاب زنبور هم‌کندوی رقص خود، راه قبلی را دنبال می‌کند تا به گل برسد. با رسیدن زنبور به گل‌ها و جمع‌آوری شهد، قادر به انجام کارهای زیر است:



شکل ۲-۵: رفتار زنبوران عسل با توجه به میزان نکتار موجود در منبع غذایی خود

**الف)** منبع غذایی خود را رها کرده و در سالن اجتماعات به دنبال زنبوری که منبعی باکیفیت بیشتر در اختیار دارد، بگردد (خطوط با شماره ۳ در شکل ۲-۵).

ب) بدون اینکه کسی را جذب کند، مجدداً به سراغ منبع (جواب) خود برود (خطوط با شماره ۲ در شکل ۲-۵).

ج) در سالن اجتماعات با انجام حرکاتی موزون سعی در جمع کردن زنبورهای دیگر به دور خود داشته باشد (خطوط با شماره ۱ در شکل ۲-۵).

براساس احتمالات اندازه‌گیری شده، زنبور اقدام به انجام یکی از حالات بالا می‌کند. در سالن اجتماعات، زنبورها اقدام به پیشنهاد مکان‌های مربوط به جمع‌آوری نکتار به دیگران می‌کنند. مکانیزم انتخاب یک زنبور توسط زنبوری دیگر هنوز شناخته شده نیست ولی تا به امروز روشن شده است که این امر بیشتر مربوط به کیفیت نکتار پیدا شده توسط زنبور رقاص است.

### ۲-۷-۷ مراحل کلی الگوریتم ABC

در الگوریتم ABC، جستجوی منابع غذایی با استفاده از سه دسته زنبور عسل با نام‌های زنبور کارگر، زنبور ناظر و زنبور دیده‌بان انجام می‌گیرد. این زنبورها از نظر ساختاری مشابه بوده ولی هر یک اعمال متفاوتی را انجام می‌دهند.

در این الگوریتم، متغیرهای مسئله به‌عنوان موقعیت منبع غذایی در نظر گرفته می‌شود. مقدار شهد (نکتار) منبع غذایی، نشان دهنده تابع احتمال و یا برازندگی راه‌حل‌ها می‌باشد. هر منبع غذایی تنها توسط یک زنبور کارگر استخراج شده و به عبارتی، تعداد زنبورهای کارگر برابر تعداد منابع غذایی اطراف کندو می‌باشد.

در اولین قدم، جمعیت اولیه‌ای به صورت تصادفی ایجاد شده و میزان برازندگی جمعیت تولید شده براساس تابع ارزیابی محاسبه و ذخیره می‌شود. سپس، جمعیت منابع غذایی (جواب‌ها) به فاز اصلی الگوریتم که جستجو توسط زنبوران کارگر، ناظر و دیده‌بان است، فرستاده می‌شود. سپس، هر یک از زنبورهای کارگر به‌سوی موقعیت غذایی (جواب‌ها) مربوط به خود فرستاده می‌شود. در این هنگام، هر زنبور کارگر اصلاحاتی را بر روی موقعیت منبع غذایی خود انجام می‌دهد. این اصلاحات براساس

اطلاعات قبلی موجود در حافظه، اطلاعات محلی (اطلاعات بصری) و یافتن یک منبع غذایی در همسایگی منبع غذایی مربوط به خود، صورت می‌پذیرد. سپس با توجه به موارد ذکر شده، موقعیت جدید منبع غذایی ارزیابی می‌گردد. در الگوریتم زنبورعسل، یافتن منبع غذایی جدید در همسایگی منبع قبلی با استفاده از یک معیار تصادفی ( $\varphi_{ij}$ ) و مطابق رابطه زیر انجام می‌گیرد:

$$v_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij} \times (x_{ij} - x_{jk}) \quad (۸-۲)$$

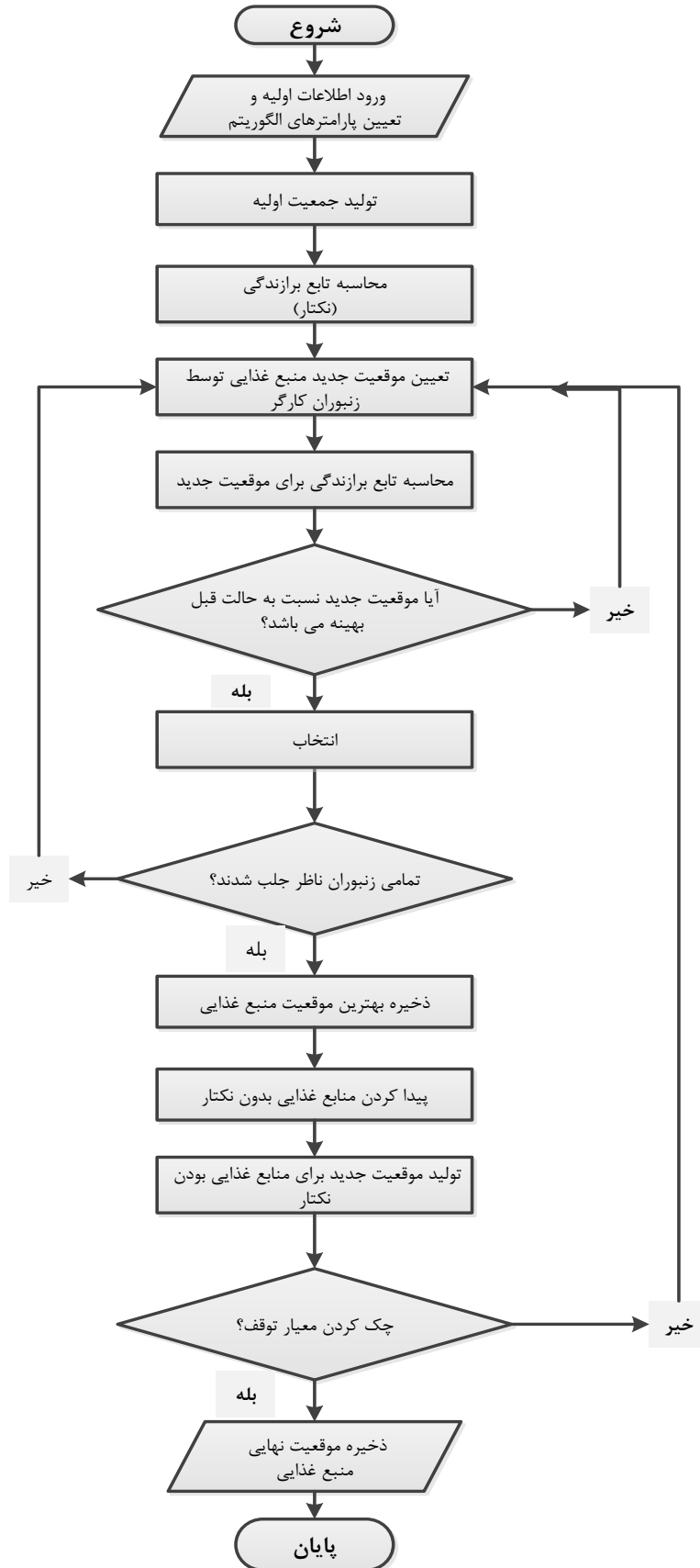
در این رابطه،  $x_{ij}$  موقعیت غذایی قبلی و  $v_{ij}$  موقعیت منبع غذایی جدید می‌باشد. از طرفی،  $z$  یک عدد طبیعی است که حداکثر برابر تعداد متغیرهای مسئله فرض شده ( $D$ ) و  $k$  نیز به صورت تصادفی از بازه  $k \in \{1, 2, \dots, SN\}$  انتخاب می‌گردد.  $SN$  برابر تعداد زنبورهای ناظر و کارگر در کلونی مصنوعی زنبور عسل است

در این مرحله، زنبور کارگر، با توجه به مقدار شهد موجود در منابع غذایی، انتخابی را بین  $x_{ij}$  و  $v_{ij}$  انجام می‌دهد. اگر میزان برآزندگی  $v_{ij}$  نسبت به  $x_{ij}$  بالاتر باشد، زنبور کارگر، موقعیت جدید را در حافظه خود ذخیره کرده و موقعیت قبلی را فراموش می‌کند.

پس از آن، زنبورهای کارگر به کندو بازگشته و در فرآیند "تصمیم‌گیری" شرکت می‌کنند. فرض می‌شود که هر زنبور قابلیت درک و دریافت اطلاعات سایر زنبورها را داشته و این قابلیت را دارد که با استفاده از اطلاعات دیگران، راه‌حل‌های بهتری را برای مسئله پیدا کند. بر این اساس، زنبور کارگر می‌تواند یکی از اعمال بخش ۲-۷-۶ را انجام دهد.

کسب اطلاعات جدید و تصمیم‌گیری در مورد منبع غذایی، توسط زنبوران ناظر انجام می‌شود. زنبوران ناظر اطلاعات مربوط به شهد منابع غذایی که در سالن اجتماعات عرضه می‌گردد، را ارزیابی کرده و با توجه به میزان احتمال آن‌ها، مناسب‌ترین موقعیت منبع غذایی را انتخاب می‌کنند. سپس مقدار برآزندگی منابع غذایی انتخاب شده توسط زنبوران ناظر محاسبه می‌شود. در ادامه، زنبوران ناظر، مشابه قبل، یک منبع غذایی جدید در همسایگی منبع غذایی قبلی تولید کرده و مقدار شهد

آن را با منبع قبلی مقایسه می کنند. پس از اصلاح موقعیت منابع غذایی انتخاب شده توسط زنبوران ناظر، زنبوران کارگر به موقعیت منابع غذایی جدید فرستاده می شوند. این روند تا رسیدن به معیار توقف برنامه ادامه پیدا می کند. در الگوریتم ABC، منابع غذایی که شهد آن ها به وسیله زنبوران کارگر مصرف شده و یا خالی از نکتار باشد، با یک منبع غذایی جدید که به صورت تصادفی تعیین می گردد، جایگزین می شود. این مرحله توسط زنبورهای دیده بان انجام می گیرد و فرض بر این است که اگر یک منبع غذایی نامناسب در تعداد تکرارهای مشخص شده اصلاح نشود، فاقد شهد است. شکل (۲-۶) فلوچارت کلی الگوریتم ABC را نشان می دهد.



شکل ۲-۶: فلوجارت کلی الگوریتم ABC [۳۹]



## ۲-۸- منابع تولیدات پراکنده

به طور کلی، منابع تولید پراکنده عبارت است از تولید توان در محل مصرف، ولی در مواردی هم به فن آوری ای گفته می شود که برای تولید توان از انرژی تجدید پذیر استفاده می کنند.

با افزایش روزافزون بار الکتریکی و تجدید ساختار سیستم قدرت، دسترسی کشورهای در حال توسعه به انواع گوناگون انرژی های جدید، برای توسعه اقتصادی و کاهش هزینه های سرمایه گذاری آن ها اهمیت اساسی دارد و پژوهش های اخیر نشان داده که بین سطح توسعه یک کشور و میزان مصرف انرژی آن کشور، رابطه مستقیمی برقرار است. با توجه به ذخایر محدود انرژی فعلی در جهان، دیگر نمی توان به منابع موجود انرژی (فسیلی) متکی بود. و همچنین با توجه گسترش ابزار و فن آوری در جهان، سیستم قدرت هم برای اینکه بتواند با دیگر بخش ها ارتباط برقرار کند و بدون وقفه و با سطح بالایی از قابلیت اعتماد پاسخ گو توان مورد تقاضای مشترکان باشد، باید به سمت هوشمندسازی پیش برود که در این مورد منابع انرژی تجدیدپذیر می تواند مورد استفاده واقع شوند.

### ۲-۸-۱ طراحی سیستم توزیع با در نظر گرفتن DG

امروزه استفاده از DG در شبکه های توزیع (ولتاژ متوسط و فشار ضعیف) به عنوان یکی از روش های تولید توان الکتریکی مطرح می باشند. عواملی چون توسعه و پیشرفت در تکنولوژی های DG، محدودیت در احداث خطوط انتقال جدید، خصوصی سازی صنعت برق، رقابتی شدن بازار برق، افزایش حساسیت نسبت به مسائل زیست محیطی و پاسخ به تقاضای مشتریان با هزینه کم تر و قابلیت اطمینان بالا، شرکت برق و سرمایه گذاران در این زمینه به استفاده از این منابع ترغیب کرده است. لذا DG تأثیر قابل توجهی در مسائل فنی و اقتصادی شبکه توزیع دارد [۵].

### ۲-۸-۲ مزایای فنی و اقتصادی استفاده از DG

واحدهای DG هم مثل بقیه تجهیزات و تکنولوژی های استفاده شده در صنعت برق دارای یکسری مزایایی است که باعث شده امروزه مورد توجه قرار گرفته شوند [۱۷-۱۳].

### مزایای فنی:

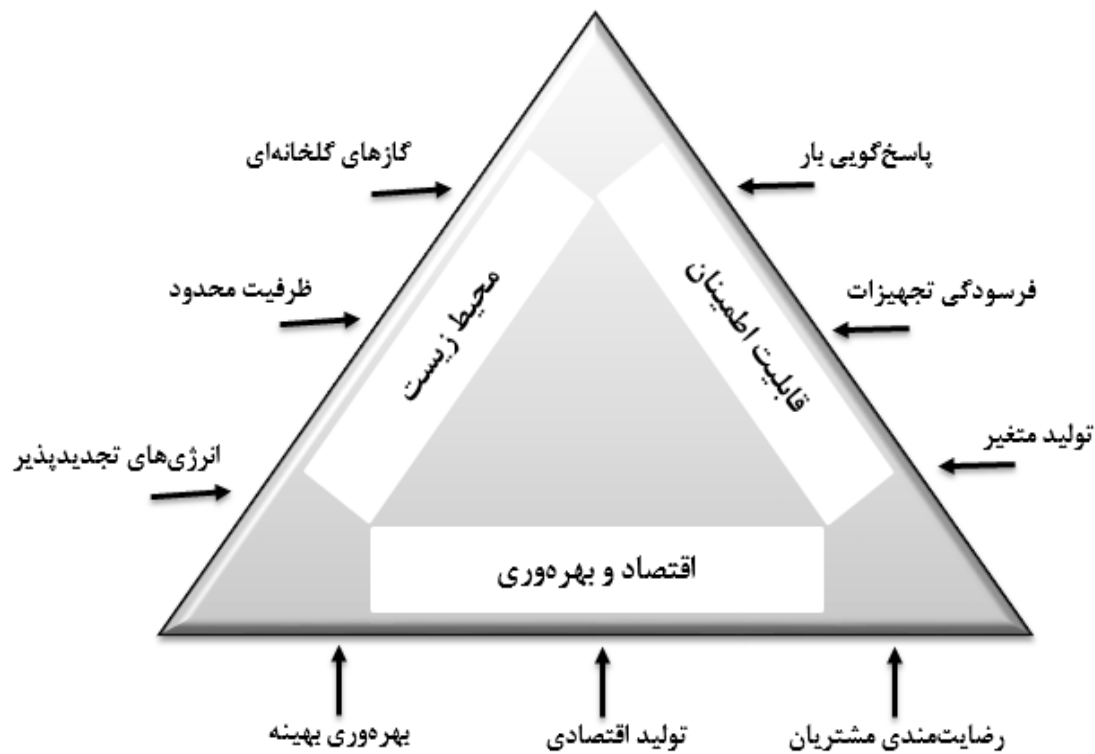
- کاهش تلفات شبکه
- بهبود پروفیل ولتاژ
- بهبود پایداری
- بهبود سطح سرویس دهی و افزایش قابلیت اطمینان
- نصب و راه اندازی آسان
- تأثیر مثبت در جهت حفظ محیط زیست

### مزایای اقتصادی:

- کاهش هزینه سرمایه گذاری جهت توسعه شبکه
- کاهش هزینه های قابلیت اطمینان
- تأثیر در بازار رقابتی فروش برق
- هزینه ی کم در نصب و راه اندازی

موضوعات مرتبط با DG که می توانند در هوشمندسازی سیستم قدرت نقش ایفا کنند، به صورت

خلاصه در بلوک دیاگرام ذیل می توان بیان کرد:



شکل ۲-۷: بلوک دیاگرام موضوعات مرتبط به DG

## ۲-۹- پیشینه پژوهش در زمینه DEP و DG

در این بخش مروری بر کارهای انجام شده در زمینه برنامه‌ریزی سیستم قدرت و منابع تولید پراکنده، پرداخته می‌شود البته از ابتدای فصل به بیان مفاهیم، روش‌های حل و ملاحظات فنی و اقتصادی که محققان استفاده کردند، پرداخته شد. به‌طور خلاصه مروری بر این کارها خواهیم داشت.

دره‌های اخیر، مدل‌ها و روش‌های متنوع بسیار زیادی برای حل برنامه‌ریزی سیستم توزیع ارائه شده است. به‌طور کلی می‌توان این روند را در چند سطح خلاصه کرد. در سطح اول؛ برنامه‌ریزی با و یا عدم در نظر گرفتن قابلیت اطمینان دسته‌بندی می‌شود که هر حالت خود به‌نوعی روی هزینه‌های برنامه‌ریزی تأثیرگذار می‌باشد. سطح دوم؛ لحاظ و عدم لحاظ نمودن عدم قطعیت می‌باشد که در روش‌های حل پیشین عدم قطعیت تنها در مورد پیش‌بینی بار مورد تقاضای مشتریان براساس رشد بار سالیانه مدل می‌کردند که در مدل‌های اخیر علاوه بر بارها، عدم قطعیت را هم در مورد هزینه، نرخ تورم و بهره در نظر

می گیرند. در سطح سوم؛ نوع فرمول بندی تابع هدف مسئله برنامه ریزی و روش های حل می باشد که قبلاً به صورت مفصل بیان شد [۴۱].

امروزه با توجه به نیاز روزافزون جوامع بشری به انرژی و پیشرفت های تازه ای که در زمینه منابع DG شده است، شاهد رشد استفاده از این منابع در سیستم قدرت هستیم. واحدهای تولید DG به دلیل هزینه ی نصب و راه اندازی کم، بدون آلاینده بودن و قابلیت اطمینان بالایی که این واحدها برای مشترکان توان الکتریکی فراهم کرده اند، جهت توسعه و هوشمندسازی شبکه به صورت گسترده استفاده می شوند. روش ها و الگوریتم های متنوعی برای پیدا کردن بهترین مکان، تعداد، ظرفیت و زمان نصب آنها وجود دارد تا حداکثر مطلوبیت حاصل شود. در شبکه های بزرگ، استفاده از روش شبیه سازی مونت کارلو<sup>۱</sup> باعث افزایش محاسبات و زمان حل می شود که توسعه ی روش های تحلیلی در این زمینه راهگشا می باشد [۱۷-۱۳].

مرجع [۵]، مسئله ی DEP و جایابی DG در حضور عدم قطعیت حل کرده است. برای این منظور عدم قطعیت را در مورد بار و هزینه، به عنوان تابع چگالی احتمال مدل کرده و از شبیه سازی مونت کارلو برای عدم قطعیت و برای حل مسئله برنامه ریزی از الگوریتم تجمع ذرات استفاده کرده است.

مرجع [۶]، یک مدل سود جدید برای برنامه ریزی توسعه شبکه توزیع به صورت چند مرحله ای بیان می کند. در مدل پیشنهادی، از برخی امکانات و تجهیزات سیستم اتوماسیون توزیع برای رسیدن به طرحی که بیشتر با شبکه توزیع هوشمند سازگار می باشد، استفاده می کند. همچنین طرحی برای ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه در مطالعات برنامه ریزی پیشنهاد کرده است. در این مرجع برای حل تابع هدف مسئله برنامه ریزی از الگوریتم ژنتیک نیز استفاده شده است. توابع مدنظر در بخش سیستم اتوماسیون شامل کنترل خودکار ولتاژ، مدیریت خودکار خطا، تخمین فاصله خطا و دستگاه های اندازه گیری خودکار می باشد.

