

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه قدرت

جایابی بهینه واحدهای تولید پراکنده بر اساس معیارهای قابلیت اطمینان

دانشجو:

مرتضی حیدری

استاد راهنما:

دکتر مهدی بانژاد

استاد مشاور:

دکتر امین حاجی زاده

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

زمستان ۱۳۹۰



وزارت آموزش عالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

شماره : ۹۵۰/ت.ب

تاریخ : ۹۰/۱۱/۰۹

ویرایش :

بسمه تعالی

فرم صورتجلسه 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 خاتم / آقای :

مرتضی حیدری رشته : برق گرایش : قدرت

تحت عنوان : جایابی بهینه واحدهای تولید پراکنده بر اساس معیارهای قابلیت اطمینان

که در تاریخ ۹۰/۱۱/۰۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه : عالی) امتیاز (۱۹,۴۳۷) ☒ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱- عالی (۲۰ - ۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶) ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مراجه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر بازراد	استاد	
۲- استاد مشاور	دکترهای زار	استاد	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	مهندس هدایتی	استاد	
۴- استاد منتحن	دکتر مکتوبی	استاد	
۵- استاد منتحن	دکتر رحیمی	استاد	

رئیس دانشکده : محمد الهیوند

خدای رابی ساکرم که از روی کرم پرومادی فداکار نصیم ساخته تادسیه
دخت پر بار وجودشان بیایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان
در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نشان دلیلی است بر بودنم
چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند و دستم را گرفتند و راه رفتن
را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

و آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند
حال این برگ سبزی است تخمه درویش تقدیم آنان....

تقدیر و تشکر:

به نام آن علیمی که شعله عشق به تحصیل را در فانوس سینه پر مهر صاحبان علم و طالبان عمل روشن نمود. حمد و سپاس کردگاری را سزااست که رخصت کسب علم و دانش را به ما عطا فرموده است. اکنون که به فضل خدا در این موقعیت قرار گرفته‌ام بر خود لازم می‌دانم تا از تمامی عزیزانی که در این پروژه از راهنمایی‌ها و مساعدت‌های ایشان بهره برده‌ام، قدردانی نمایم.

بدین وسیله از کلیه اساتید گرانقدرم که در تمام مراحل همواره پشتیبان و حامی بنده بودند، بی‌نهایت سپاسگزارم. به ویژه از استاد ارزشمند جناب آقای دکتر بانژاد که درس‌های بزرگی را از ایشان فرا گرفته‌ام و همواره راهنما و راه‌گشای بنده در اتمام و اکمال پایان نامه بوده‌اند، کمال تقدیر و تشکر را دارم. همچنین لازم می‌دانم از جناب آقای دکتر حاجی زاده که از مشاوره‌های ایشان در انجام این پروژه حداکثر بهره را برده‌ام، کمال تشکر را بنمایم. در پایان از خانواده خوبم که از آغاز تا کنون همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده‌اند و همچنین از کلیه دوستان خود در دانشگاه صنعتی شاهرود که با یاری‌ها و راهنمایی‌های ایشان، بسیاری از سختی‌ها را برایم آسان‌تر نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

مرتضی حیدری

۱۳۹۰

تعهد نامه

اینجانب مهندس محمدرضا... دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق و رباتیک دانشکده مهندسی برق و رباتیک

دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان :

مطالعه و طراحی سیستم کنترل موتور الکتریکی برای رباتیک

تحت راهنمایی آقای دکتر مهندس... متعهد می شوم :

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

تاریخ: ۹/۱۱/۹۰
امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

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

چکیده

نوآوری‌های فنی و تغییرات اقتصادی و زیست محیطی و مشکلات ناشی از احداث و نگهداری نیروگاه‌های بزرگ و تلفات زیاد شبکه‌های سراسری انتقال و توزیع باعث ورود روزافزون منابع تولید پراکنده^۱ در سیستم‌های قدرت شده است. واحدهای تولید پراکنده تأثیرات قابل توجهی از جمله کاهش تلفات و بهبود پروفایل ولتاژ و به خصوص بهبود قابلیت اطمینان را روی شبکه‌های توزیع به وجود می‌آورند. این بهبود پارامترهای سیستم به مشخصات، تکنولوژی و مکان اتصال به شبکه این واحدها وابسته است. که این امر موید ضرورت مکان یابی و ظرفیت یابی مناسب واحدهای تولید پراکنده در کم‌ترین هزینه تحمیلی به سیستم می‌باشد. به علت ساختار غالباً شعاعی شبکه‌های توزیع در صورت رخ دادن خطا به جهت عدم امکان بازیابی بار، خاموشی‌های طولانی مدت به مشترکین اعمال می‌شود. واحدهای تولید پراکنده می‌توانند با تأمین انرژی مصرف کنندگان پایین دست، مدت زمان خاموشی‌ها و تعداد مصرف کنندگان که تحت تأثیر خطا قرار می‌گیرند را کاهش داده و شاخص‌های قابلیت اطمینان را کاهش می‌دهد.

