



دانشکده مهندسی برق و رباتیک
گروه برق - قدرت

جایابی بهینه پست‌های فوق توزیع و فیدرهای شبکه توزیع با در نظر گرفتن تولیدات پراکنده

دانشجو : محسن اولادی

استاد راهنما:

دکتر مهدی بانژاد

استاد مشاور:

دکتر محسن اصیلی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

خرداد ماه 1389

شماره: ۱۷/۱
تاریخ: ۱۳۸۹/۰۳/۰۵
درباره: -----



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

فرم صورت جلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محسن اولادی رشته برق ترمایش: قدرت تحت عنوان: [REDACTED] که در تاریخ ۱۳۸۹/۰۳/۰۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است:

| | | |
|--------------------------------|------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> مردود | <input type="checkbox"/> دفاع مجدد | <input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه امتیاز ۱۸,۷۷۶) |
|--------------------------------|------------------------------------|--|

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

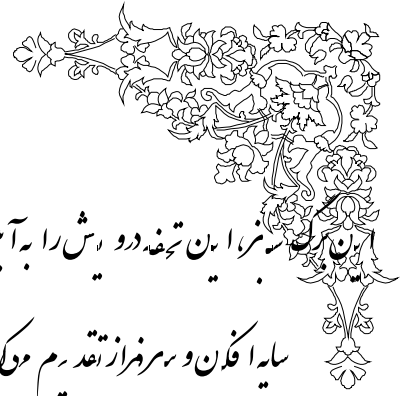
۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

| عضو هیأت داوران | نام و نام خانوادگی | حرفه علمی | امضاء |
|---------------------------------|--------------------|---------------|-------------|
| ۱- استاد امضا | صدیق باژواد | استاد دانشیار | [Signature] |
| ۲- استاد مشاور | ممن اسکن | استاد دانشیار | [Signature] |
| ۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی | ایدر زنده سراف | استاد دانشیار | [Signature] |
| ۴- استاد ممتحن | حمید باقری | استاد دانشیار | [Signature] |
| ۵- استاد ممتحن | احمد دلرایی | دانشیار | [Signature] |

تأیید رئیس دانشکده:

[Signature]



این کلمه سرسبز، این ترغیب دویش را به آیین مهریان مهربان و به نشانه ریاس از بهر مهر آوریم، پیچیده در هریر زور به دو باغبان مهربان و به دو سرو سایه افکن و سرسبز از تقدیرم منگزم:

مادرم از پر تو یاس گل و نازدگی را خریدم و نگاه خسته و بی وفا گویا که اویش بدرقه راهم کشت.

مدریلام هر رنجهایی که برای آبیاری لایق بودته امید خویش کز شد

آنان که وجودم برایشان، هر رنج بود و وجودشان برایم، هر مهر

توانشان رفت تا به توانایی برسم

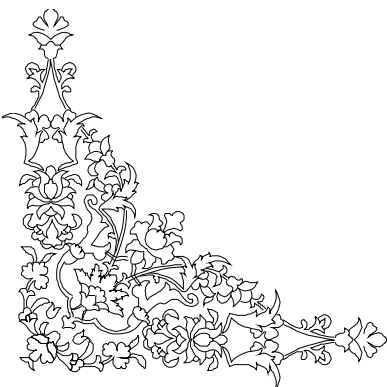
آنانکه فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان بر مایه جاودانی من است

آنانکه راستی قامت در سلگتی قاتشان تجلی یافت.

دربار وجودشان زانوی ادب بنم بیند و ملو از عشق، محبت و خضوع بر قلبشان بوسه منم و وجودشان همیشه سرسبز و

استوار باد.

و تقدیرم هر چه **مهر عزیزم** دوش کو اهنی است بر مهربانی خداوند.



علم و ادب بهای جان توست پس در آموختن آن دو کوشا باش و هرچه بر علم و ادب افزوده گردد قدر و ارزشت بیشتر می شود. (امام علی (ع))

سپاس خداوندی را که سخنوران از ستودن او عاجزند، حساب‌گران از شمارش نعمت‌های او ناتوان و تلاش‌گران از ادای حق او درمانده‌اند. خدایی که افکار ژرف اندیش، ذات او را درک نمی‌کنند و دست غواصان دریای علوم به او نخواهد رسید. پروردگاری که برای صفات او حد و مرزی وجود ندارد و تعریف کاملی نمی‌توان یافت و برای خدا وقتی معین و سرآمدی مشخص نمی‌توان تعیین کرد. خلقت را آغاز کرد و موجودات را بیافرید، بدون نیاز به فکر و اندیشه‌ای یا استفاده از تجربه‌ای، بی آنکه حرکتی ایجاد کند و یا تصمیمی مضطرب در او راه داشته باشد. ستایش می‌کنم خداوند را، برای تکمیل نعمت‌های او، تسلیم بودن در برابر بزرگی او و ایمن ماندن از نافرمانی او. در رفع نیازها از او یاری می‌طلبم زیرا آن کس را که خدا هدایت کند هرگز گمراه نگردد و آن را که خدا دشمن دارد هرگز نجات نیابد و هر آن کس را خداوند بی نیاز گرداند نیازمند نخواهد شد. **پس ستایش خداوند گران‌سنگ‌ترین چیز است و برترین گنجی است که ارزش ذخیره شدن دارد.**

اکنون که با عنایات او نگارش این پایان‌نامه به پایان رسیده است فرصت را برای قدردانی از عزیزانی که در طی مراحل انجام تحقیق همواره از یاری و همدلی ایشان بهره‌مند گشته‌ام، مغتنم می‌شمارم. استاد ارجمند جناب آقای دکتر مهدی بانژاد که در طول انجام این پایان‌نامه از راهنمایی‌های ارزشمند ایشان بهره‌مند گشتم. بدون شک انجام این پایان‌نامه بدون رهنمودهای ایشان غیر ممکن می‌نمود. همچنین از آقایان دکتر دارابی و دکتر طوسی‌ان که قبول زحمت نمودند و داوری پایان‌نامه را بر عهده گرفتند تشکر می‌کنم. و در نهایت آنچه نه انکارناپذیر است و نه فراموش شدنی محبت، بزرگواری و تلاش گوهران بی‌مانند زندگیم مادر، پدر و به خصوص همسر عزیزم است که با صبر و آرامش خود، زمینه رشد و شکوفایی اندیشه‌ام را فراهم نمودند. امید آنکه مطالب این پایان‌نامه مورد استفاده علاقه‌مندان به تحقیق و اندیشمندان قرار گیرد. انشاء...

محسن اولادی

تاریخ: پنجم خردادماه یک هزار و سیصد و هشتاد و نه

تعهد نامه

اینجانب مهندس الهادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد ادکتری رشته برق قدرت دانشگاه صنعتی شاهرود، بوسیله پایان نامه رساله طراحی سیستم کنترل موتورهای فیم رهن در نظر مهندس علی محمد نجات رهنمائی دانشیار مهندس میثوم

- تحقیقات در این پایان نامه رساله توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و امانت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطلب مندرج در پایان نامه، رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جایزگی نشده است.
- کتاب حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج یا نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ نخواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به ثبت آمدن نتایج اصلی پایان نامه رساله تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه رساله (در مواردی که از موجود رنده (یا یافته های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تالیف مراحل انجام این پایان نامه رساله (در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل را در ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

تاریخ: ۱۳۸۹، ۲، ۲۹

امضای دانشجو



ملاحظات نتایج و حق تکثیر

- کتاب حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و غیره) - ارائه شده است متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید بناچار مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه رساله بدون ذکر سرچ مناز نمی باشد.

* متن این ضمیمه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه رساله وجود داشته باشد.

چکیده:

سیستم توزیع یکی از بخش‌های مهم سیستم قدرت می‌باشد و تحویل توان به مشترکین با ویژگی‌های مطلوب نیازمند طراحی مناسب سیستم توزیع است. جایابی بهینه پست‌های فوق توزیع و فیدرهای شبکه توزیع که در این پایان‌نامه مختصراً "طراحی سیستم توزیع"¹ نامیده می‌شود یکی از ارکان اساسی در سیستم‌های توزیع است. با توجه به اینکه هزینه سیستم توزیع بخشی از هزینه کل سیستم را تشکیل می‌دهد لذا در طراحی سیستم توزیع سعی بر آن است که بتوانیم حداقل هزینه ممکن را داشته باشیم.

هدف از این پایان‌نامه طراحی شبکه توزیع با استفاده از روش جایابی شاخه و پخش بار توزیع با وجود تولیدات پراکنده است. تابع هدف در این پایان‌نامه شامل هزینه احداث، هزینه بهره‌برداری و موقعیت فیدرها و پست‌های فوق توزیع است. محدودیت‌های مساله بهینه‌سازی شامل ظرفیت پست‌های فوق توزیع، ظرفیت حرارتی فیدرها، افت ولتاژ و ترکیب شعاعی شبکه می‌باشد. طراحی سیستم توزیع ابتدا برای حالتی که منابع تولید پراکنده وجود ندارند انجام می‌شود. در این حالت جایابی بهینه پست‌ها و فیدرها با استفاده از جایابی شاخه درون ناحیه‌ای و بین ناحیه‌ای تعیین می‌شود. در حالت دوم طراحی سیستم توزیع برای زمانی که ژنراتورهای تولید پراکنده وجود دارند انجام می‌شود. در این حالت، فرآیند بهینه‌سازی از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌کند. نهایتاً الگوریتم ارائه شده در هر دو حالت برای جایابی بهینه پست‌های فوق توزیع و فیدرهای یک شبکه توزیع نمونه استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم ارائه شده در این پایان‌نامه قادر است مکان بهینه پست‌های فوق توزیع و فیدرها را در سیستم توزیع بدون تولیدات پراکنده و با وجود آنها تعیین کند.

کلمات کلیدی: سیستم‌های توزیع، روش جایابی شاخه، تولیدات پراکنده، الگوریتم ژنتیک.

¹ Distribution system planning

مقالات مستخرج از پایان نامه

- [1] محسن اولادی، مهدی بانژاد و حسین یاسمی، "بهینه‌سازی مکان و ظرفیت تولیدات پراکنده در سیستم‌های توزیع با استفاده از تئوری بازی"، اولین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران، اسفند 1388
- [2] علی معینی، محسن اولادی و مهدی بانژاد، "تخصیص بهینه تولیدات پراکنده و خازن در شبکه‌های توزیع با در نظر گرفتن قیدهای هزینه سرمایه‌گذاری و موقعیت مکانی به کمک الگوریتم ژنتیک"، دوازدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، مرداد 1388
- [3] محسن اولادی و مهدی بانژاد، "ارائه یک روش جدید برای طراحی سیستم‌های توزیع با استفاده از روش جابه‌جایی شاخه"، آماده شده برای ارسال.
- [4] محسن اولادی و مهدی بانژاد، "طراحی سیستم‌های توزیع با در نظر گرفتن تولیدات پراکنده"، آماده شده برای ارسال.
- [5] M. Owlady, M. Banejad, "A new method for distribution system planning with use of branch exchange" prepared for submit.
- [6] M. Owlady, M. Banejad, "Distribution system planning with intend distribution generation" prepared for submit.

فهرست مطالب

| | |
|---------|---|
| 1..... | فصل اول: مقدمه |
| 6..... | فصل دوم: مروری بر کارهای انجام شده در زمینه طراحی سیستم‌های توزیع |
| 8..... | 1-2. طراحی سیستم توزیع تحت شرایط نرمال |
| 8..... | 1-1-2. مدل‌های بهینه‌سازی |
| 9..... | 1-1-1-2. مدل‌های تک دوره‌ای |
| 11..... | 2-1-1-2. مدل‌های چند دوره‌ای |
| 11..... | 2-1-2. الگوریتم‌های ابتکاری |
| 13..... | 3-1-2. روش سیستم‌های هوشمند |
| 13..... | 1-3-1-2. الگوریتم ژنتیک |
| 14..... | 2-3-1-2. الگوریتم سیستم مورچگان |
| 14..... | 3-3-1-2. گداختگی فلزات |
| 15..... | 2-2. طراحی برای شرایط اضطراری |
| 15..... | 3-2. در نظر گرفتن عدم قطعیت |
| 16..... | فصل سوم: پخش بار در سیستم‌های توزیع |
| 18..... | 1-3. روشهای ماتریس ادمیتانس |
| 18..... | 2-3. روشهای ماتریس امیدانس |
| 19..... | 3-3. روش نیوتن-رافسون |
| 20..... | 4-3. پخش بار مخصوص سیستم‌های توزیع |
| 21..... | 1-4-3. پخش بار پیشرو-پسرو |
| 21..... | 1-1-4-3. لایه بندی و شماره‌گذاری |
| 23..... | 2-1-4-3. محاسبه جریان گره‌ها |
| 23..... | 3-1-4-3. مسیر پسرو |
| 23..... | 4-1-4-3. مسیر پیشرو |

| | | |
|---------|---|---------|
| 24..... | معیار همگرایی | 5-1-4-3 |
| 24..... | پخش در شبکه‌های حلقوی ضعیف | 2-4-3 |
| 26..... | محاسبه جریان در نقاط شکست با استفاده از روش تصحیح | 1-2-4-3 |
| 27..... | محاسبه ماتریس امیدانس نقاط شکست | 2-2-4-3 |
| 28..... | فرایند تصحیح تکراری | 3-2-4-3 |
| 29..... | انتخاب نقاط شکست | 4-2-4-3 |
| 30..... | اصلاح پخش بار در حلقه | 3-4-3 |
| 30..... | پخش بار ساختار یافته | 4-4-3 |

فصل چهارم: طراحی سیستم توزیع با استفاده از الگوریتم جابجایی شاخه.....34

| | | |
|---------|----------------------------------|-------|
| 36..... | فرمول‌بندی مساله طراحی | 1-4 |
| 37..... | الگوریتم حل مساله | 2-4 |
| 38..... | ایجاد شبکه شعاعی اولیه | 3-4 |
| 38..... | جابجایی شاخه | 4-4 |
| 39..... | جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای | 1-4-4 |
| 40..... | جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای | 2-4-4 |
| 41..... | معیارهای باز کردن حلقه | 3-4-4 |
| 44..... | الگوریتم کامل طراحی | 5-4 |

فصل پنجم: تعیین محل پست‌ها و فیدرها در شبکه‌های توزیع با در نظر گرفتن تولید

| | | |
|---------|---|---------|
| 45..... | پراکنده با استفاده از جابجایی شاخه | 45 |
| 46..... | طراحی سیستم توزیع بدون در نظر گرفتن واحدهای تولید پراکنده | 1-5 |
| 47..... | تابع بهینه‌سازی | 1-1-5 |
| 48..... | تشکیل شبکه‌های شعاعی اولیه | 2-1-5 |
| 50..... | الگوریتم پریم | 1-2-1-5 |
| 53..... | استفاده از جابجایی شاخه | 3-1-5 |
| 54..... | الگوریتم جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای | 1-3-1-5 |

| | | |
|---------|--|---------|
| 57..... | الگوریتم جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای | 2-3-1-5 |
| 59..... | بررسی بهینه بودن حل | 3-3-1-5 |
| 59..... | طراحی شبکه توزیع با در نظر گرفتن امکان نصب تولیدات پراکنده | 2-5 |
| 59..... | تولیدات پراکنده | 1-2-5 |
| 63..... | طراحی سیستم توزیع با تولید پراکنده | 2-2-5 |
| 64..... | فلوچارت اجرای الگوریتم طراحی با DG | 3-2-5 |

65..... فصل ششم: طراحی یک سیستم توزیع نمونه

| | | |
|---------|--|---------|
| 66..... | سیستم توزیع نمونه | 1-6 |
| 68..... | تابع بهینه سازی | 2-6 |
| 69..... | تشکیل شبکه‌های شعاعی اولیه | 3-6 |
| 73..... | استفاده از جابجایی شاخه | 4-6 |
| 73..... | جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای | 1-4-6 |
| 78..... | جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای | 2-4-6 |
| 82..... | نتیجه اجرای کامل الگوریتم | 3-4-6 |
| 84..... | مقایسه شبکه طراحی شده با روش پایان‌نامه و مراجع [20,19] | 5-6 |
| 86..... | تحلیل نتایج طراحی برای سیستم توزیع با روش پایان‌نامه و مراجع [19,20] | 1-5-6 |
| 87..... | طراحی شبکه توزیع با در نظر گرفتن امکان نصب تولیدات پراکنده | 6-6 |
| 89..... | پارامترهای الگوریتم ژنتیک | 1-6-6 |
| 90..... | نتایج طراحی با وجود تولید پراکنده | 2-6-6 |
| 90..... | سیستم توزیع 1 | 1-2-6-6 |
| 90..... | سیستم توزیع 2 | 2-2-6-6 |
| 92..... | سیستم توزیع 3 | 3-2-6-6 |
| 93..... | تحلیل نتایج طراحی برای سیستم توزیع 3 | 3-6-6 |

98..... فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

| | | |
|----------|----------------------------------|-----|
| 99..... | نتیجه‌گیری | 1-7 |
| 100..... | پیشنهاداتی جهت تکمیل و ادامه کار | 2-7 |

| | |
|----------|--|
| 101..... | فصل هشتم: الگوریتم ژنتیک (ضمیمه) |
| 103..... | 1-8. الگوریتم ژنتیک |
| 105..... | 2-8. طرح کلی برنامه‌نویسی الگوریتم ژنتیک |
| 108..... | 1-2-8. کدگذاری |
| 108..... | 1-1-2-8. کدگذاری باینری |
| 108..... | 2-1-2-8. کدگذاری ارزشی |
| 109..... | 3-1-2-8. کدگذاری درختی |
| 110..... | 2-2-8. روش‌های انتخاب |
| 110..... | 1-2-2-8. چرخ گردان |
| 111..... | 2-2-2-8. انتخاب رتبه‌ای |
| 112..... | 3-2-8. روش‌های تغییر |
| 112..... | 1-3-2-8. تقاطع |
| 113..... | 2-3-2-8. جهش |
| 113..... | 4-2-8. نخبه‌گرایی |
| 113..... | 5-2-8. نقاط قوت الگوریتم ژنتیک |
| 115..... | 6-2-8. محدودیت‌های الگوریتم ژنتیک |
| 116..... | مراجع |

فهرست جداول و شکل‌ها

- جدول 3-1: مقایسه زمان اجرای پخش بار 10ای مختلف در سیستم توزیع 20
- شکل 3-1: شبکه شعاعی از یکسو تغذیه 21
- شکل 3-2: لایه بندی و شماره گذاری شبکه 22
- شکل 3-3: شبکه حلقوی 25
- شکل 3-4: نقطه شکست و جریان تزریقی در گره 26
- شکل 3-5: مدار معادل چند ورودی شبکه از دید نقاط شکست 26
- شکل 3-6: مدار معادل تونن شبکه از نقطه شکست 27
- شکل 3-7: یک شبکه توزیع با دو ناحیه 31
- جدول 3-2: نمایش شبکه نشان داده شده در شکل 3-7 32
- شکل 3-8: فلوچارت پخش بار ساختاریافته 33
- شکل 4-1: ایجاد حلقه در جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای 39
- شکل 4-2: ایجاد حلقه در جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای 41
- شکل 4-3: الگوی جریان بهینه 43
- شکل 5-1: فلوچارت روش طراحی 47
- جدول 5-1: روند اجرای الگوریتم پریم 50
- شکل 5-2: فلوچارت الگوریتم جابجایی شاخه 54
- شکل 5-3: فلوچارت الگوریتم جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای 56
- شکل 5-4: فلوچارت الگوریتم جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای 58
- شکل 5-5: فلوچارت اجرای الگوریتم طراحی با DG 64
- شکل 6-1: نقاط بار در سیستم نمونه 67
- شکل 6-2: شماتیک سیستم نمونه به همراه مسیرهای آن 67
- جدول 6-1: مختصات و توان نقاط شبکه 68
- جدول 6-2: هزینه احداث پست 69

| | |
|----|---|
| 69 | جدول 6-3: مشخصات هادی‌ها و هزینه احداث آنها |
| 70 | شکل 6-3: تقسیم گره‌ها بین نقاط کاندید برای احداث پست |
| 70 | شکل 6-4: خطوط ارتباطی درون ناحیه‌ای |
| 71 | شکل 6-5: خطوط ارتباطی بین ناحیه‌ای |
| 71 | شکل 6-6: شبکه‌های شعاعی اولیه |
| 72 | جدول 6-4: جزئیات شبکه 1 |
| 72 | جدول 6-5: جزئیات شبکه 2 |
| 72 | جدول 6-6: وضعیت شبکه‌های اولیه |
| 73 | شکل 6-7: شماتیک یک نمونه حلقه درون ناحیه‌ای |
| 74 | جدول 6-7: یک نمونه حلقه در ناحیه 1 |
| 74 | جدول 6-8: وضعیت شبکه با باز شدن حلقه |
| 76 | شکل 6-8: شماتیک سیستم بعد از جابجایی شاخه (وصل شاخه 11-22 و قطع شاخه 13-15) |
| 76 | شکل 6-9: الف: شبکه‌های شعاعی اولیه، ب: سیستم توزیع بعد از اجرای کامل جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای |
| 77 | جدول 6-9: جزئیات شبکه 1 بعد از جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای |
| 77 | جدول 6-10: جزئیات شبکه 2 بعد از جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای |
| 77 | جدول 6-11: وضعیت سیستم توزیع بعد از جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای |
| 78 | شکل 6-10: خطوط ارتباطی بین شبکه 1 و 2 با خط چین نشان داده شده است |
| 79 | شکل 6-11: ایجاد حلقه بین دو ناحیه |
| 79 | جدول 6-12: حلقه بین ناحیه‌ای |
| 80 | جدول 6-13: وضعیت شبکه در مثال جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای |
| 80 | جدول 6-14: نمایش وضعیت دو شبکه با هم در مثال جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای |
| 81 | جدول 6-15: جابجایی شاخه بین ناحیه 1 و 2 |
| 81 | شکل 6-12: شماتیک شبکه بعد از اجرای جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای |
| 82 | جدول 6-16: جزئیات شبکه بعد از جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای |
| 82 | جدول 6-17: وضعیت سیستم بعد از جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای |
| 83 | شکل 6-13: شماتیک نهایی سیستم توزیع بعد از اجرای کامل الگوریتم جابجایی شاخه |

- جدول 6-18: جزئیات سیستم توزیع نهایی 83
- جدول 6-19: وضعیت سیستم توزیع بعد از اجرای کامل الگوریتم 84
- جدول 6-20: مقایسه بین سیستم توزیع اولیه و نهایی 84
- شکل 6-14: الف: شبکه به دست آمده از روش پایان‌نامه، ب: شبکه به دست آمده در [19,20] 85
- جدول 6-21: جزئیات دو شبکه شکل 6-14 85
- جدول 6-22: مقایسه وضعیت دو شبکه شکل 6-14 86
- شکل 6-15: فلوچارت کامل طراحی با تولید پراکنده 88
- جدول 6-23: مشخصات ژنراتورهای تولید پراکنده 89
- جدول 6-24: یک نمونه کروموزوم 90
- جدول 6-25: بهترین کروموزوم نسل آخر (سیستم توزیع 2) 91
- شکل 6-16: الف: شبکه بدون تولید پراکنده، ب: شبکه با وجود تولید پراکنده (سیستم توزیع 2) 92
- جدول 6-26: جزئیات سیستم در دو حالت بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده (سیستم توزیع 2) 92
- جدول 6-27: وضعیت سیستم طراحی شده در دو حالت بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده (سیستم توزیع 2) 92
- جدول 6-28: بهترین کروموزوم نسل آخر (سیستم توزیع 3) 92
- شکل 6-17: الف: شبکه بدون تولید پراکنده، ب: شبکه با وجود تولید پراکنده (سیستم توزیع 3) 93
- جدول 6-29: جزئیات شبکه 1 در دو حالت بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده (سیستم توزیع 3) 93
- جدول 6-30: جزئیات شبکه 2 در دو حالت بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده (سیستم توزیع 3) 94
- جدول 6-31: وضعیت سیستم طراحی شده در دو حالت بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده (سیستم توزیع 3) 94
- جدول 6-32: وضعیت کلی سیستم توزیع در دو حالت بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده (سیستم توزیع 3) 94
- شکل 6-18: مقایسه طول سیستم توزیع طراحی شده در دو حالت بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده 95
- شکل 6-19: مقایسه مینیمم ولتاژ سیستم توزیع طراحی شده در دو حالت بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده 95
- شکل 6-20: مقایسه تلفات سیستم توزیع طراحی شده در دو حالت بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده 95
- شکل 6-21: مقایسه هزینه‌های سیستم توزیع طراحی شده در دو حالت بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده 96
- شکل 8-1: فلوچارت اجرای الگوریتم ژنتیک 107
- جدول 8-1: کروموزوم با کدگذاری باینری 108
- جدول 8-2: کروموزوم با کدگذاری ارزشی 109

| | |
|----------|--|
| 109..... | شکل 8-2: کدگذاری درختی |
| 110..... | شکل 8-3: برازندگی کروموزومهای یک نسل |
| 112..... | شکل 8-4: نمودار قبل از رتبه‌بندی |
| 112..... | شکل 8-5: نمودار بعد از رتبه‌بندی |
| 113..... | شکل 8-6: تقاطع با یک نقطه |
| 113..... | شکل 8-7: تقاطع با دو نقطه |

فصل اول

مقدمه

نقطه تحویل توان به مشترکین در سیستم قدرت، شبکه توزیع می‌باشد. تحویل توان با ویژگی‌های مطلوب محتاج طراحی درست شبکه توزیع است. در طراحی سیستم توزیع سعی بر آن است که بتوانیم حداقل هزینه ممکن را داشته باشیم. این هزینه شامل هزینه احداث شبکه و هزینه بهره‌برداری از آن است. هزینه بهره‌برداری از شبکه در طراحی به هزینه ناشی از تلفات شبکه اطلاق می‌شود. تلفات در بهره‌برداری و طراحی سیستم توزیع از اهمیت فراوانی برخوردار است. بیش از نیمی از تلفات سیستم قدرت در سیستم توزیع اتفاق می‌افتد. نکته دیگری که اهمیت تلفات را در طراحی افزایش می‌دهد این است که معمولاً نمی‌توان هزینه سرمایه‌گذاری در نصب تجهیزات را به خاطر ظرفیت مورد نیاز بار تا حد زیادی کاهش داد، اما با کاهش تلفات می‌توان صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای را در هزینه کل سیستم توزیع انجام داد. اولاً بخشی از توان که تلف می‌شود به مصرف کننده نمی‌رسد و بنابراین قابل فروش نیست و هزینه‌های مربوط به آن تامین نمی‌شود، ثانیاً تلفات توان سبب می‌شود که برای تامین مقدار مشخصی از تقاضا، توان بیشتری از منابع ارسال شود و این خود به معنی بالا رفتن مقادیر نامی تجهیزات و اضافه شدن هزینه‌های سرمایه‌گذاری است.

به طور کلی مزایای کاهش تلفات را می‌توان به صورت زیر نام برد:

- (1) تعویق در سرمایه‌گذاری‌های آتی
- (2) کاهش هزینه‌های ثابت
- (3) کاهش هزینه‌های بهره‌برداری
- (4) افزایش فروش انرژی به خاطر آزاد شدن ظرفیت شبکه ناشی از کاهش تلفات
- (5) بهبود پروفایل ولتاژ

با این توضیحات واضح است که چرا هزینه تلفات در طراحی سیستم توزیع در نظر گرفته می‌شود [1].

از آنجایی که هزینه سرمایه‌گذاری برای توسعه سیستم‌های توزیع خیلی زیاد است، طراحان از روش‌های بهینه‌سازی مختلفی در طراحی استفاده می‌کنند. در مساله طراحی ابتدا میزان بار یک شبکه در آینده پیش‌بینی می‌شود و سپس با استفاده از این اطلاعات تجهیزات مورد نیاز برای تامین این بارها در آینده مشخص می‌شود.

یک شبکه توزیع، از تعدادی پست و فیدر تشکیل شده است که توسط فیدرها توان از پست‌ها به بارهای شبکه منتقل می‌شود. طراحی سیستم توزیع کار پیچیده‌ای است و طراح می‌بایست مطمئن شود ظرفیت پست (ظرفیت ترانسفورماتور) و ظرفیت فیدر کافی برای برآورده کردن مورد نیاز بار در ناحیه طراحی وجود دارد. با توجه به هزینه زیاد احداث پست‌های فوق توزیع و فیدرهای فشار متوسط لذا تصمیماتی که در این زمینه گرفته می‌شود باید به دقت ارزیابی شود.

طراحی سیستم توزیع می‌تواند طراحی یک شبکه برای احداث و یا طراحی برای توسعه شبکه موجود باشد. روش‌های استفاده شده در هر دو مورد فوق یکسان است. مراحل طراحی در هر دو مورد شامل گام‌های زیر می‌شود [2]:

- پیش بینی بار در مناطق جدید
- مشخص کردن موقعیت و ظرفیت پست‌های فوق توزیع
- مشخص کردن مسیر فیدرها

به طور کلی تصمیم‌گیری در طراحی سیستم‌های توزیع شامل موارد زیر است [3]:

- مکان بهینه پست‌های فوق توزیع
- مسیر بهینه فیدرها
- طراحی بهینه هر فیدر به تنهایی
- واگذاری یا تخصیص بهینه بارها
- تخصیص بهینه ظرفیت پست‌ها

عوامل موثر در تصمیم‌گیری شامل موارد زیر می‌شود:

- قانون KCL¹
- قانون KVL²
- کاهش هزینه متغیر در فیدرها
- قابلیت اطمینان فیدرها
- افت ولتاژ در فیدرها
- ظرفیت عادی پست‌ها
- ظرفیت اضطراری³ پست‌ها
- ظرفیت اضطراری فیدرها
- شعاعی بودن شبکه

¹ Kirchhoff current law

² Kirchhoff voltage law

³ Emergency

هدف این پایان نامه بررسی در نظر گرفتن واحدهای تولید پراکنده در طراحی سیستم‌های توزیع است. با توجه به رشد استفاده از این واحدها در شبکه‌های توزیع بررسی تاثیر این واحدها بر طراحی سیستم توزیع امری ضروری است. مسلماً با تامین بخشی از توان بار توسط این واحدها شرایط سیستم تغییر کرده و این مساله طراحی سیستم توزیع را تغییر می‌دهد. نکته‌ای که وجود دارد طراحی بهینه سیستم توزیع با وجود این واحدها است.

در این پایان نامه، در فصل دوم مروری بر کارهای انجام شده در زمینه طراحی سیستم‌های توزیع می‌شود. در فصل سوم نحوه اجرای پخش بار در سیستم توزیع بیان می‌گردد. در فصل چهارم طراحی سیستم توزیع با استفاده از الگوریتم جابجایی شاخه مطرح خواهد شد. در فصل پنجم روش پیشنهادی برای طراحی سیستم توزیع به صورت تک مرحله‌ای با استفاده از الگوریتم جابجایی شاخه و در دو حالت زیر بیان می‌شود:

1) طراحی بدون در نظر گرفتن امکان نصب واحدهای تولید پراکنده در شبکه

2) طراحی با در نظر گرفتن امکان نصب واحدهای تولید پراکنده در شبکه

در فصل ششم با استفاده از روش پیشنهادی در فصل پنجم، طراحی بهینه برای یک سیستم توزیع نمونه در دو حالت ذکر شده در بالا انجام می‌شود.

در فصل هفتم نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای ادامه کار ارائه می‌شود. در فصل هشتم که ضمیمه است توضیح مختصری راجع به الگوریتم ژنتیک و نحوه استفاده از آن داده می‌شود. در انتها مراجع بیان می‌شود.

فصل دوم

مروری بر کارهای انجام شده در زمینه

طراحی سیستم های توزیع

در این فصل مروری بر مدل‌های مربوط به طراحی پست‌ها و فیدرهای توزیع انجام می‌شود. اکثر کارهای تحقیقاتی انجام شده را می‌توان تحت دو عنوان: طراحی تحت شرایط عادی و طراحی برای وضعیت اضطراری دسته‌بندی کرد.

تلاش‌های فعلی در زمینه طراحی سیستم‌های توزیع بسط کارهای انجام شده توسط گونن¹ و محمود² در سال 1983 و گونن و رامیرز-روسادو³ در سال 1986 می‌باشد. این افراد نقش مهمی در تحقیقات مهندسی در این زمینه داشته‌اند[3].

مدل‌های زیادی طراحی را تحت شرایط نرمال بررسی کرده‌اند. در این مدل‌ها طراحی برای مواقعی که خرابی پست‌ها و یا فیدرها اتفاق می‌افتد نادیده گرفته شده است. اخیراً در طراحی مدل‌هایی با در نظر گرفتن احتمالات مطرح شده است.

ساختار سیستم‌های توزیع یک ساختار شعاعی می‌باشد و در طراحی سعی می‌شود این مساله نیز رعایت شود. علت شعاعی بودن شبکه کمتر بودن هزینه ساخت این شبکه‌ها نسبت به شبکه‌های حلقوی می‌باشد. نقص عمده این شبکه‌ها قابلیت اطمینان پایین آن و عدم تداوم در سرویس‌دهی

¹ Gonen

² Mahmoud

³ Ramirez-Rosado

می‌باشد. این عیب را می‌توان با استفاده از آرایش‌های حلقوی بر طرف کرد. در این صورت در شبکه با استفاده از کلیدهایی در نقاط مختلف ساختار حلقوی ایجاد می‌شود تا در مواقع بروز خطا امکان تامین انرژی مشترکین وجود داشته باشد. بدیهی است که در این صورت قابلیت اطمینان سیستم و هزینه آن افزایش خواهد یافت. با توجه به هزینه بالای مورد نیاز برای احداث شبکه حلقوی، سیستم‌های توزیع معمولاً شعاعی طراحی می‌شوند [1].

۲-۱. طراحی سیستم توزیع تحت شرایط نرمال

با توجه به طبیعت مساله طراحی، فرمول‌بندی‌ها اغلب به صورت برنامه‌ریزی ریاضی: برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی خطی 0-1 و برنامه‌ریزی غیر خطی می‌باشد. از آنجایی که بعد مساله به صورت طبیعی خیلی بزرگ است، حل این مدل‌ها (به جز LP¹) در زمان منطقی و قابل قبول انجام نمی‌شود. همچنین تعداد زیادی روش‌های ابتکاری و اخیراً روش‌های هوش مصنوعی² در زمینه طراحی وجود دارند. کارهای انجام گرفته شده در زمینه طراحی سیستم‌های توزیع بر طبق روش‌های آنها برای حل به سه دسته تقسیم می‌شوند:

(1) مدل‌های بهینه‌سازی

(2) الگوریتم‌های ابتکاری³

(3) روش‌های سیستم هوشمند

۲-۱-۱. مدل‌های بهینه‌سازی

در مدل‌های بهینه‌سازی مجدداً دو گروه‌بندی: مدل‌های تک دوره‌ای⁴ و مدل‌های چند دوره‌ای⁵ وجود دارد.

¹ Linear programming

² Artificial intelligence

³ Heuristic algorithm

⁴ Single period models

⁵ Multi period models

۲-۱-۱-۱. مدل‌های تک دوره‌ای

مدل‌های تک دوره‌ای، مدل‌های ثابتی هستند که فرض می‌کنند در طی مدت طراحی شرایط سیستم ثابت باقی می‌ماند. در این مدل‌ها ضریبی برای رشد بار در نظر گرفته نمی‌شود لذا احتیاجی به نصب تجهیزات در سال‌های بعد نیست. در کل این مدل‌های بهینه‌سازی را می‌توان در 4 گروه به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- (1) مدل‌های تک فیدری
- (2) مدل‌های چند فیدری
- (3) مدل‌های دو مرحله‌ای شامل طراحی پست و سپس فیدر
- (4) مدل‌های طراحی همزمان پست و فیدر

۲-۱-۱-۱-۲. مدل تک فیدری

در این نوع از مدل‌ها تنها یک فیدر در بهینه‌سازی در نظر گرفته می‌شود. پانویکو و راو¹ ساختار هر فیدر را بر اساس طول، سائز هادی و ارزیابی اقتصادی بین هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه بهره‌برداری بهینه کردند [4].

۲-۱-۱-۲. مدل چند فیدری

در این روش شبکه‌ای از پست‌ها و نقاط بار وجود دارد. تابع هدف، تعیین بهترین راه برای اتصال پست‌ها و بار به همدیگر به طوری که هزینه حداقل شود، می‌باشد. به عبارت دیگر در اینجا نحوه اتصال فیدرها به یک پست بهینه می‌شود.

آدامز و لاگتون² اولین کارها را در این روش انجام دادند. دو پارامتر برای هزینه وجود داشت: هزینه ثابت و هزینه متغیر ناشی از پخش بار برای یک اتصال خاص. نحوه خطی‌سازی هزینه متغیر نیز نشان داده شد [5]. اگرچه این روش به روش چند مرحله‌ای تعمیم یافت اما در کل به صورت تک مرحله‌ای باقی ماند.