<sup>۱</sup> Monte-Carlo Simulation (MCS)

مرجع [۱۶]، یک مدل برنامه‌ریزی با در نظر گرفتن گزینه‌های DG و مسائل فنی و اقتصادی پیشنهاد می‌کند. مدل پیشنهادی به‌طور هم‌زمان، دو هدف هزینه کل و میزان رضایت‌مندی توسط مکان‌یابی، اندازه و زمان نصب DG یا تقویت شبکه در یک دوره مشخص از برنامه‌ریزی دنبال می‌کند. و یک روش ابتکاری کارآمد برای یافتن راه‌حل‌های غیرمعقول فرمول‌بندی شده و نیز از یک روش رضایت‌مندی فازی برای حل مسئله استفاده کرده است.

مرجع [۱۷]، یک مدل دینامیکی برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه توزیع با در نظر گرفتن واحدهای DG بیان می‌کند. مدل بیان شده هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری سیستم توزیع را بهینه می‌کند. همچنین در این مدل مکان و اندازه واحدهای DG با یک استراتژی مشخص برای تقویت فیدرهای شبکه تعیین می‌گردد. در این مرجع هزینه‌های سرمایه‌گذاری شامل هزینه نصب DG و تقویت فیدر اولیه شبکه توزیع و نیز هزینه بهره‌برداری شامل تلفات انرژی، تعمیرات و نگهداری تجهیزات و خرید توان از شبکه بالا دستی می‌باشد. برای حل مسئله برنامه‌ریزی از یک روش ابتکاری اصلاح شده بهره گرفته است.

مرجع [۱۹]، مسئله برنامه‌ریزی توسعه برای شبکه توزیع را شامل تعیین ظرفیت، مکان و زمان نصب تجهیزات جدید پست، تعیین مسیر فیدر، افت ولتاژ و پیش‌بینی بار مورد تقاضا دانسته است. در ابتدا این مسئله را به روش ساده با استفاده از برنامه‌ریزی استاتیکی با یک افق زمانی ثابت حل کرده است که روند این کار در یک فرمول‌بندی تک مرحله‌ای برای مسئله بیان شده است که عموماً به‌عنوان برنامه‌ریزی کوتاه مدت شناخته می‌شوند. در مرحله بعد با لحاظ عدم قطعیت در پیش‌بینی بار، تلاش برای افزایش افق برنامه‌ریزی کرده است. برای همین منظور مسئله را به صورت چند مرحله‌ای فرمول‌بندی کرده است.

در مراجع [۲]، [۱۵]، [۴۵] و [۴۶] تعیین مکان و اندازه‌ی مناسب واحدهای DG در سیستم‌های توزیع به‌منظور کاهش تلفات خط، بهبود ضریب منفعت‌پذیری، کاهش تلفات توان راکتیو در محدوده‌ی ولتاژ قابل قبول و افزایش سطح قابلیت اطمینان، مورد بررسی قرار گرفته است.

در مرجع [۳۷]، دو سطح ولتاژ MV/HV بیان شده است که ولتاژ سطح فیدر را MV در نظر گرفته است. از واحدهای DG و واحدهای ذخیره‌ساز به‌عنوان راه حل مناسب جهت حل مسئله برنامه‌ریزی شبکه توزیع بهره گرفته است. و همچنین سه سطح بار متغیر و تعدادی استراتژی برای واحدهای DG و بهره‌برداری از واحدهای ذخیره‌ساز پیشنهاد کرده است. جهت حل مسئله برنامه‌ریزی الگوریتم PSO اصلاح شده را به کار گرفته است که نتایج عددی هر کدام از حالت‌های مورد مطالعه اعم از قابلیت اطمینان و هم از لحاظ اقتصادی شبکه توزیع را بهبود داده است.

در مرجع [۴۶]، یک معیار حساسیت تلفات مبتنی بر تزریق جریان معادل، جهت تعیین ظرفیت، اندازه و مکان واحدهای DG، در برنامه‌ریزی سیستم توزیع فرمول‌بندی و استفاده شده است. به‌گونه‌ای که مجموع تلفات توان با استفاده از یک روش تحلیلی (ماتریس امپدانس یا ماتریس ژاکوبین) کمینه شود. مرجع [۴۷]، به‌طور خلاصه مسائل و مدل‌های برنامه‌ریزی سیستم توزیع تحت شرایط نرمال<sup>۱</sup> و اضطراری<sup>۲</sup> را بررسی کرده است و همچنین برنامه‌ریزی سیستم توزیع را به تعیین مکان بهینه پست‌ها، مکان بهینه فیدرها با لحاظ قوانین جریان و ولتاژ، قابلیت اطمینان فیدر، ظرفیت نرمال پست‌ها، افت ولتاژ مجاز فیدر و ... تقسیم‌بندی کرده است.

مرجع [۴۰]، برای تعیین مکان، اندازه و تخصیص بهینه واحدهای DG در شبکه توزیع از الگوریتم اجتماع زنبورعسل مصنوعی استفاده کرده است. در حقیقت در این مقاله در نحوه‌ی جستجوی همسایگی زنبورعسل اصلاح شده است. الگوریتم ABC یک روش جدید فرا ابتکاری مبتنی بر جمعیت بهینه‌سازی با الهام از رفتار تغذیه هوشمند از ازدحام زنبورعسل است. الگوریتم پیشنهادی روی سیستم IEEE 33-bus و IEEE 69-bus مورد بررسی قرار گرفته و نتایج به‌دست آمده توسط این الگوریتم با روش‌های دیگر مقایسه شده است. نتایج بررسی شده نشان می‌دهد که الگوریتم ABC اصلاح شده بسیار عالی می‌باشد.

---

<sup>1</sup> Normal Condition

<sup>2</sup> Emergency Condition

در واقع کارهایی که بررسی و نیز مقالاتی که در قسمت‌های قبل مورد واکاوی قرار گرفت تمامی برای حل مسئله برنامه‌ریزی و جاییابی واحدهای DG از روش‌های ریاضی، ابتکاری و فوق‌ابتکاری بهره گرفته‌اند.





فصل ۳ ارائه مدل جامع پیشنهادی برای برنامه ریزی شبکه توزیع  
با در نظر گرفتن DG

## ۳-۱- مقدمه

سیستم قدرت متداول که متشکل از ژنراتورها، خطوط انتقال و نهایتاً خطوط توزیع می باشد سال ها مورد استفاده قرار گرفته است. اما اخیراً این سیستم قدرت با توجه به تنوع تولید کننده های آن از جمله انرژی هسته ای، زمین گرمایی، برق آبی و ... که به کمک تولید کننده های متداول آمده اند که دارای گستردگی بیشتر سیستم قدرت شده است. اما در قرن ۲۱ با توجه به کمبود سوخت فسیلی و آلاینده های زیست محیطی بسیار زیاد آن ها و هم چنین اهمیت بهره وری اقتصادی، استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر بسیار اهمیت یافته است، به طوری که منابع انرژی تحت عنوان واحدهای DG در تولید توان، در سیستم قدرت نقش مهمی ایفا کرده اند. در سیستم قدرت، شبکه توزیع به دلیل آنچه در فصل قبل بیان شد از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا برنامه ریزی صحیح در این حوزه، تأثیر به سزایی در هزینه سرمایه گذاری و بهره برداری دیگر بخش ها خواهد گذاشت.

با توجه به این که بخش عمده و قابل توجهی از هزینه های برنامه ریزی توسعه را احداث فیدها و تلفات وابسته به آن ها تشکیل می دهد و همچنین افت ولتاژ نیز وابسته به طول فیدری است که برای تغذیه بار مورد نظر انتخاب می شود، بنابراین نیازمند توجه بیشتر به این بخش با اعمال راه کارهای اصولی و صحیح در کاهش هزینه ها می باشد. یکی از راه کارها؛ به کارگیری واحدهای DG می باشد که با توجه به مزایایی که دارند می توانند مفید واقع شوند. در این فصل به بیان روش حلی برای برنامه ریزی توسعه شبکه توزیع با در نظر گرفتن واحدهای DG پرداخته شده و تأثیر واحدهای DG بر هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری، تلفات و پروفیل ولتاژ بررسی خواهد شد. در بخش های مختلف به تشریح فرمول بندی تابع هدف، قیود فنی و ریاضی مسئله، روند انتخاب نوع فیدر مناسب، نحوه حل پخش بار و روش بهینه سازی مسئله برنامه ریزی پرداخته می شود.

### ۳-۲- مدل ارائه شده برای مسئله برنامه‌ریزی شبکه توزیع

با توجه به تقسیم‌بندی سیستم توزیع به بخش فشار متوسط و فشار ضعیف و این که بخش فشار ضعیف (۴۰۰ ولت) با مشترکان سروکار دارد و مشترکان مصرف توان الکتریکی مدام در حال تغییر هستند و نیز وجود انشعابات غیرمجاز در این بخش، امکان برنامه‌ریزی صحیحی وجود ندارد لذا برنامه‌ریزی شبکه توزیع در بخش فشار متوسط که با پست‌های فوق توزیع در ارتباط هستند انجام می‌شود.

در واقع هدف تعیین مسیر و نوع فیدر مناسب و حوزه سرویس‌دهی پست‌ها نه مکان‌یابی پست‌ها می‌باشد. لذا برنامه‌ریزی شبکه توزیع نیازمند یک فرآیند بهینه‌سازی برای به دست آوردن تعداد متغیرهای طراحی و برنامه‌ریزی از جمله: ظرفیت توسعه یافته پست، تعداد فیدر و مسیرهای آن و نوع و اندازه کندانکتور<sup>۱</sup> هر شاخه می‌باشد. به طور معمولی یک سیستم توزیع از اجزای مختلفی از جمله پست فوق توزیع، فیدر و بار تشکیل شده است. در این بخش مدل‌سازی هرکدام از اجزا شبکه توزیع در زمینه برنامه‌ریزی بیان می‌شود لازم به ذکر هست که این کار، با برنامه‌ریزی سیستم اولیه (فشار متوسط) که رابط بین سیستم انتقال و سیستم ثانویه (فشار ضعیف) می‌باشد، صورت می‌پذیرد [۴۸].

### ۳-۲-۱ مدل‌سازی پست<sup>۲</sup>

پست فوق توزیع به عنوان منبع تغذیه‌کننده شبکه توزیع می‌باشد. گاهی اوقات، شبکه توزیع از دو پست متفاوت تغذیه می‌کند، که در این رویکرد از برنامه‌ریزی مورد توجه نیست و با توجه به بار مورد تقاضای شبکه یا پست از لحاظ ظرفیت توسعه و یا از پست جدیدی استفاده می‌شود. هر پست متشکل از ترانسفورماتور توزیع اولیه، سوئیچر و چندین بریکر و تجهیزات حفاظتی می‌باشد. علاوه بر این، ممکن است به تنظیم‌کننده ولتاژ و بانک خازنی تجهیز باشد. در برنامه‌ریزی شبکه توزیع، مدل‌سازی یک پست به طور اساسی شامل تعیین مکان و اندازه بهینه آن می‌باشد که در حل بیشتر مسائل DEP، مکان پست‌ها جزء متغیرهای بهینه‌سازی لحاظ نمی‌گردد. بنابراین، فقط اندازه بهینه و توسعه آن‌ها با توجه به رشد بار،

<sup>۱</sup> Conductor

<sup>۲</sup> Substation Modeling

لحاظ می‌گردد. این کار توسط بهینه کردن هزینه نصب پست جدید و یا توسعه ظرفیت پست موجود تعیین می‌شود. لذا هزینه کل یک پست (پست نصب شده‌ی جدید و یا افزایش ظرفیت پست موجود) متشکل از هزینه نصب و یا هزینه اضافه کردن ظرفیت پست (شامل خرید ترانسفورماتور، بریکر و تجهیزات حفاظتی و دسترسی) می‌باشد. سطح ولتاژ پست توسط برنامه‌ریز سیستم و ولتاژ مرجعی که در برنامه‌ریزی استفاده می‌شود، تعیین می‌گردد.

### ۳-۲-۳ مدل‌سازی فیدر<sup>۱</sup>

یک فیدر کار رساندن توان از یک پست به نقاط بار در شبکه توزیع را بر عهده دارد. از فیدرهای تکی و یا چندگانه در DEP استفاده می‌شود. اساساً مسیرهای فیدر و اندازه کنداکتور شاخه‌ها، توسط کمینه کردن هزینه نصب فیدر جدید و یا توسعه فیدر موجود به همراه هزینه تلفات، بهینه می‌شود. برای تعیین هزینه تلفات انرژی، تلفات توان در هر شاخه از فیدر، با به کارگیری پخش بار (در این تحقیق از روش پخش بار پیشرو-پسرو استفاده می‌شود)، محاسبه می‌گردد. برای محاسبه امپدانس هر شاخه از فیدر، از مقاومت و راکتانس کنداکتور استفاده شده در ساختار شاخه استفاده می‌شود. نوع و اندازه کنداکتور بهینه شاخه‌ای هر فیدر، از یک مجموعه‌ای که شامل نوع و اندازه‌های گوناگونی از کنداکتورها می‌باشد، تعیین می‌گردد.

### ۳-۲-۳ مدل‌سازی بار<sup>۲</sup>

بار یک گره از شبکه توزیع اولیه بیان‌گر بار تقاضا شده از ترانسفورماتور شبکه توزیع ثانویه متصل به گره می‌باشد. در واقع بار کل شبکه توزیع ثانویه از یک گره تغذیه می‌شود. اساساً بارها می‌توانند به صورت توان ثابت<sup>۳</sup>، جریان ثابت<sup>۴</sup> و امپدانس ثابت یا نمایی<sup>۵</sup> بیان شوند. بارهای نمایی ترکیبی از بارها متناسب با

<sup>۱</sup> Feeder Modeling

<sup>۲</sup> Load Modeling

<sup>۳</sup> Constant Power

<sup>۴</sup> Constant Current

<sup>۵</sup> Constant Impedance or Exponential

نوع بار مصرف کننده می باشد [۴۴]. در این رویکرد از برنامه ریزی، از بار سه فاز متعادل توان ثابت استفاده شده است.

### ۳-۲-۴ مدل سازی DG

با توجه به ریسک سرمایه گذاری کم و انعطاف پذیری، واحدهای DG می توانند به عنوان راه حلی ممکن در DEP، برای شرکت های توزیع استفاده شوند. افزودن منابع DG به گزینه های برنامه ریزی، چالش های در روند برنامه ریزی ایجاد می کند و دیگر روش برنامه ریزی مرسوم کارآیی ندارند و باید علاوه بر مدل پست، فیدر و بار، مدل واحدهای DG به عنوان یک آلترناتیو در DEP مورد توجه قرار گیرد [۵۰].

واحدهای DG به عنوان باس PQ منفی در هر قسمت از شبکه توزیع با ضریب توان پیش فاز ثابت مدل می شوند. این مدل اکثراً برای منابع تجدید ناپذیر (مانند توربین گازی و دیزل ژنراتور) صحیح و نیز این نوع به دلیل کوچک بودن واحدهای DG برای کنترل توان راکتیو مناسب می باشد. برای اطلاع بیشتر، بر اساس استاندارد IEEE 1547-2003، واحدهای DG باید همیشه در مُد<sup>۱</sup> PQ که با مقدار توان اکتیو و راکتیو با ضریب توان<sup>۲</sup> ثابت تعیین می شوند، مورد بهره برداری قرار گیرند. به عبارت دیگر، واحدهای DG در مُد PV بهره برداری نمی شوند، به طوری که دامنه ولتاژ نقطه اتصال مشترک<sup>۳</sup> از DG با شبکه توزیع ثابت نگه داشته می شود. دلیل آن که در برخی حالت ها، از DG در مُد PV بهره برداری می کنند آن است که می تواند با جریان نامتقارن<sup>۴</sup> توان راکتیو با توجه به نتایج فیدر شبکه توزیع در پروفیل ولتاژ، مقابله کند. در واقع از واحدهای DG به طور کلی برای کنترل ضریب توان، بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات شبکه استفاده که در اکثر کارهای مختلف به صورت بار PQ منفی مدل می شوند [۱۷].

<sup>۱</sup> Mode

<sup>۲</sup> Power Factor (PF)

<sup>۳</sup> Point of Common Coupling

<sup>۴</sup> Asymmetrical

## ۳-۳- فرمول بندی ریاضی مسئله برنامه ریزی شبکه توزیع

مسئله مورد بررسی تعیین اندازه بهینه پست‌ها و تعیین تعداد، نوع مسیر بهینه فیدرها باهدف کاهش هزینه‌ها و بهبود پارامترهای تلفات و پروفیل ولتاژ می‌باشد. به عبارت دیگر، تعیین متغیرهای تصمیم‌گیری جهت تجدید ساختار شبکه توزیع در حضور واحدهای DG به منظور کمینه کردن هزینه‌ها با لحاظ ملاحظات فنی و اقتصادی می‌باشد. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد در مدل ارائه شده واحدهای DG را به‌عنوان یک آلترناتیو در مسئله DEP، لحاظ شده تا به بهبود پارامترهای شبکه کمک کند.

## ۱-۳-۳ بیان و تشریح تابع هدف مسئله

در این بخش تابع هدف مدل برنامه ریزی فرمول بندی و متغیرهای تصمیم از جمله اندازه، ظرفیت و حوزه سرویس دهی پست، نوع و مسیر فیدر بیان می‌شود. فرمول بندی مسئله برنامه ریزی که یک مسئله MINLP می‌باشد، به صورت رابطه‌ی ذیل تعریف می‌شود [۵]، [۲۸] و [۴۳]:

$$\text{Min } CF = IC_{DEP} + OC_{DEP} \quad (1-3)$$

$CF$  هزینه کل طرح (برحسب \$)

$IC_{DEP}$  کل هزینه سرمایه‌گذاری طرح (\$)

$OC_{DEP}$  کل هزینه بهره‌برداری طرح (\$)

رابطه (۱-۳) تابع هدف مسئله برنامه ریزی توسعه شبکه<sup>۱</sup> را نشان می‌دهد که شامل دو جمله هزینه سرمایه‌گذاری ( $IC_{DEP}$ ) و هزینه بهره‌برداری ( $OC_{DEP}$ ) می‌باشد که به شرح هرکدام در ذیل خواهیم پرداخت:

$$IC_{DEP} = \sum_{i \in \Omega^{ss}} C_i^S + \sum_{ij \in \{\Omega^{sb}, \Omega^{sc}\}} C_{ij}^F(\rho\kappa) \cdot d_{ij} + \sum_{i \in \Omega^{sdg}} C_i^{DG} \quad (2-3)$$

$$d_{ij} = |x_j^l - x_i^l| + |y_j^l - y_i^l|, \forall ij \in \Omega^l \quad (3-3)$$

<sup>۱</sup> Distribution Expansion Planning (DEP)

رابطه (۳-۳) فاصله بین دو نقطه بار ( $i-j$ ) برای تعیین طول فیدر را بیان می کند [۲۱] و [۲۸].  
که در آن:

|                        |   |
|------------------------|---|
| $\Omega^{ss}$          | مجموعه پست ها ( موجود و پیشنهادی).                                  |
| $\Omega^l$             | مجموعه نقاط بار (در حوزه الکتریکی معین).                            |
| $\Omega^{dg}$          | مجموعه واحدهای DG انتخاب شده.                                       |
| $\Omega^{sb}$          | مجموعه شاخه های انتخاب شده ( موجود و پیشنهادی).                     |
| $\Omega^{sc}$          | مجموعه هادی های انتخاب شده .  |
| $\Omega^{sdg}$         | مجموعه واحدهای DG انتخاب شده .                                      |
| $C_h^l$                | هزینه پریونیت شده انرژی تلف شده در سال $h$ ام (\$/KWh).             |
| $d_{ij}$               | فاصله ی بین گره $i$ و $j$ بر حسب کیلومتر).                          |
| $\kappa\rho$           | نوع فیدر انتخاب شده.  |
| $X, Y$                 | مختصات جغرافیایی نقاط بار $i-j$ .                                   |
| $C_i^S$                | هزینه توسعه و نگهداری پست $i$ ام در افق برنامه ریزی (\$).           |
| $C_{ij}^F(\rho\kappa)$ | هزینه تقویت و ساخت فیدر نوع $\kappa\rho$ بین گره $i$ و $j$ (\$/Km). |
| $C_i^{dg}$             | هزینه احداث واحد DG، $i$ ام در افق برنامه ریزی (\$).                |

در رابطه (۳-۲)، جمله اول؛ مربوط به هزینه سرمایه گذاری برای پست های موجود شامل هزینه ی

ثابت برای آن پست می باشد. جمله دوم؛ هزینه سرمایه گذاری جهت احداث و تقویت فیدر و جمله سوم؛

هزینه نصب و احداث واحدهای DG می باشد.

$$OC_{DEP} = \sum_{h=1}^{n_y} PW^h \cdot \sum_{i \in \Omega^{SS}} \alpha \cdot C_h^l \left[ P_i^{iron} + P_i^{cu} \cdot \gamma \cdot \left( \frac{S_{ih}^S}{CS_i} \right)^2 \right] \quad (۴-۳)$$

$$+ \sum_{h=1}^{n_y} PW^h \cdot \left[ \sum_{ij \in \Omega^{sb}} \alpha \cdot \gamma \cdot C_h^l \cdot P_{ijh}^{loss} + \sum_{i \in DG} OC_i^{DG} \cdot P_{ih}^{DG} \right]$$

$$PW = \frac{1+Inf}{1+Int} \quad (۵-۳)$$

$$P_{ijh}^{loss} = r_{ijh} \cdot I_{ijh}^2 \quad (۶-۳)$$

رابطه (۵-۳) ارزش فعلی هزینه‌ها را نسبت به نرخ بهره و تورم موجود بیان می‌کند [۲۱]، [۲۸] و [۴۳].