در پژوهش حاضر از دو روش الگوریتم ژنتیک (GA^۲) و الگوریتم بهبود یافته جهش قورباغه (MSFLA^۳) برای جایابی واحدهای تولید پراکنده، در سیستم توزیع استفاده می‌شود. جایابی با تعداد و اندازه‌های متغیر منابع تولید پراکنده انجام می‌پذیرد. در روش پیشنهادی از بهینه سازی چند هدفه با استفاده از ضرایب وزنی برای ترکیب چندین تابع هدف به عنوان تابع هدف کلی استفاده شده است. تابع هدف کلی از چهار زیر تابع شاخص متوسط تعداد دفعات خاموشی سیستم (SAIFI^۴)، شاخص متوسط مدت زمان خاموشی (SAIDI^۵)، شاخص متوسط انرژی تأمین نشده سیستم (AENS^۶) و شاخص هزینه سرمایه گذاری و هزینه تعمیر و نگهداری و هزینه بهره برداری منابع تولید پراکنده

^۱ Distributed Generation

^۲ Genetic Algorithm

^۳ Modified Shuffled Frog Leaping Algorithm

^۴ System Average Interruption Frequency Index

^۵ System Average Interruption Duration Index

^۶ Average Energy Not Supplied

تشکیل شده است. در این پایان نامه روشی برای محاسبه شاخص های قابلیت اطمینان ارائه شده است. همچنین از سیستم نمونه ۳۴ باسه^۱ IEEE برای اثبات کارایی روش پیشنهادی استفاده شده است. نتایج حاصل بهبود قابل ملاحظه ای را در شاخص های قابلیت اطمینان سیستم در کم ترین هزینه تحمیلی به سیستم را نشان می دهد. در پایان پژوهش با مقایسه نتایج حاصل از دو الگوریتم پیشنهادی اعمال شده به مسئله ، کارایی الگوریتم بهبود یافته جهش قورباغه نشان داده شده است.

کلمات کلیدی:

سیستم توزیع، تولید پراکنده، قابلیت اطمینان سیستم قدرت، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه، هزینه واحدهای تولید پراکنده.

¹ Institute of Electrical and Electronics Engineers

مقالات مستخرج از پایان نامه:

- **Optimal Placement of Distributed Generation Resources, International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE 2011), Nagpur, India, Published.**
- **Optimal Placement of Distributed Generation Resources, International Journal of Power System Operation and Energy Management (IJPSOEM) ISSN (PRINT): 2231 – 4407, Published.**
- **Optimal Allocation and Sizing of Distributed Generation Resources, 2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC 2012), IEEE conference, Accepted.**
- **Value-based Distributed Generation placements for Reliability Criteria Improvement, 2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC 2012), IEEE conference, Accepted.**
- **Optimal Allocation and Sizing of Distributed Generation Resources for Reliability Improvement in Distribution Networks Using the Modified Shuffled Frog Leaping Algorithm, 9th International Conference on the European Energy Market EEM12, Accepted.**
- **Value-based Distributed Generation placements for Reliability Criteria Improvement, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering (Submitted 9 Nov. 2011, Revised and pending for Acceptance).**
- **Optimal Allocation and Sizing of Distributed Generation Resources for Reliability Improvement in Distribution Networks Using the Modified Shuffled Frog Leaping Algorithm, International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.), (Submitted 14 Nov. 2011, Pending for Acceptance).**

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه	۱
مقدمه	۲
فصل دوم: منابع تولید پراکنده و قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت	۵
۱-۲ تولید پراکنده	۶
۱-۱-۲ تعریف تولید پراکنده	۷
۲-۱-۲ اهداف استفاده از منابع تولید پراکنده	۷
۳-۱-۲ دلایل رویکرد به منابع تولید پراکنده	۸
۴-۱-۲ مزایای استفاده از منابع تولید پراکنده	۸
۵-۱-۲ کاربردهای مختلف تولید پراکنده	۹
۶-۱-۲ مشکلات به کارگیری منابع پراکنده	۱۰
۲-۲ قابلیت اطمینان	۱۱
۱-۲-۲ مقدمه	۱۱
۲-۲-۲ تعریف قابلیت اطمینان	۱۱
۳-۲-۲ بررسی اقتصادی قابلیت اطمینان	۱۲
۳-۲ قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت	۱۴
۱-۳-۲ ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی	۱۵
۱-۱-۳-۲ اهمیت قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع	۱۵
۲-۳-۲ شاخص‌های قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع	۱۶
۱-۲-۳-۲ شاخص‌های مربوط به مصرف کننده	۱۸
۲-۲-۳-۲ شاخص‌های مربوط به بار و انرژی	۲۱
۴-۲ تولید پراکنده و قابلیت اطمینان سیستم قدرت	۲۲