1 Ponnavaikko and Rao
2 Adams and Laughton

۳-۱-۱-۲. مدل دو مرحله‌ای شامل طراحی پست و سپس فیدر

مسعود¹ یک روش دو مرحله‌ای برای طراحی سیستم توزیع ارائه کرد [6]. در مرحله اول (مدل 0-1 LP) تصمیم‌گیری برای احداث پست‌ها با توجه به موقعیت بار انجام می‌شود. در مرحله دوم با توجه به ظرفیت پست‌های به دست آمده از مرحله اول نحوه اتصال فیدرها مشخص می‌شود. فاووزی و سوبکی² مدل مشابهی را برای حالتی که افت ولتاژ و هزینه توان، به عنوان متغیر غیر خطی در نظر گرفته شوند، تعمیم دادند [7]. در این روش یک الگوریتم شاخه و محدوده³ برای تصمیم‌گیری اولیه در مورد پست‌ها (با در نظر گرفتن فیدرهای تقریبی) استفاده شده بود. این روش حل، بعدها قسمتی از فرآیند تکراری تعیین ترکیب بهینه فیدرها می‌شود.

۴-۱-۱-۲. مدل طراحی همزمان پست و فیدر

این نوع مسئله، تصمیم‌گیری‌های مربوط به نصب پست‌ها و فیدرها، جریان فیدرها و بار پست‌ها را به طور هم زمان انجام می‌دهد. متغیرهای 0-1 (نصب پست‌های جدید) به فرمول‌بندی فیدرهای سیستم اضافه می‌شود که همراه با مولفه‌های هزینه متغیر (تلفات) بر اساس مجموع توان عبوری از هر پست می‌باشد.

تامبسون و وال⁴ برای حل این مساله الگوریتم محدوده و شاخه را ارائه کردند [8]. دو معیار اصلی الگوریتم: 1- مینیمم کردن هزینه نهایی 2- کوتاه کردن مسیر مشترکین بود. در اینجا فرض می‌شود که هزینه ثابت همه پست‌هایی پیشنهادی صفر است و لذا مساله پخش بار برای رسیدن به کمترین هزینه ناشی از تلفات، حل می‌شود. این هزینه به اضافه هزینه ثابت پست‌های پیشنهادی یک کران پایین برای هزینه کل ایجاد می‌کند. در ادامه مساله پخش بار برای تغذیه یک بار مشخص از یک پست پیشنهادی خاص، با مدار باز بودن تمام پست‌های موجود و مدار بسته بودن پست پیشنهادی، حل می‌شود. به این ترتیب یک هزینه حاشیه‌ای برای این توان خاص به دست می‌آید. انجام این کار برای

¹ Masud

² Fawzi and El-Sobki

³ Branch and bound

⁴ Thompson and Wall

دیگر منابع پیشنهادی منجر به ایجاد یک کران پایین هزینه برای تغذیه یک بار در نقطه خاص می‌شود.

ویلز و نورکات-گرین¹ کارآمدی تعدادی از مدل‌های فوق را براساس 1) مزیت‌های کلی در طراحی 2) ظرفیت اجرای تحلیل برنامه‌های بزرگ 3) حساسیت به خطای پیش بینی بار 4) میزان واقعی بهبود، تست کردند. شبیه‌سازی برای هر کدام از موارد فوق انجام شد. مزیت کلی و حساسیت خطا در مدل‌های طراحی همزمان پست و فیدر بهتر می‌باشد [9].

۲-۱-۲. مدل‌های چند دوره‌ای

اگر چه مسائل چند دوره‌ای را می‌توان به عنوان یک سری مسائل تک دوره‌ای حل کرد و هر دوره را به عنوان یک موقعیت توسعه در نظر گرفت، اما نتیجه حل به این صورت، بهینه کلی نخواهد بود زیرا جواب فعلی تحت تاثیر تصمیمات آینده در مدت بهینه‌سازی قرار نمی‌گیرد. علاوه بر این بسط مدل‌های تک دوره‌ای فقط با اندیس برای پارامترهای متغیر با زمان کافی نیست. در مسائل چند دوره‌ای، می‌بایست مدلسازی شفاف از تصمیم‌گیری‌های متغیر با زمان در نظر گرفته شود. این تصمیم‌گیری‌ها شامل: نصب یک دستگاه در یک موقعیت، نصب تجهیزات مرتبط با هم و یا ناسازگار با هم و ملاحظات شعاعی بودن شبکه در آینده است. با استفاده از متغیرهای 0-1 این ملاحظات به صورت محدودیت‌های منطقی مدل می‌شود.

۲-۱-۲. الگوریتم‌های ابتکاری

برای بسیاری از مسائل طراحی توزیع واقعی، فرمول‌بندی به صورت برنامه‌ریزی 0-1 خطی به خاطر تعداد زیاد متغیرها و محدودیت‌ها غیر قابل استفاده است. می‌توان مساله را با فرضیاتی که آن را از لحاظ محاسباتی قابل اجرا کند، ساده کنیم اما تضمینی وجود ندارد که جواب بهینه مساله ساده شده در مساله اصلی نیز بهینه باشد. با توجه به این مشکلات الگوریتم‌های ابتکاری در طراحی سیستم توزیع استفاده شد. در این قسمت چند الگوریتم ابتکاری بیان می‌شود.

آکای و همکارانش¹ الگوریتم "جابه‌جایی شاخه"² را برای طراحی بهینه سیستم توزیع تک مرحله‌ای، پیشنهاد دادند [10]. این الگوریتم به صورت زیر کار می‌کند:

- از یک ترکیب ممکن شروع کنید و یک شاخه برای ایجاد حلقه اضافه کنید.
 - برای رسیدن به ترکیب قابل قبول یک شاخه (با بیشترین هزینه سرمایه‌گذاری یا شاخه‌ای که محدودیتی را نقض کرده) حذف می‌شود. اگر این جابه‌جایی منجر به بهبود در شبکه شد آن را حفظ می‌کنیم در غیر این صورت جابه‌جایی در نظر گرفته نمی‌شود.
 - این روند را تا زمانی تکرار کنید که تابع هدف با جابه‌جایی‌های دیگر بهبود نیابد. تعیین جابه‌جایی‌های خیلی حساس توسط جدول سیمپلکس انجام می‌شود.
- نارا و همکارانش³ (1991) الگوریتم تقریبی جابه‌جایی شاخه تک‌دوره‌ای آووکای (1990) را به الگوریتم تقریبی چند دوره‌ای بسط دادند [11]. این الگوریتم به صورت زیر است:
- **مسیر مستقیم.** در زمان t با استفاده از روش جابه‌جایی شاخه، طرح توسعه تقریبی برای $t=t+1$ تعیین می‌شود. این طرح توسعه تک‌دوره‌ای اصطلاحاً مسیر مستقیم نامیده می‌شود.
 - **مسیر برگشت.** برخلاف روش چند دوره‌ای که دوره به دوره انجام می‌شود، در این روش باید مسیر برگشت بعد از هر مسیر رفت انجام شود. در مسیر برگشت دوره قبلی طی می‌شود تا مشخص گردد طرح توسعه $P0$ که برای آن دوره پیدا شده است آیا واقعا بهترین جوابی است که با جابه‌جایی شاخه به آن دست یافته‌ایم. این روند در دوره قبل، با حذف کردن شاخه‌ای که تا کنون مورد استفاده قرار نگرفته است و اجرای جابه‌جایی شاخه در شبکه نتیجه انجام می‌شود.
 - **مسیر رفت-برگشت.** اگر در هر دوره‌ای طرح به دست آمده از مسیر برگشت هیچ بهبودی نداشته باشد، فرآیند برگشت متوقف شده و فرآیند رفت با جواب به دست آمده از مسیر رفت ($P0$) ادامه می‌یابد.

1 Aoki, et al

2 Branch exchange

3 Nara, et al

نویسندگان در مرجع [12] مساله طراحی را به دو مرحله تقسیم کردند: پیش‌بینی و طراحی. در مرحله 1 مساله رشد بار در دو فاز حل می‌شود. فاز اول ناحیه سرویس‌دهی را به زیر ناحیه‌های کوچک تقسیم می‌کند. در هر زیر ناحیه جمع همه گره‌های بار، یک گره بار واحد ایجاد می‌کند. در فاز دوم پیش‌بینی بار برای گره‌های بار انجام می‌شود. در مرحله 2 مساله طراحی دوباره به دو فاز تقسیم می‌شود. مساله فاز اول تعیین تجهیزات کلی مورد نیاز برای نصب (بدون اطلاع از زمان نصب) به وسیله حل مساله برای برآورده کردن بار در سال افق، می‌باشد. در فاز دوم برای هر سال میانی بین پایه و سال افق یک سیستم میانی بهینه با استفاده از فقط مجموعه تجهیزات مساله بهینه سال افق تعیین می‌شود. این یک زمان‌بندی برای نصب تجهیزات و توسعه سال به سال شبکه تعیین خواهد کرد.

۳-۱-۲. روش سیستم‌های هوشمند

در این روش‌ها سیستم هوشمند ابتدا همه جواب‌های ممکن را تولید می‌کند. یک ارزیابی معمولی، جواب‌های معتبر را تعیین می‌کند و نهایتاً یک تست کننده، بهترین جواب که همه قیدها را رعایت می‌کند، انتخاب می‌کند.

با رواج یافتن روش‌های هوشمند مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم مورچگان، گداختگی فلزات و ... در بهینه‌سازی مسائل از این روش‌ها نیز در طراحی سیستم‌های توزیع استفاده شد.

۳-۱-۲-۱. الگوریتم ژنتیک

این الگوریتم با توجه به قابلیت‌هایی که دارد زمان قابل قبولی را با در نظر داشتن ابعاد سیستم توزیع، برای رسیدن به جواب بهینه دارد. الگوریتم ژنتیک برای طراحی شبکه‌های توزیع چند دوره‌ای بهینه [13] و طراحی شبکه روشنایی معابر [14] مورد استفاده قرار گرفته است. در مرجع [15] از الگوریتم ژنتیک با کد کردن باینری در طراحی سیستم توزیع استفاده شده است. استفاده از کد کردن باینری در مدلسازی، در نظر گرفتن ابعاد مختلف طراحی در مدل‌های ریاضی را سخت می‌کند. کد کردن عدد صحیح می‌تواند این محدودیت‌ها را بهبود می‌دهد. در مرجع [16] از کدینگ عدد صحیح در برای طراحی بهینه سیستم توزیع استفاده شده است. نتایج به دست آمده از این کارها نشان دهنده

قابلیت‌های خوب الگوریتم ژنتیک برای پیدا کردن جواب طراحی شبکه‌های توزیع می‌باشد. این نتایج با یکی از روش‌های کلاسیک مقایسه شده است که نشان دهنده بهبود زمان پردازش در حالتی است که الگوریتم ژنتیک و روش‌های کلاسیک به جواب یکسانی می‌رسند.

مدل استفاده شده در مرجع [16] یک مدل غیر خطی است که شامل هزینه‌های متغیر غیرخطی برای پیدا کردن جواب بهینه می‌باشد. همچنین می‌توان این هزینه‌ها را پس از خطی‌سازی به کار گرفت که منجر به مدل خطی ترکیبی مشابه [17,18] می‌شود.

۲-۱-۳-۲. الگوریتم سیستم مورچگان^۱

در [19] الگوریتم سیستم کلونی مورچه برای طراحی شبکه توزیع استفاده شده است. تابع هدف معکوس هزینه که شامل هزینه‌های ثابت و متغیر است در نظر گرفته شده است و تابع هدایت ابتکاری^۲ شامل متغیرهای طول، میزان افزایش هزینه شبکه و اندازه بار در انتهای مسیر می‌شود.

۲-۱-۳-۳. گداختگی فلزات^۳

در [20] از الگوریتم گداختگی فلزات برای طراحی شبکه توزیع با در نظر گرفتن هزینه خاموشی استفاده شده است. در [21] برای پیدا کردن بهترین جواب به منظور توسعه شبکه توزیع شعاعی با در نظر گرفتن اثر قابلیت اطمینان و هزینه، از الگوریتم گداختگی فلزات استفاده شده است.

در [22] هفت روش شامل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (MILP)^۴، الگوریتم مورچگان، الگوریتم ژنتیک، جستجوی تابو^۵، جابجایی شاخه، گداختگی فلزات و تکنیک بهینه‌سازی غیر خطی تجزیه بندر (BD)^۶ برای طراحی یک سیستم توزیع 201 باسه استفاده شده‌اند و در نهایت شبکه‌های به دست آمده از این هفت روش از لحاظ تلفات انرژی، مینیمم ولتاژ شبکه، هزینه کلی سیستم و زمان محاسبه مقایسه شده‌اند.

¹ Ant colony system

² Heuristic guide function

³ Simulated annealing

⁴ Mixed integer linear programming

⁵ Tabu search

⁶ Bender's decomposition deterministic non-linear optimization technique

۲-۲. طراحی برای شرایط اضطراری

در مدل‌های قبلی خرابی تجهیزات در نظر گرفته نشده بود. باید توجه داشت علی‌رغم اینکه قطع شدن فیدر و یا ترانسفورماتور یک پدیده فراگیر نیست با این وجود هزینه ناشی از توان تامین نشده به علت قطع شدن این نوع دستگاه‌ها می‌تواند خیلی زیاد باشد. در شرایط اضطراری بار قسمت‌هایی از یک فیدر می‌تواند به فیدرهای پست‌های همجوار سوئیچ شود. بنابراین بار پست یا فیدر تحت شرایط اضطراری باید تقسیم شود. این وضعیت ایجاب می‌کند که ظرفیت پست‌ها کمی بیشتر در نظر گرفته شود و عوامل مختلفی مانند ظرفیت انتقال پست‌های مجاور، ظرفیت فیدرها و ... در نظر گرفته شود [3].

۲-۳. در نظر گرفتن عدم قطعیت

با توجه به اینکه در مدلسازی و پیش‌بینی بار عدم قطعیت وجود دارد، این عدم قطعیت بر طراحی تاثیرگذار است. در بعضی از مقالات این عدم قطعیت در نظر گرفته شده است. برای مثال با استفاده از تئوری فازی عدم قطعیت در مدلسازی بار در نظر گرفته شده است و با استفاده از تابع چند هدفه مصالحه‌ای بین هزینه طراحی و ریسک مرتبط با شبکه انجام شده است [23]

فصل سوم

پخش بار در سیستم‌های توزیع

روش‌های پخش بار مختلفی در سیستم‌های قدرت استفاده می‌شود تعدادی از این روشها عبارت‌اند

از:

- روش گوس سایدل با استفاده از ماتریس Y_{bus}
- روش نیوتن رافسون با استفاده از ماتریس Y_{bus}
- روش نیوتن رافسون تفکیک شده
- پخش بار جریان مستقیم

روشهایی که در بالا بیان شد بیشتر برای شبکه‌های ولتاژ بالا تدوین شده‌اند. در این روشها با کاهش نسبت X/R خطوط، سرعت همگرایی به شدت کاهش می‌یابد و حتی ممکن است بعضی از این روشها قادر به حل شبکه‌هایی که در آنها مقادیر X و R خطوط خیلی به هم نزدیک است، نباشند. همانطور که می‌دانیم نسبت X/R در شبکه‌های توزیع کمتر از شبکه‌های انتقال است بنابراین این روشها در شبکه‌های توزیع دچار مشکل می‌شوند. البته تمهیداتی برای افزایش سرعت رسیدن به جواب در نظر گرفته و روشهای خاصی تدوین شده است. مشکل این روشها زمانی که پخش بار برای شبکه‌های بزرگ شعاعی استفاده می‌شود بیشتر خود را نشان می‌دهد. این مسائل لزوم استفاده از روش‌های مناسب برای پخش بار در سیستم‌های توزیع را نشان می‌دهد.

روش‌های معمول پخش بار را می‌توان به سه دسته زیر تقسیم کرد:

(1) روش‌های ماتریس ادمیتانس

(2) روش‌های ماتریس امپدانس

(3) روش‌های نیوتن-رافسون

۳-۱. روش‌های ماتریس ادمیتانس

در روش‌های ماتریس ادمیتانس، از ماتریس ادمیتانس شبکه استفاده می‌شود.

$$I_{bus} = Y_{bus} \times V_{bus} \quad (1-3)$$

در رابطه فوق Y_{bus} ماتریس ادمیتانس شبکه می‌باشد. روش‌های ماتریس ادمیتانس این مزیت را دارند که به حدس اولیه ولتاژ پست‌ها حساس نمی‌باشند و برنامه‌نویسی با این روش‌ها آسان‌تر است. ضعف اصلی این روش‌ها، سرعت کم به خصوص در حل شبکه‌های شعاعی و نیاز به تعداد تکرار زیاد برای حل شبکه‌های بزرگ است. علت اصلی سرعت کم این روش‌ها، خلوت بودن¹ ماتریس Y_{bus} می‌باشد. زیرا تغییر ولتاژ یک پست بین تکرارهای مختلف تنها روی پست‌های مجاور همان پست اثر دارد و لذا سرعت میل به سمت جواب را کاهش می‌دهد.

۳-۲. روش‌های ماتریس امپدانس

در روش‌های ماتریس امپدانس، از ماتریس امپدانس شبکه استفاده می‌شود. معادله ماتریس امپدانس شبکه به صورت زیر می‌باشد:

$$V_{bus} = Z_{bus} \times I_{bus} \quad (2-3)$$

Z_{bus} در رابطه فوق همان ماتریس امپدانس شبکه می‌باشد. این روش‌ها سریعتر از روش‌های ماتریس ادمیتانس هستند. ولی نیاز به حافظه کامپیوتری بیشتری دارند. وضعیت همگرایی این روش‌ها به شدت تابع تعداد پست‌های ژنراتوری (PV) در شبکه می‌باشد. اگر پست ژنراتوری فقط پست مرجع

¹ Sparsity

باشد سرعت همگرایی روش‌های فوق قابل مقایسه با روش نیوتن رافسون می‌باشد. ولیبا افزایش تعداد پست‌های ژنراتوری، روش‌های فوق کارایی خود را از دست می‌دهند به همین علت از این روشها کمتر استفاده می‌شود.

۳-۳. روش نیوتن-رافسون

روش نیوتن رافسون محبوبیت خاصی به خاطر سرعت همگرایی آن پیدا کرده است و با حد اولیه نسبتا مناسب برای ولتاژ پست‌ها معمولا در کمتر از 10 تکرار شبکه را حل می‌کند. مشکل اساسی این روش نیاز به محاسبه ماتریس ژاکوبین که چهار برابر ماتریس Y_{bus} شبکه است، در هر تکرار می‌باشد. در شبکه‌های انتقال به خاطر نسبت بالای ضریب X/R می‌توان فرض‌هایی در جهت ساده کردن روابط شبکه نمود. در اکثر مواقع می‌توان ماتریس ژاکوبین را غیر دکوپله در نظر گرفت و حتی از محاسبه آن در اکثر مواقع خودداری کرد. به این علت روش نیوتن رافسون اغلب در حل شبکه‌های قدرت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شبکه‌های توزیع انرژی به خاطر نسبت کوچکتر X/R خط که به علت استفاده از هادی‌های نازکتر و فاصله کم بین فازها ماتریس ژاکوبین را نمی‌توان زیاد ساده کرد و در نتیجه کاربرد این روش در شبکه‌های توزیع کمتر است.

شبکه‌های توزیع به خاطر متغیر بودن مقاومت و اندوکتانس آن‌ها و شعاعی بودنشان در ردیف شبکه‌های با رفتار نامناسب قرار می‌گیرند و تکنیک‌های نیوتن رافسون و غیر دکوپله سریع در آنها مفید نیست. تجربه در مورد برنامه پخش بار با روش نیوتن رافسون بیانگر این است که این روش برای بسیاری از شبکه‌های توزیع واگرا می‌شود و هیچ‌گاه به جواب نمی‌رسد.

در [24] تغییراتی در روش نیوتن رافسون برای استفاده در شبکه‌های توزیع داده شده است. در این روش احتیاجی به محاسبه ماتریس ژاکوبین نیست و زمان اجرای پخش بار نسبت به روش نیوتن-رافسون 40% کاهش می‌یابد.

۳-۴. پخش بار مخصوص سیستم‌های توزیع

برای پخش بار در سیستم‌های توزیع از روش‌های شعاعی استفاده می‌شود. در ادامه یکی از معروفترین این روشها را بررسی کرده و نحوه اجرای پخش بار توسط این روش را توضیح داده می‌شود. اما قبل از این کار جدول (3-1) که نشان دهنده زمان کامپیوتری صرف شده برای حل شبکه‌ها به روش‌های مختلف است ارائه می‌شود [25].

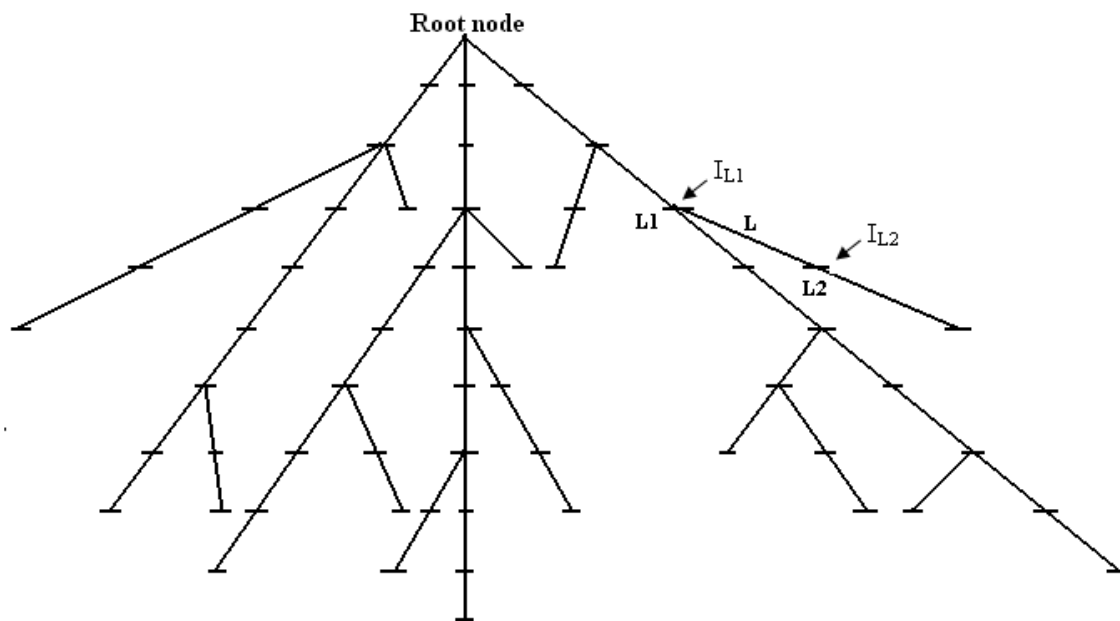
جدول ۳-۱ مقایسه زمان اجرای پخش بارهای مختلف در سیستم توزیع [25]

| زمان اجرای برنامه کامپیوتری بر حسب ثانیه | | | |
|--|------------------|---------------|----------------|
| روش شعاعی | روش نیوتن-رافسون | روش گوس-سایدل | شبکه توزیع |
| ۰۰۵/۰ | ۱۴۹/۰ | ۰۳۸/۰ | شبکه با 5 پست |
| ۰۲۸/۰ | ۷۳/۰ | ۰۷/۱ | شبکه با 11 پست |
| ۱۶۷/۰ | ۲۳/۳۵ | ۰۱/۷۰ | شبکه با 47 پست |

همان طور که از جدول (3-1) مشاهده می‌شود با اضافه شدن تعداد پست‌ها، زمان اجرای پخش بار در روش گوس-سایدل و نیوتن-رافسون به شدت زیاد می‌شود در حالی که این زمان در مورد برنامه پخش بار شعاعی در مقایسه با دو برنامه دیگر قابل صرف نظر کردن است.

۳-۴-۱. پخش بار پیشرو-پسرو^۱ [26]

این روش بر پایه استفاده از قوانین KVL و KCL می‌باشد. این روش برای شبکه‌های شعاعی استفاده می‌شود، لذا اگر شبکه در قسمتی از چند سو تغذیه باشد، باید این حلقه باز شود. برای این کار نیز روش خاصی وجود دارد که در ادامه توضیح داده خواهد شد. شکل (3-1) یک شبکه شعاعی از یک سو تغذیه را نشان می‌دهد. این شبکه شامل n گره بوده لذا با توجه به شعاعی بودن آن $n-1$ شاخه دارد. منبع تغذیه در باس اصلی یعنی Root Node قرار دارد.



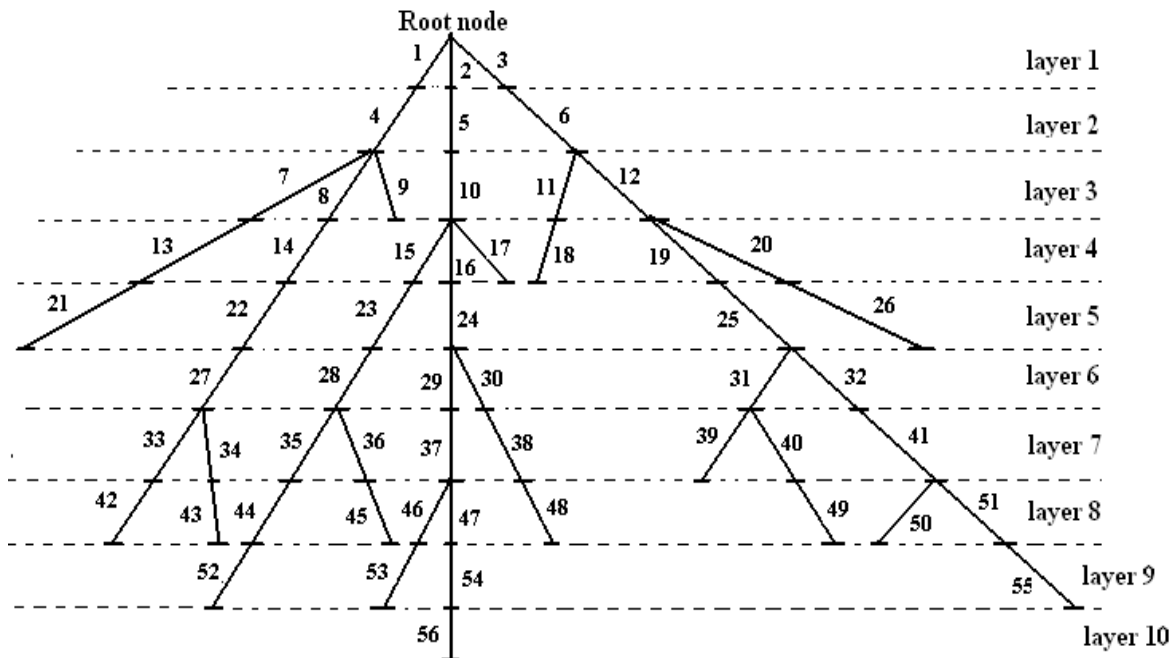
شکل ۳-۱ شبکه شعاعی از یکسو تغذیه

۳-۴-۱-۱. لایه‌بندی و شماره‌گذاری

اولین قدم در اجرای پخش بار شماره‌گذاری شاخه‌ها یا به عبارت دیگر همان خطوط توزیع می‌باشد. برای این کار ابتدا شبکه را لایه‌بندی می‌کنیم. از گره اصلی شروع کرده و به سمت گره‌های انتهایی حرکت می‌کنیم، خطوط متصل بین این گره و گره‌های بعدی لایه اول را تشکیل می‌دهند. لایه دوم نیز شامل خطوط بین این گره‌ها و گره‌های بعد از آنها می‌باشد. پس از لایه بندی شبکه از گره اصلی شروع کرده و از شماره 1 الی.... شاخه‌ها را شماره گذاری می‌کنیم به طوری عدد اختصاص

¹ Forward-backward

داده شده به شاخه‌های لایه پایین‌تر باید بزرگتر از عدد شاخه‌های لایه بالاتر باشد. لایه‌بندی و شماره‌گذاری شبکه فوق در شکل (2-3) نشان داده شده است.



شکل ۲-۳ لایه‌بندی و شماره‌گذاری شبکه

لایه‌بندی شبکه به این علت انجام می‌شود که اگر بخواهیم جریان را در شاخه‌ها محاسبه کنیم باید جریان تک‌تک شاخه‌ها معلوم باشد و در نقاط تقاطع این جریانها با هم جمع شود. با لایه‌بندی شبکه اگر از لایه آخر به سمت گره اصلی حرکت کنیم و جریان در شاخه‌های آن لایه را محاسبه کنیم در محاسبه جریان در نقاط تقاطع به مشکل معلوم نبودن جریان بعضی از شاخه‌های متصل به آن گره بر نخواهیم خورد. برای مثال در شکل (2-3) جریان شاخه 12 در لایه سوم جمع جریان دو شاخه 19 و 20 می‌باشد. زمانی که ما از لایه پایین‌تر جریانها را محاسبه می‌کنیم مطمئناً جریان این دو شاخه محاسبه شده است و لذا جریان شاخه 12 نیز محاسبه می‌شود.

برای انجام پخش بار مانند دیگر پخش بارها ابتدا فرض می‌کنیم ولتاژ تمام باس‌ها برابر با 1pu باشد. الگوریتم تکراری شامل سه مرحله می‌باشد: (1) محاسبه جریان گره‌ها (2) حرکت به سمت گره اصلی و محاسبه جریان شاخه‌ها (3) حرکت به سمت انتهای فیدر و محاسبه ولتاژ گره‌ها.

۳-۱-۴-۳. محاسبه جریان گره‌ها

آنچه که از بار معلوم است توان آن می‌باشد، لذا با فرض اولیه که ما برای ولتاژ گره‌ها انجام داده‌ایم می‌توانیم جریان بار و جریان تزریقی در گره i در تکرار k ام را به صورت زیر محاسبه کنیم:

$$I_i^k = \frac{S_i^*}{(V_i^{k-1})^*} - Y_i V_i^{(k-1)} \quad (3-3)$$

در رابطه فوق

| | |
|-------------|--------------------------------------|
| S_i | توان تزریقی در گره i |
| I_i^k | جریان بار گره i ام در تکرار k ام |
| V_i^{k-1} | ولتاژ گره i ام در تکرار $(k-1)$ ام |
| Y_i | جمع همه المانهای موازی در گره i |

۳-۱-۴-۳. مسیر پسرو

حال با توجه به آنچه که در بالا توضیح داده شد می‌توانیم جریان تمام شاخه‌ها را محاسبه کنیم. از لایه آخر شروع کرده و جریان در تمام شاخه‌ها را مشخص می‌کنیم و به سمت گره اصلی حرکت می‌کنیم. جریان در شاخه L به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$J_L^{(k)} = -I_{L2}^{(k)} + \sum_{L=b, b-1, \dots, 1} \text{current in branches emanating from node } L2 \quad (4-3)$$

در رابطه فوق:

$I_{L2}^{(k)}$ جریان تزریقی در گره $L2$ می‌باشد. همان طور که مشاهده شد، این قسمت از الگوریتم استفاده مستقیم از KCL می‌باشد.

۳-۱-۴-۳. مسیر پیشرو

ولتاژ گره‌ها در این مرحله به روز می‌شود. به این ترتیب که از لایه اول شروع کرده و با توجه به این که جریان شاخه‌ها و ولتاژ گره اصلی (Root Node) معلوم است، با استفاده از رابطه KVL ولتاژ گره بعدی

محاسبه می‌شود. برای هر شاخه L ، ولتاژ در گره $L2$ با استفاده از ولتاژ به روز شده در گره $L1$ و جریان محاسبه شده در مسیر پسر و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{L2}^{(k)} = V_{L1}^{(k)} - Z_L J_L^{(k)} \quad L = 1, 2, \dots, b \quad (5-3)$$

در رابطه فوق Z_L امپدانس سری شاخه L می‌باشد. این مرحله کاربرد مستقیم KVL می‌باشد. مراحل 1 و 2 و 3 تا جایی تکرار می‌شود که شرط همگرایی برقرار شود.

۳-۴-۱-۵. معیار همگرایی

در اینجا از تفاوت توان‌های اکتیو و راکتیو محاسبه شده با مقدار معلوم در گره‌های شبکه به عنوان معیار همگرایی استفاده می‌شود. همان طور که گفتیم توان بار مشخص است، در هر تکرار پس از اجرای مسیر پسر و پیشرو ولتاژ و جریان شاخه‌ها مشخص می‌شود بنابراین می‌توان توان تزریقی در گره i و در تکرار k ام به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_i^{(k)} = V_i^{(k)} (I_i^{(k)})^* - Y_i |V_i^{(k)}|^2 \quad (6-3)$$

توان‌های اکتیو و راکتیو تفاضلی در باس i به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} \Delta P_i^{(k)} &= \text{Re}[S_i^{(k)} - S_i] \\ \Delta Q_i^{(k)} &= \text{Im}[S_i^{(k)} - S_i] \end{aligned} \quad (7-3)$$

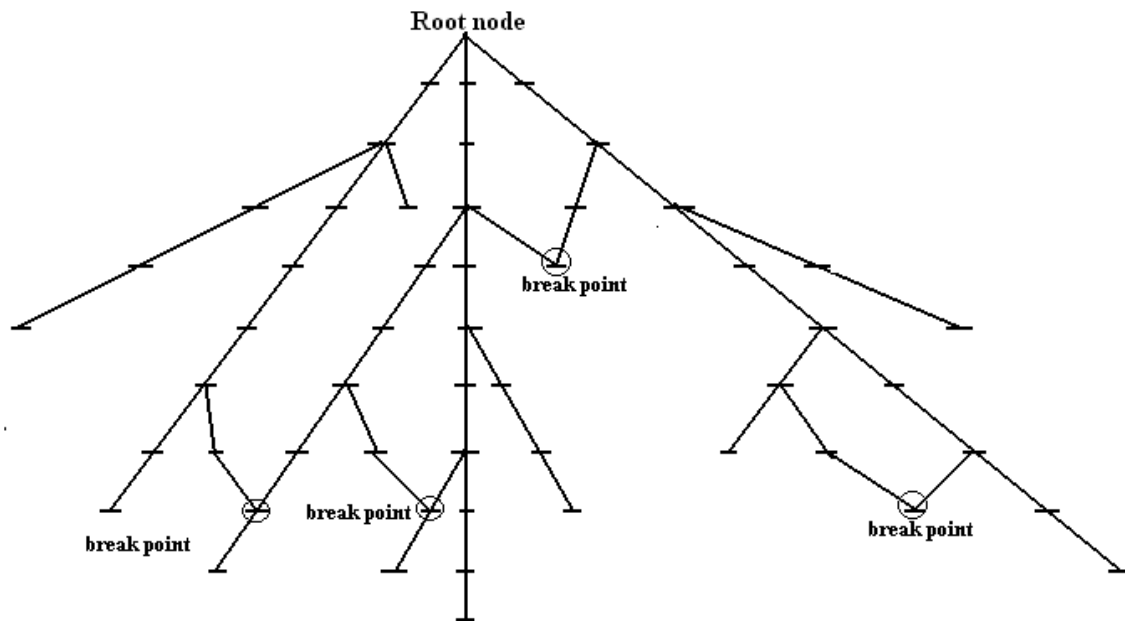
زمانی که ماکزیمم $\Delta P, \Delta Q$ در تمام باسها از مقدار مشخص شده کمتر شود اجرای الگوریتم پایان می‌یابد.

۳-۴-۲. پخش بار در شبکه‌های حلقوی ضعیف

روشی که بیان شد برای شبکه‌های شعاعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این قسمت روشی بیان می‌شود که در شبکه‌های حلقوی ضعیف به کار می‌رود. ملاک ضعیف بودن حلقه این است که اگر حلقه ایجاد شده باز شود تغییر زیادی در ولتاژ و جریان‌های سایر قسمت‌های شبکه ایجاد نمی‌شود. این روش مبتنی بر در نظر گرفتن نقاط شکست می‌باشد. منظور از یک نقطه شکست در حلقه باز

کردن حلقه از آن نقطه و تبدیل شبکه به یک شبکه شعاعی است. نحوه انتخاب نقاط شکست در قسمت‌های بعدی بیان می‌شود.

در شکل زیر یک شبکه حلقوی ضعیف با 4 حلقه ساده نشان داده شده است. الگوریتم حل شبکه شعاعی را نمی‌توان مستقیماً برای حل این شبکه به کار برد.