که در آن:

$n_y$  تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی (سال).

$PW$  ضریب ارزش فعلی.

$Inf$  نرخ تورم.

$Int$  نرخ بهره.

$\alpha$  تعداد ساعات در یک سال (۸۷۶۰ ساعت).

$\gamma$  ضریب تلفات.

$\kappa$  ضریب بار.

$C_h^l$  هزینه پریونیت شده انرژی تلف شده در سال  $h$  ام (\$/KWh).

$P_i^{cu}$  تلفات مسی پست  $i$  ام در بارگذاری مجاز (KW).

$P_i^{iron}$  تلفات آهنی پست  $i$  ام در بارگذاری مجاز (KW).

$S_{ih}^S$  کل توان ظاهری ارائه شده توسط پست در نقطه  $i$  در سال  $h$  ام (MVA).

$CS_i$  ظرفیت انتخاب شده از پست  $i$  ام (MVA).

$P_{ijh}^{loss}$  تلفات مسی فیدر نصب شده بین نقاط  $i$  و  $j$  در سال  $h$  ام (KW).

$I_{ijh}$  جریان عبوری از طریق فیدر  $i$ - $j$  در سال  $h$  ام (A).



$r_{ij}$  مقاومت بر طول فیدر فیدر ایجاد شده بین گره  $i$  و  $j$  ( $\Omega/\text{Km}$ ).

در رابطه (۳-۴)، جمله اول؛ مربوط به هزینه بهره‌برداری از پست می‌باشد که در آن با توجه به میزان ظرفیت استفاده شده، تلفات آهنی ترانسفورماتور (در حالت بی‌باری) و تلفات مسی (در حالت بارداری) با اعمال ضریبی برای آن‌ها لحاظ شده است. جمله دوم؛ هزینه بهره‌برداری از فیدر که با توجه به تلفات مسی فیدر مدل و محاسبه می‌شود. و جمله سوم؛ هزینه بهره‌برداری از واحد DG که با میزان ظرفیت توان استفاده شده مدل می‌شود.

### ۳-۳-۲ قیود مسئله

در واقع حل مسئله DEP، مستلزم رعایت یکسری ملاحظات فنی و اقتصادی می‌باشد تا در روند برنامه‌ریزی خلالی ایجاد نشود و بهترین راه حل حاصل شود. لذا برخی قیودی که برای حل تابع هدف معرفی شده باید لحاظ گردد که به شرح ذیل بیان می‌شود [۶-۲]، [۲۱]، [۲۸]، [۴۳] و [۵۰]:

#### (۱) قید تعادل توان جهت تغذیه بار $i$ ام در سال $h$ ام:

با توجه به این که حل مسئله با تکرار الگوریتم انجام می‌شود تا بهترین راه حل به دست آید لذا در هر تکرار باید بررسی شود که آیا بار موجود در نقطه  $i$  ام در سال  $h$  ام تغذیه شده است که پست‌ها حداقل به اندازه مجموع توان مصرفی بار و تلفات، توان داشته باشد، داریم [۲]:

$$P_{ih} = V_{ih} \sum_{j \in \Omega^n} V_{jh} \cdot [G_{ij} \cdot \cos \theta_{ij} + B_{ij} \cdot \sin \theta_{ij}], \forall i \in \Omega^n \quad (۷-۳)$$

$$Q_{ih} = V_{ih} \sum_{j \in \Omega^n} V_{jh} \cdot [G_{ij} \cdot \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cdot \cos \theta_{ij}], \forall i \in \Omega^n \quad (۸-۳)$$

$$P_{ih} - P_{ih}^S + P_{ih}^D = 0, \forall i \in \Omega^n, h = \{1, 2, 3, \dots, n_y\} \quad ۹-۳)$$

$$Q_{ih} - Q_{ih}^S + Q_{ih}^D = 0, \forall i \in \Omega^n, h = \{1, 2, 3, \dots, n_y\} \quad (10-3)$$

که در آن‌ها:

$$\begin{aligned}
 & Q_{ih} \cdot P_{ih} \quad \text{توان اکتیو / راکتیو محاسبه شده در گره } i \text{ در سال } h \text{ ام.} \\
 & P_{ih}^S \quad \text{کل توان اکتیو ارائه شده توسط پست در نقطه } i \text{ در سال } h \text{ ام (MW).} \\
 & Q_{ih}^S \quad \text{کل توان راکتیو ارائه شده توسط پست در نقطه } i \text{ در سال } h \text{ ام (MVar).} \\
 & S_{ih}^S \quad \text{کل توان ظاهری ارائه شده توسط پست در نقطه } i \text{ در سال } h \text{ ام (MVA).} \\
 & CS_i \quad \text{ظرفیت انتخاب شده از پست } i \text{ ام (MVA).} \\
 & P_{ih}^D \quad \text{کل توان اکتیو مورد تقاضا بار در نقطه } i \text{ در سال } h \text{ ام (MW).} \\
 & Q_{ih}^D \quad \text{کل توان راکتیو مورد تقاضا بار در نقطه } i \text{ در سال } h \text{ ام (MVar).} \\
 & S_{ih}^D \quad \text{کل توان ظاهری مورد تقاضا بار در نقطه } i \text{ در سال } h \text{ ام (MVA).} \\
 & B_{ij}, G_{ij} \quad \text{ماتریس سوسپتانس و کنداکتانس عناصر.}
 \end{aligned}$$

## ۲) حداکثر بارگذاری مجاز پست:

معمولاً پست‌ها با توجه به شرایط فنی و دلیل رعایت قابلیت اطمینان، پست‌های شبکه در مقداری کم‌تر از ظرفیت نامی بارگذاری می‌شوند که عموماً با ۷۰ درصد ظرفیت نامی خود بارگذاری انجام می‌شوند. محدوده مجاز به صورت ریاضی توسط رابطه‌ی (۱۱-۳) تعریف می‌شود.

$$\underline{\varphi} \leq \frac{S_{ih}^S}{CS_i} \leq \bar{\varphi}, \forall i \in \Omega_{SS}, h = \{1, 2, 3, \dots, n_y\} \quad (11-3)$$

که در آن:

$$\begin{aligned}
 & S_{ih}^S \quad \text{کل توان ظاهری ارائه شده توسط پست در نقطه } i \text{ در سال } h \text{ ام (MVA).} \\
 & CS_i \quad \text{ظرفیت انتخاب شده از پست } i \text{ ام (MVA).} \\
 & \underline{\varphi}, \bar{\varphi} \quad \text{به ترتیب از چپ حداقل، حداکثر درصد مجاز بارگذاری پست.}
 \end{aligned}$$

### ۳) حداکثر افت ولتاژ مجاز:

در برنامه ریزی، تغذیه مناسب و قابل اطمینان مشترکان باکیفیت ولتاژ مناسب و همچنین برای جلوگیری از طولانی تر شدن فیدرهای فشار متوسط مستلزم رعایت محدودیت افت ولتاژ در نقاط بار می باشد. لذا می توان گفت:

$$|V_{ih} - V_0| \leq \Delta V_{max}, \forall i \in \Omega^n, h = \{1, 2, 3, \dots, n_y\} \quad (12-3)$$

که در آن:

$\Delta V_{max}$  ماکزیمم افت ولتاژ.

$V_0$  دامنه ولتاژ نامی (V).

$V_{ih}$  ولتاژ نقطه  $i$  ام در سال  $h$  ام.

### ۴) حداکثر جریان عبوری مجاز از فیدر (حد حرارتی):

در مسئله میزان جریان عبور از هر فیدر باید با توجه به حداکثر جریان عبوری از فیدر (حد حرارتی فیدر) مورد توجه قرار گیرد. با عبور جریان بیش از حد از فیدر، باعث صدمه به خود فیدر و دیگر قسمت های شبکه می شود. این قید را به صورت ریاضی با رابطه (۱۳-۳) بیان می شود.

$$|I_{ijh}| \leq I_{\rho k}^{max}, \forall ij \in \Omega_{sb}, h = \{1, 2, 3, \dots, n_y\} \quad (13-3)$$

که در آن:

$I_{ijh}$  جریان عبوری از طریق فیدر  $i$ - $j$  در سال  $h$  ام (A).

$I_{\rho k}^{max}$  ماکزیمم جریان مجاز عبوری از فیدر نوع  $\rho k$  (A).

### ۵) حداکثر بارگذاری مجاز واحد DG:

واحدهای DG می توانند در محدوده ی مجاز باتوجه به حداکثر توانی که برای آن ها مشخص می شود بارگذاری شوند. معمولاً به صورت گسسته و پله ای توان آن ها تغییر می کند.

$$S_{ih}^{DG} \leq S_{i-cap}^{DG}, \forall i \in \Omega_{sdg}, h = \{1, 2, 3, \dots, n_y\} \quad (14-3)$$

که در آن:

$$S_{ih}^{DG} \quad \text{ظرفیت مجاز بارگذاری واحد } i \text{ DG} \text{ در سال } h \text{ ام (KWh).}$$

$$S_{i-cap}^{DG} \quad \text{حداکثر ظرفیت تولیدی واحد } i \text{ DG} \text{ در سال } h \text{ ام (KWh).}$$

### ۶ حفظ حالت شعاعی بودن شبکه:

تغذیه تمامی نقاط بار یکی از قیود مهم و اساسی در طراحی و توسعه‌ی برنامه‌ریزی شبکه توزیع به حساب می‌آید. علاوه بر این، باید هر نقطه بار تنها از یک پست تغذیه گردد که قید شعاعی بودن شبکه را هم در بگیرد. لذا تعداد نقاط بار با تعداد شاخه‌ها شبکه برابر می‌باشد. این قید را می‌توان به صورت ذیل مدل و بیان کرد:

$$|\Omega^{sb}| = |\Omega_l|, \forall i \in \Omega_l \quad (15-3)$$

$$\sum_{j \in \Omega^n} \zeta_{ij} = 1, \forall i \in \Omega_l \quad (16-3)$$

که در آن:

$$\Omega^{sb} \quad \text{مجموعه شاخه‌های انتخاب شده (وجود و پیشنهادی).}$$

$$\Omega^l \quad \text{مجموعه نقاط بار (در حوزه الکتریکی).}$$

$$\zeta_{ij} \quad \text{متغیر تصمیم‌گیری دودویی معادل ۱ است، اگر پست } i \text{ ام نقطه بار } j \text{ ام را در شرایط نرمال}$$

بهره‌برداری، تغذیه کند؛ در غیر این صورت، صفر می‌باشد.

با توجه به اینکه شبکه توزیع از یک سو تغذیه می‌شود، لذا بیشتر به صورت یک شبکه شعاعی مدل می‌شود و نیز نحوه پخش بار آن با شبکه حلقوی متفاوت است. باید این به‌عنوان یک محدودیت مدنظر

باشد و در هر مرحله از الگوریتم حل تابع هدف، باید این قید بررسی شود که معمولاً با متغیر تصمیم‌گیری باینری این کار صورت می‌گیرد که یک بودن مقدار متغیر به معنای حفظ حالت شعاعی شبکه و صفر بودن مقدار متغیر به معنای اینکه شبکه شعاعی نیست حال یا یک حلقه به وجود آمده یا این که باری تغذیه نشده است. که این حالت به عنوان خطا تشخیص داده می‌شود و فرآیند محاسبه متوقف و باید شبکه از لحاظ شعاعی بودن دوباره چک شود

### ۳-۴- نحوه انتخاب نوع فیدر

در فرآیند برنامه‌ریزی، به منظور حل دقیق، دستیابی به بهترین مسیر فیدر، کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری شبکه و همچنین مدنظر داشتن ملاحظات فنی شبکه، به انتخاب نوع فیدر نگاه ویژه‌ای شده است. به طوری که انتخاب صحیح نوع فیدر می‌تواند درافت و لتاژ و حد حرارتی فیدر در طی برنامه‌ریزی تأثیرگذار باشد و به کاهش هزینه‌ها منجر بشود. مسلماً باید انتخاب نوع فیدر براساس کمینه کردن هزینه‌های احداث فیدر یا افزایش ظرفیت آن باشد. هزینه کل احداث یک فیدر از نوع  $\kappa\rho$  برابر با [۴۹]:

$$C_{Feeder}^{total}(\rho\kappa) = IC^{Feeder}(\rho\kappa) + OC^{Feeder}(\rho\kappa) \quad (17-3)$$

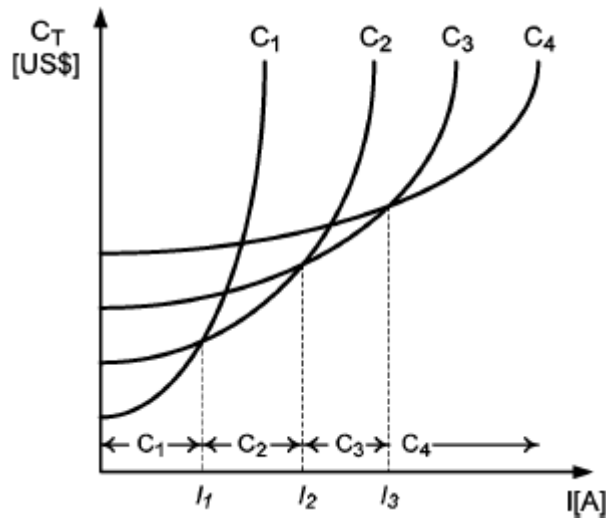
که در آن:

$$IC^{Feeder}(\kappa\rho) \quad \text{هزینه سرمایه‌گذاری برای فیدر نوع } \kappa\rho$$

$$OC^{Feeder}(\kappa\rho) \quad \text{هزینه بهره‌برداری از فیدر نوع } \kappa\rho$$

در مرجع [۴۹]، منحنی هزینه فیدر به صورت تابعی از جریان انواع فیدر مختلف رسم شده است که

در شکل (۱-۳) دیده می‌شود.



شکل ۳-۱: منحنی هزینه - جریان چهار نوع فیدر متفاوت [۴۹]

این شکل تغییرات هزینه بر حسب جریان را برای چهار نوع فیدر مختلف ( $C_1, C_2, C_3, C_4$ ) نشان می‌دهد که هزینه فیدر با مربع جریان عبوری از آن متناسب است که باید با توجه به جریان عبوری از فیدر و منحنی شکل (۳-۱) بهترین نوع فیدر انتخاب شود. برای مثال اگر جریان عبوری از شاخه‌ای بین  $I_1$  و  $I_2$  باشد، مناسب‌ترین نوع فیدر، نوع  $C_2$  می‌باشد چون که نسبت به  $C_1$  کمترین هزینه را دارد.

در این تحقیق علاوه بر قید مذکور، نیز برای انتخاب نوع فیدر اولیه که برای شروع حل مسئله نیاز است، درجه هر نقطه را هم در نظر شده است که در سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند:

- گره‌هایی با درجه ۱: که فیدر نوع ۱ انتخاب می‌شود.
- گره‌های متصل به پست و درجه بیشتر از ۱: فیدر نوع ۲ انتخاب می‌شود.
- گره‌های متصل به پست و درجه ۱: فیدر نوع ۳ انتخاب می‌شود.

درجه هر گره  $i$  برابر تعداد شاخه‌ای است که در هر گراف به گره  $i$  متصل می‌باشد.

### ۳-۵- پخش بار در شبکه توزیع

اساساً مطالعات پخش بار به منظور تعیین شرایط بهره برداری دائمی از یک سیستم قدرت دارد. که بیشتر اوقات مورد مطالعه شرکت های توزیع قرار می گیرد و آن ها برای برنامه ریزی سیستم قدرت، بهره برداری، بهینه سازی و کنترل مراحل طراحی از این ابزار استفاده می کنند. آنالیز پخش بار برای چک کردن پروفیل ولتاژ در محدوده مورد انتظار و همچنین اصلاح و تنظیم آن به منظور کاهش تلفات سیستم، استفاده می شود. علاوه بر این، از پخش بار به طور غیرمستقیم در برخی مسائل به عنوان یک زیر مسئله جهت تعیین دامنه ولتاژ باس ها، توان اکتیو و راکتیو و نیز جریان خطوط و توان تلفاتی انتقال یافته، استفاده می شود.

در گذشته از روش های متفاوتی برای محاسبه و تعیین موارد مذکور بهره می گرفتند که در فصل قبل با توجه به نوع شبکه (حلقوی یا شعاعی و نیز نسبت X/R) بیان شد. در واقع ما با توجه به این که زمینه کاری تحقیق، برنامه ریزی شبکه توزیع است و این شبکه در دسته ی شبکه های شعاعی قرار می گیرد و برای حل این مسئله که تابع هدف و قیود آن در بخش اول فصل مدل و معرفی شد، نیازمند محاسبه ی پارامترهای شبکه در فرآیند حل مسئله است، لذا از پخش بار پیشرو - پسرو به عنوان یک زیر برنامه جهت محاسبه موارد خواسته شده در تابع هدف، هم زمان با حل مسئله استفاده می شود.

همان طور که بیان شد قرار بر این است که از پخش بار به عنوان ابزار و به صورت یک زیر برنامه در برنامه ریزی توسعه شبکه توزیع استفاده شود. مسلماً اجرای پخش بار نیازمند یک سری استراتژی هایی جهت ایجاد شبکه با ساختار شعاعی به منظور حل پخش بار به عنوان یک زیر مسئله می باشد. آن ها را می توان به صورت ذیل برشمرد:

- ایجاد ساختار شبکه با توجه به جمعیت اولیه الگوریتم
- بررسی اتصالات شبکه از لحاظ پست و فیدر با توجه به ماتریس مجاورت شبکه
- تعریف پارامترهای ورودی برای پخش بار

- رسم گراف شبکه (از روش درخت پوشای مینیم)
- درنهایت حل مسئله پخش بار و به دست آوردن پارامترهای لازم

### ۳-۶- بیان روش بهینه‌سازی جهت حل مسئله برنامه‌ریزی شبکه توزیع

روش‌های ریاضی، ابتکاری و فوق ابتکاری گوناگونی در فصل قبل بیان و کاربرد آن‌ها در حل مسائل مختلف ارائه شد. با توجه به این که مسئله DEP، یک مسئله MINLP و سخت می‌توان در نظر گرفت. لذا برخی مقالات برای تسهیل بخشیدن در حل مسئله برنامه‌ریزی، سعی در استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ابتکاری داشته‌اند، به طوری که تاجای ممکن سریع و راه حل به جواب بهینه نزدیک باشد.