فهرست مطالب

۲۳	۱-۴-۲ تأثیر مستقیم تولید پراکنده بر بهبود قابلیت اطمینان.....
۲۵	۲-۴-۲ تأثیر غیر مستقیم تولید پراکنده بر بهبود قابلیت اطمینان.....
۲۶	۳-۴-۲ تأثیرات نامطلوب تولید پراکنده بر قابلیت اطمینان.....
۲۶	۴-۴-۲ تأثیر تولید پراکنده بر شاخص‌های قابلیت اطمینان.....
۲۶	۱-۴-۴-۲ مدل مارکوف تولید پراکنده.....
۲۷	۲-۴-۴-۲ ماتریس احتمال گذر تصادفی و مقادیر حدی.....
۲۸	۳-۴-۴-۲ فراوانی هر حالت.....
۲۹	۵-۲ پیشینه پژوهش در زمینه جاییابی منابع تولید پراکنده.....
۳۴	۶-۲ خلاصه فصل.....
۳۵	فصل سوم: روش‌های بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جهش قورباغه.....
۳۶	۱-۳ مقدمه.....
۳۷	۲-۳ الگوریتم ژنتیک.....
۳۷	۱-۲-۳ مقدمه.....
۳۷	۲-۲-۳ مفاهیم الگوریتم ژنتیک.....
۳۹	۳-۲-۳ روش‌های نمایش کروموزوم.....
۴۰	۴-۲-۳ ایجاد جمعیت اولیه.....
۴۰	۵-۲-۳ رمز گشایی کروموزوم‌ها.....
۴۱	۶-۲-۳ ارزیابی جواب‌های هر نسل و قیود مسئله.....
۴۲	۷-۲-۳ عملگر انتخاب.....
۴۳	۱-۷-۲-۳ انتخاب تصادفی.....
۴۳	۲-۷-۲-۳ انتخاب بر اساس رتبه بندی.....

فهرست مطالب

۴۳	۳-۷-۲-۳ روش چرخ گردان یا چرخ رولت
۴۵	۴-۷-۲-۳ روش بولتزمن
۴۵	۵-۷-۲-۳ روش رقابتی
۴۵	۸-۲-۳ عملگر ترکیب یا تقاطع
۴۶	۱-۸-۲-۳ تقاطع تک نقطه‌ای
۴۶	۲-۸-۲-۳ تقاطع چند نقطه‌ای
۴۷	۳-۸-۲-۳ تقاطع یکنواخت
۴۷	۴-۸-۲-۳ نرخ تقاطع
۴۸	۹-۲-۳ عملگر جهش
۴۹	۱۰-۲-۳ توقف یا خاتمه الگوریتم
۵۱	۳-۳ الگوریتم جهش قورباغه
۵۱	۱-۳-۳ مقدمه
۵۲	۲-۳-۳ ساختار الگوریتم جهش قورباغه
۵۴	۳-۳-۳ بهبود الگوریتم قورباغه
۵۸	۴-۳ خلاصه فصل
۵۹	فصل چهارم: تئوری حل مسئله جایابی بهینه منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان
۶۰	۱-۴ مقدمه
۶۲	۲-۴ بیان مسئله
۶۲	۱-۲-۴ فرمول بندی مسئله
۶۳	۲-۲-۴ تابع هدف مربوط به شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم

فهرست مطالب

۶۴.....	۳-۲-۴ تابع هدف مربوط به هزینه واحدهای تولید پراکنده.....
۶۵.....	۴-۲-۴ تابع هدف کلی مسئله.....
۶۵.....	۳-۴ نحوه محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان.....
۶۸.....	۴-۴ نحوه محاسبه تابع هدف مسئله.....
۵۸.....	۵-۴ نحوه استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی در جاییابی بهینه واحدهای تولید پراکنده بر اساس قابلیت اطمینان.....
۷۲.....	۶-۴ خلاصه فصل.....
۷۳.....	فصل پنجم: شبیه سازی روش پیشنهادی بر روی شبکه مورد مطالعه.....
۷۴.....	۱-۵ مقدمه.....
۷۶.....	۲-۵ شبکه مورد مطالعه.....
۸۰.....	۳-۵ اجرای روش پیشنهادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک.....
۸۳.....	۱-۳-۵ نتایج حاصل از الگوریتم.....
۸۷.....	۴-۵ اجرای روش پیشنهادی با استفاده از الگوریتم جهش قورباغه.....
۹۱.....	۱-۴-۵ نتایج حاصل از الگوریتم.....
۹۴.....	۵-۵ مقایسه نتایج و روند تکاملی دو الگوریتم پیشنهادی.....
۹۶.....	۶-۵ خلاصه فصل.....
۹۷.....	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۹۸.....	۱-۶ نتیجه گیری.....
۹۹.....	۲-۶ پیشنهادات.....
۱۰۱.....	پیوست‌ها.....