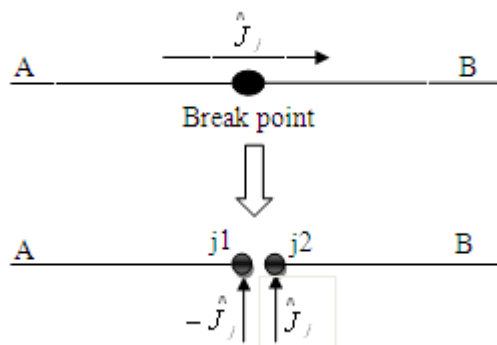
شکل ۳-۳ شبکه حلقوی

با انتخاب 4 نقطه شکست می‌توان شبکه را به یک شبکه شعاعی تبدیل کرد و سپس از الگوریتم توضیح داده شده برای پخش بار استفاده کرد. جریان شاخه‌های قطع شده در نقاط شکست می‌تواند به وسیله جریان تزریقی در 2 گره انتهایی بدون تاثیر بر شرایط شبکه جایگزین شود. به این ترتیب این شبکه شعاعی شده و می‌تواند با روش حل شبکه‌های توزیع حل شود. برای استفاده از الگوریتم حل شبکه شعاعی جریان در نقاط شکست j را باید با علامت مخالف در دو انتها تزریق شود. در تکرار k داریم:

$$I_{j1}^{(k)} = -\hat{J}_j^{(k)} \quad j = 1, 2, \dots, p$$

$$I_{j2}^{(k)} = \hat{J}_j^{(k)}$$
(8-3)

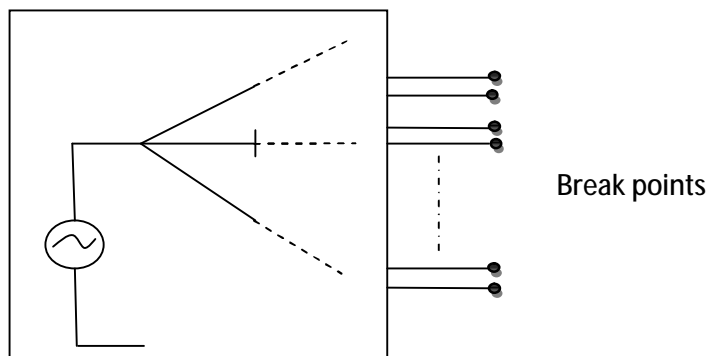
در اینجا $j1$ و $j2$ دو گره انتهایی مطابق با نقطه شکست می‌باشد. و $I_{j1}^{(k)}$ و $I_{j2}^{(k)}$ جریان تزریقی در این دو گره می‌باشد. $\hat{J}_j^{(k)}$ جریان در نقطه شکست و P تعداد کل نقاط شکست می‌باشد. با وجود جریان تزریقی باید این جریان به جریان گره‌ها اضافه شود. این روند به صورت شماتیک در شکل (4-3) نشان داده شده است. جریان‌های $I_{j1}^{(k)}$ و $I_{j2}^{(k)}$ در هر تکرار به روز می‌شود و سپس گام‌های 2 و 3 اجرا می‌شود.



شکل ۳-۴ نقطه شکست و جریان تزریقی در گره

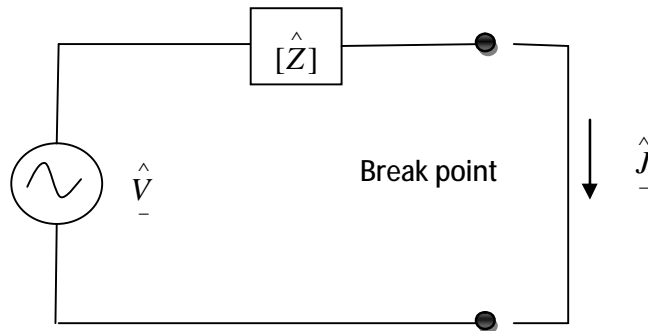
۳-۴-۱. محاسبه جریان در نقاط شکست با استفاده از روش تصحیح

جریان در نقاط شکست با استفاده از روش تصحیح چند ورودی محاسبه می‌شود. شکل (3-5) ایده کلی این روش را نشان می‌دهد. در این شکل شبکه شعاعی نتیجه شده از باز کردن نقاط شکست مانند یک مدار چند ورودی نشان داده شده است که گره‌های شکست ورودی‌های مدار را تشکیل می‌دهند. محاسبه جریان در نقاط شکست نیازمند این است که مدار معادل چند ورودی برای شبکه شعاعی مشاهده شده (از دید ورودی‌ها) ایجاد شود.



شکل ۳-۵ مدار معادل چند ورودی شبکه از دید نقاط شکست

برای یک شبکه خطی این مدار معادل چند ورودی می‌تواند همان مدار معادل تونن شبکه شعاعی دیده شده از نقاط باز ایجاد شده توسط نقاط شکست باشد. در این مدار ولتاژ تونن \hat{V} یک بردار ستونی ($p \times 1$) است که از نقاط شکست مدار باز به دست آمده از نتیجه پخش بار شبکه شعاعی می‌باشد. $[\hat{Z}]$ ماتریس امپدانس نقاط شکست (عامل ارتباط بین ولتاژ و جریان نقاط شکست) و \hat{J} بردار ($p \times 1$) جریان‌های نقاط شکست می‌باشد (شکل (6-3)).



شکل ۳-۶ مدار معادل تونن شبکه از نقطه شکست

$$\hat{V} = [\hat{Z}] \hat{J} \quad (9-3)$$

هرچند توان‌های بار در شبکه توزیع ثابت است اما به علت غیر خطی بودن، رابطه (9-3) را نمی‌توان به صورت مستقیم استفاده کرد. در عوض همانطور که توضیح داده خواهد شد جریان نقاط شکست به صورت تکراری با استفاده از مدار معادل تونن به دست می‌آید.

۳-۴-۲. محاسبه ماتریس امپدانس نقاط شکست

در این روش ماتریس امپدانس نقاط شکست (امپدانس معادل تونن) به صورت زیر تعیین می‌شود. معادله (9-3) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_1 \\ \dots \\ \hat{V}_j \\ \dots \\ \hat{V}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Z}_{11} & \dots & \hat{Z}_{1j} & \dots & \hat{Z}_{1p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{Z}_{j1} & \dots & \hat{Z}_{jj} & \dots & \hat{Z}_{jp} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{Z}_{p1} & \dots & \hat{Z}_{pj} & \dots & \hat{Z}_{pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{J}_1 \\ \dots \\ \hat{J}_j \\ \dots \\ \hat{J}_p \end{bmatrix} \quad (10-3)$$

بر طبق معادله (3-10) ستون Z از ماتریس امپدانس نقاط شکست برابر با بردار ولتاژ نقاط شکست برای $J_j = 1 pu$ and $J_i = 0, i = 1, 2, \dots, p$ and $i \neq j$ خواهد بود. این مشابه استفاده از جریان یک پریونیت در نقطه شکست Z و حذف همه بارها و منبع در گره اصلی می‌باشد، که در جهت عکس این هم معادل با تزریق جریان یک پریونیتی با علامت مخالف در دو گره انتهایی نقطه شکست Z می‌باشد (معادله (3-8)). در غیاب بارها جواب درست پخش بار برای شبکه شعاعی می‌تواند در یک تکرار به دست آید. ولتاژ هر نقطه شکستی می‌تواند با تفریق دو ولتاژ گره انتهایی نقطه شکست، به دست آید. این فرآیند باید برای تمام نقاط شکست تا زمانی تکرار شود که همه ستون‌های ماتریس امپدانس نقاط شکست محاسبه شود.

۳-۴-۲-۳. فرآیند تکراری تصحیح

فرآیند تصحیح تکراری برای محاسبه جریان‌های نقاط شکست با استفاده از مدار معادل تونن شکل (3-6) به صورت زیر است:

(1) امپدانس معادل تونن را محاسبه کنید (ماتریس امپدانس نقاط شکست شبکه شعاعی $[Z]$) و در طی فرآیند تصحیح آن را ثابت نگه دارید.

(2) ولتاژ معادل تونن شبکه شعاعی (بردار نقاط ولتاژ شکست \hat{V}) را با استفاده از الگوریتم حل شبکه شعاعی به همراه جریان‌های نقاط شکست محاسبه شده از فرآیند تصحیح تکرار قبل، محاسبه کنید. مقدار اولیه از جریان‌های نقاط شکست برابر با صفر است.

(3) مقدار تغییر در جریان‌های نقاط شکست را با استفاده از مدار معادل تونن محاسبه کنید. در تکرار m از فرآیند تصحیح داریم:

$$\Delta J^{(m)} = [\hat{Z}]^{-1} \hat{V}^{(m)} \quad (11-3)$$

(4) جریان نقاط شکست را به روز کنید. به عنوان مثال در تکرار m به روز کردن به صورت زیر انجام می‌شود:

$$\hat{J}^{(m)} = \hat{J}^{(m-1)} + \Delta \hat{J}^{(m)} \quad (12-3)$$

5) گام 2، 3 و 4 را تا زمانی که به همگرایی برسید ادامه دهید (ماکزیمم ولتاژ محاسبه شده نقطه شکست در گام 2 در محدوده مشخص شده باشد).

۳-۲-۴. انتخاب نقاط شکست

همانطور که بیان شد این روش بر اساس نقاط شکست کار می‌کند. در این قسمت نحوه انتخاب نقاط شکست بیان می‌شود. نقاط شکست برای تعیین شبکه حلقوی به شبکه شعاعی انتخاب می‌شوند. نقاط شکست باید طوری انتخاب شوند که از همگرایی الگوریتم حل مطمئن باشیم. این موارد در انتخاب نقطه شکست معمولاً با تمرکز بر قسمتی از شبکه حلقوی که پخش توان در آن کم است، برآورده می‌شود. از طرف دیگر پخش بار نتیجه نهایی الگوریتم حل است و در زمان انتخاب نقاط شکست هنوز پخش بار محاسبه نشده است.

در شبکه‌های توزیع حلقوی ضعیف انتخاب نقاط شکست اثر قابل توجهی بر همگرایی روش حل ندارد. از این رو این نقاط به منظور باز شدن حلقه‌های شبکه انتخاب می‌شوند. تحت این شرایط الگوریتم تشخیص نقاط شکست خیلی ساده می‌شود و قسمتی از همان برنامه شماره‌گذاری شاخه‌ها که در بالا توضیح داده شده، می‌شود:

1) همه شاخه‌ها را چک کرده و شاخه‌هایی را که متصل به گره اصلی هستند برای لایه اول شاخه‌ها انتخاب کنید.

2) شماره گره‌های طرف دوم (دور از گره اصلی) شاخه‌ها در لایه ایجاد شده را ذخیره کنید. برای تمام این گره‌ها علامتی را قرار دهید که نشان دهد این گره اکنون استفاده شده است.

3) تمام شاخه‌های باقیمانده را چک کنید و شاخه‌هایی را که به طرف دوم هر یک از شاخه‌های لایه قبلی متصل است انتخاب کرده و در لایه جدید قرار دهید.

4) اگر گره انتهایی شاخه شماره‌گذاری شده در گام 3 قبلاً استفاده شده است (علامت‌های گام 2) یک حلقه ایجاد شده است و یک نقطه شکست می‌باید در این گره ایجاد شود.

(5) گام 2 تا 4 را تا زمانی که همه شاخه‌ها بررسی شوند تکرار می‌شود.

روش توضیح داده شده در بالا اساس روش پخش بار در شبکه‌های توزیع می‌باشد. محاسبات این روش در شبکه‌های بزرگ خیلی زیاد می‌شود لذا در مقالات مختلف ساده‌سازی‌هایی در مراحل مختلف آن انجام شده است. روش بیان شده برای سیستم سه فاز متعادل استفاده می‌شود.

۳-۴-۳. اصلاح پخش بار در حلقه

علاوه بر روش فوق برای انجام پخش بار در شبکه حلقوی، جواب پخش بار شبکه شعاعی را می‌توان برای زمانی که در شبکه حلقه ایجاد می‌شود اصلاح کرد. یک روش ساده در مرجع [27] ارائه شده است که می‌تواند برای به دست آوردن جواب اصلاح شده تقریبی از روی جواب پخش بار شعاعی در شبکه به کار رود. در این مرجع نشان داده شده است که جواب تقریبی برای حل مساله با ترکیب جدید، کاملاً قابل قبول است.

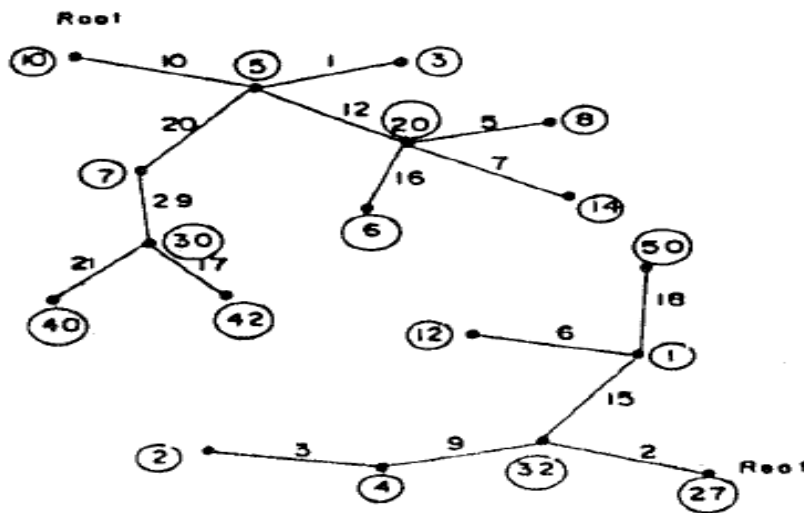
۳-۴-۴. پخش بار ساختاریافته^۱

اغلب روش‌های پخش بار موجود برای سیستم توزیع براساس روش مرتب‌سازی گره و شاخه مشابهی هستند. استفاده از روش‌های مرتب‌سازی شاخه و گره کمک زیادی در طراحی نمی‌کند چون در هر گام گره‌ها و شاخه‌ها از یک ناحیه به ناحیه دیگر منتقل می‌شوند. روش‌های مرتب‌سازی می‌تواند بازدهی الگوریتم پخش بار را در شبکه‌هایی که ترکیب ثابتی دارند بهبود دهد. در مساله طراحی ترکیب شبکه تا زمانی که حل نهایی به دست نیامده تغییر می‌کند. علاوه بر این مسائل طراحی احتیاج به الگوریتمی دارند که بتواند سیستم‌های توزیع چند ناحیه‌ای را حل کند. یک روش پخش بار ساده در [28] برای حل مساله، بسط داده شده است. چون الگوریتم از اختصاص در ترکیب شبکه استفاده می‌کند نویسنده این روش را "پخش بار ساختار یافته" نامیده است.

در این روش اتصالات شبکه با روشی خیلی ساده و موثر در شکل جدولی نشان داده می‌شود. هیچ روش مرتب‌سازی خاصی مورد نیاز نیست. خطوط با گره انتهایشان همانطور که بین گره "فرستنده" و

¹ Structured power flow

"گیرنده" متصل شده اند نمایش داده می‌شوند. گره انتهایی فرستنده از یک خط در ستون چپ جدول و گره انتهایی دریافت کننده در ستون سمت راست جدول وارد می‌شود. هر گرهی به جز پست‌ها باید قبل از اینکه به عنوان گره فرستنده ظاهر شود، به عنوان یک گره دریافت کننده در جدول شبکه ظاهر شود. این اطمینان می‌دهد که ترکیب درست شبکه در جدول شبکه کپی شده است. مزیت این گونه نمایش این است که با حرکت از بالا به سمت پایین جدول، ما از باس اصلی به سمت انتهای شبکه در جهت پخش بار حرکت می‌کنیم. علاوه بر این احتیاجی به پیوسته بودن شماره گره‌ها و خطوط نیست. این مساله در طراحی سیستم توزیع که فیدرها به پست‌های مختلفی متصل هستند، خیلی مهم است. یک مقدار عضویت برای گره‌ها و خطوط و برای مشخص شدن اینکه در کدام پست گره یا خط متصل شده، نگهداری می‌شود. جدول (2-3) نمایش شبکه شکل (3-7) را نشان می‌دهد.



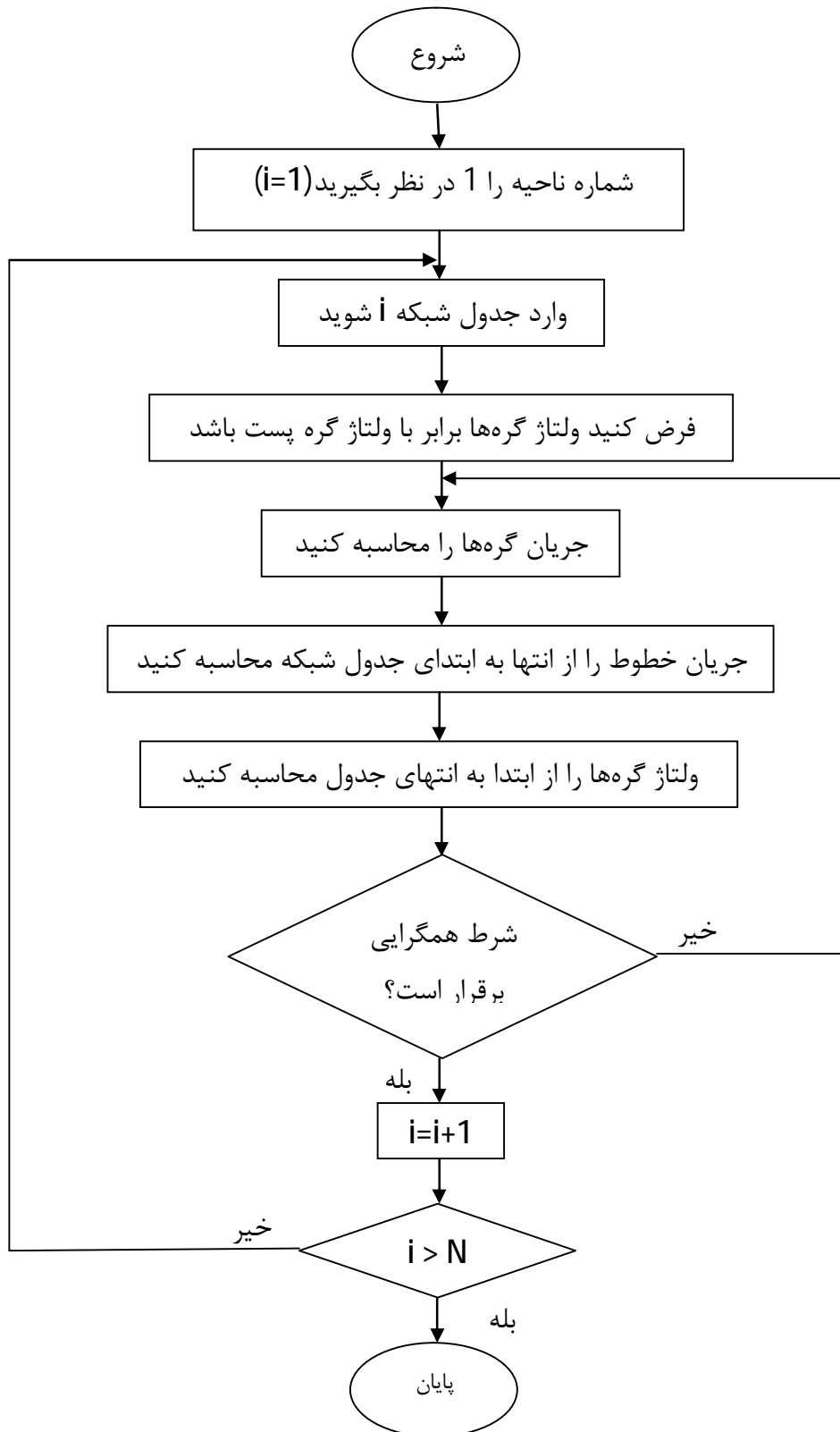
شکل ۳-۷ یک شبکه توزیع با دو ناحیه [28]

جدول ۳-۲ نمایش شبکه نشان داده شده در شکل ۳-۷

| عضویت | خط | گره گیرنده (انتها) | گره فرستنده (ابتدا) |
|-------|----|--------------------|---------------------|
| 1 | 10 | 5 | 10 |
| 1 | 1 | 3 | 5 |
| 1 | 20 | 7 | 5 |
| 1 | 29 | 30 | 7 |
| 1 | 12 | 20 | 5 |
| 1 | 16 | 6 | 20 |
| 1 | 7 | 14 | 20 |
| 1 | 5 | 8 | 20 |
| 1 | 21 | 40 | 30 |
| 1 | 17 | 42 | 30 |
| 2 | 2 | 32 | 27 |
| 2 | 15 | 1 | 32 |
| 2 | 6 | 12 | 1 |
| 2 | 18 | 50 | 1 |
| 2 | 9 | 4 | 32 |
| 2 | 3 | 2 | 4 |

فلوچارت اجرای پخش بار در شکل (3-8) نشان داده شده است. پخش بار استفاده شده در این پایان-

نامه پخش بار ساختاریافته است.



شکل ۳-۸ فلوجارت پخش بار ساختار یافته

در فلوجارت N تعداد کل شبکه‌ها است.

فصل چهارم

طراحی سیستم توزیع با استفاده از الگوریتم

جابجایی شاخه

همانطور که در فصل اول بیان شد روشهای بهینه‌سازی ریاضی زیادی برای حل مساله پیچیده طراحی سیستم توزیع توسعه داده شده است. اغلب این روشها از تقریب‌هایی در تابع هدف و یا محدودیت‌ها استفاده می‌کنند. حتی اگر روشی از مدل نسبتاً کاملی استفاده کند وقت‌گیر و محدود به شبکه‌های کوچک است. از میان این روشها نشان داده شده است که روشهای ابتکاری اگرچه از تقریب استفاده می‌کنند، اما سریعتر و کارآمدتر هستند. یک روش مهم که جابجایی شاخه‌ها¹ نامیده می‌شود در روشهای ابتکاری برای به دست آوردن حل بهینه تقریبی استفاده شده است.

در [29] از الگوریتم جابجایی شاخه برای طراحی یک شبکه با 6 پست و 98 فیدر استفاده شده است. در این طراحی از پخش بار پیشرو-پسرو استفاده شده است و پخش بار در شبکه حلقوی نیز با همان روش توضیح داده شده در فصل قبل انجام شده است. طراحی به صورت تک دوره‌ای انجام شده است اما این قابلیت وجود دارد که به صورت چند دوره‌ای نیز این کار انجام شود.

¹ Branch exchange

در [28] نیز از جابجایی شاخه به همراه استفاده از پخش بار ساختاریافته در طراحی سیستم توزیع استفاده شده است. در ادامه طراحی با استفاده از جابجایی شاخه با تمرکز بر مرجع [28,29] تشریح می‌شود.

جابجایی شاخه‌ها در دو مرحله که به صورت زیر صورت می‌گیرد استفاده می‌شود

- 1) جابجایی درون ناحیه‌ای¹: این جابجایی بین المانهای زیر مجموعه هر پست صورت می‌گیرد.
- 2) جابجایی بین ناحیه‌ای²: این جابجایی بین المانهای شبکه‌های پست‌های همجوار صورت می‌گیرد.

جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای ترکیب بهینه ناحیه تحت پوشش هر پست را تعیین می‌کند و جابه‌جایی بین ناحیه‌ای ناحیه سرویس دهی بهینه تحت پوشش هر پست را تعیین می‌کند.

۴-۱. فرمول بندی مساله طراحی

همانطور که قبلاً بیان شد تابع هدف در طراحی سیستم توزیع مینیمم کردن مجموع هزینه احداث و بهره‌برداری از شبکه است. در اینجا N_s تعداد پست‌های احتمالی، N_f تعداد فیدرهای ممکن برای اتصال و N_l تعداد نقاط بار می‌باشد. صورت مساله انتخاب تعداد مورد نیاز پست‌ها m و تشکیل تعداد m شبکه شعاعی $S_j(n_j, f_j)$ به طوری که جمع هزینه نصب تجهیزات و هزینه بهره‌برداری مینیمم شود و ولتاژ گره‌ها، ظرفیت فیدرها و ترانسها در محدوده مجاز باشد، است. n_j و f_j گره‌های بار و فیدرهای که این گره‌ها را به پست متصل کرده می‌باشد. مساله را می‌توان در فرم ریاضی به صورت زیر بیان کرد:

$$\text{Minimize } C = \sum_{j=1}^{N_s} c(S_j) + \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{k=1}^{F_j} (i(f_k))^2 \cdot R_k \cdot P_e \quad (1-4)$$

به توجه به محدودیت‌های زیر:

$$V_j \geq V_{\min}, \quad i(f_j) \leq i \max_j, \quad T \min_j \leq tc_j \leq T \max_j \quad (2-4)$$

¹ Interzone branch exchange

² Intrazone branch exchange

در رابطه فوق

| | |
|---|----------------------|
| شبکه زام | S_j |
| هزینه شبکه زام | $C(S_j)$ |
| جریان عبوری از فیدر k ام | $i(f_k)$ |
| مقاومت فیدر k ام | R_k |
| هزینه یک کیلو وات ساعت انرژی | P_e |
| جریان عبوری از ترانس j | tc_j |
| فیدرهای شبکه j | f_j |
| تعداد پست‌های احتمالی | N_s |
| محدودیت ظرفیت فیدر زام | $i \max_j$ |
| محدودیت ظرفیت توان ماکزیمم و مینیمم ترانس زام | $T \min_j, T \max_j$ |

۴-۲. الگوریتم حل مساله

برای شروع فرض می‌کنیم که تعداد پست‌های مورد نیاز برابر با تعداد موقعیت‌های ممکن برای پست‌ها باشد. تعداد و موقعیت بهینه پست‌ها به همراه ترکیب فیدرهای متصل به بار و پست‌ها همانطور که در الگوریتم زیر بیان شده است، تعیین می‌شود.

(1) فرض می‌کنیم تعداد پست‌های مورد نیاز برابر با $m=N_s$ باشد (N_s موقعیت‌های ممکن برای احداث پست است).

(2) شبکه‌های شعاعی اولیه تشکیل داده می‌شود. $S_j(n_j, f_j)$ و $j=1, \dots, m$

(3) خطوط ارتباطی در داخل ناحیه‌ها مشخص می‌شود. $S'_j(n_j, f_j)$ $j=1, m$ در اینجا f_j خطوط

ارتباطی در ناحیه توزیع z و n_j تعداد گره‌های مرتبط با f_j می‌باشد.

(4) خطوط ارتباطی بین ناحیه‌ها مشخص می‌شود. $S_{ij}(n_k, f_k)$ ، در اینجا f_k خطوط ارتباطی

بین ناحیه a و z هستند و n_k گره‌های مرتبط از ناحیه a و z می‌باشند.

(5) برای هر z

• جابجایی شاخه بین S_z و S'_z را انجام دهید.

(6) برای تمام i و زهای ممکن

• جابجایی شاخه بین S_z و S_i از میان خطوط ارتباطی را انجام دهید.

(7) بهینه بودن حل را بررسی کنید.

(8) اگر حل بهینه نیست، پست با بیشترین هزینه را حذف کنید. $m=m-1$ و به گام دوم بروید.

گام‌های نامبرده شده در بالا همراه با جزئیات آن در ادامه بررسی می‌شود.

۳-۴. ایجاد شبکه شعاعی اولیه

الگوریتم جابجایی شاخه‌ها از یک مجموعه شبکه شعاعی اولیه شروع می‌شود. این شبکه‌های اولیه با ساختن درخت‌های پوشا از کل شبکه توزیع ایجاد می‌شود. راس هر درخت یک گره پست می‌شود. روشهای مختلفی برای تشکیل درخت پوشا در شبکه وجود دارد. یکی از این روشها در فصل ششم به صورت کامل بیان خواهد شد.

۴-۴. جابجایی شاخه

تکنیک جابجایی شاخه برای تجدید ساختار در شبکه‌های شعاعی استفاده می‌شود و اساساً با اضافه کردن یک خط ارتباطی، شبکه شعاعی را به شبکه حلقوی تبدیل می‌کند. شبکه با باز کردن تعدادی دیگر از خطوط به طوری که تابع هدف مینیمم شود به شبکه شعاعی باز گردانده می‌شود. نوع تابع هدف وابسته به هدف تجدید ساختار شبکه است. در الگوریتم پیشنهادی تکنیک جابجایی شاخه با ایجاد فقط یک حلقه در هر بار به کار رفته است. دو نمونه جابجایی شاخه اجرا می‌شود:

(1) جابجایی شاخه در هر ناحیه توزیع که جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای نامیده می‌شود.

(2) جابجایی شاخه بین ناحیه‌های توزیع همجوار که جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای نامیده می‌شود.

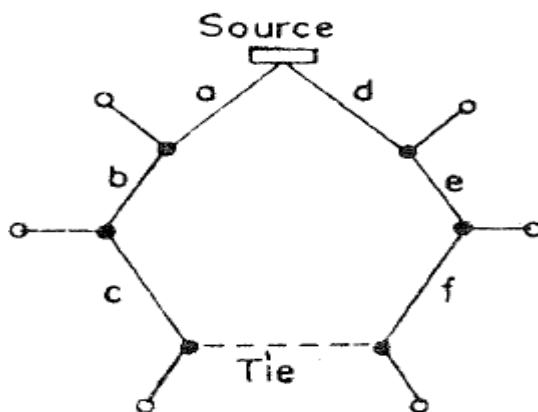
۴-۴-۱. جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای

در این مورد ترکیب شبکه شعاعی با جابه‌جا کردن المانها بین S_j تغییر می‌کند. بنابراین جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای ترکیب بهینه شبکه هر پست توزیع را تعیین می‌کند. الگوریتم برای جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای در زیر توضیح داده شده است.

- (1) یک خط ارتباطی z_j از S_j را در نظر بگیرید.
- (2) از گره انتهایی z_j مسیر را در دو جهت به سمت منبع پیگیری کنید تا یک حلقه ایجاد شود.
- (3) با استفاده از روشهای بیان شده در فصل قبل پخش بار در حلقه را انجام دهید.
- (4) شاخه‌ای را که باید باز شود تا محدودیت‌های زیر با در نظر گرفتن اولویت، برآورده شود تعیین کنید.

- a. برای کاهش تخطی از محدودیت ظرفیت فیدرهای حلقه (اگر این تخطی وجود دارد)
- b. برای کاهش تخطی از محدودیت ولتاژ گره‌های حلقه (اگر این تخطی وجود دارد)
- c. برای کاهش هزینه نصب تجهیزات و هزینه تلفات انرژی شبکه S_j (اگر تخطی از محدودیتی وجود ندارد)

- (5) پخش بار را در مورد جابجایی شاخه موفق، انجام دهید.
 - (6) گام 1 تا 5 را تا زمانی که با جابجایی شاخه بهبود حاصل شود، تکرار کنید.
- یک نمونه ایجاد حلقه در جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۴-۱ ایجاد حلقه در جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای [28]

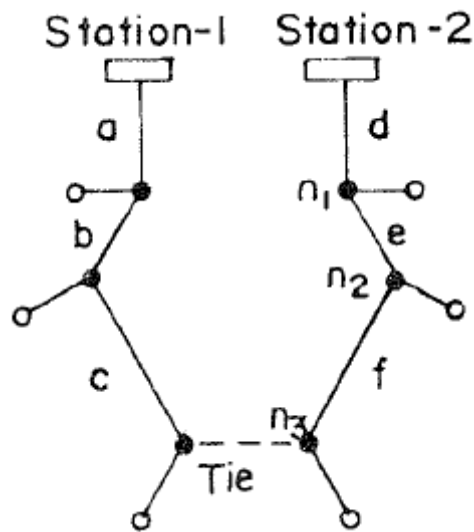
لازم به ذکر است که جابجایی شاخه موفق زمانی اتفاق می‌افتد که شاخه‌ای که برای باز شدن حلقه باید باز شود، همان شاخه‌ای نباشد که برای ایجاد حلقه وارد شده است. دلیل در نظر گرفتن این حق تقدم‌ها در انتخاب شاخه برای باز شدن حلقه، امکان پذیر بودن حل بهینه است. بنابراین امکان پذیر بودن حل ابتدا باید بررسی شود. لذا اگر هر گونه تخطی از محدودیت‌ها وجود داشته باشد، اولین تابع هدف، کم کردن میزان تخطی است. تخطی از محدودیت‌ها ممکن است به صورت اضافه بار شدن فیدرها و یا افت ولتاژ در گره‌ها باشد. اضافه بار شدن خطوط خیلی جدی‌تر است و لذا ابتدا می‌بایست بر طرف شود. تخطی از محدودیت ولتاژ را اگر در مرحله طراحی برطرف نشود، می‌توان با خازن‌گذاری رفع کرد. اما تخطی از محدودیت ظرفیت را نمی‌توان جز با تغییر اندازه هادیها برطرف کرد. بنابراین اضافه بار خطوط بالاترین اولویت را دارد. در صورتی که اضافه بار وجود نداشته باشد، بررسی می‌شود که آیا تخطی از محدودیت ولتاژ وجود دارد یا نه. اگر محدودیت‌های جریان و ولتاژ وجود نداشته باشد، کاهش هزینه سیستم به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می‌شود و خطی که باز شدنش در حلقه، بیشترین کاهش در هزینه سیستم را ایجاد کند، حذف می‌شود. جابجایی شاخه در یک پست تا جایی که نتایج منجر به کاهش هزینه و یا بهبود در موارد تخطی از محدودیت‌ها شود، ادامه می‌یابد.

۴-۴-۲. جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای

در این مورد گره‌ها بین دو ناحیه توزیع همجوار S_i و S_j توسط خط بین ناحیه‌ای S_{ij} جابه‌جا می‌شوند. جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای سطح سرویس‌دهی بهینه هر پست توزیع را تعیین می‌کند. الگوریتم جابه‌جایی شاخه بین ناحیه‌ای به صورت زیر است:

- (1) خط ارتباطی t_{ij} را از S_{ij} انتخاب کنید. (S_{ij} مجموعه خطوط بین ناحیه‌های i و j است)
- (2) از دو گره انتهایی t_{ij} برای ایجاد حلقه مورد نیاز به سمت دو منبع S_i & S_j حرکت کنید.
- (3) پخش بار در حلقه را انجام دهید.
- (4) شاخه‌ای را از حلقه برای باز شدن انتخاب کنید که هزینه سیستم را کاهش دهد.
- (5) پخش بار را در دو ناحیه i و j در صورت جابجایی شاخه موفق انجام دهید.
- (6) گام 1 تا 5 را آنقدر تکرار کنید که کاهش هزینه به علت جابجایی شاخه‌ها به دست آید.

تابع هدف در جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای، کاهش هزینه سیستم می‌باشد. در مورد جابجایی بین ناحیه‌ای تخطی از محدودیت فیدرها بررسی نمی‌شود. فرض می‌شود که این گونه تخطی‌ها اگر وجود داشته باشد می‌تواند به وسیله جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای در هر پست برطرف شود لذا تابع هدف در جابجایی شاخه‌ها کاهش هزینه سیستم می‌باشد. یک نمونه ایجاد حلقه در جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۴-۲ ایجاد حلقه در جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای [28]

۳-۴-۴ معیارهای باز کردن حلقه

در جابجایی شاخه به منظور باز کردن حلقه معیارهای زیر با ترتیب اولویت استفاده شده است.

مورد اول دارای بالاترین اولویت است:

- (1) برای کاهش اضافه بار خطوط
- (2) برای بهبود پروفایل ولتاژ
- (3) به منظور کاهش هزینه سیستم

اضافه بار خطوط: اضافه بار با استفاده از متعادل کردن بار¹ در شاخه‌های حلقه، برطرف می‌شود. و برای برگرداندن ترکیب شعاعی، باید طوری خط باز شود که ماکزیمم درصد بار در دو گره انتهایی این خط، تقریباً مشابه باشد.

بهبود پروفایل ولتاژ: در مورد تخطی از محدودیت ولتاژ خطی که باید باز شود به گونه‌ای انتخاب می‌شود که الگوی جریان بهینه در شاخه‌های حلقه ایجاد شود. الگوی جریان بهینه تلفات را کاهش می‌دهد و به صورت هم زمان پروفایل ولتاژ بهبود می‌یابد.

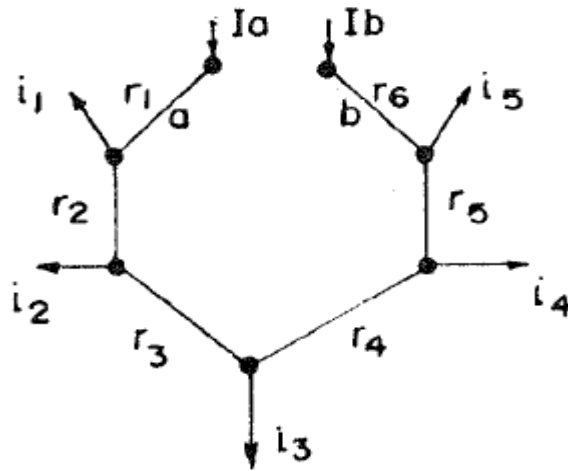
کاهش هزینه: هزینه سیستم دو مولفه دارد (1) هزینه تجهیزات (هزینه ثابت) (2) هزینه تلفات انرژی (هزینه متغیر). بنابراین تلاش برای کاهش هزینه به دو صورت انجام می‌شود یکی با کم کردن هزینه نصب تجهیزات و دیگری کاهش تلفات انرژی در سیستم. کاهش هزینه برای هر دو مورد ذکر شده محاسبه می‌شود و هر کدام که از لحاظ اقتصادی بهتر باشد انتخاب می‌شود. در مورد (1) که مربوط به هزینه تجهیزات است، هزینه خطوط در حلقه با هم مقایسه می‌شود و خطی که دارای بیشترین هزینه است باز می‌شود تا ترکیب شعاعی شبکه دوباره به دست آید. کاهش تلفات در شاخه‌های حلقه با تحمیل کردن الگوی جریان بهینه در شاخه‌های حلقه به دست می‌آید.

متعادل کردن بار: همانطور که اشاره شد جابجایی شاخه با تابع هدف متعادل کردن بار در شاخه‌های حلقه در حالت اضافه بار خطوط اجرا می‌شود. درصد بار در هر دو قسمت حلقه محاسبه می‌شود. سپس بارها به وسیله انتقال هر بار یک گره از قسمت پر بار به قسمت دیگر حلقه، منتقل می‌شوند و دوباره درصد بار محاسبه می‌شود. فرآیند تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که ماکزیمم درصد بار در دو طرف خط ارتباطی، تقریباً مشابه باشد.