برای حل مسئله DEP، در این تحقیق از الگوریتم ABC استفاده شده است. که دلایلی هم می‌توان برای انتخاب این نوع الگوریتم بهینه‌سازی نسبت به سایر الگوریتم‌ها برشمرد.

- این الگوریتم برای ۱۰۰ سیستم تست به کار برده شده است که در تمام سیستم‌های نسبت به دیگر الگوریتم‌ها کارایی بهتر و بهترین راه حل را پیشنهاد کرده است.
- چون که هدف تعیین نوع و مسیر بهینه فیدر است و این الگوریتم هم کارش کمینه کردن مسیر انتخاب و جستجوی غذا (نکتار) می‌باشد، لذا دارای همبستگی خوبی با هدف مدنظر دارد.

- وجود واحدهای DG در مدل ارائه شده: این الگوریتم برای سیستم‌هایی که DG دارند بهتر عمل می‌کند.

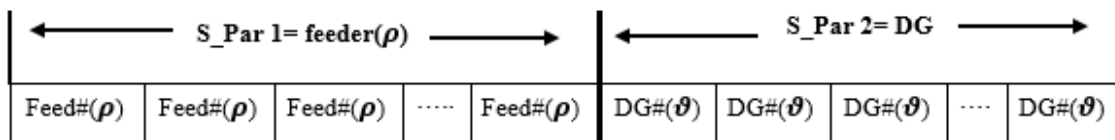
- در آنالیزهای بزرگ و اندازه‌گیری‌های استاتیکی بهتر عمل می‌کند.
- در کنترل پارامترها کارایی بالایی نسبت به دیگر روش‌ها دارد.
- و دیگر کارایی‌های این الگوریتم که در مرجع [۳۹]، بیان شده است.

و همچنین به دلیل این که از این الگوریتم کم‌تر در حل مسائل برنامه‌ریزی استفاده شده بود، و با توجه به این که مبتنی بر هوش مصنوعی می‌باشد کارایی آن در برنامه‌ریزی سیستم قدرت نشان داده شود.



## ۳-۶-۱ ساختار و نحوه بهینه‌سازی مدل جامع پیشنهادی ارائه شده

به منظور حل مسئله DEP، نیاز به یک ساختار اولیه برای شکل دهی مقدار اولیه از الگوریتم است. لذا با توجه به اینکه چهار نوع فیدر برای هر مسیر از تغذیه نقاط بار و نیز چهار ظرفیت برای واحدهای تولید پراکنده مدنظر می‌باشد، یک رشته از ساختار را می‌توان به صورت ذیل بیان کرد که قسمت اول از رشته مربوط به ساختار فیدر که با S\_Par ۱ و قسمت دوم مربوط به ساختار و نحوه مدل واحدهای تولید پراکنده در شبکه مورد مطالعه است که با S\_Par 2، بیان شده است.



شکل ۳-۲: ساختار اولیه داده‌های مربوط به روش حل

در S\_Par 1 برای هر عنصر از رشته‌ی آن با توجه به نوع هادی استفاده شده، پنج حالت و در S\_Par 2 برای هر عنصر از رشته‌ی آن با توجه به ظرفیت DG انتخاب شده چهار حالت وجود دارد. در شکل (۳-۲)،  $Feed\#(\rho)$ ، شماره و نوع فیدر انتخاب شده بین دو گره  $i$  و  $j$  شبکه را نمایش می‌دهد در حالی که  $DG\#(\theta)$ ، شماره و ظرفیت انتخاب شده از DG نصب شده در گره  $i$  را نشان می‌دهد. همچنین طول رشته مربوط به فیدر و واحدهای تولید پراکنده با توجه به تعداد فیدر پیشنهادی و تعداد DG در نظر گرفته شده در شبکه مورد مطالعه تعیین می‌گردد که در این مطالعه شبکه نمونه ۱۶۲ فیدر و ۱۳ DG در نظر گرفته شده است. که مطابق جداول ذیل بیان می‌شوند:

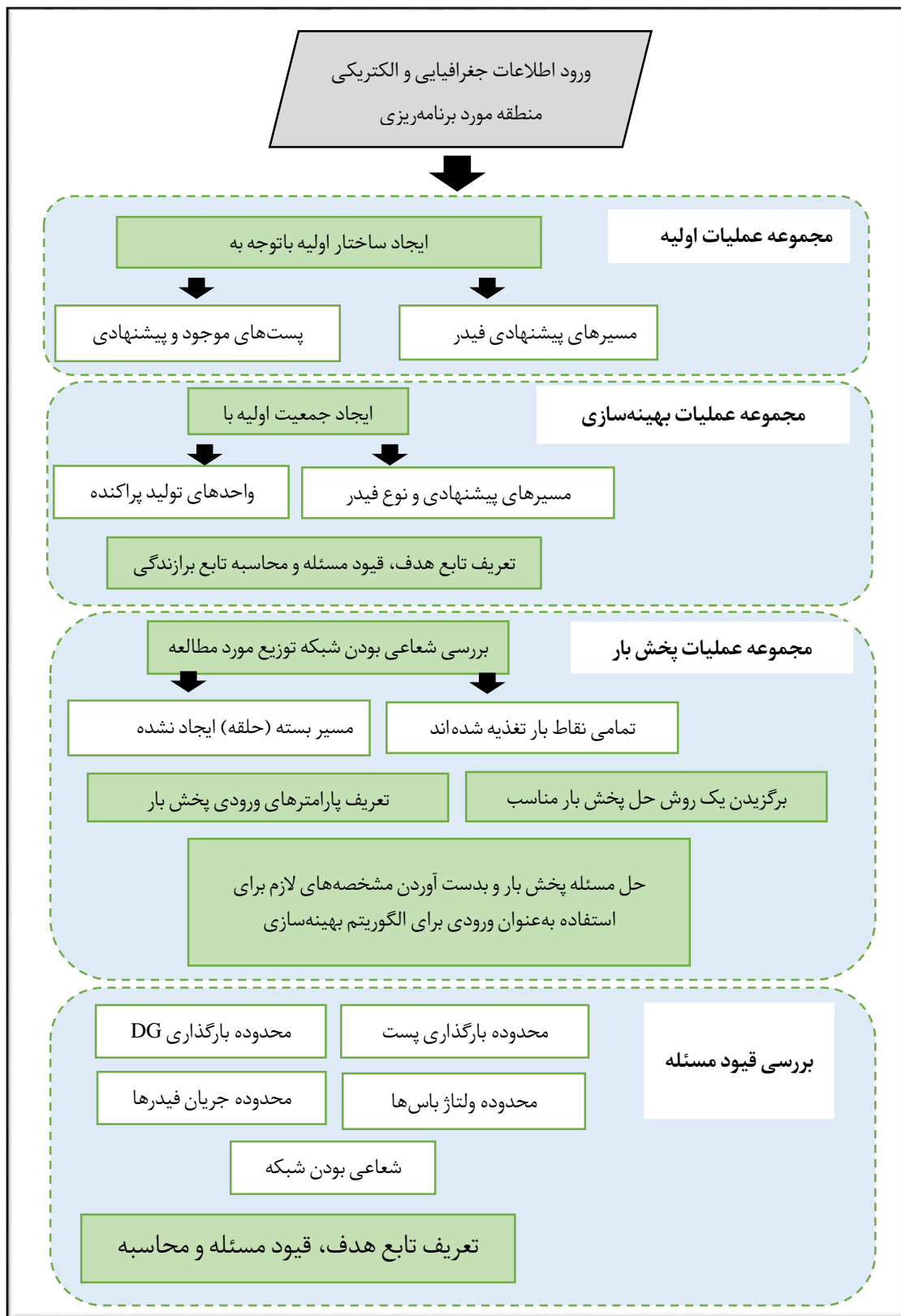
جدول ۳-۱ - شاخص انتخاب فیدر با توجه نوع هادی

| ردیف | نوع حالت | شاخص مربوطه                   |
|------|----------|-------------------------------|
| 1    | 0        | عدم انتخاب فیدر               |
| 2    | 1        | فیدر انتخاب شده با هادی نوع ۱ |
| 3    | 2        | فیدر انتخاب شده با هادی نوع ۲ |
| 4    | 3        | فیدر انتخاب شده با هادی نوع ۳ |
| 5    | 4        | فیدر انتخاب شده با هادی نوع ۴ |

جدول ۳-۲- شاخص انتخاب DG با توجه به ظرفیت موجود

| ردیف | نوع حالت | شاخص موبوطه                  |
|------|----------|------------------------------|
| 1    | 0        | عدم وجود DG                  |
| 2    | 1        | وجود DG با ظرفیت $150^{KVA}$ |
| 3    | 2        | وجود DG با ظرفیت $300^{KVA}$ |
| 4    | 3        | وجود DG با ظرفیت $450^{KVA}$ |
| 5    | 4        | وجود DG با ظرفیت $600^{KVA}$ |

فرآیند حل مسئله برنامه ریزی، در تکرارهای مختلف از برنامه حل شده است و لذا پاسخ حل میانگین اجرا برنامه با تکرار مختلف می باشد. همچنین در این روش تا ۲۵۰۰ تکرار هم بررسی شده است. حال با مشخص شدن ساختار اولیه و بیان نحوه حل الگوریتم ABC در فصل سوم، می توان روش بهینه سازی حل را در فلوچارت ذیل خلاصه کرد:



شکل ۳-۳: بلوک دیاگرام مراحل کلی حل مسئله DEP



## فصل ۴ نتایج شبیه سازی روش پیشنهادی در برنامه ریزی شبکه توزیع

## ۴-۱- مقدمه

در این فصل، ابتدا به معرفی شبکه نمونه پرداخته می‌شود، سپس به حل مسئله برنامه‌ریزی توسعه شبکه توزیع در دو حالت با حضور و عدم حضور واحدهای DG توسط مدل ارائه شده در فصل سوم و نیز تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آن بر روی شبکه نمونه پرداخته خواهد شد. همچنین در حل و شبیه‌سازی مسئله فرضیاتی در روند برنامه‌ریزی در نظر گرفته شده است که در جدول (۴-۱) بیان شده است.

جدول ۴-۱- فرضیات و مقادیر ثابت در دوره برنامه‌ریزی

| مقدار | ثابت‌ها                      | مقدار | ثابت‌ها                                    |
|-------|------------------------------|-------|--|
| 5     | نرخ افت ولتاژ (%)            | 12    | ولتاژ شبکه (KVA)                           |
| 1     | مقیاس جغرافیایی (km)         | 0.75  | ضریب توان شبکه                             |
| 14    | نرخ بهره (%)                 | 0.85  | ضریب توان DG                               |
| 15    | نرخ تورم (%)                 | 150   | (KVA) سائز DG پایه                         |
| 10    | تعداد سال در افق مورد مطالعه | 75    | هزینه احداث DG_150kVA (\$10 <sup>3</sup> ) |
| 8760  | تعداد ساعات در هر دوره       | 7     | رشد بار (%)                                |
| 70    | درصد بارگذاری پست (%)        | 0.06  | هزینه انرژی تلف شده (\$)                   |
|       |                              | 0.36  | ضریب تلفات                                 |

شبیه‌سازی‌ها در محیط متلب (R2013a) با استفاده از سیستمی با مشخصات فنی، فرکانس کاری ۲/۶۶ گیگاهرتز، قدرت پردازندگی ۵ هسته اینتل (cpu) و حافظه‌ی (RAM) ۲ گیگابایت انجام شده است.

#### ۴-۲- معرفی شبکه نمونه

برای حل مسئله DEP و تحلیل نتایج آن مسلماً نیازمند شبکه‌ای می‌باشد که روی آن روش پیشنهادی ارائه شده اعمال شود لذا برای این منظور، شبکه نمونه ذیل را با مشخصات معین در این تحقیق بیان و استفاده می‌شود:

شبکه نمونه مورد مطالعه، ۵۶ گره دارا می‌باشد که شامل یک پست موجود در گره ۱، دو پست پیشنهادی در گره‌های ۵۵ و ۵۶ و نیز ۵۳ نقطه بار با مجموع بار ۳/۹۳ کیلوولت آمپر که مکان این نقاط با مشخصات جغرافیایی X-Y مشخص و سطح انتخاب و مورد مطالعه برای این سیستم 25\*25Km می‌باشد. اطلاعات نقاط بار در جدول (۴-۲) آورده و نیز برای این سیستم، چهار نوع فیدر با مقادیر مشخص در نظر گرفته شده است.

جدول ۴-۲- مشخصات نقاط بار شبکه مورد مطالعه [۴۴]

| شماره<br>نقاط | موقعیت |       | بار<br>(KVA) | شماره<br>نقاط | موقعیت |       | بار<br>(KVA) |
|---------------|--------|-------|--------------|---------------|--------|-------|--------------|
|               | X(Km)  | Y(Km) |              |               | X(Km)  | Y(Km) |              |
| ۲             | 1.00   | 2.00  | 45           | ۲۹            | 9.00   | 19.00 | 45           |
| ۳             | 2.00   | 15.00 | 45           | ۳۰            | 7.50   | 19.50 | 113.4        |
| ۴             | 3.00   | 4.00  | 45           | ۳۱            | 5.50   | 19.50 | 113.4        |
| ۵             | 4.00   | 12.00 | 90           | ۳۲            | 3.00   | 17.50 | 45           |
| ۶             | 5.00   | 11.50 | 113.4        | ۳۳            | 13.00  | 15.50 | 90           |
| ۷             | 6.00   | 10.00 | 113.4        | ۳۴            | 14.00  | 16.50 | 90           |
| ۸             | 7.00   | 7.00  | 90           | ۳۵            | 12.50  | 19.00 | 45           |
| ۹             | 1.50   | 5.50  | 45           | ۳۶            | 11.00  | 20.00 | 45           |
| ۱۰            | 11.50  | 13.50 | 28.8         | ۳۷            | 5.00   | 15.50 | 90           |
| ۱۱            | 7.50   | 17.50 | 28.8         | ۳۸            | 2.00   | 10.50 | 90           |
| ۱۲            | 8.50   | 15.50 | 45           | ۳۹            | 3.00   | 3.50  | 113.4        |
| ۱۳            | 12.50  | 10.50 | 90           | ۴۰            | 6.00   | 4.00  | 45           |
| ۱۴            | 11.00  | 17.50 | 113.4        | ۴۱            | 9.00   | 4.50  | 45           |
| ۱۵            | 8.00   | 7.50  | 113.4        | ۴۲            | 14.00  | 11.50 | 90           |
| ۱۶            | 11.00  | 6.00  | 45           | ۴۳            | 15.00  | 10.00 | 90           |
| ۱۷            | 5.50   | 5.50  | 28.8         | ۴۴            | 15.00  | 14.50 | 45           |
| ۱۸            | 3.50   | 8.50  | 28.8         | ۴۵            | 15.50  | 12.50 | 45           |
| ۱۹            | 13.00  | 8.00  | 28.8         | ۴۶            | 12.00  | 12.00 | 113.4        |
| ۲۰            | 14.00  | 13.00 | 113.4        | ۴۷            | 14.50  | 7.50  | 113.4        |
| ۲۱            | 16.50  | 14.00 | 45           | ۴۸            | 13.50  | 6.00  | 45           |
| ۲۲            | 5.50   | 17.00 | 45           | ۴۹            | 13.00  | 4.50  | 28.8         |
| ۲۳            | 20.50  | 12.00 | 90           | ۵۰            | 13.50  | 18.00 | 28.8         |
| ۲۴            | 8.00   | 9.00  | 180          | ۵۱            | 4.00   | 5.00  | 45           |
| ۲۵            | 5.00   | 7.00  | 180          | ۵۲            | 9.500  | 6.50  | 28.8         |
| ۲۶            | 8.00   | 5.50  | 180          | ۵۳            | 9.500  | 17.50 | 45           |
| ۲۷            | 10.50  | 8.00  | 90           | ۵۴            | 12.00  | 2.50  | 90           |
| ۲۸            | 10.50  | 15.00 | 90           |               |        |       |              |

مشخصات پست‌های موجود و پست‌های پیشنهادی از جمله ظرفیت و محل قرارگیری در منطقه مورد

مطالعه در جدول (۳-۴)، اطلاعات فنی و اقتصادی ترانسفورماتورها در جدول (۴-۴) و همچنین



مشخصات چهار نوع فیدر مورد استفاده جهت مسیریابی مناسب و تغذیه بار در جدول (۴-۵)، بیان شده است.

جدول ۴-۳- اطلاعات پست‌های موجود و پیشنهادی

| ردیف | شماره پست | موقعیت |       | ظرفیت موجود (MVA) | حداکثر ظرفیت (MVA) |
|------|-----------|--------|-------|-------------------|--------------------|
|      |           | X(Km)  | Y(Km) |                   |                    |
| 1    | 1         | 10.50  | 9.00  | 5                 | 10                 |
| 2    | 55        | 7.80   | 7.20  | 0                 | 10                 |
| 3    | 56        | 11     | 20.50 | 0                 | 10                 |

جدول ۴-۴- اطلاعات فنی و اقتصادی ترانسفورماتورها [۲۸]

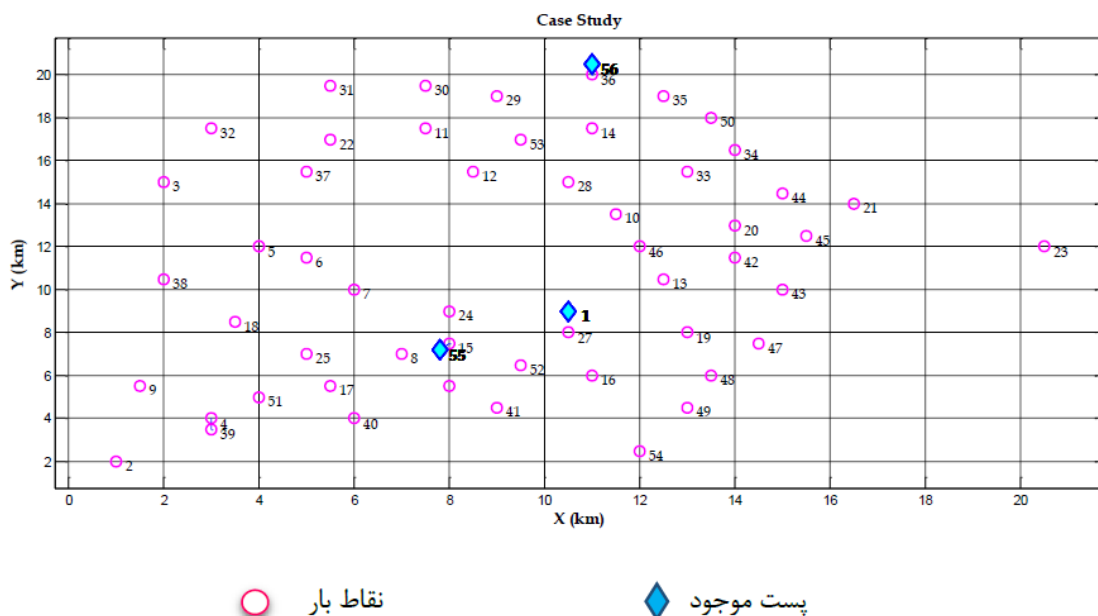
| ردیف | ظرفیت ترانس (MVA) | هزینه‌ی ترانس ( $10^3$ \$) | گین تلفات آهنی | گین تلفات مسی |
|------|-------------------|----------------------------|----------------|---------------|
| 1    | 5                 | 130                        | 0.00072        | 0.00273       |
| 2    | 10                | 200                        | 0.001          | 0.00533       |
| 3    | 15                | 265                        | 0.0016         | 0.00806       |
| 4    | 20                | 330                        | 0.0021         | 0.0102        |
| 5    | 25                | 430                        | 0.0027         | 0.01352       |
| 6    | 30                | 500                        | 0.0032         | 0.01586       |

جدول ۴-۵- اطلاعات فنی و اقتصادی فیدرها

| ردیف | نوع فیدر     | مقاومت (R) ( $\Omega/Km$ ) | راکتانس (X) ( $\Omega/Km$ ) | حداکثر جریان (A) | هزینه‌ی احداث ( $10^3$ \$) |
|------|--------------|----------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------|
| 1    | Squirrel (1) | 0.2506                     | 0.27                        | 185              | 13.585                     |
| 2    | Weasel (2)   | 0.1593                     | 0.23                        | 240              | 28.002                     |
| 3    | Rabbit (3)   | 0.1265                     | 0.22                        | 275              | 37.976                     |
| 4    | Raccoon (4)  | 0.1003                     | 0.20                        | 315              | 48.609                     |

منطقه مورد مطالعه و نحوه قرارگیری نقاط بار و همچنین محل پست‌ها با مختصات جغرافیایی

مشخص را می‌توان در شکل ذیل دید:



شکل ۴-۱: نحوه قرارگیری نقاط بار و پست‌ها در منطقه جغرافیایی مورد مطالعه

#### ۴-۳- نتایج حاصل از اعمال الگوریتم بر مدل جامع ارائه شده

مسئله برنامه‌ریزی DEP را برای یک دوره ۱۰ ساله با حضور و عدم حضور واحدهای DG با الگوریتم

ABC حل خواهد شد. که پارامترهای آن مطابق جدول (۴-۶) انتخاب شده‌اند که در این جدول:

$N_{pop}$ : تعداد راه‌حل‌های اولیه (راه‌های دسترسی به منابع غذایی)

maxcycle: تعداد اجتماع برای جست‌وجو منابع غذایی

IT: تعداد مراحل جست‌وجو منابع غذایی، می‌باشد.