فهرست مطالب

مراجع	۱۰۳
-------------	-----

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۲) : تغییرات قابلیت اطمینان نسبت به هزینه مصرفی برای افزایش قابلیت اطمینان..... ۱۳
- شکل (۲-۲) : رابطه بین کل هزینه تحمیلی به مصرف کنندگان و شرکت‌های توزیع انرژی با قابلیت اطمینان..... ۱۳
- شکل (۳-۲) : ارزیابی قابلیت اطمینان بخش‌های مختلف یک سیستم قدرت الکتریکی..... ۱۴
- شکل (۴-۲) : مقایسه دو سیستم از لحاظ هزینه در بخش‌های مختلف سیستم قدرت..... ۲۳
- شکل (۵-۲) : دسترس پذیری منابع تولید پراکنده با دیگر منابع..... ۲۴
- شکل (۶-۲) : مدل ۴ حالتی هر باس بار..... ۲۷
- شکل (۱-۳) : فضای نمایش و فضای جواب..... ۳۹
- شکل (۲-۳) : نمایی از یک چرخ گردان..... ۴۴
- شکل (۳-۳) : تقاطع تک نقطه‌ای..... ۴۶
- شکل (۴-۳) : تقاطع چند نقطه‌ای..... ۴۶
- شکل (۵-۳) : تقاطع یکنواخت..... ۴۷
- شکل (۶-۳) : عملگر جهش..... ۴۸
- شکل (۷-۳) : فلوچارت الگوریتم ژنتیک..... ۵۰
- شکل (۸-۳) : جهش بدترین قورباغه به سمت بهترین قورباغه..... ۵۳
- شکل (۹-۳) : جهش بدترین قورباغه به سمت بهترین قورباغه..... ۵۵
- شکل (۱۰-۳) : فلوچارت الگوریتم جهش قورباغه..... ۵۶
- شکل (۱۱-۳) : فلوچارت جستجوی محلی با استفاده از قاعده جهش قورباغه..... ۵۷
- شکل (۱-۴) : نواحی ارزیابی قابلیت اطمینان برای شبکه نمونه ۹ باسه..... ۶۶
- شکل (۲-۴) : فلوچارت نحوه محاسبه تابع هدف..... ۷۰

فهرست شکل‌ها

- شکل (۳-۴) : فرایند عملکرد الگوریتم‌های بهینه سازی ۷۰
- شکل (۱-۵) : ساختار اولیه شبکه نمونه مورد بررسی ۷۶
- شکل (۲-۵) : نواحی ارزیابی قابلیت اطمینان برای شبکه نمونه ۳۴ باسه ۷۷
- شکل (۳-۵) : ساختار کروموزوم پیشنهادی ۸۱
- شکل (۴-۵) : فلوچارت الگوریتم ژنتیک اعمال شده به مسئله ۸۲
- شکل (۵-۵) : ساختار پیشنهادی روش GA برای شبکه نمونه ۸۲
- شکل (۶-۵) : مقایسه هزینه‌های خاموشی مشترکین در ساختار اولیه و روش پیشنهادی الگوریتم ژنتیک ۸۵
- شکل (۷-۵) : نحوه همگرایی تابع هدف با اعمال روش پیشنهادی GA ۸۶
- شکل (۸-۵) : ساختار داده‌ای قورباغه‌ها ۸۸
- شکل (۹-۵) : یکی از جواب‌های ممکن مسئله با استفاده از روش پیشنهادی جهش قورباغه ۸۸
- شکل (۱۰-۵) : فلوچارت الگوریتم جهش قورباغه اعمال شده به مسئله ۹۰
- شکل (۱۱-۵) : ساختار پیشنهادی روش SFLA برای شبکه نمونه ۹۲
- شکل (۱۲-۵) : مقایسه هزینه‌های خاموشی مشترکین در ساختار اولیه و ساختار پیشنهادی جهش قورباغه ۹۳
- شکل (۱۳-۵) : نحوه همگرایی تابع هدف با اعمال روش پیشنهادی SFLA ۹۳
- شکل (۱۴-۵) : مقایسه هزینه‌های خاموشی مشترکین و هزینه واحدهای تولید پراکنده در ساختار پیشنهادی الگوریتم ژنتیک و ساختار پیشنهادی الگوریتم جهش قورباغه ۹۵