در شکل (2-4) فرض می‌شود قسمتی که با خطوط d-e-f نشان داده شده اضافه بار دارد. تلاش بر این است که خط f باز شود بنابراین بار گره n3 به قسمت نشان داده شده با a-b-c حلقه منتقل می‌شود. درصد بار در هر دو طرف محاسبه می‌شود و اگر تفاوت به اندازه کافی بزرگ باشد تلاش

¹ Load balancing

بعدی باز کردن خط e است که گره n2 را به قسمت a-b-c-tie-f منتقل می‌کند. اگر ماکزیمم درصد باردهی در این قسمت بیشتر از قسمت دیگر شود، عمل جابجایی بار متوقف شده و خط جابه‌جا شده در گام قبلی برای باز شدن انتخاب می‌شود.



شکل ۳-۴ الگوی جریان بهینه [28]

الگوی جریان بهینه: الگوی جریان بهینه، الگوی جریانی است که در شبکه باعث کمترین تلفات می‌شود. این الگوی جریان از حل معادلات KVL و KCL شبکه با استفاده از شبکه‌ای که امپدانس شاخه‌ها با مقاومت آنها جایگزین شده باشد به دست می‌آید [27]. الگوی جریان بهینه را می‌توان با در نظر گرفتن بارها به عنوان منبع جریان به دست آورد. با توجه به حلقه شکل (3-4) جریان بهینه در شاخه b برابر است با:

$$b = \frac{\sum_{k=1}^5 i_k \cdot r_k}{\sum_{k=1}^6 r_k} \quad (3-4)$$

جریان در سایر شاخه را می‌توان به آسانی با به کار بردن KCL در هر گره از حلقه محاسبه کرد. با باز کردن شاخه‌ای که کمترین جریان را دارد می‌توان به الگوی جریان بهینه رسید.

۵-۴. الگوریتم کامل طراحی

جابجایی بین ناحیه‌ای و درون ناحیه‌ای مکررا اجرا می‌شود. یک مجموعه از جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای و درون ناحیه‌ای، یک تکرار الگوریتم را تشکیل می‌دهد. جابجایی شاخه‌ها تا جایی ادامه پیدا می‌کند که هزینه سیستم و یا تخطی از محدودیت‌ها بتواند کاهش پیدا کند. زمانی که حل بهینه برای پست‌های انتخاب شده به دست آید، بهینه بودن ظرفیت پست بررسی می‌شود. اگر به مقدار بهینه نرسیده باشد (بار تغذیه شده از پست خیلی کم باشد) یک تکرار دیگر با کم کردن یکی از پست‌ها اجرا می‌شود. پستی که باید برای تکرار بعدی حذف شود بر اساس هزینه بر کیلو ولت آمپر پست، تعیین می‌شود. هزینه بر کیلو ولت آمپر به صورت: (هزینه پست + هزینه فیدرها + هزینه تلفات انرژی)/کل کیلو ولت آمپر بار پست، محاسبه می‌شود. پستی که دارای بیشترین هزینه بر کیلو ولت آمپر است باز می‌شود و ترکیب بهینه شبکه جدید با پست‌های مشخص شده به دست می‌آید. این فرآیند تا زمانی تکرار می‌شود که کاهش هزینه با کاهش تعداد پست‌ها به دست آید. یک پخش بار کامل بعد از جابجایی شاخه موفق انجام می‌شود. از آنجایی که کلا تعداد جابجایی شاخه موفق خیلی کمتر از تعداد جابجایی شاخه‌های انجام شده است، تعداد پخش بارهای کامل، زیاد نیست. ممکن است به این مساله توجه شود که حل به دست آمده از پخش بار شعاعی بعد از هر جابجایی شاخه عوض می‌شود. به هر حال پخش بار کامل لازم نیست و می‌توان با تغییرات کوچکی در نتایج پخش بار موجود نتایج جدید را به دست آورد.

فصل پنجم

تعیین محل پست‌ها و فیدرها در شبکه‌های

توزیع با در نظر گرفتن تولید پراکنده با

استفاده از جابجایی شاخه

در این فصل بر مبنای روش ارائه شده در فصل چهارم، یک روش برای جابجایی بهینه پست‌های فوق توزیع و فیدرهای شبکه توزیع ارائه می‌شود. سپس در روش ارائه شده اثر وجود منابع تولید پراکنده در نظر گرفته می‌شود. روش‌های مذکور در فصل ششم به یک سیستم نمونه اعمال می‌شوند. لازم به ذکر است که برای بهینه‌سازی مکان و ظرفیت تولیدات پراکنده از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود.

۵-۱. طراحی سیستم توزیع بدون در نظر گرفتن واحدهای تولید پراکنده

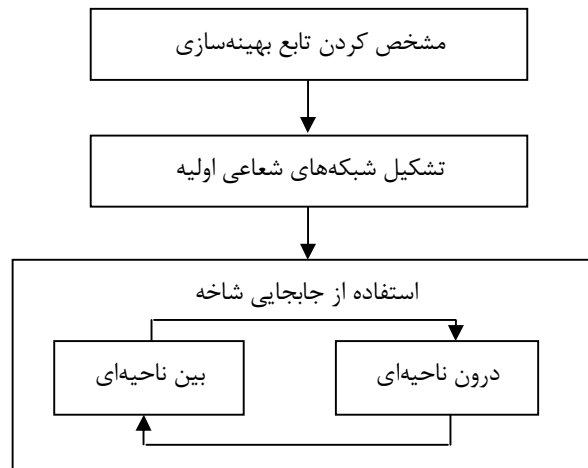
در الگوریتم ارائه شده در این فصل از تعاریف زیر استفاده می‌شود:

- سیستم توزیع: کل سیستم توزیع که قرار است جابجایی بهینه پست‌ها و فیدرها در آن انجام شود.
- شبکه: تعدادی از باس‌ها و خطوط یک سیستم توزیع که توسط یک پست تغذیه می‌شود، شبکه نامیده می‌شود.
- مینیمم درخت پوشای شبکه: آرایشی از یک شبکه که دارای کمترین طول باشد و تمام باسها را به پست وصل کرده و حلقه تشکیل نشود، مینیمم درخت پوشای آن شبکه نامیده می‌شود (برای تعیین مینیمم درخت پوشای شبکه از تئوری گراف استفاده می‌شود).

• ساختار یک شبکه: یک آرایش از شبکه که تمام باسها را به پست وصل کرده و حلقه تشکیل ندهد ساختار آن شبکه نامیده می‌شود.

• جابجایی شاخه: هر گاه با اضافه شدن یک شاخه (از شاخه‌های ممکن برای احداث) در ساختار شبکه، یک حلقه تشکیل شود و برای شعاعی شدن این شبکه، یک شاخه دیگر قطع گردد، به این کار جابجایی شاخه می‌گویند.

لازم به ذکر است که جابجایی شاخه قبلا در فصل چهارم بیان گردید ولی برای واضح‌تر شدن مطلب و پیوستگی مطالب در بالا به صورت صریح بیان شده است. روش طراحی شامل سه مرحله است که در فلوجارت زیر نشان داده شده است.



شکل ۱-۵ فلوجارت روش طراحی

۱-۱-۵. تابع بهینه‌سازی

همانطور که بیان شد تابعی که برای بهینه‌سازی استفاده می‌شود مجموع هزینه احداث و هزینه بهره‌برداری از شبکه می‌باشد.

هزینه احداث شبکه شامل دو پارامتر می‌شود:

- هزینه احداث پست
- هزینه احداث فیدرهای ولتاژ متوسط شبکه

$$C = C(Installation) + C(Ploss) \quad (1-5)$$

در رابطه فوق $C(Installation)$ هزینه کل احداث و $C(Ploss)$ هزینه تلفات است.

نحوه محاسبه هزینه احداث شبکه در رابطه (5-1) نشان داده شده است.

$$C(\text{Installation}) = \sum_{j=1}^{N_s} C(S_j) + \sum_{k=1}^{F_k} C(\text{type}(k)) * \text{length}(k) \quad (2-5)$$

در رابطه فوق S_j شبکه j ام، $C(S_j)$ هزینه احداث پست فوق توزیع j ام و $\text{type}(k)$ نوع فیدر k ام، $C(\text{type}(k))$ هزینه احداث فیدر k ام بر واحد کیلومتر و $\text{length}(k)$ طول فیدر k ام بر حسب کیلومتر می‌باشد. N_s تعداد کل شبکه‌ها (یا تعداد پست‌های فوق توزیع) و F_k تعداد کل فیدرهای شبکه است.

هزینه بهره‌برداری از سیستم توزیع مربوط به هزینه تلفات شبکه می‌شود. با توجه به اینکه سال افق برای طراحی سیستم توزیع معمولاً 10 سال در نظر گرفته می‌شود لذا باید تلفات برای 10 سال محاسبه شود. نحوه محاسبه تلفات در رابطه زیر نشان داده شده است.

$$C(\text{Ploss}) = \sum_{j=1}^{N_s} \text{Ploss}_j * 24 * 365 * 10 * C(\text{KWh}) \quad (3-5)$$

در رابطه بالا Ploss_j تلفات در شبکه j ام و $C(\text{KWh})$ هزینه یک کیلووات ساعت انرژی است. هزینه برای 24 ساعت شبانه‌روز و 365 روز سال محاسبه می‌شود. عدد 10 مربوط به 10 سال است که افق برنامه‌ریزی است.

۵-۱-۲. تشکیل شبکه‌های شعاعی اولیه

در این قسمت نحوه تشکیل شبکه‌های شعاعی اولیه بیان می‌گردد. اطلاعات ورودی برنامه شامل مختصات نقاط بار، مسیرهای ارتباطی ممکن بین این نقاط و گره‌های کاندید برای احداث پست فوق توزیع می‌باشد. برای تشکیل شبکه‌های شعاعی اولیه ابتدا می‌بایست گره‌هایی که از یک پست تغذیه می‌شوند مشخص شوند. به تعداد گره‌های کاندید برای احداث پست شبکه اولیه ایجاد خواهد شد. برای این کار فاصله هر گره تا گره‌های کاندید برای احداث پست فوق توزیع محاسبه می‌شود. هر گره به شبکه‌ای تعلق می‌گیرد که به گره کاندید برای احداث پست در آن شبکه، نزدیکتر باشد.

با مشخص شدن گره‌های هر پست می‌توان خطوط درون ناحیه‌ای و برون ناحیه‌ای را نیز مشخص کرد. مسیرهای ارتباطی موجود بین گره‌های یک شبکه، خطوط ارتباطی درون ناحیه‌ای آن شبکه هستند. مسیرهایی که گره‌های دو شبکه متفاوت را به هم وصل می‌کنند، خطوط بین ناحیه‌ای هستند.

با مشخص شدن گره‌هایی که از هر پست تغذیه می‌شوند و همچنین خطوط ارتباطی درون ناحیه‌ای، می‌توان شبکه‌های شعاعی اولیه را تشکیل داد. مساله تشکیل شبکه شعاعی در ریاضیات تحت عنوان گراف و درخت پوشا مطرح است. با توجه به اینکه هرچه طول شبکه کوتاهتر باشد هزینه احداث آن کمتر و پارامترهای دیگر هم به احتمال زیاد بهبود می‌یابد پس ما به دنبال مینیمم درخت پوشا¹ در شبکه هستیم. البته قابل ذکر است که در حالت کلی همیشه کوتاه‌ترین شبکه بهترین شبکه نیست.

روش‌های مختلفی در تئوری گراف برای تعیین مینیمم درخت پوشا در گراف‌های جهت‌دار و غیر جهت‌دار مطرح شده است. از جمله روشهایی که در گراف‌های غیر جهت‌دار مطرح شده است می‌توان به الگوریتم کروسکال²، الگوریتم پریم³، الگوریتم حذف کردن معکوس⁴ و ... اشاره کرد. با توجه به اینکه شبکه توزیع جهت‌دار نیست لذا در این پایان‌نامه از الگوریتم پریم برای تشکیل شبکه‌های شعاعی اولیه استفاده می‌شود.

¹ Minimum spanning tree

² Kruskal's algorithm

³ Prim's algorithm

⁴ Reverse-delete algorithm

۱-۲-۱-۵ الگوریتم پریم

این الگوریتم در سال 1930 توسط ریاضیدان چکسلواکی، وجتیچ جارنیک¹ و سپس مستقلا در سال 1957 توسط رابرت پریم² دانشمند کامپیوتر بسط داده شد و در سال 1959 توسط ادسجر دیج کسترا³ دوباره مطرح شد. لذا گاهی اوقات به آن الگوریتم DJP algorithm، Jarník algorithm و یا Prim- Jarník algorithm گفته می‌شود [30].

گراف G با n راس (باس یا گره) را در نظر بگیرید. الگوریتم پریم به صورت زیر عمل می‌کند:

(1) درخت تهی T را ایجاد کنید.

(2) راس v از گراف را انتخاب کرده و به درخت اضافه کنید.

(3) عملیات زیر را تکرار کنید تا کلیه راس‌های گراف به درخت T اضافه شوند:

• یالی (شاخه‌ای یا مسیری) که با حداقل وزن به رئوس T متصل است را پیدا کنید. یال

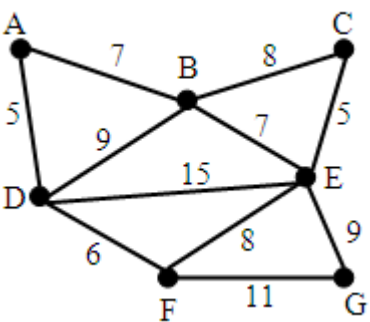
و راس متصل به آن را به درخت T اضافه کنید به شرط اینکه حلقه ایجاد نشود.

پیچیدگی زمانی⁴ الگوریتم $O(mn)$ می‌شود. که m تعداد یال‌ها و n تعداد رئوس گراف G است. در

سیستم توزیع رئوس گراف همان نقاط بار و یالها مسیرهای ممکن برای احداث هستند. در اینجا با

استفاده از یک مثال ساده به تشریح الگوریتم پریم می‌پردازیم.

جدول ۱-۵ روند اجرای الگوریتم پریم [30]

| | |
|---|--|
|  | <p>مرحله اول:</p> <p>شکل روبه‌رو گراف وزن‌دار می‌باشد. عدد نزدیک هر یال وزن مربوط به آن یال است.</p> |
|---|--|

¹ Vojtěch Jarník

² Robert C. Prim

³ Edsger Dijkstra

⁴ Time complexity

| | |
|--|--|
| | <p>مرحله دوم:</p> <p>راس D به عنوان نقطه شروع در نظر گرفته شده است. رئوس A, B, E و F توسط یک یال به راس D متصل شده‌اند. در این میان A نزدیکترین راس به D است لذا به عنوان راس دوم با یال AD انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است که نقطه شروع هر گرهی می‌تواند باشد.</p> |
| | <p>مرحله سوم:</p> <p>راس بعدی که انتخاب می‌شود نزدیکترین راس به A و D است. فاصله B از A و D به ترتیب 7 و 9 است و فاصله E, F از D به ترتیب 6 و 15 است. نزدیکترین فاصله را دارد لذا انتخاب می‌شود و توسط یال DF به درخت اضافه می‌شود.</p> |
| | <p>مرحله چهارم:</p> <p>الگوریتم مانند فوق تکرار می‌شود. فاصله B از A 7 است. چون کوتاهترین فاصله را دارد انتخاب می‌شود.</p> |

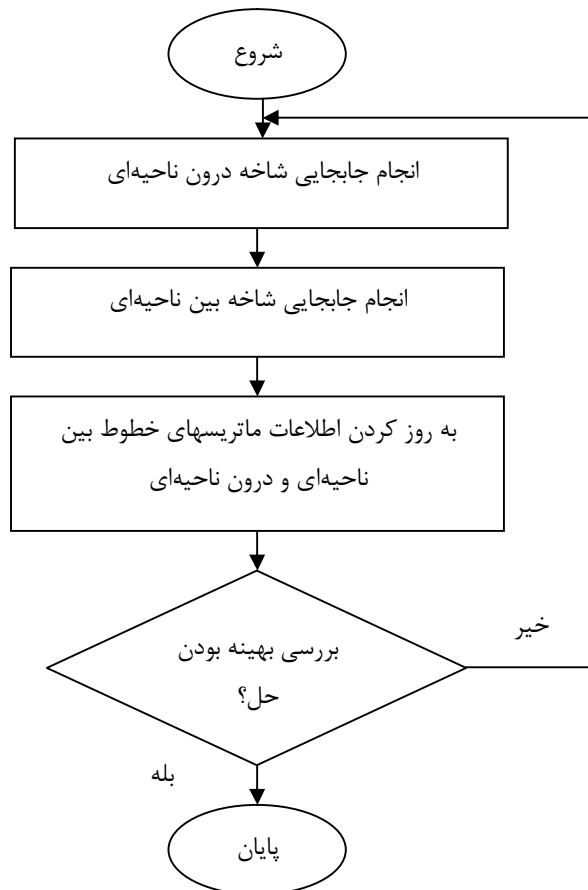
| | |
|--|--|
| | <p>مرحله پنجم:</p> <p>در اینجا ما می‌توانیم C, E, G را انتخاب کنیم. فاصله C از B و E از B و E از D و G از F به ترتیب 8 و 7 و 15 و 11 است. لذا E انتخاب شده و یال BE نیز اضافه می‌شود.</p> |
| | <p>مرحله ششم:</p> <p>تنها راس‌های باقی‌مانده C, G هستند. فاصله C از B و E برابر 8 و 5 و فاصله G از E و F برابر 9 و 11 می‌باشد. بنابراین C انتخاب می‌شود و یال EC به درخت اضافه می‌شود.</p> |
| | <p>مرحله هفتم:</p> <p>فقط راس G باقی‌مانده است. فاصله آن از E و F به ترتیب 9 و 11 می‌باشد بنابراین یال EG انتخاب می‌شود.</p> |
| | <p>مرحله هشتم:</p> <p>اکنون تمامی راسها متصل شده‌اند و با خط پر اتصال آنها نشان داده شده است.</p> |

وزن یالها در سیستم توزیع فاصله بین نقاط در نظر گرفته می‌شود.

پس از تعیین ساختار اولیه شبکه با استفاده از مینیمم درخت پوشا، برای تعیین پارامترهای شبکه باید پخش بار اجرا شود. مساله‌ای که در اینجا باید مشخص شود نوع هادی‌های خطوط در شبکه است. با توجه به اینکه تا پخش بار اجرا نشود مقدار جریان عبوری از فیدرها مشخص نمی‌شود تا بتوان از روی آن نوع هادی خطوط را مشخص کرد لذا ابتدا فرض می‌کنیم نوع هادی تمام خطوط یکسان باشد و پخش بار را اجرا می‌کنیم. این فرض تاثیر چندانی بر مقدار جریان محاسبه شده ندارد. حال با مشخص شدن جریان خطوط و براساس اطلاعات مربوط به هادی‌ها، نوع هادی هر فیدر را مشخص می‌کنیم. سپس دوباره پخش بار را اجرا کرده تا وضعیت نهایی شبکه تعیین شود. در ادامه برنامه نیز هر زمان که پخش بار نیاز باشد، پخش بار دو مرتبه انجام می‌شود. در پخش بار اول، جریان تقریبی در خطوط مشخص می‌شود و در پخش بار دوم، وضعیت دقیق شبکه مشخص می‌شود. با توجه به این روند خطوط شبکه به هیچ وجه اضافه جریان نخواهند داشت. به عبارت دیگر ما از ابتدا نوع هادی خطوط را به گونه‌ای انتخاب می‌کنیم که هیچ یک از خطوط اضافه جریان نداشته باشند. به این ترتیب یکی از معیارهای طراحی با انتخاب نوع هادی برآورده می‌شود.

۵-۱-۳. استفاده از جابجایی شاخه

برای تعیین ساختار بهینه باید جابجایی شاخه در سیستم توزیع انجام شود. ساختار بهینه هر شبکه با اجرای جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای مشخص می‌شود و با اجرای جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای ساختار بهینه کل سیستم توزیع مشخص می‌شود. ابتدا جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای برای هر شبکه انجام می‌شود. سپس جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای انجام می‌شود و نهایتاً بهینه بودن جواب بررسی می‌شود. در هر مرحله‌ای که تغییر در شبکه ایجاد شود باید ماتریس اطلاعات خطوط درون ناحیه‌ای و بین ناحیه‌ای به روز شود. این فرآیند تا زمانی تکرار می‌شود که بهبودی در شبکه حاصل شود. فلوجارت مربوط به استفاده از جابجایی شاخه در شکل (5-2) نشان داده شده است.



شکل ۵-۲ فلوجارت الگوریتم جابجایی شاخه

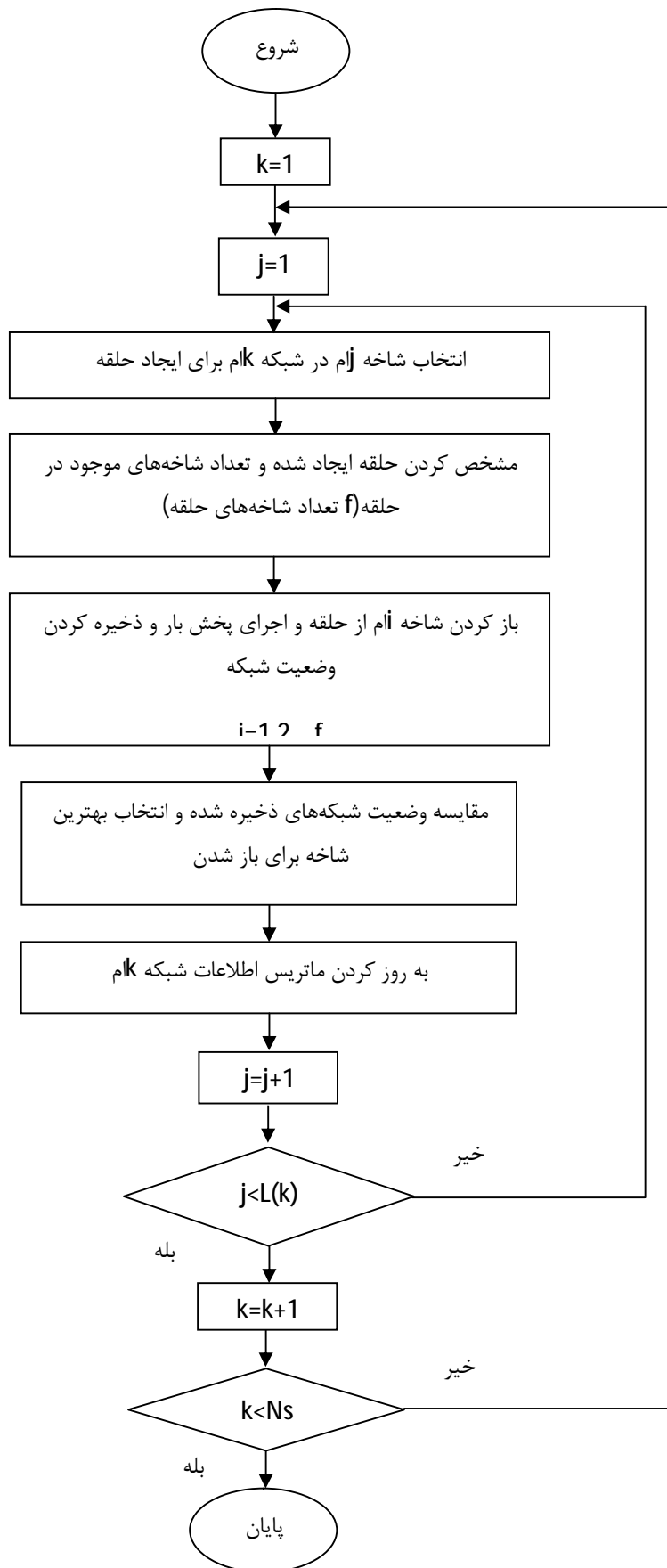
۵-۱-۳-۱. الگوریتم جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای

جابجایی شاخه برای هر شاخه دلخواه از شبکه درون ناحیه‌ای دارای مراحل زیر است:

- 1) اضافه کردن یک شاخه از خطوط درون ناحیه‌ای برای ایجاد حلقه
- 2) مشخص کردن حلقه به وجود آمده و شاخه‌های موجود در حلقه
- 3) باز کردن یک به یک شاخه‌های حلقه و اجرای پخش بار در شبکه و ذخیره کردن وضعیت شبکه در حالتی که این شاخه باز است (این حالت یک ساختار برای این شبکه است).
- 4) مقایسه وضعیت شبکه‌های گام 3 با هم و انتخاب شاخه‌ای از حلقه برای باز کردن که بهترین وضعیت را در شبکه ایجاد می‌کند.
- 5) شاخه انتخاب شده باز می‌شود و وضعیت شبکه در حالت جدید ذخیره می‌شود.
- 6) گام 1 تا 5 برای تمام شاخه‌های درون ناحیه‌ای تکرار می‌شود.

همچنانکه در گام‌های 1 تا 6 آورده شده است از تمام شاخه‌های درون ناحیه‌ای برای ایجاد حلقه (به منظور جابجایی شاخه) استفاده می‌شود تا ترکیب بهینه برای هر شبکه به دست آید. با توجه به اینکه ما در انتخاب نوع هادی هر خط، ماکزیمم جریان مجاز را در نظر گرفته‌ایم پس هیچ کدام از خطوط شبکه اضافه بار ندارند لذا در معیارهایی که برای بازکردن خطوط حلقه در مراجع دیگر [27,28] وجود دارد، احتیاجی به بررسی کردن این معیار نیست. در الگوریتم بیان شده در این قسمت که با مراحل 1 تا 6 در بالا بیان شده‌اند، دو معیار برای جابجایی خط استفاده می‌شود. اولین معیار بهبود ولتاژ شبکه و دومین معیار کاهش هزینه کلی سیستم (مجموع هزینه‌های احداث و بهره‌برداری) است. لازم به ذکر است که برای ساختارهای به دست آمده در مرحله 3، در صورتی که دو یا چند ساختار ولتاژ آنها از حد مجاز بیشتر باشد، معیار انتخاب بهترین ساختار از بین ساختارها، معیار کمترین هزینه کل سیستم است. به عنوان مثال اگر مینیمم ولتاژ در دو ساختار از مقدار مجاز بالاتر و با هم متفاوت باشند ساختاری انتخاب می‌شود که مینیمم هزینه را داشته باشد اگرچه مینیمم ولتاژ آن از شبکه دیگر کمتر باشد.

فلوچارت الگوریتم جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای در شکل (3-5) نشان داده شده است. در این شکل تعداد شبکه‌ها و $L(k)$ تعداد خطوط ارتباطی درون ناحیه‌ای در شبکه k ام است.



شکل ۳-۵ فلوجارت الگوریتم جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای

۵-۱-۳-۲. الگوریتم جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای

جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای برای تمام انتخاب‌های دوتایی از ناحیه‌های موجود در سیستم انجام

می‌شود. جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای به صورت زیر انجام می‌شود:

(1) انتخاب دو ناحیه k و w برا انجام جابجایی

$$(k \neq w) (k, w=1, \dots, N_s)$$

(2) اضافه کردن یک شاخه از خطوط بین ناحیه‌ای (w و k) برای ایجاد حلقه

(3) مشخص کردن حلقه به وجود آمده و شاخه‌های موجود در حلقه

(4) باز کردن یک به یک شاخه‌های حلقه و اجرای پخش بار در دو ناحیه و ذخیره کردن وضعیت

ناحیه‌ها در حالتی که هر شاخه باز است.

(5) مقایسه وضعیت ناحیه‌های گام 3 با هم و انتخاب شاخه‌ای از حلقه برای باز کردن که بهترین

وضعیت را در دو ناحیه ایجاد می‌کند.

(6) گام 1 تا 5 برای تمام شاخه‌های ارتباطی بین ناحیه k و w تکرار می‌شود. از بین شاخه‌های

انتخاب شده در گام 5 دوباره بهترین شاخه انتخاب شده و باز می‌شود. وضعیت دو ناحیه در

حالت جدید ذخیره شده و اطلاعات ماتریس خطوط درون ناحیه‌ای و بین ناحیه‌ای به‌روز می-

شود.

(7) گام 1 تا 5 تا زمانی که بهبودی در شبکه حاصل شود تکرار می‌شود.

جابجایی شاخه بین تمام ناحیه‌ها انجام می‌شود. به عبارت دیگر دو به دو ناحیه‌ها با هم بررسی

می‌شوند. اگر جابجایی شاخه بین دو ناحیه انجام شود با توجه به اینکه یک گره از یک ناحیه به ناحیه

دیگر منتقل می‌شود لذا باید هر دو ماتریس خطوط درون ناحیه‌ای و بین ناحیه‌ای اصلاح شوند.

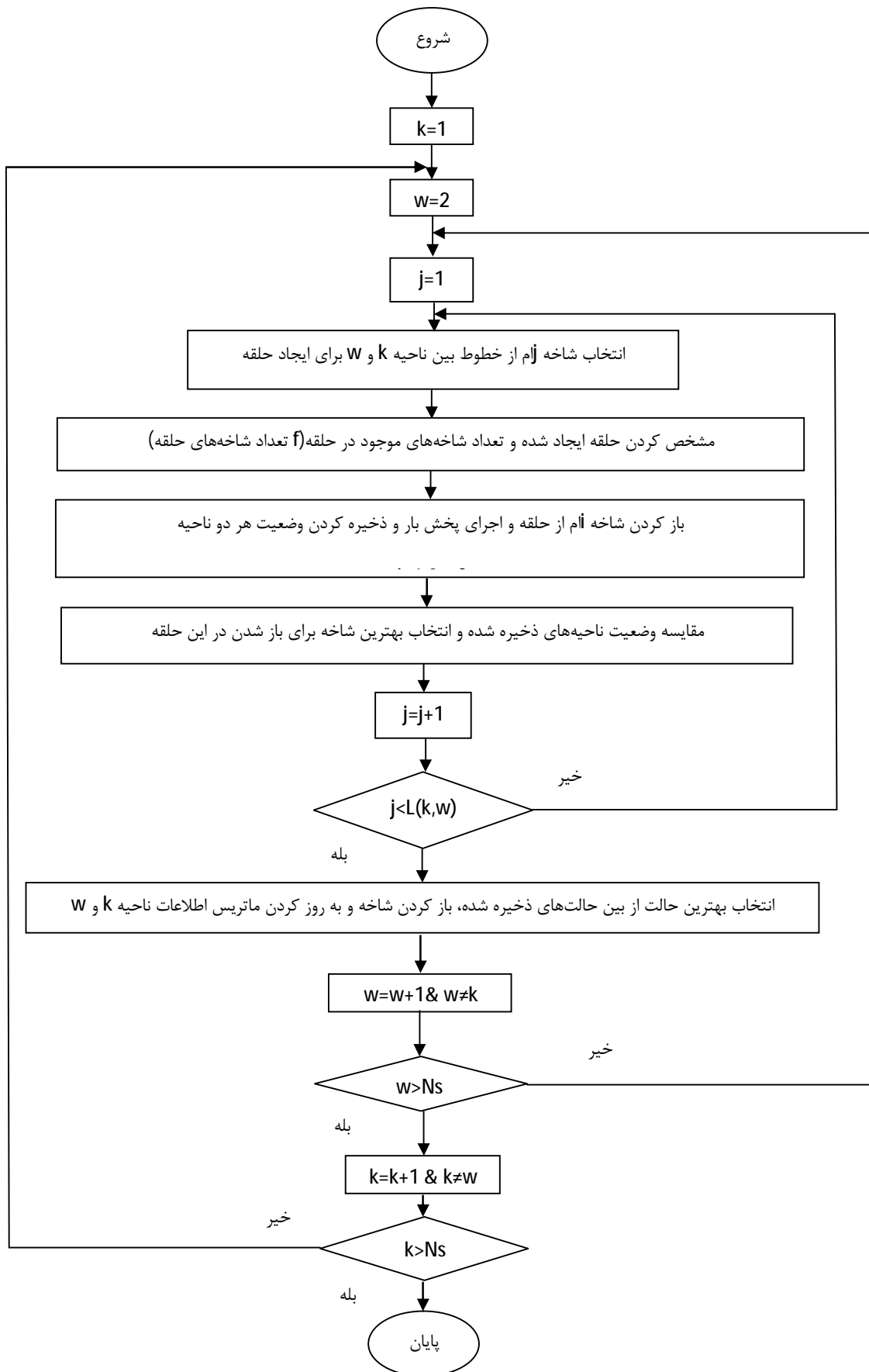
همانطور که قبلاً گفته شد تنها معیاری که برای انجام شاخه بین ناحیه‌ای در نظر گرفته می‌شود

کاهش هزینه کل سیستم است. فلوجارت روند اجرای الگوریتم جابجایی بین ناحیه‌ای در شکل (4-5)

نشان داده شده است. اگر باز شدن شاخه‌ای منجر به جدا شدن یکی از نقاط کاندید برای پست شود

به این معنی است که آن ناحیه باید از پست همجوار تغذیه شود لذا نقطه کاندید برای پست به شبکه

متصل و دو ناحیه از یک پست تغذیه خواهند شد.



شکل ۴-۵ فلوجارت الگوریتم جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای

۳-۳-۱-۵. بررسی بهینه بودن حل

مطابق با فلوجارت شکل (2-5) جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای و بین ناحیه‌ای آنقدر تکرار می‌شوند تا دیگر بهبودی در شبکه حاصل نشود و شبکه بهینه کامل باشد. با توجه به اینکه ما تک تک خطوط ارتباطی را چک می‌کنیم اگر در اجرای یک تکرار الگوریتم پستی حذف نشود به معنی بهینه بودن ساختار شبکه است اما اگر پستی حذف شد باید الگوریتم دوباره تکرار شود چون ممکن است در جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای در شبکه جدید دوباره تغییر ایجاد شود.

۲-۵. طراحی سیستم توزیع با در نظر گرفتن امکان نصب تولیدات پراکنده

با افزایش میزان تقاضا برای انرژی الکتریکی، تجدید ساختار در صنعت برق و نیز افزایش راندمان واحدهای تولیدی کوچک، شرکت‌های برق تمایل بیشتری برای بهره‌برداری از این واحدها در سیستم توزیع و در نزدیکی مصرف‌کننده‌ها پیدا کرده‌اند. به این واحدهای کوچک که به سیستم توزیع متصل می‌شوند، تولید توزیع شده یا «تولید پراکنده»¹ گفته می‌شود. خصوصی‌سازی صنعت برق و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر از مهمترین عوامل گسترش این نوع از تولید برق می‌باشند. استفاده از واحدهای تولید پراکنده تأثیر قابل توجهی بر مسائل فنی و اقتصادی سیستمهای قدرت می‌گذارد.

۱-۲-۵. تولیدات پراکنده

تولیدات پراکنده شامل استفاده از واحدهای کوچک که نوعاً بین 5KVA تا 10MVA ظرفیت دارند هستند. این گونه تولیدات به صورت موازی با شبکه و یا به صورت تنها قابل استفاده هستند.

آژانس بین‌المللی انرژی 5 دلیل عمده را در به کارگیری از تولیدات پراکنده موثر می‌داند [31]:

- (1) توسعه تکنولوژی تولیدات پراکنده
- (2) محدودیت در ساخت خطوط انتقال جدید
- (3) تقاضای مشترکین برای داشتن انرژی با قابلیت اطمینان بالاتر

¹ Distributed generation(DG)

4) رقابتی شدن بازارهای انرژی الکتریکی

5) نگرانی در رابطه با آلودگی‌های محیطی و تغییر شرایط جوی

مزایای فنی استفاده از تولیدات پراکنده عبارت‌اند از [31]:

- نصب و بهره برداری آسان و سریع
- امکان نصب در محل مصرف (عدم نیاز به فضای بزرگ جهت نصب)
- تامین افزایش تقاضای مشترکین
- تامین توان در هنگام راه اندازی نیروگاه‌ها
- کاهش تلفات توان سیستم انتقال و توزیع
- افزایش قابلیت اطمینان سیستم
- حفظ و افزایش پایداری سیستم
- کاهش میزان انتشار گازهای سمی و آلاینده
- بهبود پروفایل ولتاژ و کیفیت توان

مزایای اقتصادی استفاده از تولیدات پراکنده عبارت‌اند از [31]:

- کاهش نیاز به سرمایه‌گذاری جهت توسعه سیستم توزیع و انتقال و تعویق آن
- داشتن مزایای فراوان در بازارهای رقابتی
- زمان و هزینه سرمایه‌گذاری پایین این واحدها
- قابلیت کاهش قیمت‌های بازار عمده فروشی
- پتانسیل و امکان استفاده از این واحدها در بازار خدمات جانبی¹

¹ Auxiliary service

انواع تکنولوژی های تولیدات پراکنده عبارت انداز [31,32]:

- توربین‌های بادی
- پیل سوختی
- واحدهای حرارت خورشیدی
- توربین‌های گازی
- واحدهای آبی کوچک
- سلول‌های خورشیدی
- نیروگاه‌های مبتنی بر انرژی اقیانوسها
- نیروگاه‌های مبتنی بر حرارت مرکز زمین
- نیروگاه‌های مبتنی بر سوخت بیوماس

با توجه به مزایای این واحدهای تولیدی استفاده از این واحدها در شبکه‌های توزیع رواج یافته است. اما مساله مهم مطرح در این زمینه تعیین مکان نصب این ژنراتورها و ظرفیت آنها می‌باشد. آن چه که مسلم است در زمینه سرمایه‌گذاری محدودیت‌هایی وجود دارد پس می‌بایست در استفاده از این سرمایه دقت کافی انجام شود. مکان و ظرفیت این ژنراتورها در میزان تلفات و پروفایل ولتاژ شبکه بسیار موثر است به طوری که با یک DG گذاری بهینه می‌توان تلفات سیستم را به مقدار قابل توجهی کاهش و ولتاژ شبکه را نیز افزایش داد.