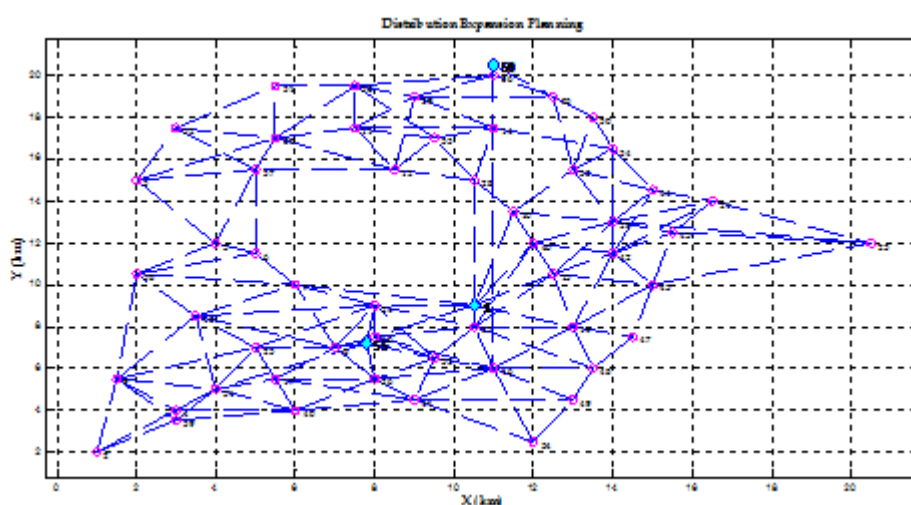
جدول ۴-۶- پارامترهای ABC اعمال شده به مسئله

|          |     |
|----------|-----|
| (N_pop)  | 40  |
| maxcycle | 500 |
| IT       | 500 |

روند حل مسئله را می‌توان به صورت ذیل بیان کرد:

### ۱-۳-۴ حالت اول - بدون در نظر گرفتن DG

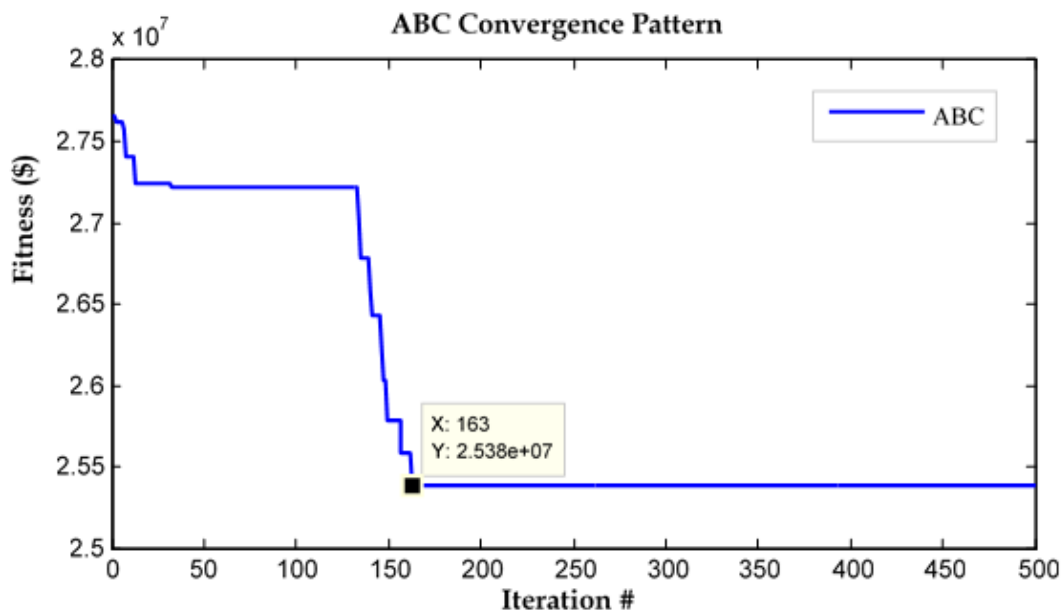
در این حالت فرض می شود که واحدهای DG وجود ندارد. مسئله DEP، جهت تعیین مسیر و نوع فیدر بهینه و همچنین حوزه سرویس دهی پست ها به روش ABC انجام می شود. مسیرهای ممکن جهت تغذیه بارها، با توجه به ملاحظات جغرافیایی، الکتریکی و محیطی شبکه مورد مطالعه تعیین می گردد. که در اینجا ۱۶۲ مسیر ممکن در نظر گرفته شده که در شکل (۲-۴) مشخص و به عنوان اطلاعات ورودی به الگوریتم مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۲-۴: مسیرهای ممکن جهت تغذیه بارها از مسیر بهینه

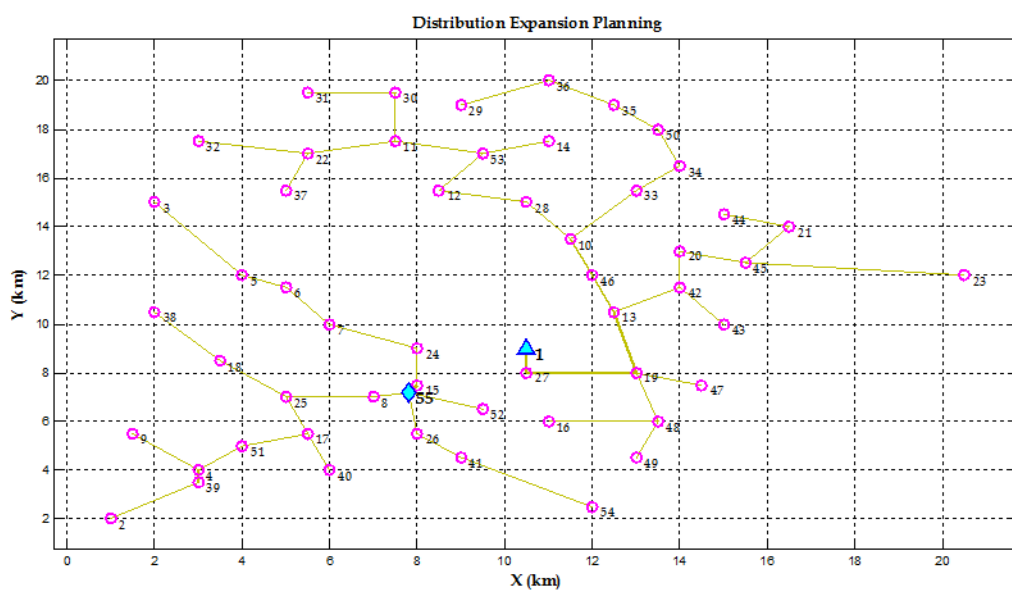
حال با حل مسئله با روش جامع ارائه شده ملاحظه می شود که با توجه به اینکه الگوریتم برای حل از یک جمعیت اولیه تصادفی بهره می گیرد، لذا در هر مرحله از اجرای برنامه با توجه به در نظر گرفتن جمعیت تقریبی جواب تقریباً تغییر می کند که جواب ذیل میانگین و بهترین آن ها می باشد. شکل (۳-۴) همگرایی روش ABC در طول ۵۰۰ تکرار برای شبکه مورد مطالعه نمایش می دهد. آن گونه که از این شکل مشخص است، ۱۶۳ تکرار جهت همگرایی روش و حل مسئله نیاز می باشد. تا مسئله حل و جواب مناسب حاصل گردد.

لازم به ذکر است که نتایج بدست آمده میانگین چندین اجرا مسئله برنامه ریزی می باشد.



شکل ۴-۳: روند همگرایی در طول ۵۰۰ تکرار الگوریتم ABC

پس از اجرای الگوریتم، مسیر بهینه نهایی فیدر مشخص می‌گردد. که شکل (۴-۴) شماتیک نهایی سیستم توزیع را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل پیدا است برای تغذیه توان مشخص نقاط بار از دو پست (پست موجود شماره ۱ و پست پیشنهادی شماره ۲) استفاده شده است.



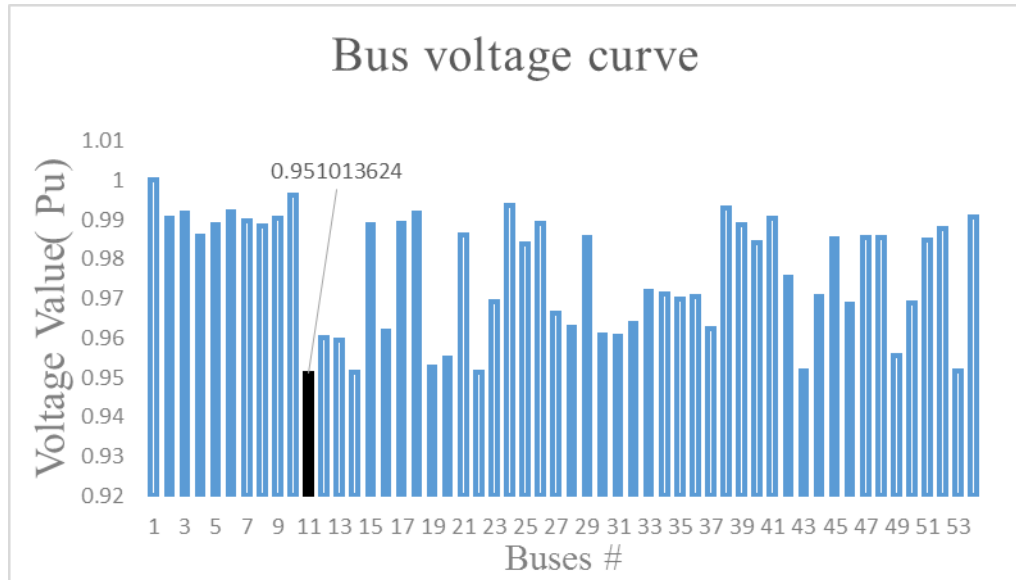
شکل ۴-۴: مسیر و نوع فیدر بهینه جهت تغذیه نقاط بار با اعمال ABC

جزئیات (جریان و نوع فیدر) سیستم توزیع نهایی در جدول (۴-۷) نشان داده شده است. دیده می شود با توجه به جریان فیدرها، فیدرهای مربوط به شاخه ۱ به ۲۷، ۲۷ به ۱۹، ۱۹ به ۱۳، ۱۳ به ۴۶ و نیز ۴۶ به ۱۰ از نوع فیدر ۲ و دیگر شاخه ها از نوع فیدر ۱ انتخاب شده است.

جدول ۴-۷- جریان و نوع فیدر انتخابی حاصل از سیستم توزیع نهایی

| از<br>گره | به<br>گره | جریان فیدر<br>(A) | نوع<br>فیدر | از<br>گره | به<br>گره | جریان فیدر<br>(A) | نوع<br>فیدر |
|-----------|-----------|-------------------|-------------|-----------|-----------|-------------------|-------------|
| 1         | 27        | 108.25            | 2           | 36        | 29        | 2.254             | 1           |
| 27        | 19        | 103.9             | 2           | 19        | 47        | 5.536             | 1           |
| 19        | 13        | 91.161            | 2           | 19        | 48        | 5.800             | 1           |
| 13        | 42        | 25.707            | 1           | 48        | 49        | 2.197             | 1           |
| 42        | 20        | 16.794            | 1           | 48        | 16        | 1.406s            | 1           |
| 20        | 45        | 11.172            | 1           | 55        | 8         | 85.339            | 1           |
| 45        | 21        | 4.468             | 1           | 8         | 25        | 32.331            | 1           |
| 21        | 44        | 2.234             | 1           | 25        | 17        | 17.855            | 1           |
| 45        | 23        | 4.471             | 1           | 17        | 40        | 2.183             | 1           |
| 42        | 43        | 4.458             | 1           | 17        | 51        | 14.274            | 1           |
| 13        | 46        | 61.015            | 2           | 51        | 4         | 12.088            | 1           |
| 46        | 10        | 55.393            | 2           | 4         | 9         | 2.19              | 1           |
| 10        | 28        | 36.764            | 1           | 4         | 39        | 7.708             | 1           |
| 28        | 12        | 32.265            | 1           | 39        | 2         | 2.190             | 1           |
| 12        | 53        | 30.009            | 1           | 25        | 18        | 5.579             | 1           |
| 53        | 11        | 22.029            | 1           | 18        | 38        | 4.364             | 1           |
| 11        | 22        | 9.103             | 1           | 55        | 15        | 31.945            | 1           |
| 22        | 32        | 2.276             | 1           | 15        | 24        | 26.435            | 1           |
| 22        | 37        | 4.552             | 1           | 24        | 7         | 17.675            | 1           |
| 11        | 30        | 11.47             | 1           | 7         | 6         | 12.141            | 1           |
| 30        | 31        | 5.737             | 1           | 6         | 5         | 6.600             | 1           |
| 53        | 14        | 5.714             | 1           | 5         | 3         | 2.201             | 1           |
| 10        | 33        | 17.195            | 1           | 55        | 26        | 15.322            | 1           |
| 33        | 34        | 12.702            | 1           | 26        | 41        | 6.572             | 1           |
| 34        | 50        | 8.203             | 1           | 41        | 54        | 4.383             | 1           |
| 50        | 35        | 6.762             | 1           | 55        | 52        | 1.398             | 1           |
| 35        | 36        | 4.509             | 1           |           |           |                   |             |

پروفیل ولتاژ شبکه‌ی مورد مطالعه بعد از اجرای فرآیند حل، مسئله به صورت شکل (۴-۵) که مشاهده می‌شود قید افت ولتاژ (۵٪) رعایت شده و کمترین ولتاژ مربوط به باس ۱۱ با مقدار  $0.95101 \text{ Pu}$  می‌باشد.



شکل ۴-۵: پروفیل ولتاژ شبکه نمونه سیستم توزیع نهایی

همان‌طور که در شماتیک نهایی سیستم توزیع بعد از اجرای الگوریتم دیده می‌شود پست شماره ۲ در نقطه ۵۵ به‌عنوان پست جدیدی احداث شده که ۳۲ تا از نقاط بار از پست شماره ۱ و ۲۱ تا از نقاط بار از پست شماره ۲ تغذیه می‌کنند. پست موجود شماره ۱، ۴۵٪ و پست پیشنهادی شماره ۲ که در نقطه ۵۵ واقع است ۳۵/۵٪ بارگذاری شده‌اند که مشاهده می‌شود قید درصد مجاز بارگذاری (۷۰٪) است رعایت و لحاظ گردیده است. لذا مشخصات پست‌ها بعد برنامه‌ریزی به شرح جدول (۴-۸) می‌باشد:

جدول ۴-۸- مشخصه‌ی نهایی پست‌ها در سیستم توزیع نهایی بعد از اجرای روش پیشنهادی

| شماره پست | موقعیت |       | ظرفیت موجود (MVA) | ظرفیت جدید (MVA) | درصد بارگذاری (%) | بار متصله (MVA) | توان تلفاتی سیستم (KW) |       |
|-----------|--------|-------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|------------------------|-------|
|           | X(Km)  | Y(Km) |                   |                  |                   |                 |                        |       |
| 1         | 1      | 10.50 | 9.00              | 5                | 5                 | 45              | 2.50                   | 44.45 |
| 2         | 55     | 7.8   | 7.2               | 0                | 5                 | 35.5            | 1.78                   | 7.40  |

در نهایت بخش های مختلف هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری هر زیرسیستم برای حالت اول با اعمال ABC به مسئله، به صورت ذیل بیان می شود. با توجه به جدول (۴-۹)، هزینه توسعه، تلفات فیدر و همچنین هزینه تلفات پست در زیرسیستم ۱ (مربوط به پست شماره ۱) به لحاظ این که تعداد نقاط بار بیشتری تغذیه می کند، نسبت به زیرسیستم ۲ بیشتر می باشد.

جدول ۴-۹- جزئیات هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری پست ها در سیستم توزیع نهایی

| زیر سیستم | هزینه توسعه پست<br>(\$10 <sup>3</sup> ) | هزینه تلفات پست<br>(\$10 <sup>6</sup> ) | هزینه توسعه فیدر<br>(\$10 <sup>6</sup> ) | هزینه تلفات فیدر<br>(\$10 <sup>3</sup> ) | هزینه واحدهای DG<br>(\$10 <sup>6</sup> ) |
|-----------|---|---|--|--|--|
| 1         | 0                                       | 4.056                                   | 10.94                                    | 58.68                                    | 0  |
| 2         | 907.07                                  | 3.198                                   | 6.20                                     | 9.79                                     | 0  |

▪ حل مسئله با عدم حضور واحدهای DG با اعمال الگوریتم GA و مقایسه دو الگوریتم

#### در حل مسئله برنامه ریزی شبکه توزیع:

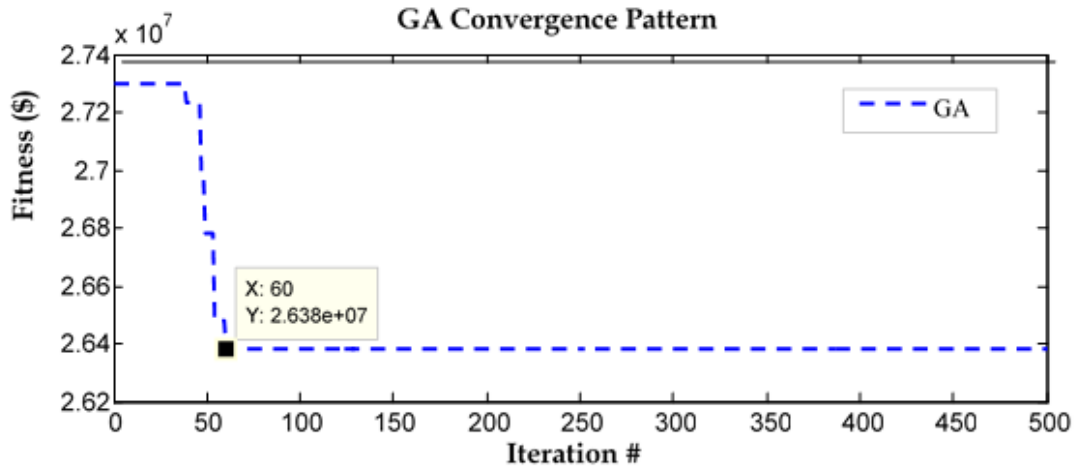
جهت اثبات کارایی الگوریتم پیشنهادی نسبت به سایر روش های بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک نیز جهت حل مسئله استفاده شده است؛ و سپس نتایج برنامه ریزی مسئله شبکه توزیع در حالت بدون DG با روش پیشنهادی مقایسه و مورد بحث قرار گرفته است. مفاهیم و ساختار الگوریتم GA در بخش (۲-۶-۲) فصل دوم بیان شده است. جهت اعمال الگوریتم GA به مسئله برنامه ریزی شبکه توزیع از ساختار شکل (۲-۳) برای هر کرموزم و با همان توصیف متناظر جدول (۳-۱) و (۳-۲) استفاده شده است. در کاربرد الگوریتم GA، پارامترهای آن مطابق جدول (۴-۱۰) انتخاب شده اند. که در آن Npop، تعداد کرموزم های موجود در هر جمعیت، Pc، نرخ همبری، Pm، نرخ جهش و IT، تعداد مراحل تکاملی الگوریتم می باشد.