فهرست جداول

- جدول (۴-۱) : باس های موجود در نواحی قابلیت اطمینان برای شبکه نمونه ۹ باسه ۶۶
- جدول (۴-۲) : تأثیر پذیری نواحی مختلف قابلیت اطمینان برای شبکه نمونه ۹ باسه ۶۷
- جدول (۴-۳) : جدول خطا ۶۸
- جدول (۵-۱) : مقدار ضرایب وزنی توابع هدف مورد استفاده در شبیه سازی ۷۵
- جدول (۵-۲) : مشخصات واحدهای تولید پراکنده انتخابی ۷۵
- جدول (۵-۳) : مشخصات شاخص های شبکه ۷۶
- جدول (۵-۴) : باس های موجود در نواحی قابلیت اطمینان ۷۸
- جدول (۵-۵) : تأثیر پذیری نواحی مختلف قابلیت اطمینان ۷۹
- جدول (۵-۶) : جدول خطا ۷۹
- جدول (۵-۷) : پارامترهای الگوریتم ژنتیک اعمال شده به مسئله ۸۳
- جدول (۵-۸) : مقایسه ساختار اولیه و ساختار پیشنهادی الگوریتم ژنتیک از نظر وضعیت واحدهای تولید پراکنده ۸۳
- جدول (۵-۹) : نتایج شبیه سازی قبل و بعد از اعمال روش پیشنهادی الگوریتم ژنتیک برای شبکه نمونه ۸۵
- جدول (۵-۱۰) : ساختار صحیح و توصیف متناظر با هر قورباغه ۸۸
- جدول (۵-۱۱) : پارامترهای روش پیشنهادی جهش قورباغه اعمال شده به مسئله ۹۱
- جدول (۵-۱۲) : مقایسه ساختار اولیه و ساختار پیشنهادی الگوریتم SFLA از نظر واحدهای تولید پراکنده ۹۱
- جدول (۵-۱۳) : نتایج شبیه سازی قبل و بعد از اعمال روش پیشنهادی الگوریتم جهش قورباغه برای شبکه نمونه ۹۲

فصل اول

مقدمه

مقدمه

در دهه اخیر، نوآوری‌های تکنولوژیکی و تغییرات اقتصادی و زیست محیطی باعث توجه جدی به سیستم‌های تولید پراکنده شده است. توسعه و پیشرفت در تکنولوژی‌های تولید پراکنده، افزایش تقاضای مشترکان جهت قابلیت اطمینان بیشتر در تولید الکتریسیته، بازار برق و توجه جدی به تغییرات زیست محیطی تأثیر بسزایی در ایجاد این تحول داشته‌اند. در طول دهه گذشته بسیاری از سیستم‌های قدرت دنیا به صورت سیستم‌های تجدید ساختار در آمده‌اند، از این رو پیش بینی می‌گردد که تولید پراکنده نقش مهمی را در شبکه‌های توزیع و سیستم‌های قدرت آینده ایفا کند.

شبکه‌های توزیع اکثراً به صورت شعاعی طراحی می‌شوند که در آن‌ها هیچ منبع تولید در سمت بار وجود ندارد و در صورت خطا به علت عدم امکان بازیابی بار، خاموشی‌های طولانی مدتی به مشترکین تحمیل می‌شود. واحد های تولید پراکنده در این شرایط می‌توانند به خوبی نقش ایفا کرده و ضمن تشکیل جزایر عمدی از تعداد مشترکین که تحت تأثیر خطا قرار گرفته‌اند، بکاهد.

به طور کلی وجود منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع روی توان جاری و شرایط ولتاژ بار و تجهیزات شبکه الکتریکی تأثیر می‌گذارد و این می‌تواند روی پارامترهای عملکردی سیستم تأثیر مثبت یا منفی داشته باشند. به طور کلی فواید استفاده از منابع تولید پراکنده شامل موارد ذیل می‌شود:

- کاهش تلفات برق به دلیل کاهش فاصله جغرافیایی بین محل تولید و مصرف
- افزایش امنیت و قابلیت اطمینان در تأمین انرژی الکتریکی
- بهبود پروفیل ولتاژ
- بهبود کیفیت توان
- آزادسازی ظرفیت سیستم‌های توزیع و انتقال
- افزایش راندمان و کاهش آلودگی محیط زیست

در عین حال می‌توان نتایج اقتصادی بهره‌برداری از واحدهای تولید پراکنده در شبکه را نیز به صورت زیر بر شمرد.