کارهای زیادی در زمینه DG گذاری در سیستم‌های توزیع انجام شده است. این کارها را می‌توان در دو بخش کلی به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- DG گذاری با ثابت بودن ساختار شبکه
- DG گذاری با تغییر دادن ساختار شبکه

در یک بخش از این کارها وضعیت سیستم را ثابت فرض می‌کنند و با شرایط موجود بهترین مکان و ظرفیت را برای واحدهای تولید پراکنده تعیین می‌کنند. برای مثال در مرجع [33] از الگوریتم کلونی مورچگان برای بهینه‌سازی مکان DG با توجه به محدودیت‌های قابلیت اطمینان استفاده شده است. قیده‌های پایداری و تلفات در مرجع [34] به عنوان توابع هدف جهت بهینه‌سازی انتخاب شده‌اند. در مرجع [35] از یک روش ابتکاری برای بهینه‌سازی سطح ولتاژ و تلفات استفاده شده است. از ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم گداختگی فلزات برای بهینه‌سازی جهت کاهش تلفات در مرجع [36] استفاده شده است. در مرجع [37] بهینه‌سازی مکان و ظرفیت تولیدات پراکنده با استفاده از تئوری بازی انجام شده است. در این مقاله از دو تابع هزینه و تلفات استفاده شده است. در مرجع [38] با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی استفاده از تولیدات پراکنده و خازن در شبکه توزیع انجام شده است.

در بخش دوم از کارهای انجام شده در این زمینه، در فرآیند بهینه‌سازی ساختار سیستم توزیع نیز تغییر می‌کند که به آن تجدید ساختار¹ می‌گویند. در مرجع [39] تجدید ساختار به منظور کاهش تلفات در شبکه با وجود تولید پراکنده انجام شده است. در این مقاله در گام اول با آنالیز حساسیت شاخه‌هایی که تاثیر زیادی بر تلفات دارند مشخص شده و حلقه ایجاد می‌شود سپس با استفاده از الگوریتم جابجایی شاخه، شاخه‌ای که برای شعاعی شدن باید باز شود تعیین می‌شود. در مرجع [40] از PSO² برای تجدید ساختار فیدرها در شبکه شامل تولیدات پراکنده استفاده شده است. تابع هدف در این مقاله مینیمم کردن افت ولتاژ، تعداد عملیات سوئیچینگ و هزینه کلی توان تولید شده توسط DGها و شرکت برق در نظر گرفته شده است. در مرجع [41] اثر استفاده از تولیدات پراکنده بر طراحی توسعه سیستم توزیع بررسی شده است. در مرجع [42] تجدید ساختار در سیستم توزیع شامل تولیدات پراکنده با استفاده از الگوریتم مورچگان با هدف کاهش تلفات و افزایش تعادل بار انجام شده است.

¹ Reconfiguration

² Practical Swarm Optimization

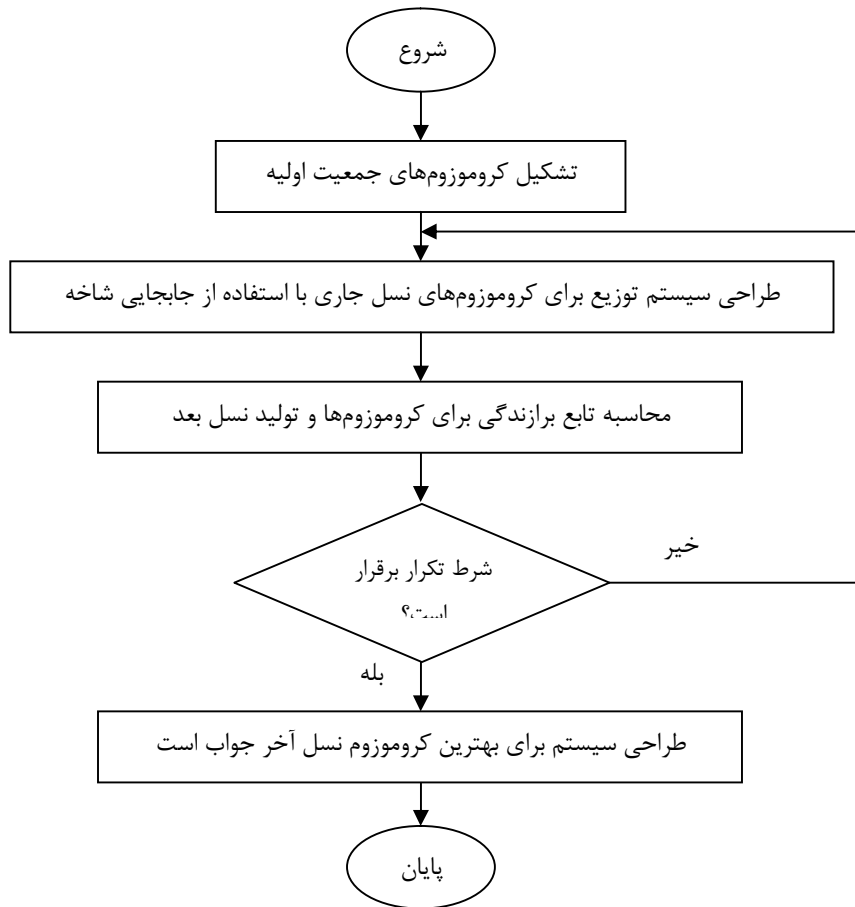
۵-۲-۲. طراحی سیستم توزیع با تولید پراکنده

اگر در سیستم توزیع از واحدهای تولید پراکنده استفاده شود بخشی از توان بار توسط این واحدها تامین خواهد شد بنابراین این موضوع می‌تواند بر ترکیب شبکه و نوع هادی‌های به کار رفته تاثیرگذار باشد. در این بخش الگوریتم طراحی شبکه نمونه با در نظر گرفتن امکان استفاده از واحدهای تولید پراکنده بیان می‌شود. برای در نظر گرفتن اثر این واحدها، می‌توان از ابتدا فرض کرد که یک ژنراتور تولید پراکنده با ظرفیت مشخصی قرار است در یک باس از شبکه نصب شود و با این فرض طراحی را انجام داد. این روش نمی‌تواند بهینه کامل باشد چراکه ممکن است با تغییر باس نصب ژنراتور وضعیت شبکه بهتر شود. لذا در این پایان‌نامه مکان و ظرفیت تولیدات پراکنده در شبکه به همراه ترکیب شبکه به صورت همزمان بهینه می‌شود. برای بهینه‌سازی مکان و ظرفیت تولیدات پراکنده از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. به عبارت دیگر ابتدا مکان و ظرفیت واحدهای تولید پراکنده توسط الگوریتم ژنتیک تعیین می‌شود. سپس طراحی بهینه شبکه با مقادیر مشخص شده برای تولیدات پراکنده توسط الگوریتم ژنتیک، توسط الگوریتم جابجایی شاخه انجام می‌شود. الگوریتم طراحی به صورت زیر است:

- 1) کروموزوم‌های جمعیت اولیه به صورت تصادفی تولید می‌شوند. این کروموزوم‌ها مکان و ظرفیت نصب ژنراتورها را نشان می‌دهند.
- 2) طراحی سیستم توزیع برای هر کروموزوم، توسط الگوریتم جابجایی شاخه انجام می‌شود.
- 3) تابع برازندگی برای هر کروموزوم محاسبه می‌شود.
- 4) با استفاده از عملگرهای تقاطع و جهش و مقدار تابع برازندگی، نسل بعد تولید می‌شوند.
- 5) گام‌های 2 تا 4 تا رسیدن به شرط خاتمه الگوریتم ژنتیک تکرار می‌شود.
- 6) بهترین کروموزوم نسل آخر جواب می‌باشد.

۳-۲-۵. فلوجارت اجرای الگوریتم طراحی با DG

فلوجارت روند اجرای برنامه در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۵-۵- فلوجارت اجرای الگوریتم طراحی با DG

فصل ششم

طراحی یک سیستم توزیع نمونه

در فصل قبل الگوریتم پیشنهادی برای طراحی سیستم توزیع بیان شد. در این فصل برای ارزیابی کارکرد الگوریتم‌های بیان شده، با استفاده از آنها یک سیستم توزیع نمونه را طراحی می‌کنیم. ابتدا طراحی سیستم نمونه بدون در نظر گرفتن واحدهای تولید پراکنده انجام می‌شود و سپس تاثیر در نظر گرفتن این واحدهای تولیدی بر طراحی سیستم توزیع نمونه بررسی می‌شود.

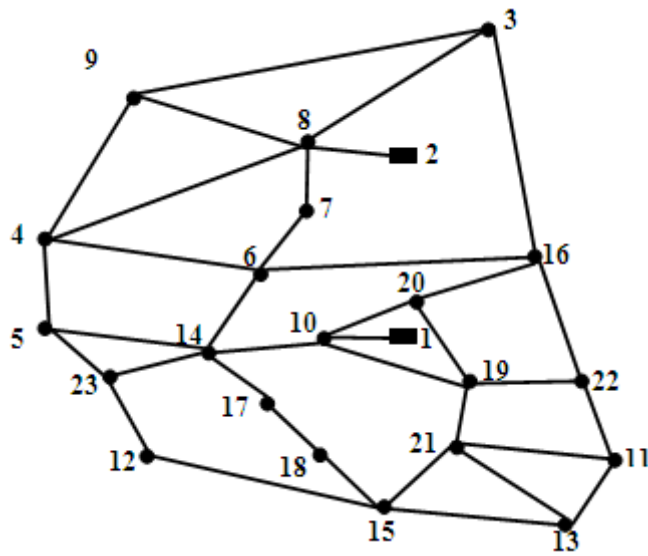
۱-۶. سیستم توزیع نمونه

شبکه انتخاب شده برای طراحی در مراجع [20,19] مطرح شده است. در این دو مرجع با استفاده از الگوریتم سیستم مورچگان و گداختگی فلزات طراحی سیستم انجام شده است که نهایتاً به جواب یکسانی بدست آمده است. این شبکه دارای 23 گره است و مشابه مراجع [20,19] 2 نقطه کاندید برای احداث پست فوق توزیع (گره‌های 1 و 2) انتخاب شده است. این سیستم مربوط به تغذیه بارها در یک منطقه نفتی می‌باشد. نقاط بار و نقاط کاندید برای احداث پست فوق توزیع در شکل (6-1) نشان داده شده است. در این شکل نقاط بار با دایره و نقاط کاندید برای احداث پست با مستطیل نشان داده شده است.



شکل ۶-۱ نقاط بار در سیستم نمونه

تمام مسیرهای ارتباطی ممکن برای احداث فیدر در شکل (۶-۲) نشان داده شده است.



شکل ۶-۲ شماتیک سیستم نمونه به همراه مسیرهای آن

اطلاعات مربوط به طول (X) و عرض جغرافیایی (Y) نقاط بار به همراه توان مصرفی در این نقاط در

جدول (۶-۳) آورده شده است. ضریب قدرت در این شبکه 0/8 در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۶-۱ مختصات و توان نقاط شبکه

| Node | X | Y | Load(KVA) |
|------|--------|--------|-----------|
| 1 | 34.1 | 24.22 | 0 |
| 2 | 33.6 | 32.8 | 0 |
| 3 | 36.044 | 43.068 | 640 |
| 4 | 26.616 | 26.332 | 320 |
| 5 | 27.704 | 22.732 | 320 |
| 6 | 32.616 | 26.616 | 320 |
| 7 | 33.3 | 29.816 | 320 |
| 8 | 33.416 | 32.56 | 320 |
| 9 | 29.532 | 39.812 | 320 |
| 10 | 33.3 | 24.104 | 320 |
| 11 | 38.384 | 19.764 | 320 |
| 12 | 31.244 | 19.708 | 320 |
| 13 | 37.412 | 17.992 | 320 |
| 14 | 31.7 | 23.476 | 320 |
| 15 | 35.072 | 18.848 | 320 |
| 16 | 37.3 | 26.22 | 320 |
| 17 | 33.128 | 22.392 | 320 |
| 18 | 33.872 | 20.792 | 320 |
| 19 | 35.472 | 23.132 | 320 |
| 20 | 35.3 | 26.048 | 320 |
| 21 | 36.156 | 21.02 | 320 |
| 22 | 37.7 | 22.448 | 320 |
| 23 | 30.216 | 22.22 | 320 |

۶-۲. تابع بهینه‌سازی

در فصل قبل توابع مورد استفاده در بهینه‌سازی بیان گردید. در اینجا این توابع دوباره تکرار شده و جداول مربوط به هزینه‌های مورد استفاده ارائه می‌شود.

نحوه محاسبه هزینه احداث شبکه در رابطه (6-1) نشان داده شده است.

$$C(\text{Installation}) = \sum_{j=1}^{N_s} C(S_j) + \sum_{k=1}^{F_k} C(\text{type}(k)) * \text{length}(k) \quad (1-6)$$

در رابطه فوق C هزینه کل، S_j شبکه j ام، $C(S_j)$ هزینه احداث پست فوق توزیع j ام و $\text{type}(k)$ نوع فیدر k ام، $C(\text{type}(k))$ هزینه احداث فیدر k ام و $\text{length}(k)$ طول فیدر k ام می‌باشد. N_s تعداد کل شبکه‌ها (یا تعداد پست‌های فوق توزیع) و F_k تعداد کل فیدرهای شبکه است. جدول هزینه احداث پست با توجه به ولتاژ و ظرفیت آن در جدول (6-2) نشان داده شده است.

جدول ۶-۲ هزینه احداث پست [43]

| Primary voltage(KV) | Secondary voltage(KV) | Post capacity(MVA) | Number of transformer | Installation cost (Milliard Toman) |
|---------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------------|
| 132 | 34.5 | 30 | 2 | 4.5 |
| 63 | 34.5 | 15 | 2 | 2 |

مشخصات مربوط به هادی‌ها و هزینه احداث آنها در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۶-۳ مشخصات هادی‌ها و هزینه احداث آنها [44]

| Type | Number of circuits | R(Ω / km) | X(Ω / km) | Current(A) | Cost (million Toman)/Km |
|------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|-------------------------|
| Fox | 1 | 0.7822 | 0.2835 | 160 | 14 |
| Mink | 1 | 0.4545 | 0.2664 | 210 | 17 |
| Dog | 1 | 0.2712 | 0.2464 | 330 | 22 |
| Mink | 1 | 0.2273 | 0.1332 | 420 | 25 |
| Fox | 3 | 0.2607 | 0.0945 | 480 | 28 |
| Mink | 3 | 0.1515 | 0.0888 | 630 | 32 |
| Dog | 2 | 0.1356 | 0.1232 | 660 | 36 |
| Dog | 3 | 0.0904 | 0.0821 | 960 | 50 |

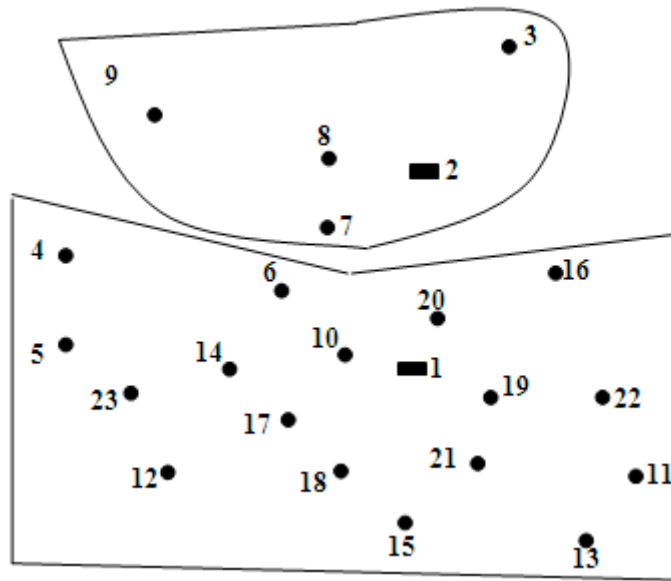
نحوه محاسبه هزینه تلفات در رابطه زیر نشان داده شده است.

$$C(Ploss) = \sum_{j=1}^{Ns} Ploss_j * 24 * 365 * 10 * 77.3 \quad (2-6)$$

در رابطه (2-6) $Ploss_j$ تلفات در شبکه زام و $C(Ploss)$ هزینه تلفات است. هزینه برای 24 ساعت شبانه‌روز و 365 روز سال محاسبه می‌شود. عدد 10 مربوط به 10 سال است که افق برنامه‌ریزی است و $77/3$ هزینه هر کیلووات ساعت انرژی بر حسب تومان می‌باشد [44].

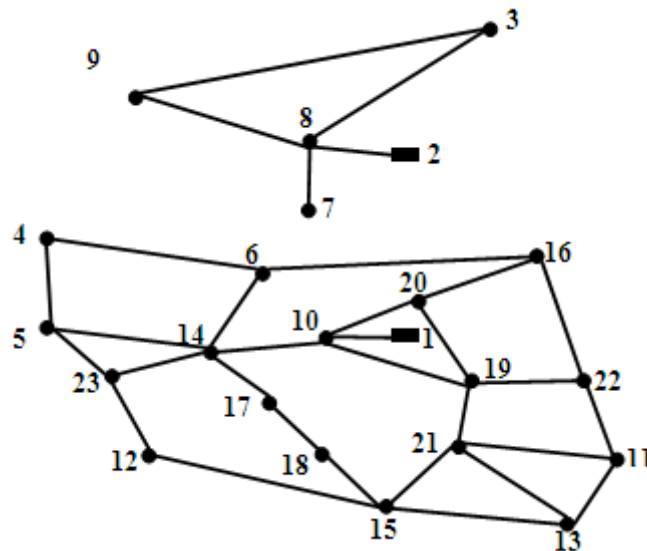
۶-۳. تشکیل شبکه‌های شعاعی اولیه

با توجه به روش بیان شده در بخش (5-1-2) شبکه‌های شعاعی اولیه باید تشکیل شود. ابتدا گره‌ها را بین دو شبکه تقسیم می‌کنیم. دسته‌بندی گره‌ها در شکل (6-3) نشان داده شده است.

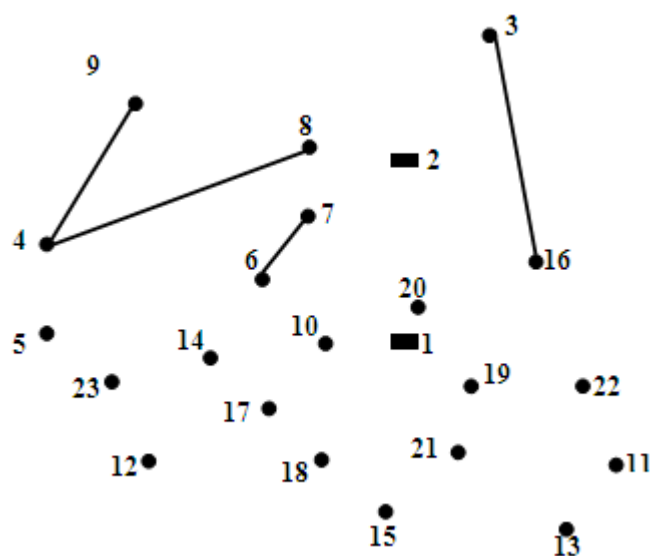


شکل ۳-۶ تقسیم گرهها بین نقاط کاندید برای احداث پست

با مشخص شدن گره‌های هر پست می‌توان خطوط درون ناحیه‌ای و بین ناحیه‌ای را نیز مشخص کرد. خطوط درون ناحیه‌ای در شکل (۴-۶) نشان داده شده‌اند. با توجه به مسیرهای ممکن در شکل (۲-۶)، خطوط بین ناحیه‌ای در شکل (۵-۶) نشان داده شده‌اند.

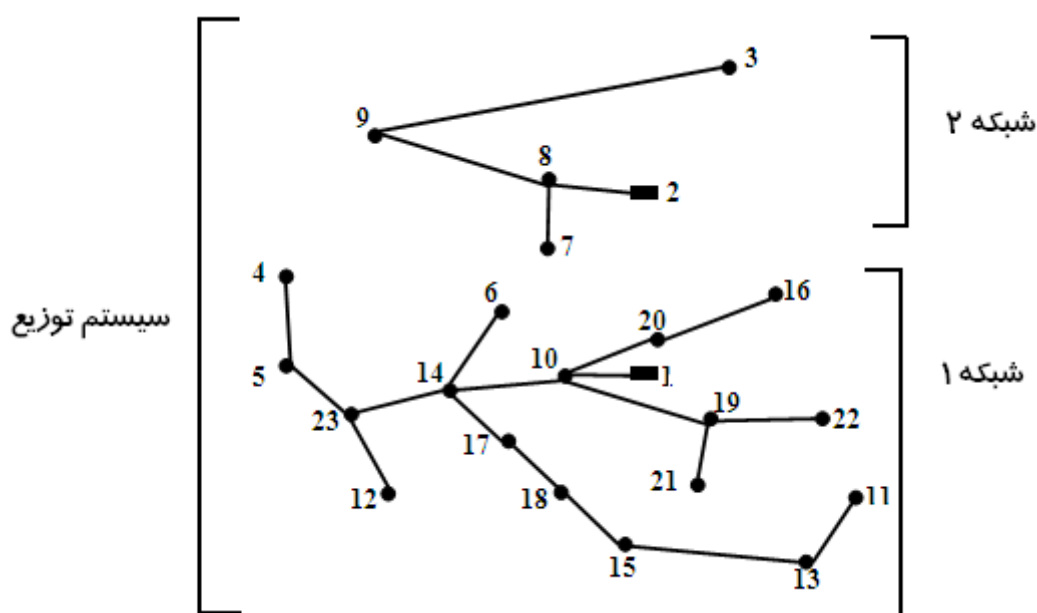


شکل ۴-۶ خطوط ارتباطی درون ناحیه‌ای



شکل ۶-۵ خطوط ارتباط بین ناحیه‌ای

با مشخص شدن گره‌هایی که از هر پست تغذیه می‌شوند می‌توان شبکه‌های شعاعی اولیه را تشکیل داد. با توجه به مطالب مطرح شده شبکه‌های شعاعی اولیه در سیستم نمونه به صورت زیر است.



شکل ۶-۶ شبکه‌های شعاعی اولیه

پس از تعیین ساختار اولیه شبکه‌ها، برای مشخص شدن وضعیت سیستم و تعیین پارامترهای آن پخش بار اجرا می‌شود. ولتاژ پست فوق توزیع مشابه مراجع [19,20]، $34/5$ کیلو ولت در نظر گرفته

شده است. جزئیات مربوط به نوع هادی خطوط و جریان عبوری از آنها در جدول (4-6) و (5-6) نشان داده شده است.

جدول ۴-۶ جزئیات شبکه ۱

| From | To | Length(km) | Current(A) | Type |
|------|----|------------|------------|------|
| 1 | 10 | 0.202 | 91.122 | Fox |
| 10 | 14 | 0.430 | 58.948 | Fox |
| 14 | 17 | 0.448 | 26.801 | Fox |
| 17 | 18 | 0.441 | 21.439 | Fox |
| 14 | 23 | 0.486 | 21.429 | Fox |
| 18 | 15 | 0.571 | 16.074 | Fox |
| 10 | 19 | 0.595 | 16.081 | Fox |
| 19 | 21 | 0.555 | 5.359 | Fox |
| 19 | 22 | 0.583 | 5.362 | Fox |
| 15 | 13 | 0.623 | 10.716 | Fox |
| 13 | 11 | 0.505 | 5.361 | Fox |
| 23 | 5 | 0.641 | 10.710 | Fox |
| 23 | 12 | 0.679 | 5.355 | Fox |
| 10 | 20 | 0.697 | 10.730 | Fox |
| 20 | 16 | 0.502 | 5.366 | Fox |
| 14 | 6 | 0.818 | 5.363 | Fox |
| 5 | 4 | 0.940 | 5.355 | Fox |

جدول ۵-۶ جزئیات شبکه ۲

| From | To | Length(km) | Current(A) | Type |
|------|----|------------|------------|------|
| 2 | 8 | 0.076 | 26.782 | Fox |
| 8 | 7 | 0.687 | 5.362 | Fox |
| 8 | 9 | 2.057 | 16.065 | Fox |
| 9 | 3 | 1.820 | 10.710 | Fox |

وضعیت شبکه‌های اولیه در جدول (6-6) نشان داده شده است.

جدول ۶-۶ وضعیت شبکه‌های اولیه

| Network | Length (Km) | Minimum voltage (KV) | Ploss (KW) | Installation cost (million Toman) | Operation cost (million Toman) | Total Cost (million Toman) | Total load (KVA) | Post size (KVA) |
|---------|-------------|----------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| 1 | 9.72 | 34.43 | 10.74 | 1136.02 | 71.74 | 1207.76 | 5440 | 7500 |
| 2 | 4.64 | 34.46 | 1.91 | 1064.95 | 12.75 | 1077.70 | 1600 | 7500 |

در طراحی مینی‌م و لتاژ مجاز در شبکه 0/95 پریونیت در نظر گرفته می‌شود لذا در شبکه 34/5 کیلو ولت، مینی‌م و لتاژ مجاز 32/775 کیلو ولت می‌باشد. بنابراین بر طبق جدول (6-6) و لتاژ

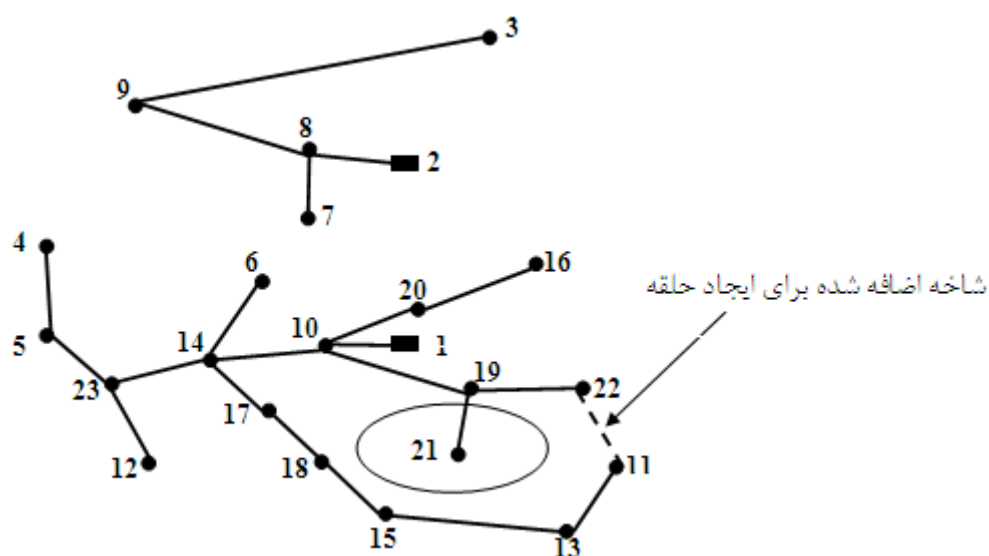
شبکه‌های اولیه سیستم نمونه که در شکل (6-6) نشان داده شده است در محدوده مجاز قرار دارد. شبکه‌های ایجاد شده از لحاظ طول، مینیمم مقدار ممکن را دارند لذا در صورت هرگونه تغییری در این شبکه‌ها، طول آنها افزایش خواهد یافت.

۴-۶. استفاده از جابجایی شاخه

الگوریتم بیان شده در فصل قبل برای جابجایی شاخه روی این سیستم اجرا می‌شود. برای واضح شدن نحوه عملکرد الگوریتم یک نمونه مثال از جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای و بین ناحیه‌ای همراه با مقادیر عددی بیان می‌شود.

۱-۴-۶. جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای

یک نمونه از جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای که در شبکه مربوط به پست 1 اتفاق می‌افتد در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۶-۷ شماتیک یک نمونه حلقه درون ناحیه‌ای

طول خطوط داخل حلقه ایجاد شده در جدول (6-7) نشان داده شده است.

جدول ۶-۷ یک نمونه حلقه در شبکه ۱

| From | To | Length(Km) |
|------|----|------------|
| 11 | 22 | 0.692 |
| 13 | 11 | 0.505 |
| 15 | 13 | 0.623 |
| 18 | 15 | 0.571 |
| 17 | 18 | 0.441 |
| 14 | 17 | 0.448 |
| 19 | 22 | 0.583 |
| 10 | 14 | 0.430 |
| 10 | 19 | 0.595 |

همچنانکه در روش پیشنهادی بیان گردید، ابتدا یک خط بین گره 11 و 22 ایجاد شده است که حلقه نشان داده شده در شکل (6-7) را تشکیل می‌دهد. حال براساس روش پیشنهادی یک به یک شاخه‌ها در این حلقه قطع می‌گردد و به ازای قطع هر خط آنالیز صورت می‌گیرد. قطع اولین خط در حلقه ایجاد شده (که در این مثال خط 11—22 است) ساختار اولیه (پایه) شبکه را نشان می‌دهد. شرایط شبکه بعد از قطع هر خط باید نسبت به این ساختار مقایسه شود. نتایج آنالیز پس از قطع هر خط در این حلقه در جدول (6-8) آورده شده است.

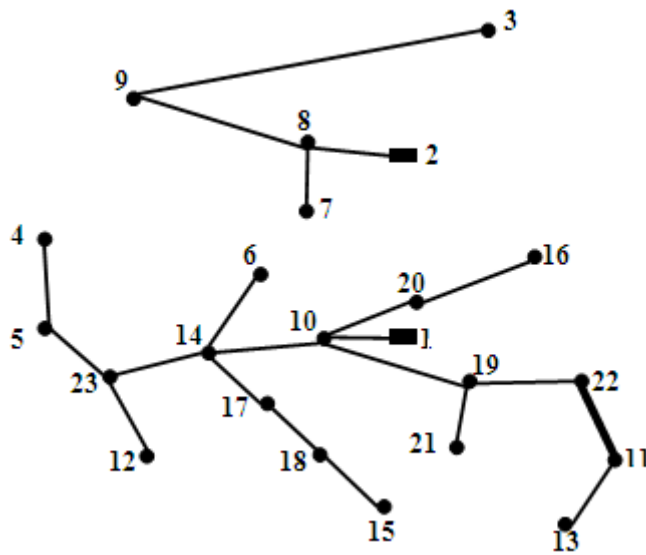
جدول ۶-۸ وضعیت شبکه با باز شدن حلقه

| Deleted branches | Length (Km) | Minimum voltage (KV) | Ploss (KW) | Installation cost (million Toman) | Operation cost (million Toman) | Total Cost (million Toman) | Total load (KVA) | Post size (KVA) |
|------------------|-------------|----------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| 11---22 | 9.716 | 34.433 | 10.741 | 1136.018 | 71.738 | 1207.756 | 5440 | 7500 |
| 13---11 | 9.903 | 34.446 | 9.744 | 1138.638 | 65.076 | 1203.715 | 5440 | 7500 |
| 15---13 | 9.785 | 34.451 | 9.407 | 1136.991 | 62.825 | 1199.816 | 5440 | 7500 |
| 18---15 | 9.837 | 34.444 | 9.729 | 1137.716 | 64.976 | 1202.693 | 5440 | 7500 |
| 17---18 | 9.967 | 34.429 | 10.713 | 1139.536 | 71.547 | 1211.083 | 5440 | 7500 |
| 14---17 | 9.960 | 34.412 | 12.358 | 1139.437 | 82.534 | 1221.971 | 5440 | 7500 |
| 19---22 | 9.825 | 34.417 | 12.399 | 1137.555 | 82.806 | 1220.361 | 5440 | 7500 |
| 10---14 | 9.978 | 34.280 | 36.168 | 1139.696 | 241.553 | 1381.249 | 5440 | 7500 |
| 10---19 | 9.813 | 34.378 | 17.690 | 1137.384 | 118.148 | 1255.531 | 5440 | 7500 |

در جدول فوق سطر اول وضعیت ساختار پایه را نشان می‌دهد. وضعیت شبکه بعد از قطع خطوط دیگر (سایر سطرها در جدول (6-8)) نسبت به این حالت ارزیابی می‌شود. همچنانکه در این روش بیان

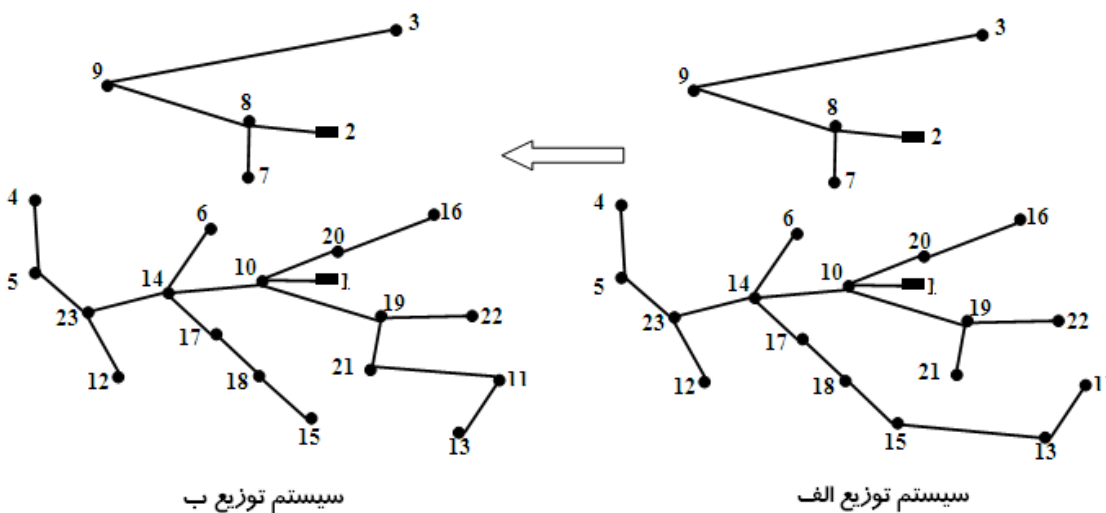
گردید ابتدا شرط رعایت حداقل ولتاژ بررسی می‌شود سپس حالتی انتخاب می‌شود که دارای کمترین هزینه کل باشد.

با توجه به جدول فوق واضح است که اگر شاخه‌های 11-13، 13-15 و 15-18 به عنوان کاندید برای قطع شدن به منظور تبدیل شبکه حلقوی به شبکه شعاعی انتخاب شوند، در هر سه مورد قطع یکی از آنها منجر به بهبود ولتاژ، کاهش تلفات و کاهش هزینه کلی سیستم می‌شود. با توجه به معیارهای مطرح شده اگر شاخه 15 به 13 باز شود بهترین حالت را در بین این گزینه‌ها خواهیم داشت. مینیمم ولتاژ به اندازه 0/018 کیلو ولت در مقایسه با حالت پایه افزایش خواهد یافت. تلفات شبکه به مقدار 1/335 کیلو وات کاهش پیدا می‌کند. با توجه به اینکه طول شاخه اضافه شده برای ایجاد حلقه (11-12) بیشتر از طول شاخه‌ای است که باید حذف شود تا شبکه شعاعی شود لذا همانطور که از جدول مشاهده می‌شود هزینه احداث شبکه به میزان 0/973 میلیون تومان بیشتر شده است اما در مقابل هزینه بهره‌برداری از شبکه به میزان 8/914 میلیون تومان کمتر است و در مجموع 7/94 میلیون تومان هزینه این شبکه نسبت به شبکه پایه کمتر خواهد بود. علت کمتر شدن هزینه بهره‌برداری در شبکه دوم تعدیل جریان در شاخه‌ها و کاهش یافتن تلفات شبکه است. با توجه به توضیحات فوق این جابجایی شاخه در بخشی از شبکه مربوط به پست 1 باید انجام شود. به عبارت دیگر با اعمال روش فوق در حلقه شکل (6-7) به این نتیجه می‌رسیم که خط 11 به 22 باید وصل شود و خط 15 به 13 قطع گردد. بنابراین بعد از انجام این جابجایی شماتیک شبکه به صورت نشان داده شده در شکل (6-8) خواهد بود. با توجه به اینکه جابجایی در شبکه تحت پوشش پست 1 انجام شده لذا فعلا در شبکه تحت پوشش پست 2 تغییری ایجاد نخواهد شد.



شکل ۶-۸ شماتیک سیستم بعد از جابجایی شاخه (وصل شاخه ۱۱-۲۲ و قطع شاخه ۱۵-۱۳)

الگوریتم فوق برای تمام شاخه‌های درون ناحیه‌ای شبکه ۱ و ۲ انجام می‌شود. وضعیت نهایی دو شبکه بعد از انجام کامل جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای در شکل (۶-۹-ب) زیر نشان داده شده است. ساختار اولیه شبکه که در شکل (۶-۶) نشان داده شده است، برای مقایسه در شکل (۶-۹-الف) آورده شده است.



شکل ۶-۹ الف: شبکه‌های شعاعی اولیه، ب: سیستم توزیع بعد از اجرای کامل جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای

با مقایسه شکل (۶-۹-الف) و شکل (۶-۹-ب) مشاهده می‌شود که در شبکه تغذیه شده از پست اول یک تغییر ایجاد شده است اما در شبکه پست دوم تغییری ایجاد نشده است. جزئیات شبکه‌ها بعد از

جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای برای شبکه 1 در جدول (9-6) و شبکه 2 در جدول (10-6) نشان داده شده است. در این جدول‌ها سطرهایی که پررنگ شده‌اند بیانگر جابجایی شاخه هستند. وضعیت نهایی سیستم توزیع نمونه بعد از جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای در جدول (11-6) نشان داده شده است.