جدول ۴-۱۰- پارامترهای GA اعمال شده به مسئله

|                         |      |
|-------------------------|------|
| اندازه جمعیت (Npop)     | 100  |
| ضریب همبری (Pc)         | 0.9  |
| ضریب جهش (Pm)           | 0.05 |
| تعداد مراحل تکاملی (IT) | 500  |

با پارامترهای انتخاب شده، نتایج حاصل از اعمال الگوریتم GA به مسئله برنامه ریزی در ذیل آمده

است:



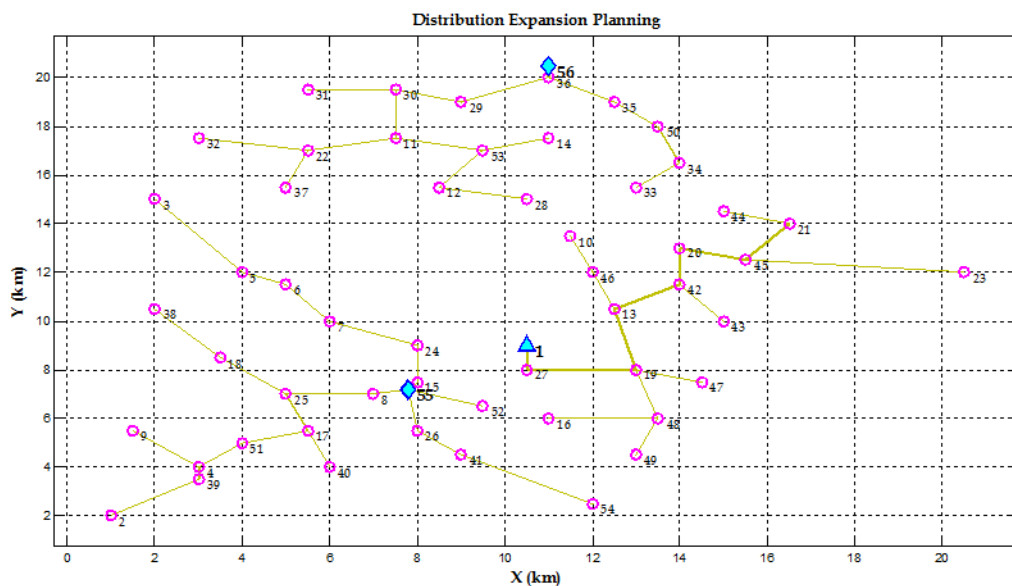
شکل ۴-۶: روند همگرایی روش GA در طول ۵۰۰ تکرار الگوریتم

شکل (۴-۷) وضعیت سیستم توزیع نهایی بعد از اعمال الگوریتم GA به مسئله را نشان می دهد که با

توجه به این که تقریباً مقدار تابع هدف نزدیک به حالت اعمال الگوریتم ABC می باشد اما نسبت به آن

مسیر بهینه نیست و همچنین تعداد ۳ پست جهت تأمین بار نقاط در نظر گرفته است که منطقی نسبت

به بار مورد نظر نیست و باعث افزایش تلفات پست و همچنین افزایش هزینه ها می شود.



شکل ۴-۷: مسیر و نوع فیدر بهینه جهت تغذیه نقاط بار با اعمال GA



همان طور که در شماتیک نهایی سیستم توزیع بعد از اجرای الگوریتم GA دیده می شود پست شماره ۲ در نقطه ۵۵ و پست شماره ۳ در نقطه ۵۶ به عنوان پست های جدید احداث شده اند که ۱۶ تا از نقاط بار از پست شماره ۱، ۲۱ بار از پست شماره ۲ و ۱۶ تا از نقاط بار از پست شماره ۳ تغذیه می کنند. لذا وضعیت پست ها بعد برنامه ریزی به شرح ذیل می باشند:

جدول ۴-۱۱- مشخصات پست ها در سیستم توزیع نهایی بعد از اعمال GA به مسئله

| ردیف | شماره پست | موقعیت |       | ظرفیت       | ظرفیت      | درصد         | بار متصله | توان تلفاتی |
|------|-----------|--------|-------|-------------|------------|--------------|-----------|-------------|
|      |           | X(Km)  | Y(Km) | موجود (MVA) | جدید (MVA) | بارگذاری (%) | (MVA)     | سیستم (KW)  |
| 1    | 1         | 10.50  | 9.00  | 5           | 5          | 22.30        | 1.115     | 8.36        |
| 2    | 55        | 7.8    | 7.2   | 0           | 5          | 35.47        | 1.78      | 7.95        |
| 3    | 56        | 11     | 20.5  | 0           | 5          | 21.63        | 1.081     | 5.30        |

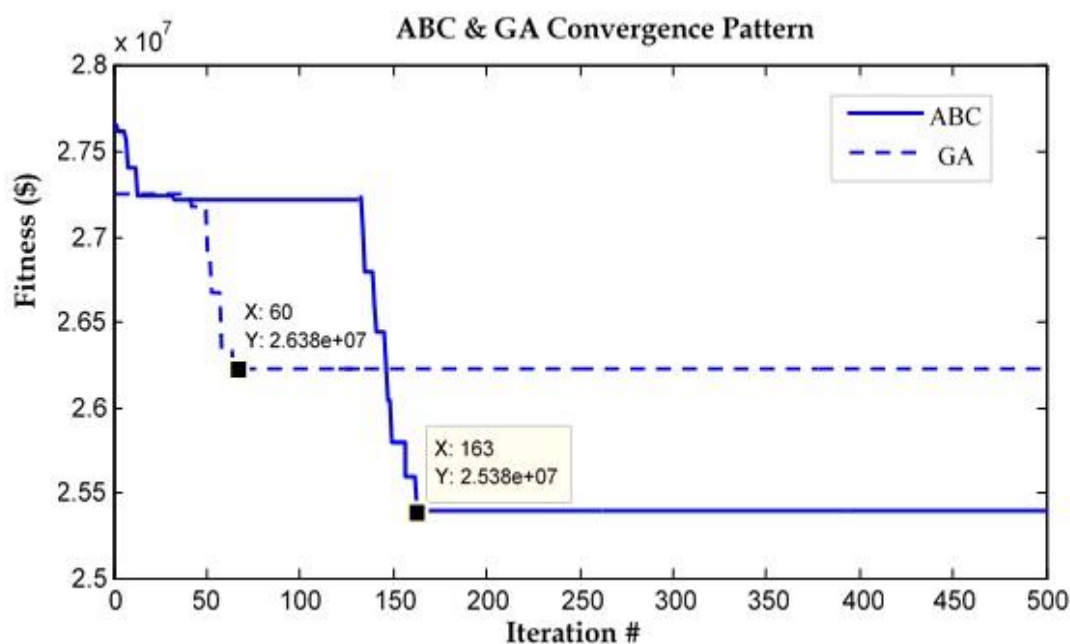
در نهایت وضعیت هزینه های سیستم برای حالت اول با اعمال GA به مسئله را به صورت ذیل می توان بیان کرد. که ملاحظه می شود در زیرسیستم ۲ با توجه به این که درصد بارگذاری متناظر آن نسبت به سایر زیرسیستم ها بیشتر است، هزینه های آن هم بیشتر می باشد.

جدول ۴-۱۲- هزینه های طرح برنامه ریزی با اعمال GA به مسئله

| ردیف | هزینه توسعه پست (\$10 <sup>3</sup> ) | هزینه تلفات پست (\$10 <sup>6</sup> ) | هزینه توسعه فیدر (\$10 <sup>6</sup> ) | هزینه تلفات فیدر (\$10 <sup>3</sup> ) | هزینه واحدهای DG (\$10 <sup>6</sup> ) |
|------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1    | 0                                    | 2.011                                | 5.46                                  | 11.05                                 | 0                                     |
| 2    | 907.07                               | 3.198                                | 6.65                                  | 10.50                                 | 0                                     |
| 3    | 907.07                               | 1.950                                | 5.26                                  | 6.99                                  | 0                                     |

شکل (۴-۸) مقایسه رفتار همگرایی بین الگوریتم های ABC و GA را در طول ۵۰۰ تکرار برای شبکه مورد مطالعه را نمایش می دهد. آن گونه که از این شکل مشخص است روش پیشنهادی مبتنی بر ABC در تکرار ۱۶۳ همگرا می شود در حالی که ۶۰ نسل جهت همگرایی روش مبتنی بر الگوریتم GA مورد نیاز

می باشد. بررسی نتایج نشان می دهد که با توجه به این که الگوریتم پیشنهادی هر چند تکرار روند بهینه سازی بالاتری نسبت به الگوریتم GA دارد اما در فرآیند حل مسئله مؤثرتر بوده و بهترین جواب را نسبت به روش GA برگزیده است. در واقع در روش ABC، جمعیت از مجموعه منابع غذایی (جواب های ممکن) دست یافتنی به بهینگی می باشد. اما در مورد GA، به علت عملگرهای همبری و جهش، کرموزم های مورد بررسی در هر تکرار از جمعیت اولیه بیشتر می باشد.



شکل ۴-۸: مقایسه روند همگرایی دو الگوریتم ABC و GA در طول ۵۰۰ تکرار برای حالت اول

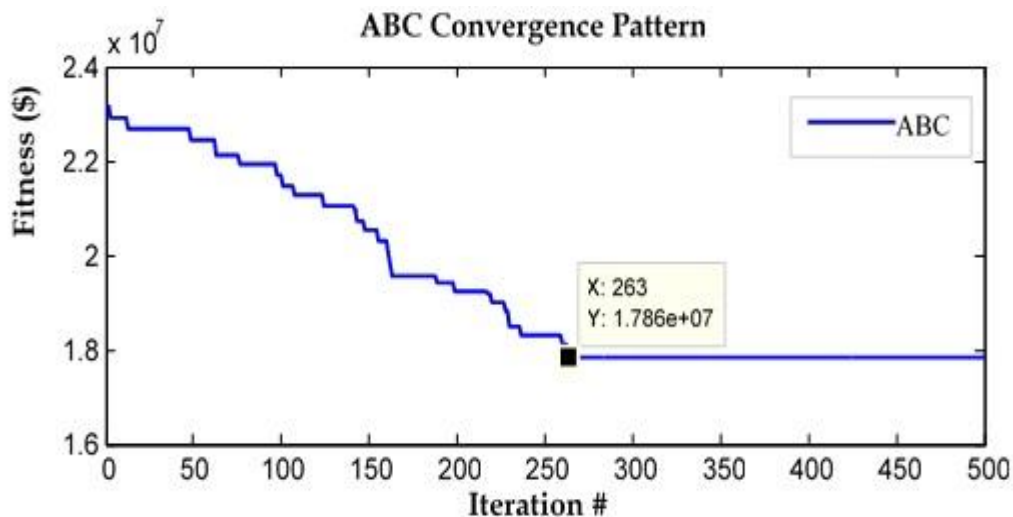
#### ۴-۳-۲ حالت دوم - با در نظر گرفتن DG

در این حالت برنامه ریزی شبکه توزیع با اعمال واحدهای DG به شبکه مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرد و تأثیر آن بر برنامه ریزی شبکه توزیع و پارامترهای وابسته به آن نمایش خواهیم داد. همچنین در این حالت محل های نصب پیشنهادی، تعداد و حداکثر توان تولیدی واحدهای DG مشخص و ظرفیت نصب هر واحد متغیر براساس نیاز در حل مسئله لحاظ شده که می توان در جدول (۴-۱۳) ملاحظه کرد:

جدول ۴-۱۳- مشخصات و محل نصب واحدهای DG استفاده شده در شبکه نمونه

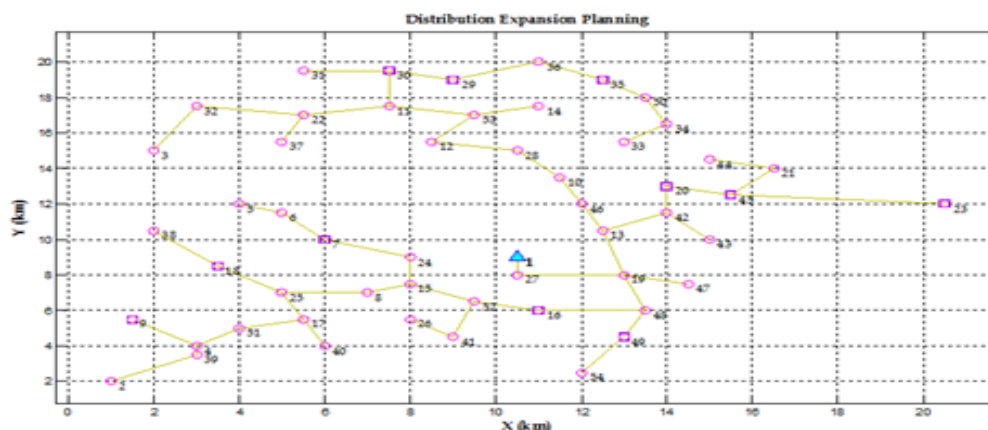
| ردیف | شماره باس<br>نصب DG | محدوده توان<br>تولیدی هر DG |
|------|---------------------|-----------------------------|
| 1    | 7                   | 0 – 600 <sup>KVA</sup>      |
| 2    | 9                   | 0 – 600 <sup>KVA</sup>      |
| 3    | 16                  | 0 – 600 <sup>KVA</sup>      |
| 4    | 18                  | 0 – 600 <sup>KVA</sup>      |
| 5    | 20                  | 0 – 600 <sup>KVA</sup>      |
| 6    | 23                  | 0 – 600 <sup>KVA</sup>      |
| 7    | 29                  | 0 – 600 <sup>KVA</sup>      |
| 8    | 30                  | 0 – 600 <sup>KVA</sup>      |
| 9    | 33                  | 0 – 600 <sup>KVA</sup>      |
| 10   | 35                  | 0 – 600 <sup>KVA</sup>      |
| 11   | 45                  | 0 – 600 <sup>KVA</sup>      |
| 12   | 49                  | 0 – 600 <sup>KVA</sup>      |
| 13   | 51                  | 0 – 600 <sup>KVA</sup>      |

شکل (۴-۹) همگرایی روش ABC در طول ۵۰۰ تکرار برای شبکه مورد مطالعه نمایش می دهد. آن گونه که از این شکل مشخص است، ۲۶۳ تکرار جهت همگرایی روش نیاز می باشد. تا جواب مناسب مقید به قیود فنی و اقتصادی حاصل شود.



شکل ۴-۹: روند همگرایی روش ABC در طول ۵۰۰ تکرار الگوریتم

پس از اجرای الگوریتم، مسیر بهینه نهایی فیدر مشخص می‌گردد. شکل (۴-۱۰) شماتیک نهایی سیستم توزیع را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در حالت دوم نسبت به حالت اول پست جدیدی احداث نشده و از توان همان پست موجود جهت تغذیه نقاط بار در کنار واحدهای DG استفاده شده است.



شکل ۴-۱۰: مسیر و نوع فیدر بهینه جهت تغذیه نقاط بار

شکل (۴-۱۰) نشان می‌دهد که در سیستم نهایی از ۱۳ تا DG، ۱۱ تا انتخاب شده است و واحدهای DG نقاط ۳۳ و ۵۱ انتخاب نشده است. لذا واحدهای DG که جهت تغذیه توان مورد نیاز نقاط بار انتخاب شده‌اند با ظرفیت آن‌ها به صورت ذیل می‌باشد:

جدول ۴-۱۴- مشخصات نهایی واحدهای DG انتخابی پس از اعمال روش پیشنهادی

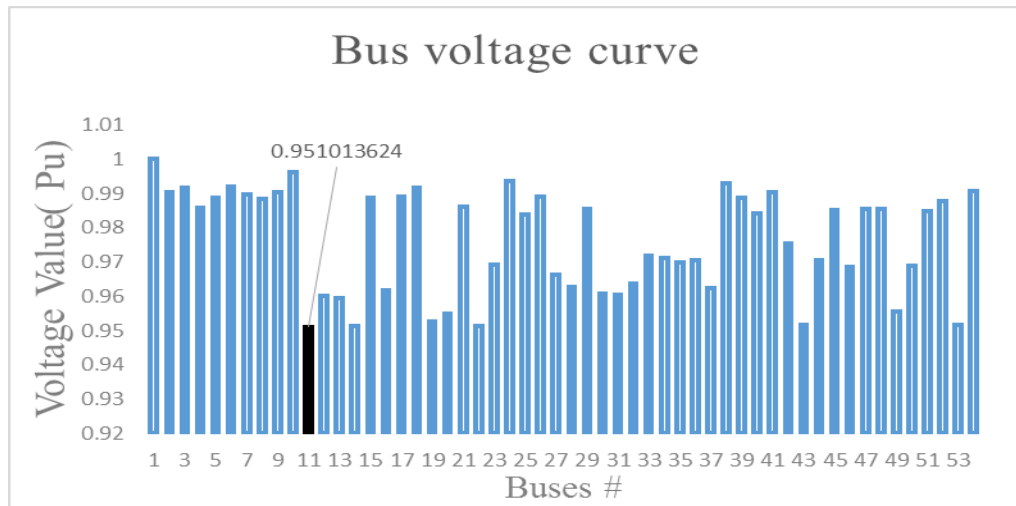
| ردیف | شماره باس<br>نصب DG | ظرفیت انتخاب<br>شده از هر<br>DG |
|------|---------------------|---------------------------------|
| 1    | 7                   | 600KVA                          |
| 2    | 9                   | 150KVA                          |
| 3    | 16                  | 150KVA                          |
| 4    | 18                  | 300KVA                          |
| 5    | 20                  | 300KVA                          |
| 6    | 23                  | 150KVA                          |
| 7    | 29                  | 600KVA                          |
| 8    | 30                  | 150KVA                          |
| 9    | 35                  | 450KVA                          |
| 10   | 45                  | 450KVA                          |
| 11   | 49                  | 300KVA                          |

جزئیات (جریان و نوع فیدر) سیستم توزیع نهایی در جدول (۴-۱۵) نشان داده شده است. مشاهده می شود که با توجه به این که در این حالت واحدهای DG لحاظ شده اند و نیز در نزدیکی بار قرار دارند نیاز به انتقال توان با جریان زیاد نیستیم در واقع در این حالت از حل مسئله، الگوریتم تمامی فیدرها از نوع ۱ انتخاب کرده است.