- به تأخیر افتادن سرمایه‌گذاری برای توسعه شبکه و واحدهای عظیم نیروگاهی
- هزینه پایین تعمیر و نگهداری این واحدها
- کاهش هزینه‌های درمان به دلیل کاهش انتشار آلاینده‌ها
- کاهش هزینه ذخیره‌گردان انرژی در شبکه

از آنجایی که دستیابی به مزایای فوق به صورت مؤثر وابسته به مقدار و مکان نصب منابع تولید پراکنده می‌باشد، لذا جایی و مقداریابی بهینه منابع تولید پراکنده از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد و در صورتی که این امر به درستی انجام نگیرد، نه تنها مزایای فوق را برآورده نمی‌سازد بلکه می‌تواند تأثیر منفی بر عملکرد سیستم‌های قدرت داشته باشد.

در بین مزایایی که برای استفاده از مولد های مقیاس کوچک بر شمردیم، بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت توجه بسیاری از کارشناسان و متخصصین شرکت‌های توزیع را بیش از بقیه به خود جلب کرده است. در حال حاضر با پیشرفت صنایع و افزایش هزینه‌های قطع سرویس برای مشترکین مسکونی، تجاری و صنعتی، استفاده از روش‌های نوین جهت بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم و کاهش زمان قطع سرویس مشترکین، برای شرکت‌های ارائه دهنده سرویس اهمیت خاصی یافته است. قابلیت اطمینان در رضایت‌مندی طرف‌های مختلف ذینفع در صنعت برق و به خصوص مشترکین و مصرف کنندگان نقش اساسی را ایفا می‌کند. بدیهی است که در یک محیط رقابتی از سویی فروشندگان و تأمین کنندگان برق باید برای جلب نظر مصرف کنندگان و حفظ محیط رقابتی خود به این مقوله توجه کنند و از سوی دیگر با توجه حساسیت رو به رشد مصرف کنندگان، انتظارات و مطالبات آن‌ها در ارتباط با قابلیت اطمینان تأمین برق، دائماً افزایش می‌یابد.

در این پژوهش ابتدا تابع هدف مناسبی جهت پیگیری هدف بهبود قابلیت اطمینان سیستم و همچنین کاهش هزینه ارائه شده است. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جهش قورباغه،

از این تابع هدف جهت بدست آوردن جواب‌های بهینه استفاده شده است. تابع هدف مورد نظر از چهار بخش تشکیل شده است که شامل شاخص متوسط تعداد دفعات خاموشی سیستم، شاخص متوسط مدت زمان خاموشی، شاخص متوسط انرژی تأمین نشده سیستم و تابع هزینه منابع تولید پراکنده می‌باشد. از هزینه سرمایه گذاری و هزینه تعمیر و نگهداری و هزینه بهره برداری به منظور کمینه کردن هزینه منابع تولید پراکنده استفاده شده است.

برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی از سیستم تست ۳۴ باسه IEEE استفاده شده است.

ساختار گزارش پیش رو به شرح زیر است:

در فصل دوم ضمن مروری بر مقوله منابع تولید پراکنده و مفاهیم قابلیت اطمینان سیستم-های قدرت، مروری هم بر کار دیگران در این زمینه، خواهیم داشت. مروری بر تعریف عمومی، تاریخچه، کاربرد و انواع تولید پراکنده، سناریوهای کاربردی و مشکلات و موانع به کارگیری آن‌ها و همچنین مفاهیم و ارزیابی قابلیت اطمینان و شاخص‌های اصلی آن از جمله مباحث بیان شده در این فصل می‌باشند. پیشینه پژوهش و آخرین مقالات و کارهای انجام شده در زمینه جایابی منابع تولید پراکنده نیز در این فصل مورد بررسی قرار گرفته است.

روش‌های بهینه‌سازی مورد استفاده در پروژه یعنی الگوریتم ژنتیک و همچنین الگوریتم جهش قورباغه در فصل سوم به تفصیل شرح داده می‌شود.

فصل چهارم به ارائه تئوری حل مسئله جایابی بهینه منابع تولید پراکنده و تابع هدف کلی مسئله اختصاص دارد. در این فصل نحوه محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان در یک سیستم نمونه شرح داده می‌شود. در فصل پنجم به پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی ژنتیک و جهش قورباغه بر روی شبکه مورد مطالعه خواهیم پرداخت و مقایسه‌ای بین نتایج دو الگوریتم پیشنهادی خواهیم داشت. نهایتاً فصل ششم به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات اختصاص دارد.