جدول ۹-۶ جزئیات شبکه ۱ بعد از جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای

| From | To | Length(km) | Current(A) | Type |
|-----------|-----------|--------------|---------------|------|
| 1 | 10 | 0.202 | 91.106 | Fox |
| 10 | 14 | 0.430 | 48.226 | Fox |
| 14 | 17 | 0.448 | 16.081 | Fox |
| 17 | 18 | 0.441 | 10.719 | Fox |
| 14 | 23 | 0.486 | 21.427 | Fox |
| 18 | 15 | 0.571 | 5.357 | Fox |
| 10 | 19 | 0.595 | 26.795 | Fox |
| 19 | 21 | 0.555 | 16.074 | Fox |
| 19 | 22 | 0.583 | 5.361 | Fox |
| 23 | 5 | 0.641 | 10.710 | Fox |
| 23 | 12 | 0.679 | 5.355 | Fox |
| 10 | 20 | 0.697 | 10.723 | Fox |
| 20 | 16 | 0.502 | 5.361 | Fox |
| 14 | 6 | 0.818 | 5.363 | Fox |
| 5 | 4 | 0.940 | 5.355 | Fox |
| 21 | 11 | 0.639 | 10.716 | Fox |
| 11 | 13 | 0.505 | 5.355 | Fox |

جدول ۱۰-۶ جزئیات شبکه ۲ بعد از جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای

| From | To | Length(km) | Current(A) | Type |
|------|----|------------|------------|------|
| 2 | 8 | 0.076 | 26.782 | Fox |
| 8 | 7 | 0.687 | 5.362 | Fox |
| 8 | 9 | 2.057 | 16.065 | Fox |
| 9 | 3 | 1.820 | 10.710 | Fox |

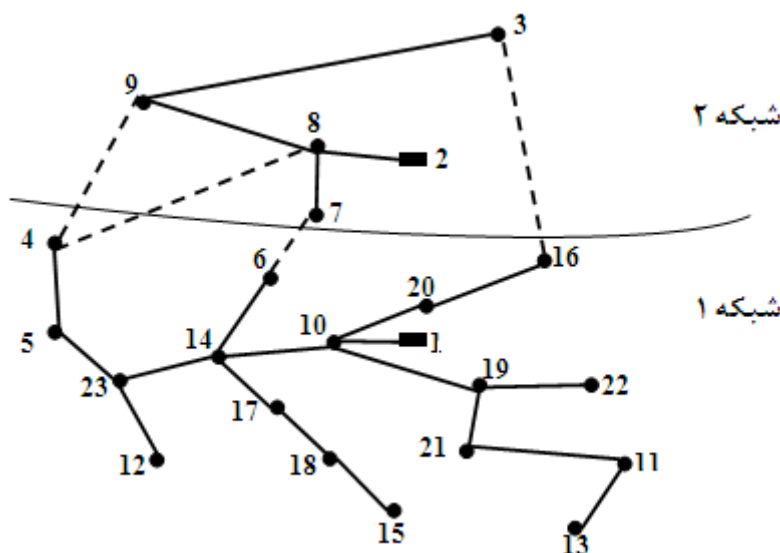
جدول ۱۱-۶ وضعیت سیستم توزیع نمونه بعد از جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای

| Network | Length (Km) | Minimum voltage (KV) | Ploss (KW) | Installation cost (million Toman) | Operation cost (million Toman) | Total Cost (million Toman) | Total load (KVA) | Post size (KVA) |
|---------|-------------|----------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| 1 | 9.73 | 34.45 | 9.38 | 1136.25 | 62.63 | 1198.88 | 5440 | 7500 |
| 2 | 4.64 | 34.46 | 1.91 | 1064.95 | 12.75 | 1077.70 | 1600 | 7500 |

مقایسه این جدول با وضعیت شبکه‌های اولیه در جدول (6-6) نشان می‌دهد که کل هزینه سیستم بعد از تغییر کاهش یافته است (که در این مقایسه قید بزرگتر از مقدار مینیمم بودن ولتاژ رعایت می‌شود). این مقایسه نشان می‌دهد که کل هزینه برای شبکه 1 به مقدار 8/88 میلیون تومان کاهش یافته است. با توجه به اینکه در شبکه 2 تغییری ایجاد نشده است لذا وضعیت آن نیز تغییر نمی‌کند.

۶-۴-۲. جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای

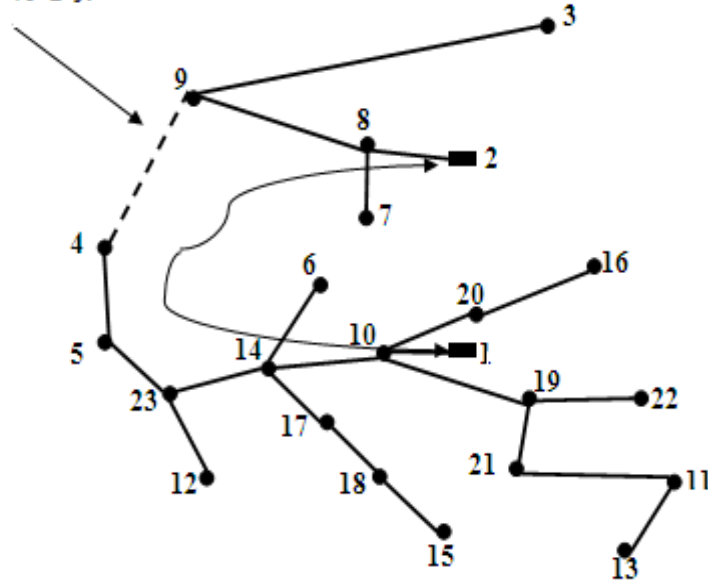
یک نمونه جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای که بین دو ناحیه 1 و 2 شبکه اتفاق می‌افتد در اینجا با جزئیات آن بیان می‌شود. بین ناحیه 1 و 2 چهار خط ارتباطی وجود دارد. جابجایی باید برای هر چهار خط انجام شود و نتیجتاً از بین اینها گزینه بهتر انتخاب شود. چهار خط ارتباطی موجود بین ناحیه 1 و 2 در شکل زیر نشان داده شده است. با برقرار شدن یک خط ارتباطی بین دو ناحیه، یک حلقه ایجاد خواهد شد که امکان تغذیه از دو پست را برای نقاط بار داخل آن ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر بخشی از سیستم از دو سو تغذیه می‌شود.



شکل ۶-۱۰ خطوط ارتباطی بین شبکه 1 و 2 با خط چین نشان داده شده است

اگر خط 4 به 9 برای ایجاد حلقه انتخاب شود شماتیک این حلقه در شکل (6-11) نشان داده شده است.

شاخه اضافه شده برای ایجاد حلقه بین ناحیه (۱ و ۲)



شکل ۶-۱۱ ایجاد حلقه بین دو ناحیه

طول خطوط داخل حلقه در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۶-۱۲ حلقه بین ناحیه‌ای

| From | To | Length(Km) |
|------|----|------------|
| 4 | 9 | 3.45 |
| 5 | 4 | 0.94 |
| 23 | 5 | 0.64 |
| 14 | 23 | 0.49 |
| 10 | 14 | 0.43 |
| 1 | 10 | 0.20 |
| 8 | 9 | 2.06 |
| 2 | 8 | 0.08 |

وضعیت دو ناحیه به ازای باز شدن یک به یک خطوط در این حلقه در جدول (6-13) نشان داده

شده است.

جدول ۶-۱۳ وضعیت شبکه در مثال جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای

| Deleted branches | Network | Length (Km) | Minimum voltage (KV) | Ploss (KW) | Installation cost (million Toman) | Operation cost (million Toman) | Total Cost (million Toman) | Total load (KVA) | Post size (KVA) |
|------------------|---------|-------------|----------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| 4---9 | 1 | 9.73 | 34.45 | 9.38 | 1136.25 | 62.63 | 1198.88 | 5440 | 7500 |
| | 2 | 4.64 | 34.46 | 1.91 | 1064.95 | 12.75 | 1077.70 | 1600 | 7500 |
| 5---4 | 1 | 8.79 | 34.46 | 8.01 | 1123.09 | 53.51 | 1176.60 | 5120 | 7500 |
| | 2 | 8.09 | 34.45 | 3.17 | 1113.22 | 21.16 | 1134.37 | 1920 | 7500 |
| 23---5 | 1 | 8.15 | 34.46 | 6.95 | 1114.11 | 46.40 | 1160.51 | 4800 | 7500 |
| | 2 | 9.03 | 34.42 | 5.25 | 1126.38 | 35.06 | 1161.44 | 2240 | 7500 |
| 14---23 | 1 | 6.99 | 34.46 | 5.31 | 1097.81 | 35.48 | 1133.29 | 4160 | 7500 |
| | 2 | 10.35 | 34.36 | 12.27 | 1144.85 | 81.93 | 1226.78 | 2880 | 7500 |
| 10---14 | 1 | 4.28 | 34.47 | 2.67 | 1059.90 | 17.86 | 1077.76 | 2560 | 7500 |
| | 2 | 13.11 | 34.18 | 48.13 | 1183.55 | 321.46 | 1505.01 | 4480 | 7500 |
| 1---10 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | 2 | 17.82 | 33.88 | 165.83 | 1249.47 | 1107.54 | 2357.01 | 7040 | 7500 |
| 8---9 | 1 | 15.00 | 34.36 | 18.25 | 1210.00 | 121.90 | 1331.90 | 6400 | 7500 |
| | 2 | 0.76 | 34.50 | 0.07 | 1010.67 | 0.44 | 1011.12 | 640 | 7500 |
| 2---8 | 1 | 17.82 | 34.30 | 28.61 | 1249.47 | 191.07 | 1440.54 | 7040 | 7500 |
| | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

دو سطر اول جدول (6-13) مربوط به وضعیت سیستم در حالت پایه است. به عبارت دیگر وضعیت

سیستم قبل از تغییر در دو سطر اول نشان داده شده است. سطرهای بعدی وضعیت سیستم را با باز

شدن خطوط دیگر موجود در حلقه نشان می‌دهند. سطرهای دیگر با دو سطر اول جدول مقایسه می‌-

شوند. در مجموع وضعیت دو شبکه با هم در جدول (6-14) نشان داده شده است.

جدول ۶-۱۴ نمایش وضعیت دو شبکه با هم در مثال جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای

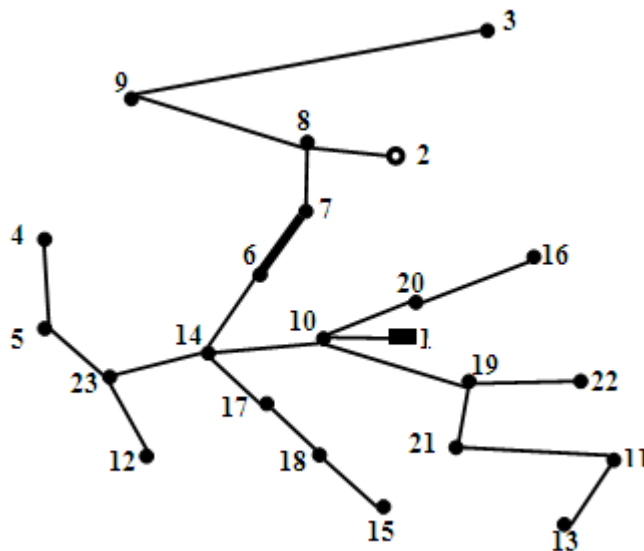
| Deleted branches | Network | Length (Km) | Minimum voltage (KV) | Ploss (KW) | Installation cost (million Toman) | Operation cost (million Toman) | Total Cost (million Toman) | Total load (KVA) | Post size (KVA) |
|------------------|---------|-------------|----------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| 4---9 | 1 & 2 | 14.37 | 34.45 | 11.29 | 2201.20 | 75.38 | 2276.57 | 7040 | 15000 |
| 5---4 | 1 & 2 | 16.88 | 34.45 | 11.18 | 2236.30 | 74.67 | 2310.97 | 7040 | 15000 |
| 23---5 | 1 & 2 | 17.18 | 34.42 | 12.20 | 2240.49 | 81.46 | 2321.95 | 7040 | 15000 |
| 14---23 | 1 & 2 | 17.33 | 34.36 | 17.58 | 2242.66 | 117.41 | 2360.07 | 7040 | 15000 |
| 10---14 | 2 & 2 | 17.39 | 34.18 | 50.81 | 2243.45 | 339.32 | 2582.77 | 7040 | 15000 |
| 1---10 | 1 & 2 | 17.82 | 33.88 | 165.83 | 1249.47 | 1107.54 | 2357.01 | 7040 | 7500 |
| 8---9 | 1 & 2 | 15.76 | 34.36 | 18.32 | 2220.67 | 122.34 | 2343.02 | 7040 | 15000 |
| 2---8 | 1 & 2 | 17.82 | 34.30 | 28.61 | 1249.47 | 191.07 | 1440.54 | 7040 | 7500 |

همانطور که قبلا بیان شد تنها معیار در جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای کاهش هزینه کلی سیستم است. لذا با توجه به جدول واضح است که کمترین هزینه مربوط به باز شدن شاخه 2---8 می‌باشد. فعلا همین گزینه انتخاب می‌شود. همین کار باید برای سه شاخه دیگر ارتباطی بین ناحیه 1 و 2 انجام شود و سپس از بین اینها، گزینه مطلوب انتخاب شود. نتیجه بررسی هر 4 شاخه در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۶-۱۵ جابجایی شاخه بین ناحیه ۱ و ۲

| Added branches | Deleted branches | Net | Length (Km) | Minimum voltage (KV) | Ploss (KW) | Installation cost (million Toman) | Operation cost (million Toman) | Total Cost (million Toman) | Total load (KVA) | Post size (KVA) |
|----------------|------------------|-----|-------------|----------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| 4---9 | 2---8 | 1 | 17.82 | 34.30 | 28.61 | 1249.47 | 191.07 | 1440.54 | 7040 | 7500 |
| 4---8 | 2---8 | 1 | 16.68 | 34.30 | 27.37 | 1233.47 | 182.81 | 1416.28 | 7040 | 7500 |
| 6---7 | 2---8 | 1 | 15.19 | 34.36 | 21.18 | 1212.65 | 141.47 | 1354.11 | 7040 | 7500 |
| 16---3 | 16---3 | 1 | 18.59 | 34.31 | 24.19 | 1260.33 | 161.58 | 1421.91 | 7040 | 7500 |

با توجه به جدول فوق باید یکی از گزینه‌ها انتخاب شود. از میان این گزینه‌ها باید با توجه به هزینه کل سیستم، یک مورد برای اجرا در شبکه انتخاب شود. هزینه گزینه سوم از بقیه گزینه‌ها کمتر است لذا این گزینه انتخاب می‌شود. نتیجه اجرای جابجایی فوق در شکل (6-12) نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۲ شماتیک شبکه بعد از اجرای جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای

جزئیات شبکه بعد از اجرای جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای در جدول (6-16) نشان داده شده است.

جدول ۶-۱۶ جزئیات شبکه بعد از جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای

| From | To | Length(km) | Current(A) | Type |
|------|----|------------|------------|------|
| 1 | 10 | 0.20 | 118.02 | Fox |
| 10 | 14 | 0.43 | 75.14 | Fox |
| 14 | 17 | 0.45 | 16.09 | Fox |
| 17 | 18 | 0.44 | 10.73 | Fox |
| 14 | 23 | 0.49 | 21.46 | Fox |
| 18 | 15 | 0.57 | 5.36 | Fox |
| 10 | 19 | 0.59 | 26.81 | Fox |
| 19 | 21 | 0.56 | 16.09 | Fox |
| 19 | 22 | 0.58 | 5.36 | Fox |
| 23 | 5 | 0.64 | 10.73 | Fox |
| 23 | 12 | 0.68 | 5.36 | Fox |
| 10 | 20 | 0.70 | 10.72 | Fox |
| 20 | 16 | 0.50 | 5.36 | Fox |
| 14 | 6 | 0.82 | 32.23 | Fox |
| 5 | 4 | 0.94 | 5.36 | Fox |
| 21 | 11 | 0.64 | 10.72 | Fox |
| 11 | 13 | 0.51 | 5.36 | Fox |
| 6 | 7 | 0.82 | 26.86 | Fox |
| 7 | 8 | 0.69 | 21.50 | Fox |
| 8 | 9 | 2.06 | 16.13 | Fox |
| 9 | 3 | 1.82 | 10.75 | Fox |
| 8 | 2 | 0.08 | 0.00 | Fox |

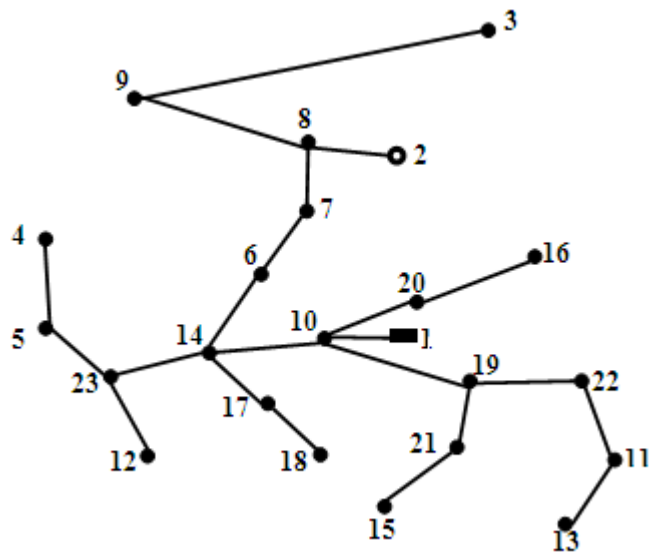
وضعیت سیستم توزیع بعد از اجرای جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۶-۱۷ وضعیت سیستم بعد از جابجایی شاخه بین ناحیه‌ای

| Network | Length (Km) | Minimum voltage (KV) | Ploss (KW) | Installation cost (million Toman) | Operation cost (million Toman) | Total Cost (million Toman) | Total load (KVA) | Post size (KVA) |
|---------|-------------|----------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| 1 | 15.19 | 34.36 | 21.18 | 1212.65 | 141.47 | 1354.11 | 7040 | 7500 |

۶-۴-۳. نتیجه اجرای کامل الگوریتم

مطابق با فلوجارت شکل (۵-۲) جابجایی شاخه درون ناحیه‌ای و بین ناحیه‌ای آنقدر تکرار می‌شوند تا دیگر بهبودی در شبکه حاصل نشود و شبکه بهینه کامل باشد. نتیجه اجرای کامل الگوریتم در زیر آمده است.



شکل ۶-۱۳ شماتیک نهایی سیستم توزیع بعد از اجرای کامل الگوریتم جابجایی شاخه

جزئیات سیستم بعد از اجرای کامل الگوریتم جابجایی شاخه در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۶-۱۸ جزئیات سیستم توزیع نهایی

| From | To | Length(km) | Current(A) | Type |
|------|----|------------|------------|------|
| 1 | 10 | 0.20 | 118.02 | Fox |
| 10 | 14 | 0.43 | 69.77 | Fox |
| 14 | 17 | 0.45 | 10.73 | Fox |
| 17 | 18 | 0.44 | 5.36 | Fox |
| 14 | 23 | 0.49 | 21.46 | Fox |
| 10 | 19 | 0.59 | 32.17 | Fox |
| 19 | 21 | 0.56 | 10.72 | Fox |
| 19 | 22 | 0.58 | 16.09 | Fox |
| 23 | 5 | 0.64 | 10.73 | Fox |
| 23 | 12 | 0.68 | 5.36 | Fox |
| 10 | 20 | 0.70 | 10.72 | Fox |
| 20 | 16 | 0.50 | 5.36 | Fox |
| 14 | 6 | 0.82 | 32.23 | Fox |
| 5 | 4 | 0.94 | 5.36 | Fox |
| 6 | 7 | 0.82 | 26.86 | Fox |
| 7 | 8 | 0.69 | 21.50 | Fox |
| 8 | 9 | 2.06 | 16.13 | Fox |
| 9 | 3 | 1.82 | 10.75 | Fox |
| 8 | 2 | 0.08 | 0.00 | Fox |
| 21 | 15 | 0.61 | 5.36 | Fox |
| 22 | 11 | 0.69 | 10.73 | Fox |
| 11 | 13 | 0.51 | 5.36 | Fox |

جدول ۶-۱۹ وضعیت سیستم توزیع بعد از اجرای کامل الگوریتم

| Network | Length (Km) | Minimum voltage (KV) | Ploss (KW) | Installation cost (million Toman) | Operation cost (million Toman) | Total Cost (million Toman) | Total load (KVA) | Post size (KVA) |
|---------|-------------|----------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| 1 | 15.28 | 34.36 | 20.78 | 1213.89 | 138.75 | 1352.65 | 7040 | 7500 |

مقایسه بین وضعیت شبکه‌های اولیه و شبکه نهایی در جدول زیر نشان داده شده است.

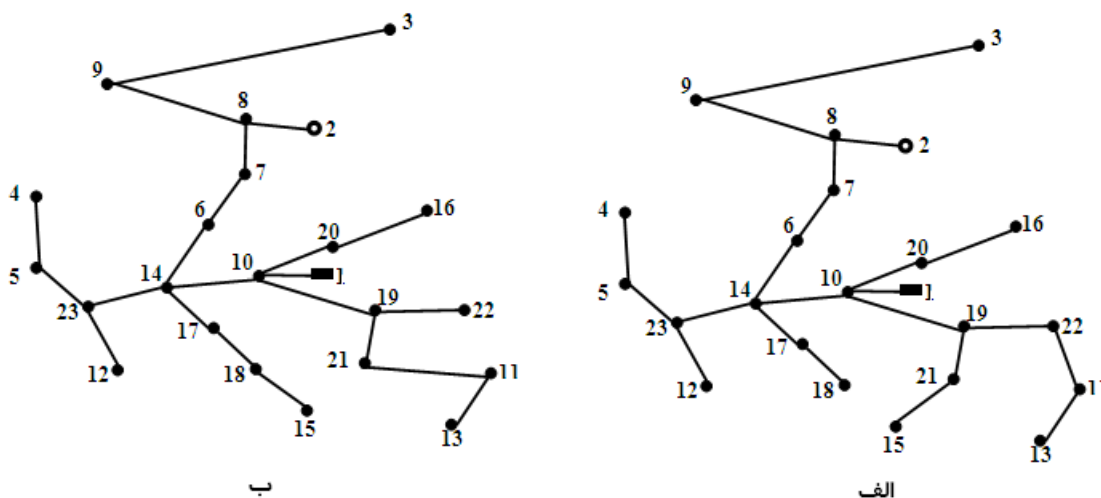
جدول ۶-۲۰ مقایسه بین سیستم توزیع اولیه و نهایی

| | Net | Length (Km) | Minimum voltage (KV) | Ploss (KW) | Installation cost (million Toman) | Operation cost (million Toman) | Total Cost (million Toman) | Total load (KVA) | Post size (KVA) |
|-------------|-------|-------------|----------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| Initial net | 1 & 2 | 14.35 | 34.43 | 12.65 | 2200.96 | 84.49 | 2285.45 | 7040 | 2*7500 |
| Final net | 1 | 15.28 | 34.36 | 20.78 | 1213.89 | 138.75 | 1352.65 | 7040 | 7500 |

همانطور که مشاهده می‌شود در شبکه نهایی طول شبکه افزایش یافته و پست فوق توزیع شماره 2 نیز حذف شده است. هزینه احداث شبکه نهایی به علت حذف پست شماره 2 کاهش یافته است. با توجه به تغذیه تمام توان از یک پست تلفات 8/13 کیلو وات افزایش یافته است لذا هزینه بهره‌برداری از سیستم نهایی افزایش می‌یابد. در مجموع هزینه کل شبکه (احداث به اضافه بهره‌برداری) در شبکه نهایی 932/81 میلیون تومان کمتر از شبکه اولیه است.

۵-۶. مقایسه شبکه طراحی شده با روش پایان‌نامه و مراجع [20,19]

همانطور که قبلاً بیان شد شبکه انتخاب شده در مراجع [20,19] مطرح شده و با استفاده از الگوریتم مورچگان و گداختگی فلزات بهینه شده است. در اینجا جواب به دست آمده از این روش را با جواب به دست آمده در آن مراجع مقایسه می‌کنیم. مقایسه باید در مبنای یکسان صورت بگیرد. با توجه به این که شماتیک شبکه نتیجه در این مراجع مشخص است، برای این شبکه پخش بار را اجرا کرده و با توجه به قیمت‌های در نظر گرفته شده در این پایان‌نامه هزینه احداث، بهره‌برداری و هزینه کل را برای شبکه به دست آمده در آن مراجع را محاسبه می‌کنیم. شماتیک شبکه بدست آمده در این روش و مراجع [20,19] در شکل (6-14) نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۴ الف: شبکه به دست آمده از روش پایان‌نامه، ب: شبکه به دست آمده در [20,19]

شکل (6-14-الف) با استفاده از الگوریتم بیان شده در این پایان‌نامه به دست آمده است. تفاوت شبکه الف و ب در شکل (6-14) در مسیر تغذیه گره‌های 11 و 13 و 15 است. وضعیت این دو شبکه در جداول زیر نشان داده شده است.

جدول ۶-۲۱ جزئیات دو شبکه شکل ۶-۱۴

| ب(روش مراجع [19,20]) | | | | | الف(روش پایان‌نامه) | | | | |
|----------------------|-----------|-------------|--------------|------------|---------------------|-----------|-------------|--------------|------------|
| From | To | Length(Km) | Current(A) | Type | From | To | Length(Km) | Current(A) | Type |
| 1 | 10 | 0.20 | 118.02 | Fox | 1 | 10 | 0.20 | 118.02 | Fox |
| 10 | 14 | 0.43 | 75.14 | Fox | 10 | 14 | 0.43 | 69.77 | Fox |
| 14 | 17 | 0.45 | 16.09 | Fox | 14 | 17 | 0.45 | 10.73 | Fox |
| 17 | 18 | 0.44 | 10.73 | Fox | 17 | 18 | 0.44 | 5.36 | Fox |
| 14 | 23 | 0.49 | 21.46 | Fox | 14 | 23 | 0.49 | 21.46 | Fox |
| 18 | 15 | 0.57 | 5.36 | Fox | 21 | 15 | 0.59 | 5.36 | Fox |
| 10 | 19 | 0.59 | 26.81 | Fox | 10 | 19 | 0.56 | 32.17 | Fox |
| 19 | 21 | 0.56 | 16.09 | Fox | 19 | 21 | 0.58 | 10.72 | Fox |
| 19 | 22 | 0.58 | 5.36 | Fox | 19 | 22 | 0.64 | 16.09 | Fox |
| 21 | 11 | 0.64 | 10.72 | Fox | 22 | 11 | 0.68 | 10.73 | Fox |
| 11 | 13 | 0.51 | 5.36 | Fox | 11 | 13 | 0.70 | 5.36 | Fox |
| 23 | 5 | 0.64 | 10.73 | Fox | 23 | 5 | 0.50 | 10.73 | Fox |
| 23 | 12 | 0.68 | 5.36 | Fox | 23 | 12 | 0.82 | 5.36 | Fox |
| 10 | 20 | 0.70 | 10.72 | Fox | 10 | 20 | 0.94 | 10.72 | Fox |
| 20 | 16 | 0.50 | 5.36 | Fox | 20 | 16 | 0.82 | 5.36 | Fox |
| 14 | 6 | 0.82 | 32.23 | Fox | 14 | 6 | 0.69 | 32.23 | Fox |
| 5 | 4 | 0.94 | 5.36 | Fox | 5 | 4 | 2.06 | 5.36 | Fox |
| 6 | 7 | 0.82 | 26.86 | Fox | 6 | 7 | 1.82 | 26.86 | Fox |
| 7 | 8 | 0.69 | 21.50 | Fox | 7 | 8 | 0.08 | 21.50 | Fox |
| 8 | 2 | 0.08 | 0.00 | Fox | 8 | 2 | 0.61 | 0.00 | Fox |
| 8 | 9 | 2.06 | 16.13 | Fox | 8 | 9 | 0.69 | 16.13 | Fox |
| 9 | 3 | 1.82 | 10.75 | Fox | 9 | 3 | 0.51 | 10.75 | Fox |

جدول ۶-۲۲ مقایسه وضعیت دو شبکه شکل ۶-۱۴

| Network | Length (Km) | Minimum voltage (KV) | Ploss (KW) | Installation cost (million Toman) | Operation cost (million Toman) | Total Cost (million Toman) | sum load (KVA) | Post size (KVA) |
|---------|-------------|----------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------|-----------------|
| الف | 15.28 | 34.365 | 20.78 | 1213.89 | 138.75 | 1352.65 | 7040 | 7500 |
| ب | 15.19 | 34.363 | 21.22 | 1212.65 | 141.70 | 1354.35 | 7040 | 7500 |

همانطور که از جدول (6-22) مشاهده می‌شود جواب‌ها خیلی به هم نزدیک است. طول و هزینه احداث شبکه الف از شبکه ب بیشتر است و در مقابل تلفات و هزینه بهره‌برداری شبکه ب از شبکه الف بیشتر است. در مجموع هزینه کل در شبکه الف کمتر از شبکه ب است. تلفات انرژی در دوره طراحی در شبکه الف 1/82 گیگا وات ساعت و در شبکه ب 1/85 گیگا وات ساعت است. به عبارت دیگر تلفات انرژی در شبکه الف در مدت طراحی 30 مگا وات ساعت کمتر از شبکه ب است.

۶-۵-۱. تحلیل نتایج طراحی برای سیستم توزیع با روش پایان‌نامه و مراجع [19,20]

(1) طول سیستم طراحی شده با روش پایان‌نامه برابر 15/28 کیلومتر و با روش مراجع [19,20] برابر با 15/19 کیلومتر است. بنابراین طول سیستم طراحی شده در پایان‌نامه به میزان 90 متر بیشتر از مراجع [19,20] است.

(2) مینیمم ولتاژ باسها در شبکه طراحی شده با روش پایان‌نامه، 34/365 کیلو ولت و در شبکه طراحی شده با روش مراجع [19,20]، 34/363 کیلو ولت می‌باشد. مینیمم ولتاژ در سیستم طراحی شده با روش پایان‌نامه، به میزان 0/002 کیلو ولت بیشتر از مراجع [19,20] است.

(3) تلفات در سیستم طراحی شده با روش پایان‌نامه، 20/78 کیلو وات و در سیستم طراحی شده با روش مراجع [19,20]، 21/22 کیلووات است. تلفات در سیستم طراحی شده به روش پایان‌نامه، به میزان 0/44 کیلو وات نسبت به سیستم مراجع [19,20] کاهش یافته است.

(4) هزینه احداث سیستم طراحی شده با روش پایان‌نامه، 1213/89 میلیون تومان و در سیستم طراحی شده با روش مراجع [19,20]، 1212/65 میلیون تومان است. یعنی هزینه احداث شبکه

در در روش پایان نامه به مقدار $1/24$ میلیون تومان افزایش می یابد. این مساله ناشی از افزایش طول شبکه در این سیستم است..

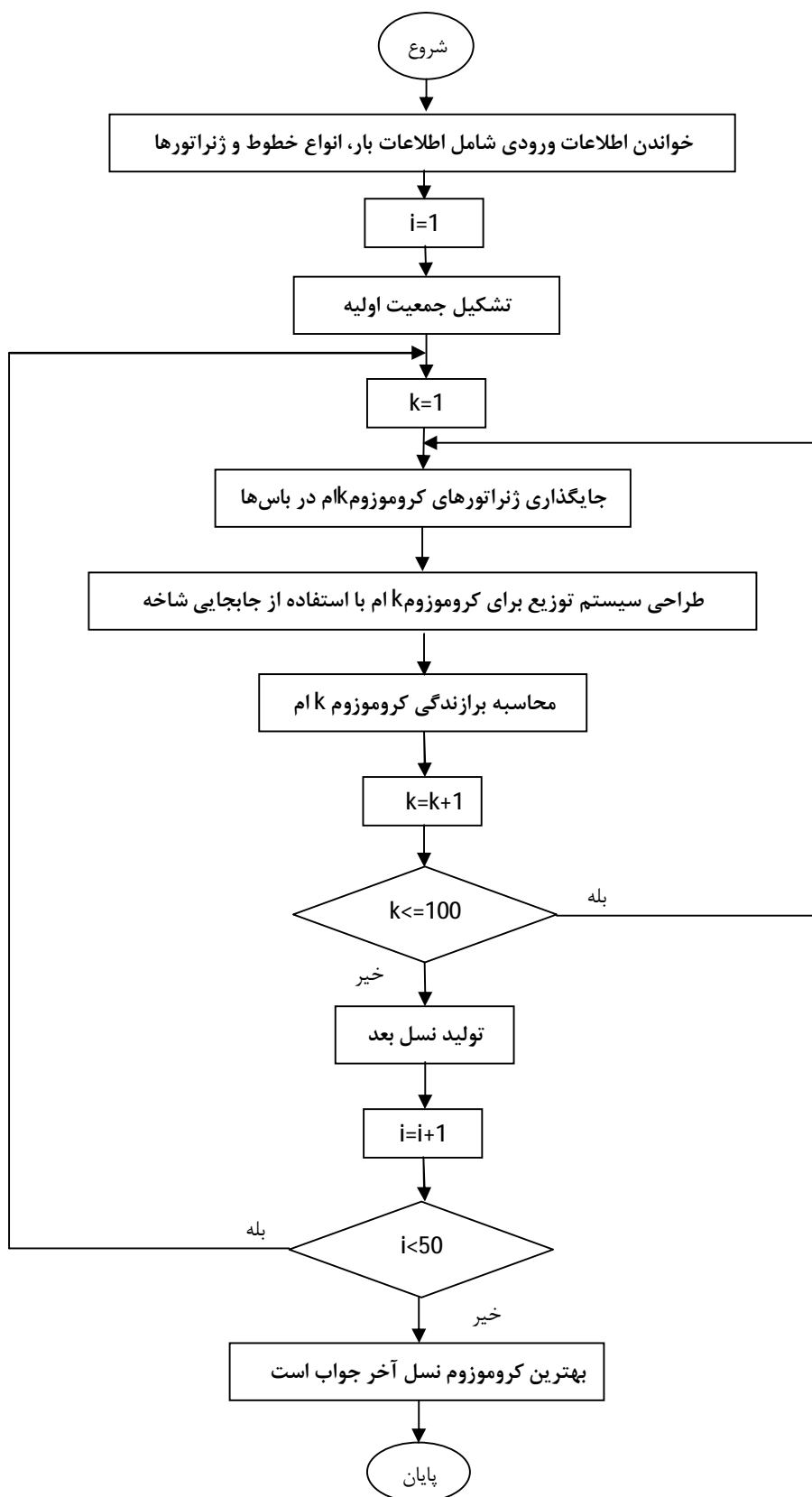
(5) هزینه بهره برداری از سیستم طراحی شده با روش پایان نامه ، $138/75$ میلیون تومان و در سیستم طراحی شده با روش مراجع [19,20]، $141/70$ میلیون تومان می باشد. به علت کاهش تلفات، هزینه بهره بردای در سیستم طراحی شده با روش پایان نامه، به میزان $2/95$ میلیون تومان کمتر از شبکه طراحی شده در مراجع [19,20] است.

(6) در مجموع هزینه کل سیستم توزیع طراحی شده با روش پایان نامه ، $1352/65$ میلیون تومان و در سیستم توزیع طراحی شده با روش مراجع [19,20]، $1354/35$ میلیون تومان است. هزینه کل در سیستم طراحی شده با روش پایان نامه به میزان $1/7$ میلیون تومان کمتر از سیستم طراحی شده در مراجع [19,20] می باشد.

متوسط جریان در شاخه های شبکه الف برابر $20/49$ و در شبکه ب برابر $20/73$ آمپر است. این بیانگر این مطلب است که توزیع جریان بین شاخه ها در شبکه الف بهتر صورت گرفته است. اگر احتمال وقوع خطا در خطوط یکسان باشد به علت کمتر بودن جریان در خطوط شبکه الف، هزینه خاموشی در آن کمتر از شبکه ب است. در مجموع می توان گفت شبکه الف از ب بهتر است.