جدول ۴-۱۵- جریان و نوع فیدر انتخابی حاصل از سیستم توزیع نهایی

| از<br>گره | به<br>گره | جریان فیدر<br>(A) | نوع<br>فیدر | از<br>گره | به<br>گره | جریان فیدر<br>(A) | نوع<br>فیدر |
|-----------|-----------|-------------------|-------------|-----------|-----------|-------------------|-------------|
| 1         | 27        | 35.243            | 1           | 30        | 31        | 5.4369            | 1           |
| 27        | 19        | 32.8177           | 1           | 53        | 14        | 5.4647            | 1           |
| 19        | 13        | 19.3474           | 1           | 19        | 47        | 5.4786            | 1           |
| 13        | 42        | 19.0967           | 1           | 19        | 48        | 21.1509           | 1           |
| 42        | 20        | 27.3111           | 1           | 48        | 16        | 25.5975           | 1           |
| 20        | 45        | 18.2227           | 1           | 16        | 52        | 29.9029           | 1           |
| 45        | 21        | 4.3190            | 1           | 52        | 15        | 18.3849           | 1           |
| 21        | 44        | 2.1597            | 1           | 15        | 8         | 15.7456           | 1           |
| 45        | 23        | 3.0234            | 1           | 8         | 25        | 11.5174           | 1           |
| 42        | 43        | 4.3332            | 1           | 25        | 17        | 10.8213           | 1           |
| 13        | 46        | 10.5526           | 1           | 17        | 40        | 2.2038            | 1           |
| 46        | 10        | 9.8307            | 1           | 17        | 51        | 7.2425            | 1           |
| 10        | 28        | 10.1227           | 1           | 51        | 4         | 5.0838            | 1           |
| 28        | 12        | 12.0691           | 1           | 4         | 9         | 5.1861            | 1           |
| 12        | 53        | 13.4695           | 1           | 4         | 39        | 7.7658            | 1           |
| 53        | 11        | 19.5507           | 1           | 39        | 2         | 2.2068            | 1           |
| 11        | 22        | 10.8308           | 1           | 25        | 18        | 8.9835            | 1           |
| 22        | 32        | 4.3338            | 1           | 18        | 38        | 4.4007            | 1           |
| 32        | 3         | 2.1674            | 1           | 15        | 24        | 6.7080            | 1           |
| 22        | 37        | 4.3320            | 1           | 24        | 7         | 14.2315           | 1           |
| 11        | 30        | 30.7627           | 1           | 7         | 6         | 9.9207            | 1           |
| 30        | 29        | 34.0595           | 1           | 6         | 5         | 4.3906            | 1           |
| 29        | 36        | 7.7672            | 1           | 52        | 41        | 10.9805           | 1           |
| 36        | 35        | 9.7231            | 1           | 41        | 26        | 8.7860            | 1           |
| 35        | 50        | 9.9795            | 1           | 48        | 49        | 8.8888            | 1           |
| 50        | 34        | 8.6044            | 1           | 49        | 54        | 4.3535            | 1           |
| 34        | 33        | 4.3032            | 1           |           |           |                   |             |

با بررسی شکل (۴-۱۱) دیده می شود، پروفیل ولتاژ نسبت به حالت قبل بهبود یافته است که می توان اثر واحدهای DG در محل بار نصب شده اند در بهبود و پایداری پروفیل ولتاژ دید. در این حالت هم قید افت ولتاژ (۵٪) رعایت شده و نیز کمترین ولتاژ مربوط به باس ۲۷ با مقدار  $0.98107^{Pu}$  می باشد.



شکل ۴-۱۱: پروفیل ولتاژ شبکه نمونه سیستم توزیع نهایی

با توجه به مسیر و ساختار نهایی سیستم توزیع بعد از اجرای الگوریتم شکل (۴-۱۰) پست جدیدی احداث نشده و تمام نقاط بار از پست موجود شماره ۱ واقع در گره ۱ تغذیه شده اند که درصد بارگذاری پست هم ۱۴/۵٪ و همچنین مشخصات پست بعد برنامه ریزی در حالت دوم به شرح ذیل می باشد:

جدول ۴-۱۶- مشخصات پست در ساختار سیستم توزیع نهایی

| ردیف | شماره پست | موقعیت |       | ظرفیت موجود (MVA) | ظرفیت جدید (MVA) | درصد بارگذاری (%) | بار متصله (KVA) | توان تلفاتی سیستم (KW) |
|------|-----------|--------|-------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|------------------------|
|      |           | X(Km)  | Y(Km) |                   |                  |                   |                 |                        |
| 1    | 1         | 10.50  | 9.00  | 5                 | 5                | 14.50             | 727.96          | 16.33                  |

سرانجام، وضعیت هزینه های سیستم مورد مطالعه برای حالت دوم به صورت ذیل بیان می شود که در مقایسه با حالت اول؛ هزینه سرمایه گذاری ۹٪ و هزینه بهره برداری ۸۰٪ نسبت به حالت اول کاهش یافته است. این نشان دهنده تأثیر واحدهای DG بر هزینه های بهره برداری نیز می باشد.

جدول ۴-۱۷ - هزینه های طرح برنامه ریزی با اعمال الگوریتم ABC

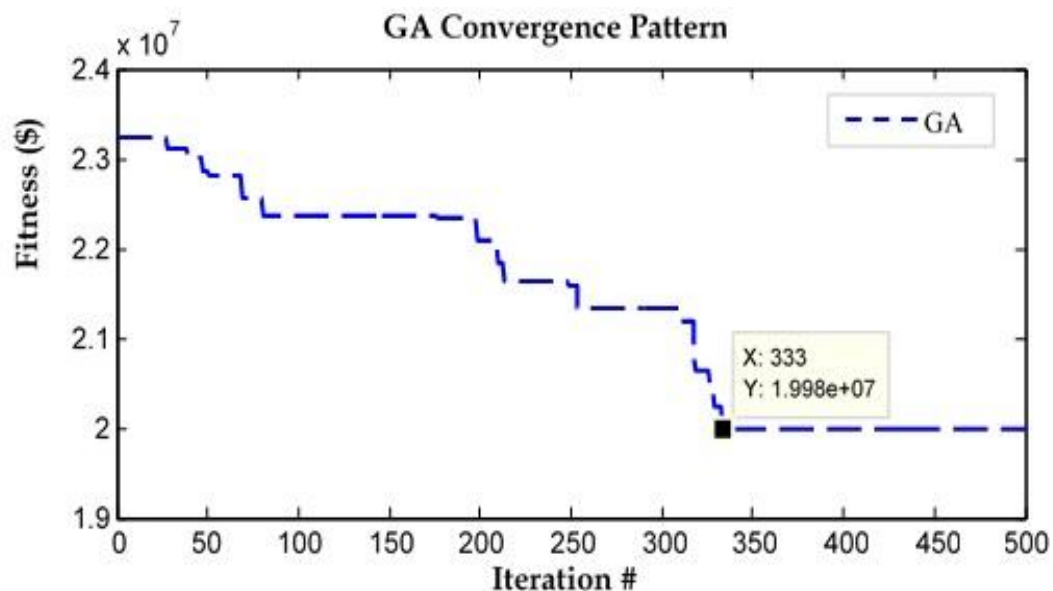
| هزینه واحدهای DG<br>(\$10 <sup>6</sup> ) | هزینه تلفات فیدر<br>(\$10 <sup>3</sup> ) | هزینه توسعه فیدر<br>(\$10 <sup>6</sup> ) | هزینه تلفات پست<br>(\$10 <sup>6</sup> ) | هزینه توسعه پست<br>(\$10 <sup>6</sup> ) |
|--|--|--|---|---|
| 1.8                                      | 21.55                                    | 14.72                                    | 1.31                                    | 0                                       |

▪ حل مسئله با حضور واحدهای DG با اعمال الگوریتم GA و مقایسه دو الگوریتم در

حل مسئله برنامه ریزی شبکه توزیع:

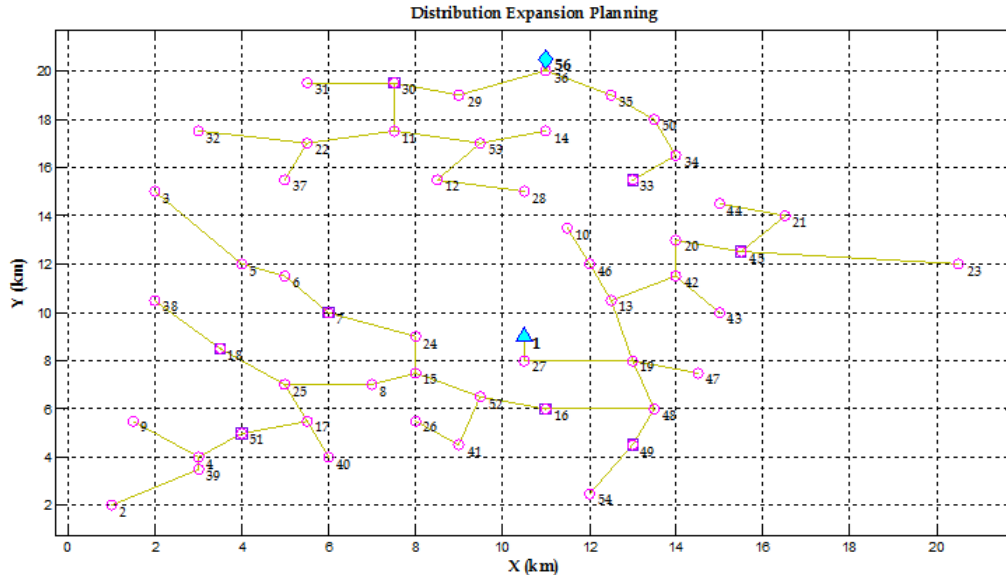
در شکل (۴-۱۲) مشاهده می شود که برای دستیابی به جواب مناسب و نیز همگرایی مسئله با

استفاده از الگوریتم GA نیازمند ۳۳۳ نسل می باشد



شکل ۴-۱۲: روند همگرایی الگوریتم GA برای ۵۰۰ تکرار از الگوریتم

شکل (۴-۱۳) مسیر مناسب جهت تغذیه نقاط بار و ساختار شبکه توزیع بعد از اعمال الگوریتم GA به مسئله را نشان می دهد که علاوه پست موجود شماره ۱ و واحدهای DG، پست شماره ۳ (واقع در گره ۵۶) جهت تغذیه توان مورد نیاز احداث شده است.



شکل ۴-۱۳: ساختار سیستم توزیع با اعمال الگوریتم GA

با توجه به شماتیک نهایی سیستم توزیع بعد از اجرای الگوریتم GA، پست شماره ۳ در نقطه ۵۶ به عنوان پست جدید احداث شده اند که ۳۷ تا از نقاط بار از پست شماره ۱ و ۱۶ تا از نقاط بار از پست شماره ۳ تغذیه می کنند. لذا وضعیت پست ها بعد برنامه ریزی به شرح ذیل می باشند:

جدول ۴-۱۸- مشخصات پست ها در ساختار نهایی شبکه توزیع با اعمال الگوریتم GA

| ردیف | شماره پست | موقعیت |       | ظرفیت       | ظرفیت      | درصد بارگذاری (%) | بار متصله (KVA) | توان تلفاتی سیستم (KW) |
|------|-----------|--------|-------|-------------|------------|-------------------|-----------------|------------------------|
|      |           | X(Km)  | Y(Km) | موجود (MVA) | جدید (MVA) |                   |                 |                        |
| 1    | 1         | 10.50  | .00   | 5           | 5          | 13.28             | 663.99          | 8.36                   |
| 2    | 3         | 11     | 20.5  | 0           | 5          | 12.81             | 640.85          | 5.30                   |

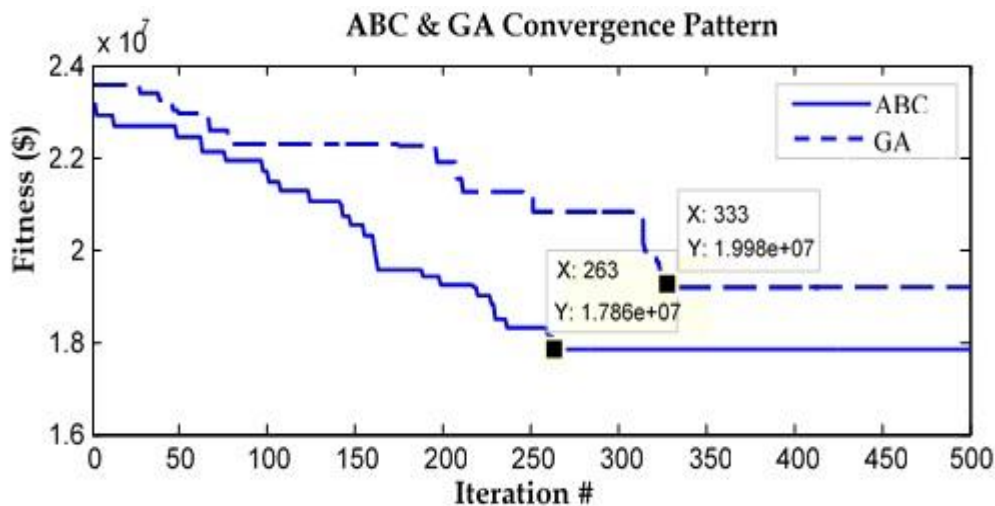


در نهایت وضعیت هزینه‌های سیستم برای حالت دوم با اعمال GA به مسئله را به صورت ذیل می‌توان بیان کرد. که ملاحظه می‌شود در زیرسیستم ۱ با توجه به این که تعداد نقاط بار بیشتری را تغذیه می‌کند، هزینه‌های آن هم بیشتر می‌باشد.

جدول ۴-۱۹- جزئیات هزینه‌های طرح برنامه‌ریزی با اعمال الگوریتم GA

| زیرسیستم | هزینه توسعه پست<br>(\$10 <sup>3</sup> ) | هزینه تلفات پست<br>(\$10 <sup>6</sup> ) | هزینه توسعه فیدر<br>(\$10 <sup>6</sup> ) | هزینه تلفات فیدر<br>(\$10 <sup>3</sup> ) | هزینه واحدهای DG<br>(\$10 <sup>3</sup> ) |
|----------|---|---|--|--|--|
| 1        | 0                                       | 1.19                                    | 9.69                                     | 14.66                                    | 375                                      |
| 2        | 907.07                                  | 1.15                                    | 4.15                                     | 6.08                                     | 1050                                     |

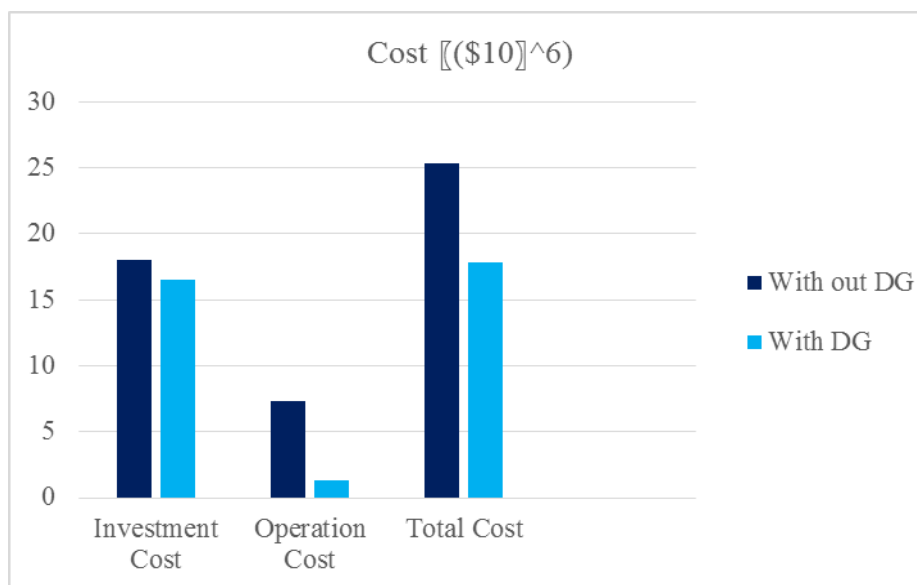
روند همگرایی دو الگوریتم در شکل (۴-۱۴) قابل رؤیت می‌باشد که مقایسه آن دو نشان می‌دهد که الگوریتم ABC جهت همگرایی نیاز به ۲۶۳ و الگوریتم GA نیاز به ۳۳۳ تکرار دارد. در این حالت (حالت دوم) الگوریتم ABC نسبت به الگوریتم GA زودتر همگرا شده و حافظه کم‌تری نیاز دارد ولیکن جوابی مناسب با کم‌ترین هزینه در پی دارد.



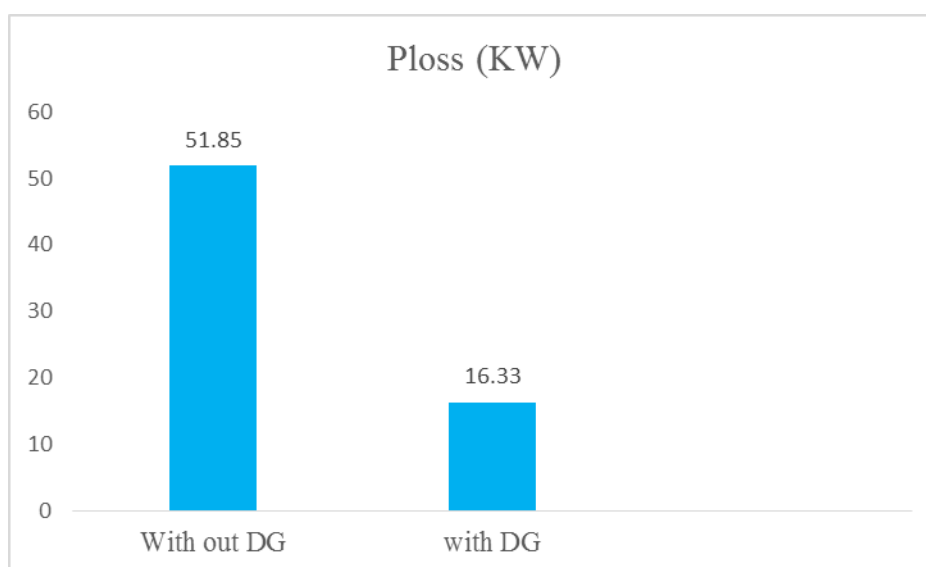
شکل ۴-۱۴: مقایسه روند همگرایی دو الگوریتم ABC و GA در طول ۵۰۰ تکرار برای حالت دوم

در انتها به بررسی نتایج به دست آمده از برنامه‌ریزی شبکه توزیع، با حضور واحدهای DG و عدم حضور DG پرداخته می‌شود. نتایج و تجزیه و تحلیل‌های انجام شده نشان می‌دهد که مسلماً واحدهای DG با

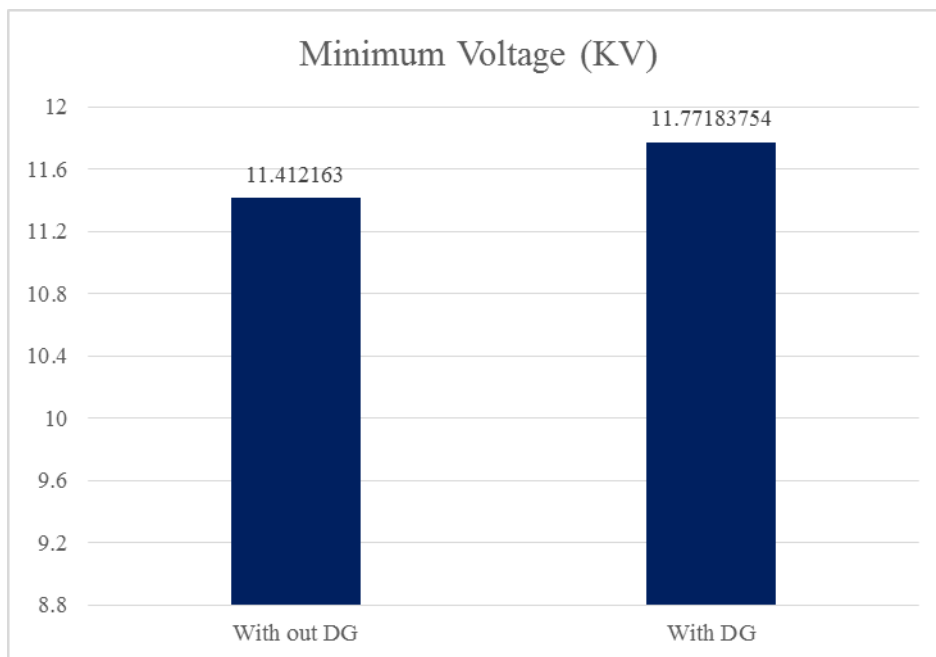
توجه به ویژگی های که دارند در طراحی و توسعه یک شبکه توزیع تأثیر مثبت می گذارد و تا حدی زیادی می تواند از هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری بکاهد و همچنین ملاحظات فنی شبکه را هم تحت شعاع قرار دهند. شکل های (۴-۱۵) تا (۴-۱۷) به وضوح این مطلب را برای برنامه ریزی شبکه توزیع با حضور و عدم حضور DG تصدیق می کنند.