فصل دوم

منابع تولید پراکنده و قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت

۲-۱ تولید پراکنده

در ساختار قدیم صنعت برق در کشورهای پیشرفته و همچنین وضعیت کنونی بسیاری از کشورها وظایف تولید، انتقال و توزیع توان بر عهده شرکت‌های برق یکپارچه بود. افزایش میزان تقاضای توان در چند سال اخیر، در بسیاری از کشورها موجب شد که این شرکت‌ها دیگر نتوانند به صورت مؤثر، جوابگوی این میزان تقاضای زیاد باشند و خاموشی، قطع برق و معیوب شدن تجهیزات و... در بسیاری از کشورها رخ داد و به تبع آن قیمت‌ها در دوره‌های پیک به شدت بالا رفت. همچنین همراه با رشد اقتصادی کشورها و افزایش حساسیت صنایع و انتظارات مشترکین، مسئله کیفیت توان و قابلیت اطمینان انرژی الکتریکی اهمیت یافت.

با تدوین تجدید ساختار در صنعت برق، وظایف انتقال و توزیع از وظیفه تولید جدا شده و به شرکت‌های انتقال و توزیع محول گردید. تجدید ساختار صنعت برق به منظور دستیابی مشترکین به منابع توان رقابتی و دادن اجازه انتخاب به مشترکین از میان منابع صورت گرفت که نتیجه آن، بازار رقابتی برای منابع تولید توان، به ویژه منابع تولید پراکنده گردید.

علاوه بر این مواردی که اشاره کردیم، بحران نفت در سال ۱۹۷۳ موجب شد که بسیاری از کشورهایی که در صنعت خود، به سوخت‌های فسیلی وابسته بودند، در پی یافتن جایگزینی مناسب برای این سوخت‌ها باشند. همچنین با افزایش آگاهی عمومی در مورد مسایل زیست محیطی، یافتن جایگزین مناسب برای سوخت‌های فسیلی اهمیت بیشتری پیدا کرد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که انرژی‌های تجدید پذیر شامل انرژی خورشید، باد، آب، بیوماس، زمین گرمایی و ... که از نظر زیست محیطی تمیز بوده می‌توانند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی باشند. بدین ترتیب عواملی مانند تجدید ساختار صنعت برق، نیاز به افزایش ظرفیت سیستم و پیشرفت تکنولوژی‌ها به طور هم‌زمان، پایه و اساس معرفی تکنولوژی‌های تولید پراکنده می‌باشند. منابع تولید پراکنده می‌توانند در نزدیکی مصرف کننده‌های انتهایی در مناطق صنعتی، در کنار ساختمان‌ها و ... مورد استفاده قرار گیرند.

علاوه بر این‌ها تولید پراکنده در مناطق دور دست نیز به کار گرفته می‌شود. به طور کلی می‌توان تولید پراکنده را تولید انرژی در محل مصرف دانست [۳,۱].

به طور کلی با توجه به تعاریف ساده‌ای که برای تولیدات پراکنده ارائه کردیم، می‌توان انواع منابع تولید پراکنده بدین صورت دسته بندی کرد: انرژی بادی، انرژی خورشیدی، انرژی زمین گرمایی، پیل های سوختی، میکروتوربین ها، دیزل ژنراتور.

۲-۱-۱ تعریف تولید پراکنده

تعاریف مختلفی برای تولید پراکنده ارائه شده است، ولی تعریف جامع و مناسب آن، عبارتست از منبع انرژی الکتریکی که مستقیماً به شبکه توزیع و یا سمت مصرف کننده وصل می‌گردد. چیزی که عموماً مورد قبول است، این است که این مولدها صرف نظر از نحوه تولید توان آن‌ها، نسبتاً کوچک بوده و ظرفیت آن‌ها معمولاً کمتر از ۲۵ مگا وات می‌باشد و مستقیماً به شبکه توزیع وصل می‌شوند. تعاریفی دیگر نیز توسط سازمان‌های مختلف ارائه شده است که تا حدودی متفاوت است. موسسه IEEE تولید برق توسط وسایلی که به اندازه کافی از نیروگاه‌های مرکزی کوچک‌تر باشند و قادر به نصب در محل مصرف هستند را به عنوان تولید پراکنده تعریف کرده است. ^۱ IEA واحدهای تولید کننده توان در محل مصرف یا در داخل شبکه توزیع که توان را به طور مستقیم به شبکه توزیع محلی تزریق می‌کنند را تولید پراکنده معرفی می‌کند [۲].