۶-۶ طراحی شبکه توزیع با در نظر گرفتن امکان نصب تولیدات پراکنده

فلوچارت کلی برنامه برای طراحی سیستم توزیع با در نظر گرفتن امکان استفاده از تولیدات پراکنده در فصل قبل بخش (5-2-3) ارائه شد. این فلوچارت با جزئیات آن در شکل (6-15) نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۵ فلوچارت کامل طراحی با تولید پراکنده

۱-۶-۶ پارامترهای الگوریتم ژنتیک

روند اجرای الگوریتم ژنتیک در ضمیمه بیان شده است. پارامترهای الگوریتم در برنامه به صورت زیر می‌باشد:

- تعداد کروموزوم‌های هر نسل 100 عدد در نظر گرفته شده است.
 - تعداد ژن‌های هر کروموزوم، برابر با تعداد باسهای شبکه در نظر گرفته شده است.
 - برای کد کردن از کدینگ عدد صحیح استفاده شده است.
 - تابع برازندگی معکوس هزینه کل سیستم در نظر گرفته شده است.
 - برای انتخاب والدین از چرخ گردان استفاده شده است.
 - عملگر تقاطع به صورت تک نقطه‌ای و با احتمال 0/8 در نظر گرفته شده است.
 - عملگر جهش با احتمال 0/03 استفاده شده است.
 - شرط توقف الگوریتم 10 تکرار در نظر گرفته شده است.
- هر ژن در کروموزوم نشان دهنده مقدار ظرفیت ژنراتور نصب شده در آن باس می‌باشد. ژنراتورها به همراه کد، ظرفیت و هزینه خرید آنها در جدول زیر نشان داده شده است. در ضمن می‌توان با توجه به شرایط جغرافیایی منطقه روی باسها محدودیت نیز گذاشت و تعداد باسهایی را که در آن ژنراتور می‌تواند نصب شود محدود کرد. در این صورت تعداد ژن‌ها کاهش می‌یابد.

جدول ۶-۲۳ مشخصات ژنراتورهای تولید پراکنده

| code | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------------|-----|-----|-----|-------|------|------|------|
| Capacity(KVA) | 300 | 600 | 900 | 1130 | 1450 | 1700 | 2200 |
| Price(million Toman) | 156 | 312 | 468 | 587.6 | 598 | 884 | 1144 |

اگر ظرفیت DG در شبکه بخش زیادی از توان سیستم باشد باعث پایین آمدن کیفیت توان در سیستم می‌شود لذا ظرفیت کل این واحدها در سیستم نباید از 25% بار کل سیستم بیشتر باشد [39]. با توجه به اینکه بار کل شبکه 7040 کیلو ولت آمپر است، ماکزیمم مقدار DG در شبکه 1760 کیلو ولت آمپر در نظر گرفته می‌شود. یک نمونه کروموزوم در جدول (6-24) نشان داده شده است.

جدول ۶-۲۴ یک نمونه کروموزوم

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| bus | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| chromosome | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

در کروموزوم فوق یک ژنراتور با کد 1 (ظرفیت 300 کیلو ولت آمپر) در باس 6 و یک ژنراتور با کد 2 (ظرفیت 600 کیلو ولت آمپر) در باس 13 قرار گرفته است.

۲-۶-۶. نتایج طراحی با وجود تولید پراکنده

برای ارزیابی اثر لحاظ کردن تولیدات پراکنده در طراحی سیستم‌های توزیع چند حالت مختلف در شبکه نمونه تست می‌شود.

۱-۲-۶-۶. سیستم توزیع ۱

در ابتدا بدون تغییر در وضعیت سیستم نمونه، طراحی با وجود تولید پراکنده را انجام می‌دهیم. نتیجه طراحی سیستم نمونه با در نظر گرفتن واحدهای تولید پراکنده تغییری نمی‌کند. علت این مساله کوچک بودن سیستم است. برای نشان دادن کارکرد الگوریتم سیستم را تغییر داده و طراحی را در دو حالت (بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده) برای سیستم تغییر یافته انجام می‌دهیم.

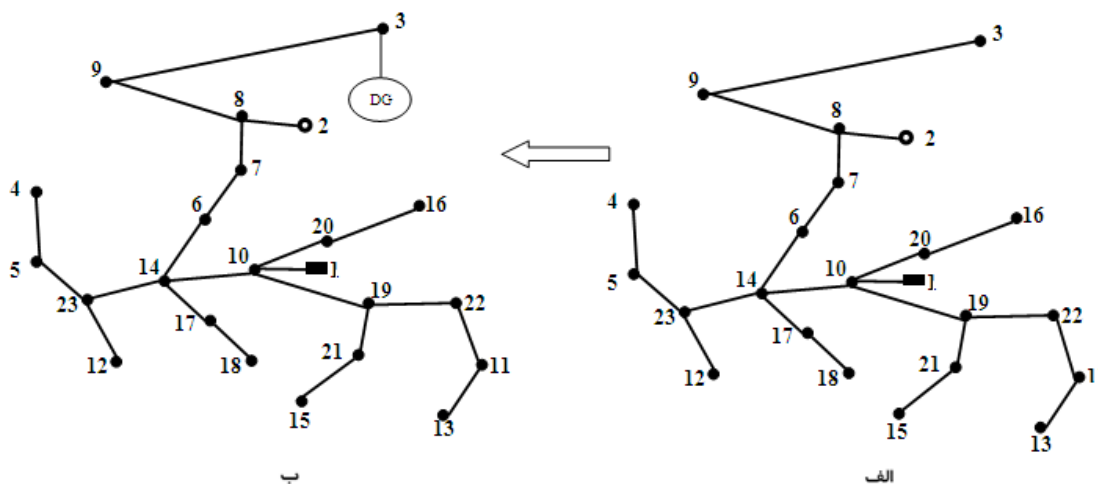
۲-۲-۶-۶. سیستم توزیع ۲

طول فیدرهای شبکه را 8 برابر کرده و با همان مقدار توان و ولتاژ قبلی طراحی را انجام می‌دهیم. بهترین کروموزوم پس از اجرای برنامه در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۶-۲۵ بهترین کروموزوم نسل آخر (سیستم توزیع ۲)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| bus | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| chromosome | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

در این کروموزوم در باس 3 ژنراتور با کد 2 یعنی ظرفیت 600 کیلو ولت آمپر نصب شده است. شماتیک شبکه طراحی شده بدون در نظر گرفتن تولیدات پراکنده و با در نظر گرفتن این ژنراتورها در شکل (6-16) نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۶ الف: شبکه بدون تولید پراکنده، ب: شبکه با وجود تولید پراکنده (سیستم توزیع ۲)

در شکل (6-16 ب) مکان نصب ژنراتور مشخص شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تغییری بین ساختار دو شبکه وجود ندارد. جزئیات مربوط به هر دو شبکه در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۶-۲۶ جزئیات سیستم در دو حالت بدون تولید پراکنده و با وجود تولید پراکنده (سیستم توزیع ۲)

| ب: با وجود تولید پراکنده | | | | | الف: بدون تولید پراکنده | | | | |
|--------------------------|----|------------|---------------|------|-------------------------|----|------------|---------------|------|
| From | To | Length(km) | Current(A) | Type | From | To | Length(km) | Current(A) | Type |
| 1 | 10 | 1.62 | 108.93 | Fox | 1 | 10 | 1.62 | 119.50 | Fox |
| 10 | 14 | 3.44 | 60.34 | Fox | 10 | 14 | 3.44 | 70.89 | Fox |
| 14 | 17 | 3.59 | 10.82 | Fox | 14 | 17 | 3.59 | 10.83 | Fox |
| 17 | 18 | 3.53 | 5.41 | Fox | 17 | 18 | 3.53 | 5.42 | Fox |
| 14 | 23 | 3.89 | 21.68 | Fox | 14 | 23 | 3.89 | 21.70 | Fox |
| 10 | 19 | 4.76 | 32.44 | Fox | 10 | 19 | 4.76 | 32.45 | Fox |
| 19 | 21 | 4.44 | 10.81 | Fox | 19 | 21 | 4.44 | 10.81 | Fox |
| 19 | 22 | 4.66 | 16.24 | Fox | 19 | 22 | 4.66 | 16.24 | Fox |
| 23 | 5 | 5.13 | 10.85 | Fox | 23 | 5 | 5.13 | 10.86 | Fox |
| 23 | 12 | 5.43 | 5.42 | Fox | 23 | 12 | 5.43 | 5.42 | Fox |
| 10 | 20 | 5.58 | 10.77 | Fox | 10 | 20 | 5.58 | 10.78 | Fox |
| 20 | 16 | 4.01 | 5.39 | Fox | 20 | 16 | 4.01 | 5.39 | Fox |
| 14 | 6 | 6.54 | 22.44 | Fox | 14 | 6 | 6.54 | 32.95 | Fox |
| 5 | 4 | 7.52 | 5.43 | Fox | 5 | 4 | 7.52 | 5.43 | Fox |
| 6 | 7 | 6.54 | 17.02 | Fox | 6 | 7 | 6.54 | 27.51 | Fox |
| 7 | 8 | 5.49 | 11.58 | Fox | 7 | 8 | 5.49 | 22.05 | Fox |
| 8 | 9 | 16.45 | 6.14 | Fox | 8 | 9 | 16.45 | 16.58 | Fox |
| 9 | 3 | 14.56 | 0.68 | Fox | 9 | 3 | 14.56 | 11.06 | Fox |
| 8 | 2 | 0.60 | 0.00 | Fox | 8 | 2 | 0.60 | 0.00 | Fox |
| 21 | 15 | 4.85 | 5.41 | Fox | 21 | 15 | 4.85 | 5.41 | Fox |
| 22 | 11 | 5.54 | 10.83 | Fox | 22 | 11 | 5.54 | 10.83 | Fox |
| 11 | 13 | 4.04 | 5.42 | Fox | 11 | 13 | 4.04 | 5.42 | Fox |

جدول ۶-۲۷ وضعیت سیستم طراحی شده در دو حالت بدون تولید پراکنده و باوجود تولید پراکنده (سیستم توزیع ۲)

| | Network | Length (Km) | Minimum voltage (KV) | Ploss (KW) | Installation cost (million Toman) | Operation cost (million Toman) | Total Cost (million Toman) | Total load (KVA) | Post size (KVA) |
|-----|---------|-------------|----------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| الف | 1 | 122.22 | 33.39 | 171.71 | 2711.13 | 1146.81 | 3857.93 | 7040 | 7500 |
| ب | 1 | 122.22 | 33.85 | 117.36 | 3023.13 | 783.84 | 3806.97 | 6440 | 7500 |

همانطور که مشاهده می‌شود با در نظر گرفتن تولیدات پراکنده پارامترهای شبکه بهبود پیدا کرده- اند. مینیمم ولتاژ شبکه 0/46 کیلو ولت افزایش یافته است. تلفات شبکه به مقدار 54/35 کیلو وات کاهش یافته است. با توجه به اضافه شدن واحدهای تولید پراکنده هزینه احداث سیستم افزایش یافته اما در مقابل هزینه بهره‌برداری از آن کم شده است. در مجموع هزینه کل سیستم 50/96 میلیون تومان کاهش یافته است.

با توجه به اینکه 600 کیلو وات از توان بار توسط این واحد تولید پراکنده تامین می‌شود لذا به همین مقدار از توان پست فوق توزیع کاسته شده است و این به معنی آزاد شدن ظرفیت پست می- باشد. این ظرفیت آزاد شده، سرمایه‌گذاری برای تقویت پست فوق توزیع را برای سال‌های آتی نیز به تعویق می‌اندازد. جزئیات مربوط به نوع خطوط و جریان عبوری از آنها در جدول زیر نشان داده شده است. متوسط جریان در شاخه‌های شبکه بدون تولید پراکنده 20/80 آمپر و در شبکه با تولید پراکنده 17/46 آمپر می‌باشد.

۳-۶-۲-۳ سیستم توزیع ۳

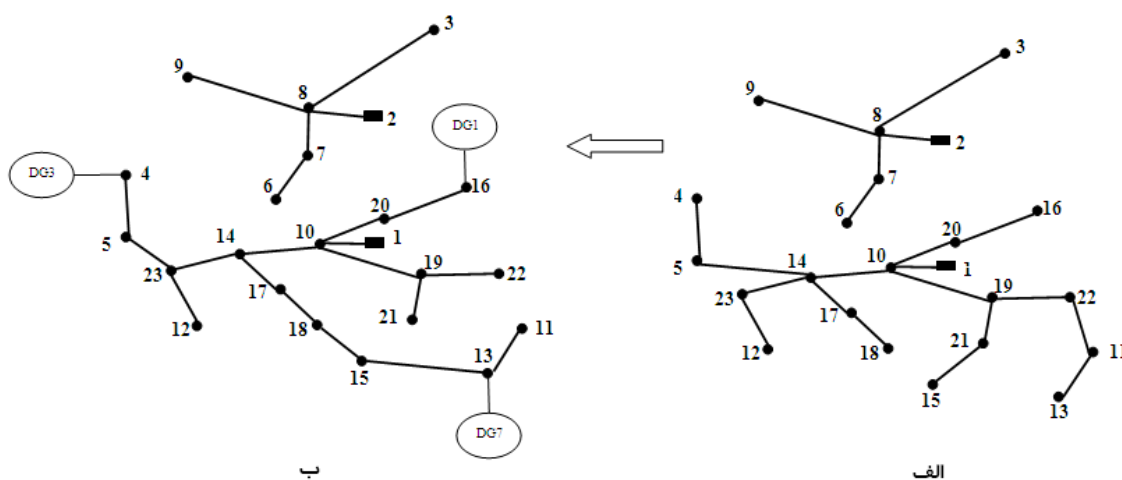
در این سیستم طول فیدرها را 8 برابر، ولتاژ مبنا را 34/5 کیلو ولت و توان نقاط بار را 2 برابر در نظر می‌گیریم. بهترین کروموزوم پس از اجرای الگوریتم در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۶-۲۸ بهترین کروموزوم نسل آخر (سیستم توزیع ۳)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| bus | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| chromosome | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

در این کروموزوم در باس 4 ژنراتور با کد 3 یعنی ظرفیت 900 کیلو ولت آمپر، در باس 13 ژنراتور با کد 7 یعنی ظرفیت 2200 کیلو ولت آمپر و در باس 16 ژنراتور با کد 1 یعنی ظرفیت 300 کیلو ولت آمپر نصب شده است. شماتیک شبکه طراحی شده بدون در نظر گرفتن تولیدات پراکنده و با در

نظر گرفتن این ژنراتورها در شکل (6-17) نشان داده شده است. شماتیک شبکه طراحی شده بدون در نظر گرفتن تولیدات پراکنده و با در نظر گرفتن این ژنراتورها در شکل (6-17) نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۷ الف: شبکه طراحی شده بدون تولید پراکنده، ب: شبکه طراحی شده با وجود تولید پراکنده (سیستم توزیع ۳)

همانطور که از شکل فوق مشاهده می‌شود شبکه الف و ب از لحاظ ساختاری با هم متفاوت هستند. تفاوت این دو سیستم در شبکه ۱ و مسیر تغذیه باس‌های ۴، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ می‌باشد. جزئیات مربوط به دو شبکه در جدول (6-29) نشان داده شده است.

جدول ۶-۲۹ جزئیات شبکه ۱ در دو حالت بدون تولید پراکنده و با وجود تولید پراکنده (سیستم توزیع ۳)

| ب: با وجود تولید پراکنده | | | | | الف: بدون تولید پراکنده | | | | |
|--------------------------|----|------------|------------|------|-------------------------|----|------------|------------|------|
| From | To | Length(km) | Current(A) | Type | From | To | Length(km) | Current(A) | Type |
| 1 | 10 | 1.62 | 115.46 | Fox | 1 | 10 | 1.62 | 172.77 | Mink |
| 10 | 14 | 3.44 | 55.70 | Fox | 10 | 14 | 3.44 | 75.44 | Fox |
| 14 | 17 | 3.59 | 17.10 | Fox | 14 | 17 | 3.59 | 21.76 | Fox |
| 17 | 18 | 3.53 | 6.29 | Fox | 17 | 18 | 3.53 | 10.86 | Fox |
| 14 | 23 | 3.89 | 27.89 | Fox | 14 | 23 | 3.89 | 21.55 | Fox |
| 18 | 15 | 4.57 | 4.56 | Fox | 10 | 19 | 4.76 | 64.87 | Fox |
| 10 | 19 | 4.76 | 32.41 | Fox | 19 | 21 | 4.44 | 21.58 | Fox |
| 19 | 21 | 4.44 | 10.82 | Fox | 19 | 22 | 4.66 | 32.37 | Fox |
| 19 | 22 | 4.66 | 10.79 | Fox | 23 | 12 | 5.43 | 10.71 | Fox |
| 15 | 13 | 4.98 | 15.27 | Fox | 10 | 20 | 5.58 | 21.58 | Fox |
| 13 | 11 | 4.04 | 10.84 | Fox | 20 | 16 | 4.01 | 10.76 | Fox |
| 23 | 5 | 5.13 | 6.36 | Fox | 14 | 5 | 8.13 | 21.42 | Fox |
| 23 | 12 | 5.43 | 10.71 | Fox | 5 | 4 | 7.52 | 10.71 | Fox |
| 10 | 20 | 5.58 | 16.52 | Fox | 21 | 15 | 4.85 | 10.71 | Fox |
| 20 | 16 | 4.01 | 5.71 | Fox | 22 | 11 | 5.54 | 21.58 | Fox |
| 5 | 4 | 7.52 | 4.35 | Fox | 11 | 13 | 4.04 | 10.71 | Fox |

جدول ۶-۳۰ جزئیات شبکه ۲ در دو حالت بدون تولید پراکنده و با وجود تولید پراکنده (سیستم توزیع ۳)

| ب: با وجود تولید پراکنده | | | | | الف: بدون تولید پراکنده | | | | |
|--------------------------|----|------------|------------|------|-------------------------|----|------------|------------|------|
| From | To | Current(A) | Length(km) | Type | From | To | Current(A) | Length(km) | Type |
| 2 | 8 | 0.60 | 64.44 | Fox | 2 | 8 | 0.60 | 64.44 | Fox |
| 8 | 7 | 5.49 | 21.55 | Fox | 8 | 7 | 5.49 | 21.55 | Fox |
| 8 | 9 | 16.45 | 10.77 | Fox | 8 | 9 | 16.45 | 10.77 | Fox |
| 8 | 3 | 21.66 | 21.42 | Fox | 8 | 3 | 21.66 | 21.42 | Fox |
| 7 | 6 | 6.54 | 10.84 | Fox | 7 | 6 | 6.54 | 10.84 | Fox |

وضعیت دو سیستم توزیع با شبکه‌های آنها در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۶-۳۱ وضعیت سیستم طراحی شده در دو حالت بدون تولید پراکنده و با وجود تولید پراکنده (سیستم توزیع ۳)

| | Network | Length (Km) | Minimum voltage (KV) | Ploss (KW) | Installation cost (million Toman) | Operation cost (million Toman) | Total Cost (million Toman) | Total load (KVA) | Post size (KVA) |
|-----|---------|-------------|----------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| الف | 1 | 75.03 | 33.86 | 212.08 | 3055.23 | 1416.43 | 4471.66 | 10240 | 15000 |
| | 2 | 50.76 | 34.10 | 41.48 | 1710.62 | 277.05 | 1987.67 | 3840 | 7500 |
| ب | 1 | 71.18 | 34.07 | 109.94 | 1996.56 | 734.24 | 2730.79 | 6840 | 7500 |
| | 2 | 50.76 | 34.10 | 41.48 | 1710.62 | 277.05 | 1987.67 | 3840 | 7500 |

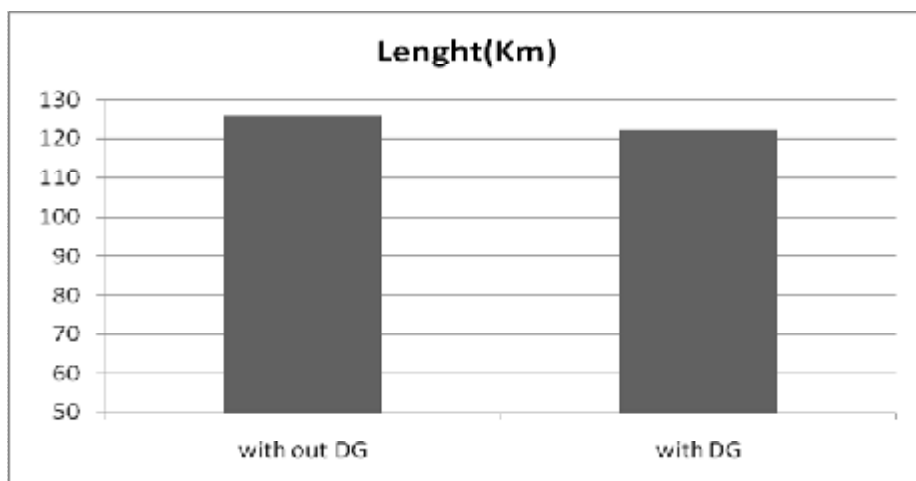
وضعیت دو سیستم توزیع به طور کلی در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۶-۳۲ وضعیت کلی سیستم توزیع در دو حالت بدون تولید پراکنده و با وجود تولید پراکنده (سیستم توزیع ۳)

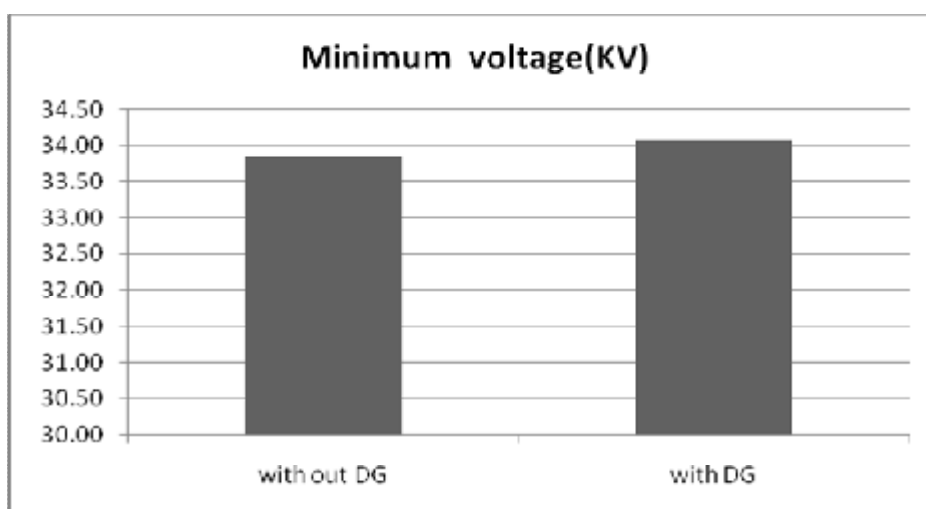
| | Network | Length (Km) | Minimum voltage (KV) | Ploss (KW) | Installation cost (million Toman) | Operation cost (million Toman) | Total Cost (million Toman) | Total load (MVA) | Post size (MVA) |
|-----|---------|-------------|----------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|
| الف | 1&2 | 125.79 | 33.86 | 253.56 | 4765.85 | 1693.48 | 6459.33 | 14.08 | 15, 7.5 |
| ب | 1&2 | 121.94 | 34.07 | 151.42 | 3707.18 | 1011.29 | 4718.47 | 10.68 | 2*7.5 |

مقایسه پارامترهای طراحی سیستم توزیع ۳ در دو حالت بدون DG و با DG به صورت نموداری در

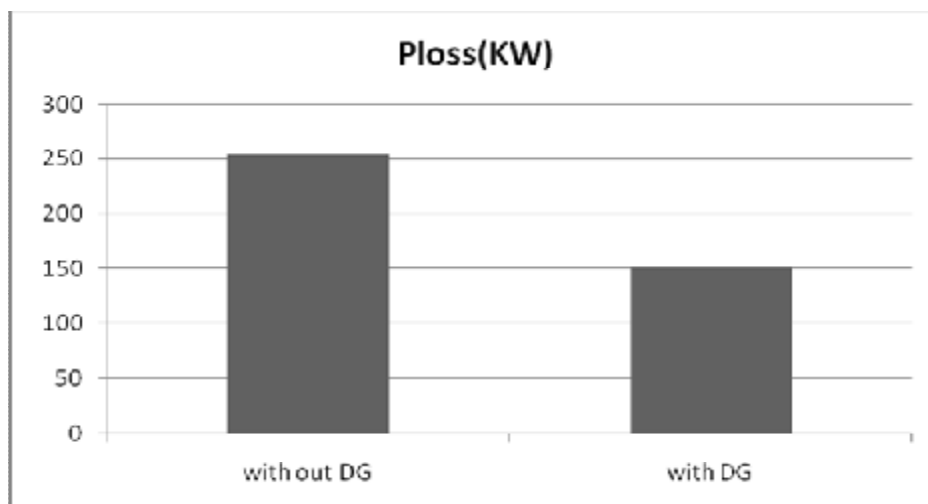
شکل‌های (6-18) تا (6-21) نشان داده شده است.



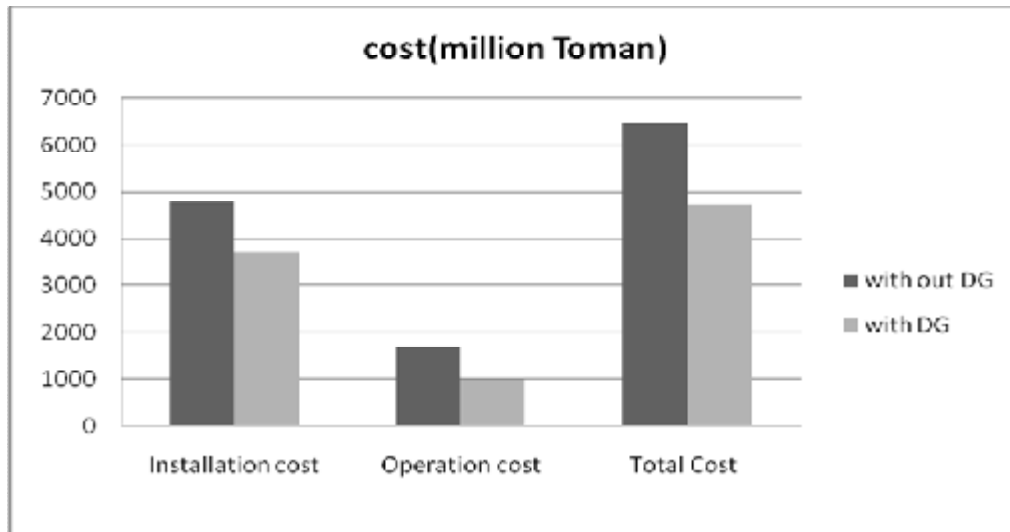
شکل ۶-۱۸ مقایسه طول سیستم توزیع طراحی شده در دو حالت بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده



شکل ۶-۱۹ مقایسه مینیمم ولتاژ سیستم توزیع طراحی شده در دو حالت بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده



شکل ۶-۲۰ مقایسه تلفات سیستم توزیع طراحی شده در دو حالت بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده



شکل ۶-۲۱ مقایسه هزینه‌های سیستم توزیع طراحی شده در دو حالت بدون بدون تولید پراکنده و با تولید پراکنده

۳-۶-۳ تحلیل نتایج طراحی برای سیستم توزیع ۳

- (1) طول سیستم طراحی شده بدون DG برابر 125/79 کیلومتر و با وجود DG برابر با 121/94 کیلومتر است. بنابراین با در نظر گرفتن DG در طراحی، طول سیستم توزیع به میزان 3/84 کیلومتر کاهش یافته است.
- (2) مینیمم ولتاژ باسها در سیستم توزیع طراحی شده بدون DG، 33/86 کیلو ولت و در سیستم توزیع طراحی شده با DG، 34/07 کیلو ولت می‌باشد. با در نظر گرفتن DG در طراحی، مینیمم ولتاژ سیستم به مقدار 0/21 کیلو ولت افزایش یافته است.
- (3) تلفات در سیستم طراحی شده بدون DG، 253/56 کیلو وات و در سیستم طراحی شده با DG، 151/42 کیلو وات است. با در نظر گرفتن DG در طراحی، تلفات به مقدار 102/14 کیلو وات کاهش یافته است.
- (4) هزینه احداث سیستم طراحی شده بدون DG، 4765/85 میلیون تومان و در سیستم طراحی شده با DG، 3707/18 میلیون تومان است. یعنی هزینه احداث شبکه در حالتی که DG در نظر گرفته شود به مقدار 1058/67 میلیون تومان کاهش می‌یابد. این مساله ناشی از کم شدن ظرفیت پست فوق توزیع در شبکه 1 است.

(5) هزینه بهره‌برداری از سیستم طراحی شده بدون DG، 1693/48 میلیون تومان و در سیستم طراحی شده با DG، 1011/29 میلیون تومان می‌باشد. به علت کاهش تلفات در سیستم طراحی شده با DG، هزینه بهره‌برداری به میزان 682/19 میلیون تومان کمتر از شبکه طراحی شده بدون DG است.

(6) در مجموع هزینه کل سیستم توزیع طراحی شده بدون DG، 6459/33 میلیون تومان و در سیستم توزیع طراحی شده با DG، 4718/47 میلیون تومان است. با در نظر گرفتن DG در طراحی سیستم نمونه هزینه آن به میزان 1740/86 میلیون تومان کاهش یافته است.

متوسط جریان در خطوط سیستم توزیع طراحی شده بدون DG، 31/83 آمپر و در سیستم طراحی شده با وجود DG، 22/85 آمپر است. با توجه به مطالب فوق به نظر می‌رسد که در نظر گرفتن واحدهای تولید پراکنده در طراحی سیستم‌های توزیع ضروری است.

فصل هفتم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۷. نتیجه‌گیری

تحويل توان با ویژگی‌های مطلوب نیازمند طراحی درست سیستم توزیع می‌باشد. روش‌های مختلفی برای طراحی سیستم‌های توزیع استفاده شده است. در این پایان‌نامه ابتدا مروری بر روش‌های موجود برای طراحی سیستم‌های توزیع انجام شد. سپس نحوه انجام طراحی با استفاده از روش جابه‌جایی شاخه بیان گردید و طراحی یک سیستم توزیع نمونه با استفاده از الگوریتم بیان شده انجام شد. همانطور که ملاحظه شد در روش جابه‌جایی شاخه ابتدا ترکیب بهینه هر زیر شبکه با انجام جابه‌جایی شاخه درون ناحیه‌ای مشخص می‌شود و سپس ترکیب بهینه ناحیه‌ها با اجرای جابه‌جایی شاخه بین ناحیه‌ای تعیین می‌شود. طراحی یک سیستم توزیع نمونه با استفاده از الگوریتم جابه‌جایی شاخه انجام شد. همانطور که نشان داده شد شبکه طراحی شده با این روش از شبکه طراحی شده با روش‌های الگوریتم مورچگان (2004) و شبیه‌سازی ذوب فلزات (2008) بهتر بود. البته ناگفته نماند که جواب به دست آمده از روش پایان‌نامه و دو الگوریتم فوق‌تر از آن است. با توجه به جواب به دست آمده می‌توان به کارایی روش پایان‌نامه اعتماد کرد.

با توجه به روند رو به رشد استفاده از ژنراتورهای تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع بررسی استفاده از این واحدها بر طراحی سیستم ضروری است. لذا در فصل ششم طراحی با در نظر گرفتن امکان احداث این واحدها انجام شد. می‌توان از ابتدا ظرفیت مشخصی DG در باس‌های معینی از شبکه قرار داد و سپس طراحی را انجام داد. مکان و ظرفیت این واحدها بر مساله تاثیرگذار است و این نیز باید در طراحی مورد توجه قرار گیرد. لذا در طراحی برای بهینه‌سازی مکان و ظرفیت این واحدها از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. ابتدا توسط الگوریتم ژنتیک مکان و ظرفیت این واحدها تعیین می‌شود و سپس شبکه بهینه با شرایط موجود توسط الگوریتم جابه‌جایی شاخه تعیین می‌شود. همانطور که نشان داده شد در نظر گرفتن امکان استفاده از این واحدها در شبکه هزینه کلی سیستم را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد. لذا در نظر گرفتن این واحدها در طراحی سیستم‌های توزیع امری ضروری است.

۲-۷. پیشنهاداتی جهت تکمیل و ادامه کار

طراحی سیستم توزیع یا به عبارت دیگر جایابی بهینه پست‌های فوق توزیع و فیدرهای شبکه توزیع در حالت کلی به دو صورت تک دوره‌ای و چند دوره‌ای انجام می‌شود. در مدل تک دوره‌ای توان بارها برای سالهای آتی ثابت فرض شده و شبکه برای برآورده کردن این بارها طراحی می‌شود. توان در شبکه در طی سالهای مختلف ثابت نیست و روند افزایشی دارد. بر این اساس چند افق در نظر گرفته می‌شود و مقدار توان در این سالها برای نقاط مختلف شبکه مشخص می‌شود. حال باید برای برآورده شدن توان بار در طی این سالها طراحی صورت گیرد به این نوع طراحی، طراحی چند دوره‌ای گفته می‌شود. طراحی چند دوره‌ای را می‌توان با اندیس‌گذاری به صورت تک دوره‌ای نیز انجام داد. یعنی شبکه را برای هر سال افق به صورت تک دوره‌ای طراحی کرد. اما مساله‌ای که وجود دارد هماهنگی بین نصب تجهیزات در طی این دوره‌های مختلف است که باید بهینه باشد. طراحی صورت گرفته در این پایان‌نامه به صورت تک دوره‌ای و تا پایان سال دهم است.

1) می‌توان با مشخص کردن توان بار در طی سالهای مختلف با استفاده از روش مطرح شده طراحی را به صورت چند دوره‌ای انجام داد.

2) با توجه به اینکه هزینه برق تولیدی واحدهای تولید پراکنده بیشتر از نیروگاه‌ها است -
توان این تفاوت هزینه را نیز با توجه به نوع واحد تولیدی استفاده شده در نظر گرفت.

فصل هشتم

ضمیمه (الگوریتم ژنتیک)

در حل مسائل بهینه‌سازی ما به دنبال به دست آوردن بهترین جواب با توجه به قیود مسئله هستیم. زمانی که تعداد حالت‌های مورد بررسی کم باشد به راحتی می‌توان با تحلیل دستی بهترین حالت را انتخاب کرد. اما اگر فضای جستجو یا به عبارت دیگر تعداد حالات ممکن خیلی زیاد باشد دیگر نمی‌توان با تست کردن یک به یک این حالت‌ها بهترین حالت را انتخاب کرد چون نیازمند زمان زیادی است اینجاست که از تکنیک‌های بهینه‌سازی استفاده می‌شود.

در مسائل بهینه‌سازی ما به دنبال ماکزیمم یا مینیمم کردن یک تابع هستیم که این تابع به عنوان تابع هدف^۱ شناخته می‌شود.

برای پیدا کردن مقدار بهینه یک تابع از سال ۱۹۴۰ روش‌هایی تحت عنوان روش‌های کلاسیک از قبیل برنامه‌ریزی خطی^۲، برنامه‌ریزی غیر خطی^۳، برنامه‌ریزی دینامیکی^۴ و ... استفاده شده است. در این میان نیز روش‌هایی با الهام از طبیعت در حل این گونه مسائل استفاده شده‌اند. از جمله این روشها می‌توان به الگوریتم ژنتیک^۵، الگوریتم مورچگان^۶، الگوریتم شبیه‌سازی ذوب^۷ و ... اشاره کرد.

¹ Objective function

² Linear programming

³ Non linear programming

⁴ Dynamic programming

⁵ Genetic algorithm(GA)

⁶ Ant colony algorithm

⁷ Simulated annealing

۸-۱. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک تکنیک جستجو در علم کامپیوتر برای یافتن راه حل بهینه و مسائل جستجو است. الگوریتم‌های ژنتیک یکی از انواع الگوریتم‌های تکاملی‌اند که از علم زیست‌شناسی مثل وراثت، جهش، انتخاب ناگهانی، انتخاب طبیعی و ترکیب الهام گرفته شده است.

در دهه هفتاد میلادی دانشمندی از دانشگاه میشیگان به نام جان هلند^۱ ایده استفاده از الگوریتم ژنتیک را در بهینه‌سازی‌های مهندسی مطرح کرد. ایده اساسی این الگوریتم انتقال خصوصیات موروثی توسط ژن‌ها است. فرض کنید مجموعه خصوصیات انسان توسط کروموزوم‌های او به نسل بعدی منتقل می‌شوند. هر ژن در این کروموزوم‌ها نماینده یک خصوصیت است. بعنوان مثال ژن ۱ می‌تواند رنگ چشم باشد، ژن ۲ طول قد، ژن ۳ رنگ مو و الی آخر. حال اگر این کروموزوم به تمامی، به نسل بعد انتقال یابد، تمامی خصوصیات نسل بعدی شبیه به خصوصیات نسل قبل خواهد بود. بدیهی است که در عمل چنین اتفاقی رخ نمی‌دهد. در واقع ممکن است بصورت همزمان دو اتفاق برای کروموزوم‌ها رخ دهد. اتفاق اول جهش^۲ است. جهش به این صورت است که بعضی ژن‌ها بصورت کاملاً تصادفی تغییر می‌کنند. البته تعداد این گونه ژن‌ها بسیار کم می‌باشد. مثلاً ژن رنگ چشم می‌تواند بصورت تصادفی باعث شود تا در نسل بعدی یک نفر دارای چشمان سبز باشد. در حالی که تمامی نسل قبل دارای چشم قهوه‌ای بوده‌اند. علاوه بر جهش اتفاق دیگری که می‌افتد و البته این اتفاق به تعداد بسیار بیشتری نسبت به جهش رخ می‌دهد چسبیدن ابتدای یک کروموزوم به انتهای یک کروموزوم دیگر است. این مساله با نام تقاطع^۳ شناخته می‌شود. این همان چیزی است که مثلاً باعث می‌شود تا فرزند تعدادی از خصوصیات پدر و تعدادی از خصوصیات مادر را با هم به ارث ببرد و از شبیه شدن تام فرزند به تنها یکی از والدین جلوگیری می‌کند.