شکل ۴-۱۵: مقایسه هزینه های سیستم مورد مطالعه در دو حالت با حضور و عدم حضور DG



شکل ۴-۱۶: مقایسه توان تلفاتی سیستم مورد مطالعه در دو حالت با حضور و عدم حضور DG



شکل ۴-۱۷: مقایسه مینیمم ولتاژ سیستم مورد مطالعه در دو حالت با حضور و عدم حضور DG

#### ۴-۴- تحلیل نتایج

در این فصل الگوریتم ارائه شده برای برنامه ریزی شبکه توزیع بر اساس اطلاعات یک شبکه توزیع نمونه شبیه سازی و تحلیل شدند. عملکرد این الگوریتم که براساس مدل ارائه شده برای برنامه ریزی شبکه توزیع معرفی شده بود، در دو حالت با حضور DG و عدم حضور DG، با استفاده از الگوریتم ABC بررسی شدند. همچنین در این فصل مدلی جهت بهینه سازی مسیر و نوع فیدرها به منظور تحویل توان به تمامی نقاط بار، تعیین حوزه سرویس دهی پست و تعیین ظرفیت و تعداد واحدهای DG در برنامه ریزی شبکه توزیع ارائه گردید. تابع هدف ضمن کاهش هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری، ملاحظات فنی شبکه از جمله بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات را مد نظر داشت.

برای حل مسئله از یک روش بهینه سازی فوق ابتکاری مبتنی بر یک هوش جمعی مصنوعی جهت تعیین جواب بهینه برای مسئله برنامه ریزی شبکه توزیع در دو حالت حضور و عدم حضور DG به کار گرفته شد. به جهت اثبات کارایی روش پیشنهادی، یک شبکه 12KV به عنوان شبکه نمونه انتخاب شده است. تجزیه و تحلیل نشان می دهد که در طراحی و برنامه ریزی شبکه توزیع با توجه این که شبکه ها به سمت

هوشمندسازی پیش می‌رود و انرژی‌های فسیلی رو به پایان هستند و یا باعث آلاینده‌گی محیط زیست می‌شوند. انرژی‌های تجدید پذیر در قالب واحدهای DG به لحاظ ویژگی‌های که دارند، تأثیرگذار هستند و همچنین نتایج به دست آمده نقش و عملکرد واحدهای DG در کاهش هزینه را نشان می‌دهد.

## فصل ۵ نتیجه گیری و پیشنهادات

## ۵-۱- نتیجه گیری

با پیشرفت روزافزون صنایع، رشد بار مصرفی و همچنین کمبود انرژی‌های تجدید پذیر و آلاینده‌های زیست محیطی آن‌ها، شرکت‌های برق را بر این داشته تا در طراحی و برنامه‌ریزی دقیق‌تری جهت تأمین توان مصرفی مشترکان در سطح قابل اطمینانی با کمترین هزینه با رعایت ملاحظات فنی برای آن‌ها در یک فضای رقابتی بکوشند.

از طرفی امروزه با توجه به نیاز روزافزون جوامع بشری به انرژی و پیشرفت‌های جدیدی که در زمینه‌ی منابع DG شده است. شاهد رشد استفاده از این منابع هستیم. واحدهای DG با توجه به هزینه کم و آسان بودن نصب و راه‌اندازی و نیز قابلیت اطمینان بالایی که این واحدها برای مشترکان ایجاد می‌کنند، جهت طراحی و توسعه شبکه توزیع به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. با انتخاب درست و مناسب اندازه، محل نصب و ظرفیت آن‌ها، می‌توان حداکثر پروفیل ولتاژ و حداقل تلفات را در شبکه داشت.

در فصل سوم پایان‌نامه، ابتدا تابع هدف و روابطی جهت محاسبه مسئله برنامه‌ریزی شبکه توزیع با در نظر گرفتن ملاحظات فنی و اقتصادی برای سیستم ارائه شد. همچنین از یک نوع الگوریتم بهینه‌سازی فوق ابتکاری جهت محاسبه و حل مسئله بیان و استفاده شده است. در فصل چهارم نیز یک شبکه نمونه جهت حل مسئله با حضور و عدم حضور واحدهای DG مورد مطالعه قرار گرفته است.

نتایج شبیه‌سازی بر روی شبکه نمونه نشان می‌دهد که حل مسئله برنامه‌ریزی در حالت اول - عدم حضور واحدهای DG مقدار تابع برازندگی برابر  $25/38$  میلیون دلار که نسبت به حالت دوم - حضور واحدهای DG که میزان تابع برازندگی آن برابر  $17/86$  میلیون دلار است، بیشتر بوده که نشان دهنده‌ی رشد  $30$  درصد نسبت به حالت دوم می‌باشد. همچنین کاهش تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ در حالت دوم مشاهده شد.

لذا می‌توان نتیجه گرفت که واحدهای DG، در حل مسئله برنامه‌ریزی شبکه توزیع برای تعیین مسیر و نوع فیدر مناسب و همچنین توسعه و افزایش ظرفیت پست‌های شبکه تأثیرگذار خواهد بود؛ و سبب

کاهش قابل توجهی در هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری می‌شود. در این تحقیق هزینه سرمایه‌گذاری ۹٪ و هزینه بهره‌برداری ۸۰٪ در حالت حضور واحدهای DG نسبت به حالت عدم حضور واحدهای DG، کاهش یافته است. ضمن اینکه اعمال واحدهای DG در طراحی و برنامه‌ریزی شبکه توزیع با توجه به نصب در محل بار، تلفات توان را به شدت کاهش و پروفیل ولتاژ بهبود می‌یابد. در نهایت الگوریتم بهینه‌سازی GA به مسئله اعمال شده است و نتایج حاصل مورد بررسی قرار گرفته با روش پیشنهادی الگوریتم ABC مقایسه شد. نتایج به دست آمده درستی روش پیشنهادی در حل مسئله برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد.

## ۵-۲- پیشنهادهای

در این پایان نامه برای برنامه ریزی شبکه توزیع با حضور و عدم حضور واحدهای DG با روش بهینه سازی ABC به منظور توسعه و تعیین حوزه سرویس دهی پست ها و نیز مسیر نوع فیدر مناسب مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور کارایی بیشتر و اجرایی شدن روش مذکور می توان موارد زیر را پیشنهاد کرد:

- ۱- برنامه ریزی مسیریابی بهینه فیدر بدون در نظر گرفتن مکان یابی بهینه پست های فوق توزیع با در نظر گرفتن شرایط جغرافیایی و محیطی حل شد که می توان با لحاظ این قید به بهترین مسیر بهینه برای فیدرهای فشار متوسط دست یافت.
- ۲- با توجه به اینکه سیستم قدرت به سمت هوشمند سازی پیش می رود تا این که هم بهره وری اقتصادی و هم بهره وری هماهنگی بین ادوات افزایش یابد لذا می توان در طراحی و برنامه ریزی شبکه توزیع از تجهیزات اتوما سیون استفاده و اثرات آنها در فرآیند برنامه ریزی دیده شود.
- ۳- با توجه به ایجاد بخش خصوصی و رقابتی شدن بازار برق، می توان به عنوان یک رویکرد تأثیرگذار و جدید برنامه ریزی شبکه توزیع را با در نظر گرفتن محیط های رقابتی انجام داد.
- ۴- با اعمال و نصب واحدهای DG شبکه از حالت شعاعی بودن خارج شده، لذا نیازمند رله های جهتی می باشد که باعث افزایش هزینه ها می شود. با در نظر گرفتن این قید می توان تاثیر آن را در هزینه های برنامه ریزی مشاهده کرد.
- ۵- لحاظ کردن نوع واحد DG مورد استفاده با توجه به منطقه مورد مطالعه در مسئله برنامه ریزی شبکه توزیع و تأثیر آن بر هزینه های برنامه ریزی بررسی کرد.
- ۶- با توجه به این که باید توان مورد تقاضا با یک سطح قابل قبولی از قابلیت اعتماد به مشترکان برسد. لذا می توان قید قابلیت اطمینان را در نظر گرفت و اثرات آن را در روند برنامه ریزی شبکه توزیع مشاهده کرد.



## مراجع

- [1] T. Gonen, "Electric power distribution system engineering", McGraw-Hill: New York, 1986.
- [2] T. Griffin, K. Tomsovic, D. Secrest, and A. Law, "Placement of dispersed generation systems for reduced losses," *System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on*. p. 9 pp., 2000.
- [3] C. Wang and M. H. Nehrir, "Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 19, no. 4. pp. 2068–2076, 2004.
- [4] G. Gregorio Muñoz-Delgado, J. Contreras, and J. M. Arroyo, "Joint Expansion Planning of Distributed Generation and Distribution Networks," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 30, no. 5. pp. 2579–2590, 2015.
- [5] R. Hemmati, R.-A. Hooshmand, and N. Taheri, "Distribution network expansion planning and DG placement in the presence of uncertainties," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 73, pp. 665–673, Dec. 2015.
- [6] S. Heidari, M. Fotuhi-Firuzabad, and S. Kazemi, "Power Distribution Network Expansion Planning Considering Distribution Automation," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 30, no. 3. pp. 1261–1269, 2015.
- [7] H. L. Willis, "Power distribution planning reference book", Marcel Dekker: New York, 1997.
- [8] M. S. S. Hossein Seifi, "Electrical power system planning", Springer-Verlag Berlin Heidelberg: New York, 2011.
- [9] H. K. Alfares and M. Nazeeruddin, "Electric load forecasting: Literature survey and classification of methods," *Int. J. Syst. Sci.*, vol. 33, no. 1, pp. 23–34, Jan. 2002.
- [10] H. M. Al-Hamadi and S. A. Soliman, "Long-term/mid-term electric load forecasting based on short-term correlation and annual growth," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 74, no. 3, pp. 353–361, Jun. 2005.
- [۱۱] الهه مشهور، سید مسعود مقدس تفرشی " پخش بار شبکه توزیع با حضور تولید پراکنده " چهاردهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، کرمان، ۱۳۸۸.
- [۱۲] جبه‌دار مارالانی، پ (مترجم)، چارلز دسو و ارنست کوه (مؤلف) "نظریه اساسی مدارها و شبکه‌ها"، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم، ۱۳۷۹.
- [۱۳] سوادپور. ع، "بازآرایی بهینه شبکه‌های توزیع به روش الگوریتم ژنتیک جهت کاهش تلفات " نهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق. ۱۳۸۳
- [14] D. Shirmohammadi, H. W. Hong, A. Semlyen, and G. X. Luo, "A compensation-based power flow method for weakly meshed distribution and transmission networks," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, no. 2. pp. 753–762, 1988.
- [15] R. S. 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 Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 1. pp. 317–325, 2013.

- [16] A. Soroudi and M. Ehsan, "A distribution network expansion planning model considering distributed generation options and techno-economical issues," *Energy*, vol. 35, no. 8, pp. 3364–3374, Aug. 2010.
- [17] M. Ahmadigorji and N. Amjady, "Optimal dynamic expansion planning of distribution systems considering non-renewable distributed generation using a new heuristic double-stage optimization solution approach," *Appl. Energy*, vol. 156, pp. 655–665, Oct. 2015.
- [18] J. R. M. X. Wang, "Modern power system planning", London: McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1994.
- [19] S. Haffner, L. F. A. Pereira, and Ect, "Multistage Model for Distribution Expansion Planning With Distributed Generation Part I: Problem Formulation," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 2. pp. 915–923, 2008.
- [20] S. Haffner, L. F. A. Pereira, L. A. Pereira, and L. S. Barreto, "Multistage Model for Distribution Expansion Planning with Distributed Generation; Part II: Numerical Results," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 2. pp. 924–929, 2008.
- [21] S. M. Mazhari and H. Monsef, "Dynamic sub-transmission substation expansion planning using learning automata," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 96, pp. 255–266, Mar. 2013.
- [22] U. G. W. Knight, "The logical design of electrical networks using linear programming methods," *Proceedings of the IEE - Part A: Power Engineering*, vol. 107, no. 33. pp. 306–314, 1960.
- [23] D. Vijayakumar and R. K. Nema, "Superiority of PSO Relay Coordination Algorithm over Non-Linear Programming: A Comparison, Review and Verification," *Power System Technology and IEEE Power India Conference, 2008. POWERCON 2008. Joint International Conference on.* pp. 1–6, 2008.
- [24] C. S. Sasireka and P. Raviraj, "Performance analysis of branch-and-bound approach with various model-selection clustering techniques for image data point," *Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT), 2013 Fourth International Conference on.* pp. 1–9, 2013.
- [25] P. C. Paiva, H. M. Khodr, J. A. Dominguez-Navarro, J. M. Yusta, and A. J. Urdaneta, "Integral planning of primary-secondary distribution systems using mixed integer linear programming," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 20, no. 2. pp. 1134–1143, 2005.
- [26] A. M. Cossi, R. Romero, and J. R. S. Mantovani, "Planning of secondary distribution circuits through evolutionary algorithms," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 20, no. 1. pp. 205–213, 2005.
- [27] N. G. Boulaxis and M. P. Papadopoulos, "Optimal feeder routing in distribution system planning using dynamic programming technique and GIS facilities," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 17, no. 1. pp. 242–247, 2002.
- [28] S. M. Mazhari, H. Monsef, and R. Romero, "A Hybrid Heuristic and Evolutionary Algorithm for Distribution Substation Planning," *IEEE Systems Journal*, vol. 9, no. 4. pp. 1396–1408, 2015.
- [29] G. J. Peponis and M. P. Papadopoulos, "New dynamic, branch exchange method for optimal distribution system planning," *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, vol. 144, no. 3. pp. 333–339, 1997.
- [30] K. Aoki, K. Nara, T. Satoh, M. Kitagawa, and K. Yamanaka, "New approximate optimization method for distribution system planning," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 5, no. 1. pp. 126–132, 1990.

- [31] Y. Y. Hsu and J. L. Chen, "Distribution planning using a knowledge-based expert system," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 5, no. 3, pp. 1514–1519, 1990.
- [32] C. Wu, Y. Lou, P. Lou, and H. Xiao, "DG location and capacity optimization considering several objectives with cloud theory adapted GA," *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 24, no. 8, pp. 1076–1088, 2014.
- [33] D. E. Goldberg, "Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning, Reading", MA: Addison, (January), 1989.
- [34] M. M. Eusuff and K. E. Lansey, "Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm," *J. Water Resour. Plan. Manag.*, vol. 129, no. 3, pp. 210–225, 2003.
- [35] E. Atashpaz-Gargari and C. Lucas, "Imperialist competitive algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition," *2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pp. 4661–4667, 2007.
- [36] S. N. Ravadanegh and R. G. Roshanagh, "On optimal multistage electric power distribution networks expansion planning," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 54, pp. 487–497, Jan. 2014.
- [37] M. Sedghi, M. Aliakbar-Golkar, and M.-R. Haghifam, "Distribution network expansion considering distributed generation and storage units using modified PSO algorithm," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 52, pp. 221–230, Nov. 2013.
- [38] J. F. Gomez, H. M. Khodr, P. M. De Oliveira, L. Ocque, J. M. Yusta, R. Villasana, and A. J. Urdaneta, "Ant colony system algorithm for the planning of primary distribution circuits," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 19, no. 2, pp. 996–1004, 2004.
- [39] F. S. Abu-Mouti and M. E. El-Hawary, "Overview of Artificial Bee Colony (ABC) algorithm and its applications," *Systems Conference (SysCon), 2012 IEEE International*, pp. 1–6, 2012.
- [40] F. S. Abu-Mouti and M. E. El-Hawary, "Modified artificial bee colony algorithm for optimal distributed generation sizing and allocation in distribution systems," *Electrical Power & Energy Conference (EPEC), 2009 IEEE*, pp. 1–9, 2009.
- [41] S. Ganguly, N. C. Sahoo, and D. Das, "Recent advances on power distribution system planning: a state-of-the-art survey," *Energy Syst.*, vol. 4, no. 2, pp. 165–193, 2013.
- [42] C. L. T. Borges and V. F. Martins, "Multistage expansion planning for active distribution networks under demand and Distributed Generation uncertainties," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 36, no. 1, pp. 107–116, Mar. 2012.
- [43] S. M. Mazhari, H. Monsef, and R. Romero, "A Multi-Objective Distribution System Expansion Planning Incorporating Customer Choices on Reliability," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 31, no. 2, pp. 1330–1340, 2016.
- [44] R. Ranjan, B. Venkatesh, and D. Das, "A new algorithm for power distribution system planning," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 62, no. 1, pp. 55–65, May 2002.
- [45] R. Niemi and P. D. Lund, "Decentralized electricity system sizing and placement in distribution networks," *Appl. Energy*, vol. 87, no. 6, pp. 1865–1869, Jun. 2010.
- [46] T. Gözel and M. H. Hocaoglu, "An analytical method for the sizing and siting of distributed generators in radial systems," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 79, no. 6, pp. 912–918, Jun. 2009.
- [47] P. S. Georgilakis and N. D. Hatziargyriou, "A review of power distribution planning in the modern power systems era: Models, methods and future research," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 121, pp. 89–100, Apr. 2015.
- [48] S. Ganguly, N. C. Sahoo, and D. Das, "Multi-objective planning of electrical distribution systems using dynamic programming," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 46, pp. 65–78, Mar. 2013.

- 
- [49] G. A. Jimenez-Estevez, L. S. Vargas, and V. Marianov, "Determination of Feeder Areas for the Design of Large Distribution Networks," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 3, pp. 1912–1922, 2010.
- [50] H. Falaghi, C. Singh, M.-R. Haghifam, and M. Ramezani, "DG integrated multistage distribution system expansion planning," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 33, no. 8, pp. 1489–1497, Oct. 2011.
- [51] D. Karaboga, B. Gorkemli, C. Ozturk, and N. Karaboga, "A comprehensive survey: artificial bee colony (ABC) algorithm and applications," *Artif. Intell. Rev.*, vol. 42, no. 1, pp. 21–57, 2014.

## **Abstract**

The annual growth of 7 to 9 percent of power consumption, makes suppliers and distribution networks to supply consumers demand power with acceptable level of reliability, losses and costs reduction. Therefore, because that one of benefits of distribution generation (DGs), if capacity and placement location be accurate, is to reduce the electrical energy losses and voltage profile improvement. Now it could be said that use of DGs is very important in distribution network expansion planning (DENP). In this thesis, assuming that the needed infrastructures for the installing the DGs in the network under study is prepared, distribution network planning problem with presence or absence of DGs presented. So that the planning problem divided into two sub-problem as follows: (1) determining the type feeders path and service areas substation (2) determining the capacity of DGs. The proposed objective function with the specified constraints one being solved by using artificial bee colony optimization algorithm. That operators can develop and implement algorithm, which can achieve the best integration and network structure by development and adjustment of algorithm operators. At the end, in order to assess of proposed model, DNEP will implement on a test network and formulated. Development plan will compare between two conditions with presence and absence of DGs.

**Keywords:** Distribution network expansion planning, distributed generation, Artificial Bee Colony.



**Faculty of Electrical and Robotic Engineering**  
**MSc.Thesis in Electrical Engineering - Power Systems**

**Distribution Network Expansion Planning Considering  
Distributed Generation**

**By: Morteza Heydari Kang Olya**

Supervisor:

**Dr. Mahdi Banejad**

Advisor:

**Dr. Morteza Rahimiyan**

**September 2016**