^۱ John Holland

^۲ Mutation

^۳ Crossover

یک راه حل برای مسئله مورد نظر، با یک لیست از پارامترها نشان داده می‌شود که به آنها کروموزوم¹ یا ژنوم² می‌گویند. کروموزومها عموماً به صورت یک رشته ساده از داده‌ها نمایش داده می‌شوند، البته انواع ساختمان داده‌های دیگر هم می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در ابتدا چندین مشخصه به صورت تصادفی برای ایجاد نسل اول تولید می‌شوند. در طول هر نسل، هر مشخصه ارزیابی می‌شود و برازندگی³ توسط تابع برازندگی اندازه‌گیری می‌شود.

گام بعدی ایجاد دومین نسل از جامعه است که بر پایه فرآیندهای انتخاب، تولید از روی مشخصه-های انتخاب شده با عملگرهای ژنتیکی است: اتصال کروموزومها به سر یکدیگر و تغییر.

برای هر فرد، یک جفت والد انتخاب می‌شود. انتخابها به گونه‌ای انجام می‌شوند که احتمال انتخاب بهترین عناصر بیشتر باشد اما ضعیفترین عناصر هم شانس انتخاب داشته باشند تا از نزدیک شدن به جواب محلی جلوگیری شود. چندین الگوی انتخاب وجود دارد: چرخ گردان⁴، انتخاب مسابقه-ای⁵ و

معمولاً الگوریتم‌های ژنتیک یک عدد احتمال تقاطع دارند که بین $1/6$ و 1 است که احتمال به وجود آمدن فرزند را نشان می‌دهد. کروموزومها با این احتمال با هم ترکیب می‌شوند. اتصال² کروموزوم دو فرزند ایجاد می‌کند، که به نسل بعدی اضافه می‌شوند. این کارها انجام می‌شوند تا این که کاندیدهای مناسبی برای جواب، در نسل بعدی پیدا شوند. مرحله بعدی تغییر دادن فرزندان جدید است. الگوریتم‌های ژنتیک یک احتمال تغییر کوچک و ثابت دارند که معمولاً درجه‌ای در حدود $0/01$ یا کمتر دارد. بر اساس این احتمال، کروموزومهای فرزند به طور تصادفی تغییر می‌کنند یا جهش می‌یابند.

¹ Chromosome

² Genome

³ Fitness

⁴ Roulette wheel

⁵ Tournament selection

این فرآیند باعث به وجود آمدن نسل جدیدی از کروموزوم‌ها می‌شود، که با نسل قبلی متفاوت است. کل فرآیند برای نسل بعدی هم تکرار می‌شود، جفتها برای ترکیب انتخاب می‌شوند، جمعیت نسل سوم به وجود می‌آیند و

این فرآیند تکرار می‌شود تا این که به آخرین مرحله برسیم.

شرایط خاتمه الگوریتم‌های ژنتیک عبارتند از:

- به تعداد ثابتی از نسل‌ها برسیم .
- بودجه اختصاص داده شده تمام شود (زمان محاسبه/پول).
- یک فرد (فرزند تولید شده) پیدا شود که مینیمم (کمترین) ملاک را برآورده کند.
- بیشترین درجه برازش فرزندان حاصل شود یا دیگر نتایج بهتری حاصل نشود.
- بازرسی دستی.
- ترکیبهای بالا.

۸-۲. طرح کلی برنامه‌نویسی الگوریتم ژنتیک

طرح کلی برنامه‌نویسی الگوریتم ژنتیک به صورت زیر است [45]:

- (1) تشکیل کروموزوم‌های جمعیت اولیه به صورت تصادفی (n تعداد اعضای جمعیت اولیه).
- (2) ارزیابی کروموزوم‌ها توسط تابع برازندگی.
- (3) تولید نسل جدید از نسل قبلی به صورت زیر:
 - I. انتخاب دو کروموزوم به عنوان والدین با استفاده از الگوی انتخاب.
 - II. اجرای عملگر تقاطع بین دو کروموزوم انتخاب شده و تولید دو فرزند جدید.
 - III. اجرای عملگر جهش در دو فرزند ایجاد شده.
 - IV. تکرار گام‌های فوق تا تولید n عضو جدید

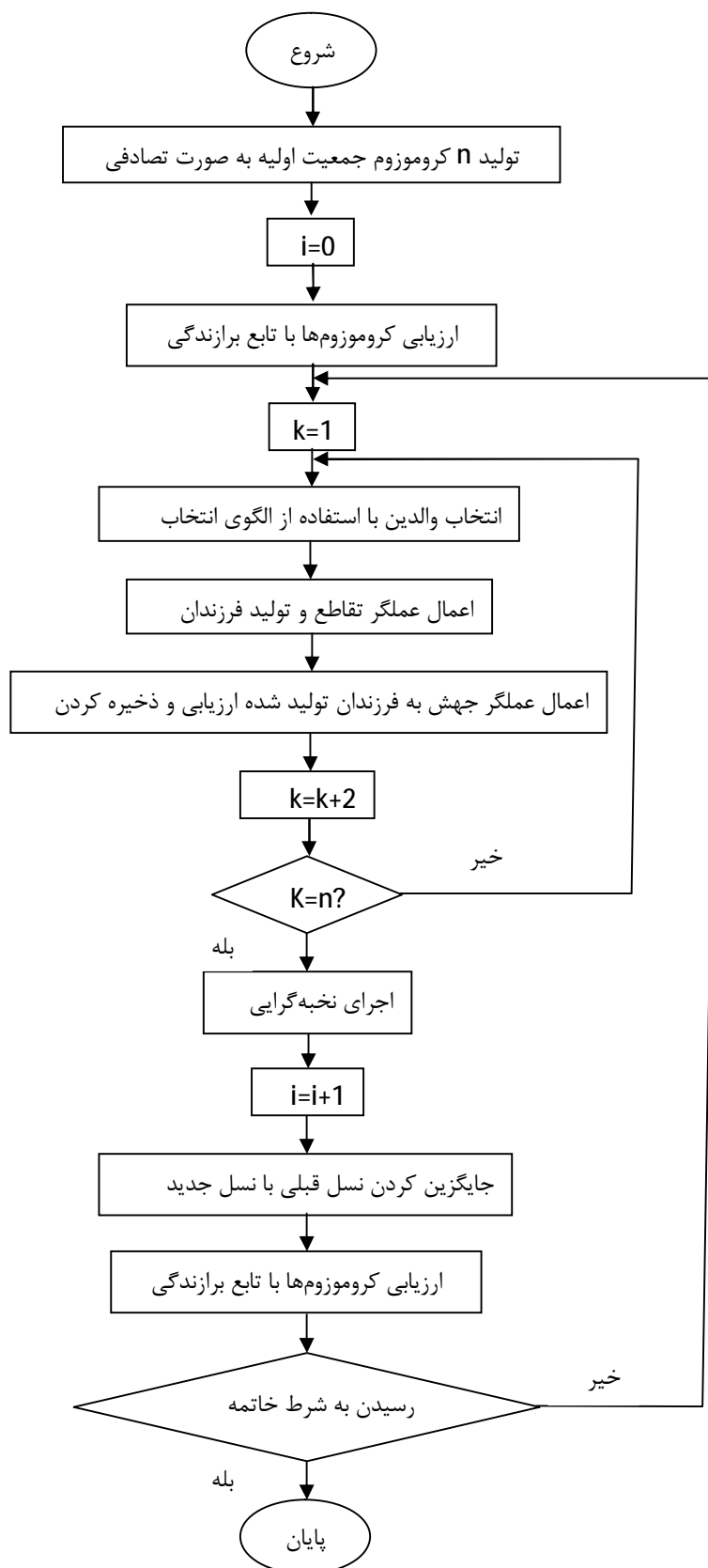
(4) جایگزین کردن نسل قبل با فرزندان تولید شده.

(5) بررسی شرط خاتمه: اگر برنامه به شرط خاتمه رسیده است به گام 6 بروید در غیر این صورت به گام 2 برگردید.

(6) پایان: بهترین کروموزوم نسل آخر جواب مساله است.

در الگوریتم ژنتیک معمولاً بهترین کروموزوم‌های هر نسل حفظ شده و مستقیماً بدون هیچ گونه تغییری به نسل بعد منتقل می‌شوند به این کار نخبه‌گرایی¹ گفته می‌شود. این کار باید در گام 4 انجام شود. در این گام تعداد مشخصی از بهترین کروموزوم‌های نسل قبل مستقیماً به نسل بعد منتقل می‌شود و بقیه جمعیت نسل قبل از فرزندان تولید شده جایگزین می‌شوند. اگر در شرایط مساله کروموزوم‌ها می‌بایست شرایط خاصی را داشته باشند تا به عنوان یک کروموزوم قابل قبول در جمعیت شناخته شوند لازم است این مساله در بند چهارم از گام 3 بررسی شود. به عبارت دیگر فرزندان تولید شده از نظر مقبولیت باید بررسی شوند. اگر قابل قبول بودند به جمعیت نسل بعد اضافه می‌شوند در غیر این صورت کنار گذاشته می‌شوند. یک مثال واضح از این مساله زمانی است که در DG گذاری ما محدودیت ظرفیت برای واحدهای تولید پراکنده داریم در اینجا کروموزومی قابل قبول است که این محدودیت را نقض نکرده باشد. فلوجارت این روند در شکل (8-1) نشان داده شده است.

¹ Elitism



شکل ۸-۱ فلوجارت اجرای الگوریتم ژنتیک

گام‌های فوق به همراه جزئیات آنها و نحوه اجرا در ادامه توضیح داده می‌شود. مطالب زیر با تمرکز بر مرجع [46] ارائه می‌شود.

۱-۲-۸. کدگذاری

اولین قسمت حل مسئله در روش الگوریتم ژنتیک کدگذاری^۱ کروموزوم‌ها است. خصوصیات کروموزوم‌ها یا همان ژنوم‌ها می‌بایست به صورت یک کد مشخص شود. این کدگذاری به نوع و سنگینی مسئله بستگی دارد. چند نمونه از انواع کدگذاری‌ها در زیر بیان شده است.

۱-۱-۲-۸. کدگذاری باینری^۲

عمومی‌ترین روش کدگذاری در GA روش کدگذاری باینری است. در تحقیقات اولیه که در GA انجام شده است از این روش استفاده شد و در ضمن این روش بسیار ساده است. در روش کدگذاری به روش باینری همه کروموزوم‌ها با رشته‌هایی که شامل بیت‌هایی از ۰ و ۱ است، کد می‌شوند. یک نمونه از این نوع کدگذاری در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۸-۱ کروموزوم با کدگذاری باینری

| | |
|--------------|--------------------------|
| Chromosome A | 101100101100101011100101 |
| Chromosome B | 111111100000110000011111 |

در این کروموزوم‌ها هر بیت یا هر ژن نشان دهنده ویژگی خاصی است. البته می‌توان تعدادی از ژن‌ها را به عنوان یک ویژگی خاص نیز در نظر گرفت.

۲-۱-۲-۸. کدگذاری ارزشی^۳

این روش مشابه کدگذاری باینری است با این تفاوت که به جای ۰ و ۱ از اعداد صحیح یا اعشاری و یا حروف استفاده می‌شود. این روش در مقایسه با قبلی پیچیده‌تر و مشکل‌تر است. برای مثال این روش توسط استفان کرمر^۴، برای حدس ساختار ۳ بعدی یک پروتئین موجود در آمینو اسیدها استفاده

¹ Encoding

² Binary encoding

³ Value encoding

⁴ Estefan cermer

شد. الگوریتم‌های ژنتیکی که برای آموزش شبکه‌های عصبی استفاده می‌شوند، از این روش بهره می‌گیرند. چند نمونه از این کدگذاری در زیر نشان داده شده است.

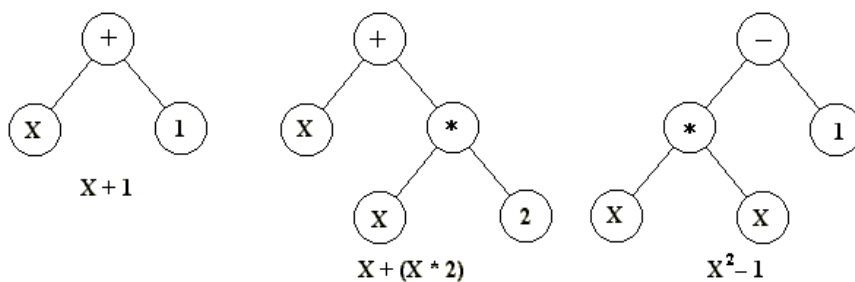
جدول ۸-۲ کروموزوم با کدگذاری ارزشی

| | |
|--------------|--|
| Chromosome A | 1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545 |
| Chromosome B | ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLEFGT |
| Chromosome C | (back), (back), (right), (forward), (left) |

خاصیت دو روش فوق این است که تغییرات در ژن‌ها با تغییر بیت 0 به 1 و یا یک حرف به حرف دیگر و یک عدد به عدد دیگر صورت می‌گیرد.

۸-۲-۱-۳. کدگذاری درختی^۱

یک روش دیگر که توسط جان کوزا^۲ توسعه یافت، برنامه‌نویسی ژنتیک^۳ است که برنامه‌ها را به عنوان شاخه‌های داده در ساختار درخت نشان می‌دهد. در این روش تغییرات تصادفی می‌توانند با عوض کردن عملگرها یا تغییر دادن ارزش یک گره داده شده در درخت، یا عوض کردن یک زیر درخت با دیگری به وجود آیند. چند نمونه از این روش در زیر نشان داده شده است [30].



شکل ۸-۲ کدگذاری درختی

¹ Tree encoding

² John Koza

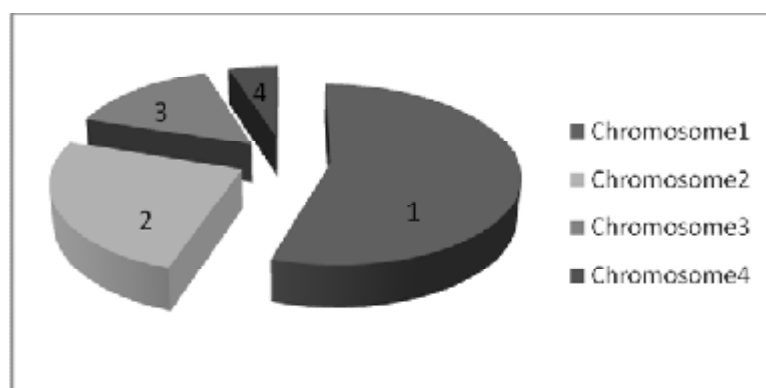
³ Genetic programming

۸-۲-۲. روش‌های انتخاب

روش‌های مختلفی برای الگوریتم‌های ژنتیک وجود دارند که می‌توان برای انتخاب کروموزوم‌ها از آنها استفاده کرد. از جمله این روشها می‌توان به انتخاب چرخ گردان^۱، انتخاب رتبه‌بندی^۲، انتخاب حالت پایدار^۳، انتخاب مسابقه‌ای^۴ و ... اشاره کرد. دو نمونه از این روش‌های انتخاب در ادامه توضیح داده می‌شود.

۸-۲-۲-۱. چرخ گردان

والدین با توجه به مقدار تابع برازندگی آنها انتخاب می‌شوند لذا بهترین کروموزوم‌ها شانس بیشتری برای انتخاب شدن دارند. در تصویر زیر همه کروموزوم‌های یک نسل نشان داده شده است. قسمت‌های مختلف این نمودار برای هر کروموزوم در نظر گرفته شده است. همان طور که دیده می‌شود، اندازه این قسمت‌ها با هم برابر نیست. بلکه این اندازه‌ها به ارزشی که تابع برازندگی به هر کروموزوم می‌دهد وابسته است.



شکل ۸-۳ برازندگی کروموزوم‌های یک نسل

نحوه گزینش در این نوع انتخاب از یک نوع بازی الهام گرفته شده است. روش به این صورت است که یک نشانه یا علامت در خارج از چرخ قرار می‌دهیم و سپس چرخ را می‌چرخانیم. پس از اینکه چرخ ایستاد کروموزومی که روبه‌روی علامت قرار گرفته است انتخاب می‌شود. واضح است

¹ Roulette wheel selection

² Rank selection

³ Steady state selection

⁴ Tournament selection

کوروموزومی که برازندگی آن بیشتر است یا به عبارت دیگر سطح بیشتری از چرخ را اشغال کرده است احتمال انتخاب شدن بیشتر است.

فرآیند بالا را می توان با الگوریتم زیر عملیاتی کرد.

(۱) ابتدا مجموع ارزش تمام برازندگی های کوروموزوم های یک نسل را حساب می کنیم. (s را برابر

با این عدد در نظر می گیریم.

(۲) عدد تصادفی r را در فاصله ۰ تا s انتخاب می کنیم.

(۳) در جمعیت موجود از کوروموزوم ۱ شروع کرده و مقدار تابع برازندگی کوروموزوم ها را با هم تا

زمانی که از مقدار s بیشتر نشده است جمع می کنیم. کوروموزومی که باعث بیشتر شدن جمع

برازندگی ها از مقدار s می شود انتخاب می شود.

۸-۲-۲. انتخاب رتبه ای

روش انتخاب قبلی که توضیح داده شد روش خوبی است، ولی در حالتی که اختلاف

مقدار برازندگی ها در کوروموزوم ها زیاد باشد، دچار مشکل می شود. مثلاً اگر ارزش بهترین

کوروموزوم ۹۰٪ باشد، احتمال کوروموزوم های دیگر برای انتخاب شدن بسیار کمتر خواهد

بود.

در روش انتخاب رتبه ای به این صورت عمل می کنیم که ابتدا جمعیت را یا نسل را رتبه-

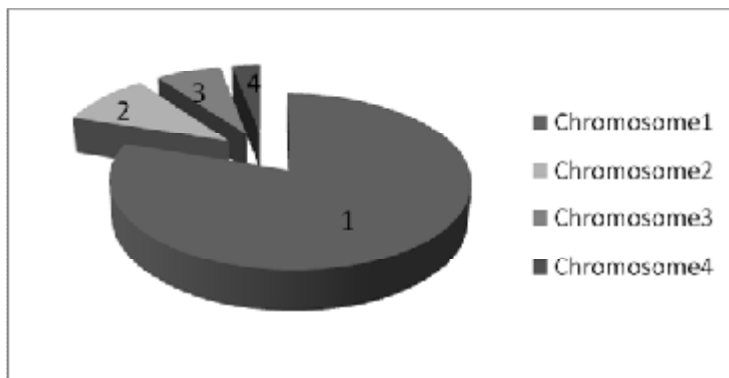
بندی می کنیم. سپس به هر کوروموزوم با توجه به مقدار برازندگی آن عددی اختصاص می-

دهیم برای مثال بدترین کوروموزوم ۱، کوروموزوم بعدی ۲ الی آخر. به بهترین کوروموزوم عدد

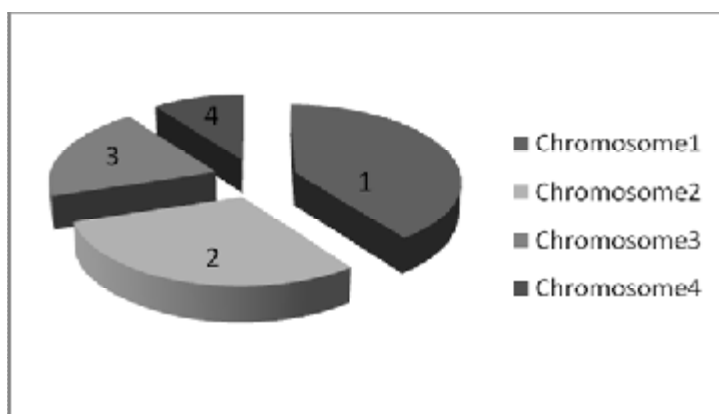
n نسبت داده می شود. (n تعداد کوروموزوم های جمعیت است). در شکل های زیر چگونگی

تغییر نمودار از روش مقداردهی با استفاده از تابع برازندگی به روش مقداردهی با استفاده از

رتبه بندی نشان داده شده است.



شکل ۸-۴ نمودار قبل از رتبه‌بندی



شکل ۸-۵ نمودار بعد از رتبه‌بندی

اکنون همه کروموزوم‌ها شانس انتخاب شدن را دارند. ادامه فرایند مانند روش قبلی است. البته سرعت همگرایی در این روش به خاطر اینکه اختلاف کروموزوم‌ها کاهش پیدا کرده است، کم می‌شود.

۸-۲-۳. روش‌های تغییر

روش‌های تغییر شامل تقاطع (همبری) و جهش می‌شود.

۸-۲-۳-۱. تقاطع

برای تقاطع روش‌های مختلفی وجود دارد در اینجا به روش‌های مرسوم در کدینگ باینری اشاره می‌شود. در سایر کدینگ‌ها نیز روش‌ها مشابه همین روش‌هایی است که بیان می‌شوند. دو نمونه تقاطع در ادامه تشریح می‌شود.

الف) تقاطع با یک نقطه

ابتدا نقطه تقاطع انتخاب می‌شود. رشته باینری کروموزوم اول تا نقطه تقاطع کپی شده و به فرزند انتقال می‌یابد سپس رشته باینری کروموزوم دوم از نقطه تقاطع تا انتها کپی شده و به ادامه رشته کپی شده قبلی متصل می‌شود. رشته جدید فرزند ایجاد شده است.



شکل ۸-۶ تقاطع با یک نقطه

$$11001011 + 11011111 = 11001111$$

ب) تقاطع با دو نقطه

ابتدا دو نقطه برای تقاطع انتخاب می‌کنیم. از ابتدای کروموزوم اول تا نقطه اول کپی شده و به فرزند منتقل می‌شود. سپس از این نقطه تا نقطه بعدی از کروموزوم دوم کپی شده و به فرزند منتقل می‌شود و در نهایت از نقطه دوم تا آخر کروموزوم اول کپی و به انتهای رشته کروموزوم فرزند اضافه می‌شود.



شکل ۸-۷ تقاطع با دو نقطه

$$11001011 + 11011111 = 11011111$$

۲-۳-۲-۸ جهش

در این عملگر یکی از ژن‌های کروموزوم به صورت تصادفی تغییر می‌کند. برای مثال در کدینگ باینری مقدار آن از 0 به 1 و یا بالعکس عوض می‌شود. یک نمونه جهش در کدینگ باینری در زیر نشان داده شده است.

$$11001011 \longrightarrow 11000011$$

۴-۲-۸. نخبه‌گرایی

برای انجام نخبه‌گرایی می‌توان چند تا از بهترین کروموزوم‌های هر نسل را مستقیماً به نسل بعد منتقل کرد و بقیه جمعیت را با تولید فرزندان جدید تکمیل کرد.

۵-۲-۸. نقاط قوت الگوریتم‌های ژنتیک

اولین و مهمترین نقطه قوت این الگوریتم‌ها این است که الگوریتم‌های ژنتیک ذاتاً موازی‌اند. اکثر الگوریتم‌های دیگر موازی نیستند و فقط می‌توانند فضای مسئله مورد نظر را در یک جهت در یک لحظه جستجو کنند و اگر راه حل پیدا شده یک جواب بهینه محلی باشد و یا زیر مجموعه‌ای از جواب

اصلی باشد باید تمام کارهایی که تا به حال انجام شده را کنار گذاشت و دوباره از اول شروع کرد. از آنجایی که GA چندین نقطه شروع دارد، در یک لحظه می‌تواند فضای مسئله را از چند جهت مختلف جستجو کند. اگر یکی به نتیجه نرسید سایر راه‌ها ادامه می‌یابند و منابع بیشتری را در اختیارشان قرار می‌گیرد. در نظر بگیرید: همه ۸ عدد رشته باینری یک فضای جستجو را تشکیل می‌دهند، که می‌تواند به صورت ***** نشان داده شود. رشته ۰۱۱۰۱۰۱۰ یکی از اعضای این فضا است. همچنین عضوهای ***** و ۰۱***** و ***** و ۰*۱*۱*۱*۱* و ۰*۱*۱*۱*۱*۱* و ۰۱*۱*۱*۱*۱*۱* هستند.

به دلیل موازی بودن و این که چندین رشته در یک لحظه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند GAها برای مسائلی که فضای راه حل بزرگی دارند بسیار مفید است. اکثر مسائلی که این گونه‌اند به عنوان "غیر خطی" شناخته شده‌اند. در یک مسئله خطی، برازندگی هر عنصر مستقل است، پس هر تغییری در یک قسمت بر تغییر و پیشرفت کل سیستم تاثیر مستقیم دارد. می‌دانیم که تعداد کمی از مسائل دنیای واقعی به صورت خطی‌اند. در مسائل غیر خطی تغییر در یک قسمت ممکن است تاثیری ناهماهنگ بر کل سیستم و یا تغییر در چند عنصر تاثیر فراوانی بر سیستم بگذارد. خوشبختانه موازی بودن GA باعث حل این مسئله می‌شود و در مدت کمی مشکل حل می‌شود.

یکی از نقاط قوت الگوریتم‌های ژنتیک که در ابتدا یک کمبود به نظر می‌رسد این است که GAها هیچ چیزی در مورد مسائلی که حل می‌کنند نمی‌دانند و اصطلاحاً به آنها "Blind Watchmakers" می‌گوییم. آنها تغییرات تصادفی را در راه حل‌های کاندیدشان می‌دهند و سپس از تابع برزندگی برای سنجش این که آیا آن تغییرات پیشرفتی ایجاد کرده‌اند یا نه، استفاده می‌کنند. مزیت این تکنیک این است که به GA اجازه می‌دهند با ذهنی باز شروع به حل کنند. از آنجایی که تصمیمات آن اساساً تصادفی است، بر اساس تئوری همه راه‌حلهای ممکن به روی مسئله باز است، ولی مسائلی که محدود به اطلاعات هستند باید از راه قیاس تصمیم بگیرند و در این صورت بسیاری از راه‌های نو و جدید را از دست می‌دهند.

یکی دیگر از مزایای الگوریتم ژنتیک این است که آنها می‌توانند چندین پارامتر را همزمان تغییر دهند. بسیاری از مسائل واقعی نمی‌توانند محدود به یک ویژگی شوند تا آن ویژگی ماکزیمم شود یا مینیمم و باید چند جنبه در نظر گرفته شوند. GAها در حل این گونه مسائل بسیار مفیدند و در حقیقت قابلیت موازی کار کردن آنها این خاصیت را به آنها می‌بخشد. و ممکن است برای یک مسئله ۲ یا چند راه حل پیدا شود، که هر کدام با در نظر گرفتن یک پارامتر خاص به جواب رسیده‌اند.

۸-۲-۶. محدودیت‌های الگوریتم ژنتیک

یک مشکل چگونگی نوشتن تابع برازندگی است که منجر به بهترین راه حل برای مسئله شود. اگر این تابع به طور مناسب انتخاب نشود ممکن است باعث شود که راه حلی برای مسئله پیدا نکنیم یا مسئله‌ای دیگر را به اشتباه حل کنیم. به علاوه برای انتخاب تابع مناسب برای برازندگی، پارامترهای دیگری مثل اندازه جمعیت، نرخ جهش و تقاطع، نوع انتخاب هم باید مورد توجه قرار گیرند. مشکل دیگر، که آن را نارس می‌نامیم این است که اگر یک ژنوم که فاصله‌اش با سایر ژنوم‌های نسل-اش زیاد باشد (خیلی بهتر از بقیه باشد) و خیلی زود دیده شود (ایجاد شود) ممکن است محدودیت ایجاد کند و راه حل را به سوی جواب بهینه محلی سوق دهد. این اتفاق معمولاً در تعداد جمعیت‌های کم اتفاق می‌افتد. روش‌های انتخاب Rank, Scaling, tournament selection بر این مشکل غلبه می‌کنند [47].

مراجع

- [1] سازمان مدیریت تولید و انتقال نیروی برق ایران (توانیر)، "استاندارد صنعت برق ایران، معیارهای طراحی، مهندسی و برنامه‌ریزی شبکه‌های فشار متوسط (20 و 33 کیلو ولت)"، وزارت نیرو، 1381.
- [2] R. Sempertegui, J. Bautista, R.G. Cubero, J. Pereira, "Models and Procedures for Electric Energy Distribution Planning: A Review", 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain 2002.
- [3] S. K. Khator, L. C. Leung, "Power Distribution Planning: A Review of Models and Issues", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No. 3, August 1997.
- [4] M. Ponnavaikko and K.S. Rao, "Optimal Distribution System Planning" IEEE Transactions on Power Systems, vol. 100, no. 6, 1981, pp. 2969-2976.
- [5] R.N. Adams and M.A. Laughton, "Optimal Planning of Networks Using Mixed-Integer Programming" Proceeding on IEE, vol. 121, No. 2, 1974, pp. 139-148.
- [6] E. Masud, "An Interactive Procedure for Sizing and Timing Distribution Substations using Optimization Techniques", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. 93, no. 5, 1974, pp. 1281-1286.
- [7] T.H. Fawzi and S.M. Sobki, "A New Planning Model for Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 102, no. 9, 1983, pp. 3010-3017.
- [8] G.L. Thompson, and D.L. Wall, "A Branch and Bound Model for Choosing Optimal Substation Locations", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. 100, no. 5, may 1981.
- [9] H. L. Willis and J.E.D. Northcote-Green, "Comparison of Several Computerized Distribution Planning Methods", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. 104, no.1, 1985, pp. 233-240.
- [10] 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, 1990, pp. 126-32.
- [11] K. Nara, T. Satoh, K. Aoki, M. Kitagawa and K. Yamanaka, "Multi-Year Expansion Planning for Distribution systems", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 6, no. 3, 1991, pp. 952-958
- [12] W.H. Quintana, H.K. Temraz and K.W. Hipel, "Two-stage Power System Distribution Planning Algorithm", IEE Proc-C, vol. 104, no. 1, 1993, pp. 11-29.
- [13] V. Miranda, J.V. Ranito and L.M. Proenca, "Genetic Algorithms In Optimal Multistage Distribution Network Planning", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, No. 4, November 1994, pp.1927- 1933.
- [14] E.C. Yeh, S.S. Venkata and Z. Sumic, "Improved Distribution System Planning Using Computational Evolution", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 2, pp. 668-674, August 1996.
- [15] I.J. Ramirez-Rosado and J. Bernal-Agustfn, "Optimization of the Power Distribution Network Design by Applications of Genetic Algorithms", International Journal of Power and Energy Systems, Vol.15, No. 3, 1995, pp. 104-110.

- [16] I.J. Ramirez-Rosado, J.L. Bernal, "Genetic algorithms applied to the design of large power distribution system ", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, No. 2, May 1998.
- [17] T. Gonen and I.J. Ramirez-Rosado, "Optimal Multi-Stage Planning of Power distribution Systems", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No.2, April 1987.
- [18] I.J. Ramirez-Rosado and T. Gonen, "Pseudo dynamic Planning for Expansion of Power Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, No. 1, February 1991, pp. 245-254.
- [19] J. F. Gómez, 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, may 2004.
- [20] J.M. Nahman and D.M. Peric, "Optimal Planning of Radial Distribution Networks by Simulated Annealing Technique", IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 23, No. 2, May 2008.
- [21] S. Jonnavithula and R. Billinton, "Minimum cost analysis of feeder routing in distribution system planning", IEEE Transaction on Power Delivery, vol.11, no. 4, pp. 1935-940, October 2004.
- [22] H. M. Khodr, Z. Vale, C. Ramos and P. Faria, "Optimization Techniques for Power Distribution Planning with Uncertainties: A Comparative Study", IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2009.
- [23] بلال محمدی کل هسر، علیرضا سیفی، "طراحی امکانی چندهدفه شبکه های توزیع با در نظر گرفتن عدم قطعیت نقاط بار با استفاده از تئوری مجموعه فازی"، اولین کنفرانس مشترک سیستم های هوشمند و فازی 1386.
- [24] Y.H. Moon, B.K. Choi, B.H. Cho, S.H. Kim, B.N. Ha, J.H. Lee, "Fast And Reliable Distribution System Load Flow Algorithm Based On The YBUS Formulation", Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE Volume 1, Issue, Page(s): 238 – 242, 18-22 Jul 1999.
- [25] علی اکبر مسعود گلکار، "طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های توزیع انرژی" چاپ دوم 1385.
- [26] D. Shirmoharmnadi, H. W. Hong, A. Semlyen, 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, May 1988.
- [27] S.K. Goswami, S.K. Basu, "A New Algorithm for the Reconfiguration of Distribution Feeders for Loss Minimization", IEEE Transaction on Power Delivery, July 1992, pp 1484-1491.
- [28] s.k. Goswami, "Distributed System Planning Using Branch Exchange Technique", IEEE Transaction on Power System. Vol. 12, No.2, May 1996.
- [29] G.J. Chen, G.Q. Tang, K.K. Li, T.S. Chung, "A Novel heuristic Method for Distribution System Planning", Electric Power Components and Systems, 1532-5016, Volume 29, Issue 6, 2001, Pages 491 – 502.
- [30] [on line]. Available on: <http://www.wikipedia.com>.
- [31] شهرام جدید و علی زنگنه، "تولیدات پراکنده"، پژوهشکده سبز، دانشگاه علم و صنعت ایران، دی 1385.
- [32] N. Jenkins, R. Allan, P. Crossley, D. Kirschen and G. Starbac, "Embedded Generation".
- [33] L. Wang and C. Singh, "Reliability-Constrained Optimum Placement of Reclosers and Distributed Generators in Distribution Networks Using an Ant Colony System Algorithm", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-part c: Applications and Reviews, vol. 38, no. 6, November 2008.

- [34] X. Chen and W. Gao, "Effects of Distributed Generation on Power Loss, Load ability and Stability", IEEE Volume Issue, Page(s):468 – 473, 3-6 April 2008.
- [35] C. Tautiva and A. Cadena, "Optimal Placement of Distributed Generation on Distribution Networks", Transmission and Distribution Conference and Exposition, Latin America, IEEE, Page(s): 1-5, 2008.
- [36] M. Gandomkar, M. Vakilian and M. Ehsan, "A Combination of Genetic Algorithm and Simulated Annealing for Optimal DG Allocation in Distribution Networks", Electrical and Computer Engineering Conference, Canadian, IEEE, Page(s): 645 – 648, 2005.
- [37] محسن اولادی، مهدی بانژاد و حسین یاسمی، "بهینه‌سازی مکان و ظرفیت تولیدات پراکنده در سیستم‌های توزیع با استفاده از تئوری بازی"، اولین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران، اسفند 1388.
- [38] علی معینی، محسن اولادی و مهدی بانژاد، "تخصیص بهینه تولیدات پراکنده و خازن در شبکه‌های توزیع با در نظر گرفتن قیدهای هزینه سرمایه‌گذاری و موقعیت مکانی به کمک الگوریتم ژنتیک"، دوازدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، مرداد 1388.
- [39] L. Qiwan, D. Wei, Z. Jianquan and L. Anhui, "A New Reconfiguration Approach For Distribution System With Distributed Generation", International Conference on Energy and Environment Technology, IEEE 2009.
- [40] J. Olamaei, T. Niknam, G. Gharehpetian, "Application of Particle Swarm Optimization for Distribution Feeder Reconfiguration Considering Distributed Generators", ELSEVIER, 2008.
- [41] M.A. H. Sayed , A. A. Arram, "Dispersed Generation Impact on Distribution Network Expansion Planning", Power Systems Conference, IEEE, 2009.
- [42] Y.K. Wu, C.Y. Lee, L.C. Liu and S.H. Tsai, "Study of Reconfiguration for the Distribution System with Distributed Generators", IEEE Transaction on Power Delivery, 2010.
- [43] شرکت مهمام شرق
- [44] شرکت برق منطقه‌ای خراسان
- [45] R.L. Haupt, S.E.Haupt, "Practical Genetic Algorithms", a John Wiley & sons, inc., publication, second edition.
- [46] M. Melanie, "An Introduction to Genetic Algorithms", fifth printing, 1999.
- [47] D.E. Goldberg and K. Deb, "A Comparative Analysis of Selection Schemes Used in Genetic Algorithm", Department of General Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign.

Abstract:

The electricity distribution network is one of the important parts in power systems and delivering quality power to the customer's needs a suitable design of the distribution network. Optimal placement of distribution substations and feeders which is abbreviated by "distribution system planning" in this thesis, is also one of the vital issues in the distribution network. As the cost of distribution network is a part of the total cost of the power system, the distribution network is designed with the aim of minimizing the cost.

The aim of this thesis is to perform the distribution electricity network planning with using branch exchange method and distribution load flow considering the presence of the distributed generation. The objective function in this thesis includes installation cost, operation cost and location of feeder and substation. The constraints of the optimization problem are also substation capacity, feeder thermal capacity, voltage drop and configuration of the distribution network. The distribution system planning is firstly undertaken for the case when there is no distributed generation resources. In this case, the optimal placement of feeders and substations is found using intrazone and interzone branch exchanges and structured power flow. In the second case, distribution system planning is performed when the distributed generation resources are present. In this case, the optimization technique employs genetic algorithm. The algorithm for both cases are finally applied to a test distribution network to find the optimal placement of the feeders and substations. The results of the simulations reveal that the algorithm presented in this thesis are capable in determining the optimal location of the feeders and substations with and without distributed generation resources.

Key words: Distribution Systems, Branch Exchange Method, Distributed Generation, Genetic Algorithm.



Shahrood University of Technology
Faculty of Electrical and Robotic Engineering

Optimal placement of distribution substations and feeders considering distributed generation

By:

Mohsen Owlady

Supervisor:

Dr. Mahdi Banejad

Adviser:

Dr. Mohsen Assili

Thesis Submitted for the Degree of Master of Science

May 2010