۲-۱-۲ اهداف استفاده از منابع تولید پراکنده

اهداف استفاده از این منابع از دید شرکت توزیع و دید مشترکین متفاوت است. اهداف مورد نظر شرکت‌های برق و توزیع می‌تواند در آزاد سازی ظرفیت شبکه توزیع، بهبود قابلیت اطمینان سیستم، بهبود کیفیت توان، پروفایل ولتاژ و کاهش تلفات باشد. اگر مالکیت واحدهای تولید پراکنده در اختیار مشترکین یا همان بخش خصوصی باشد، اهداف آن‌ها متفاوت خواهد بود به طور مثال می‌توان فروش

¹ International Energy Agency

برق در بازار انرژی، بهبود قابلیت اطمینان خود و همچنین مشوق‌های شرکت‌های توزیع را نام برد. اما به طور کلی می‌توان هدف استفاده از منابع تولید پراکنده را تأمین تمام یا قسمتی از توان اکتیو مصرفی شبکه به صورت تمام وقت یا پاره وقت نام برد [۳-۱].

۳-۱-۲ دلایل رویکرد به منابع تولید پراکنده

تجدید ساختار در صنعت برق و حرکت در جهت افزایش رقابت و افزایش ورود بخش خصوصی به صنعت برق و همچنین افزایش روزافزون مصرف انرژی الکتریکی و احساس نیاز به بهبود و توسعه سیستم قدرت و پیشرفت تکنولوژی‌های تولید پراکنده را می‌توان از علل رویکرد به منابع تولید پراکنده بر شمرد. همچنین می‌توان از محیط زیست که ادامه حیات بشر به آن وابسته می‌باشد، نیز نام برد. استفاده روز افزون از منابع فسیلی از همان ابتدای اکتشاف تا آخرین مرحله مصرف همراه با ایجاد آلودگی برای محیط زیست می‌باشند [۳، ۱].

۴-۱-۲ مزایای استفاده از منابع تولید پراکنده

به کارگیری منابع تولید پراکنده در سیستم توزیع مزایای زیست محیطی، اقتصادی و فنی بسیار زیادی به دنبال خواهد داشت. برای رسیدن به این مزایا تولید پراکنده باید دارای اندازه مناسب و در مکان‌های مناسب نصب شوند که این امر موید ضرورت بحث جایی منابع تولید پراکنده می‌باشد. مزایای زیادی برای منابع تولید پراکنده نام برده شده است که از آن جمله می‌توان به مزایای زیر

اشاره نمود [۳، ۱] :

- کمک به ژنراتورهای اصلی در بار پیک
- کاهش نیاز به وجود ژنراتورهای رزرو
- افزایش ظرفیت شبکه در مدت کمتر و با هزینه‌ی کمتر
- سازگاری بیشتر با محیط زیست
- تولید هم‌زمان انرژی الکتریکی و گرما با یک منبع انرژی

- ایجاد رقابت بیشتر بین تولید کنندگان انرژی الکتریکی و تحقق بیشتر مسئله خصوصی سازی
- کاهش تلفات انتقال و توزیع
- آزاد کردن ظرفیت سیستم انتقال
- کاهش هزینه‌ی سرویس سیستم انتقال
- افزایش قابلیت اطمینان
- استفاده‌ی مفیدتر از سوخت
- به تعویق افتادن جایگزینی بخش‌هایی از سیستم قدرت (کاهش سرمایه گذاری در انتقال و

توزیع)

- بهبود کیفیت برق تحویلی به مصرف کنندگان حساس
- بهبود پروفایل ولتاژ
- امکان قدرت انتخاب منبع انرژی الکتریکی توسط مصرف کننده
- تأمین انرژی الکتریکی اقتصادی برای مناطق دور افتاده
- استفاده به عنوان مولدهای آماده به کار
- امکان پرداخت هزینه کمتر در زمان قیمت پیک

۲-۱-۵ کاربردهای مختلف تولید پراکنده

همان طور که قبلاً ذکر شد استفاده از تولید پراکنده دارای مزایایی از جمله کاهش هزینه‌ها، افزایش کیفیت توان، قابلیت اطمینان و... است از طرفی استفاده از تولید پراکنده در شبکه علاوه بر سودهایی که دارد زیان‌هایی نیز دارد که پیچیدگی سیستم حفاظت از آن جمله است. با توجه به سود و زیان‌های موجود و بنابر شرایط موجود در هر وضعیتی، از تولید پراکنده به یکی از صورت‌های زیر استفاده می‌شود [۷]:

۱. استفاده از تولید پراکنده به صورت جدا از شبکه برای جلوگیری از اثرات زیان آور آن

برای شبکه و استفاده از مزایای آن و نیز تولید برق در مناطق دور از شبکه توزیع.

۲. استفاده از تولید پراکنده به عنوان ظرفیت رزرو برای محل‌هایی که قطع برق ممکن

است زیان‌های غیر قابل جبران تحمیل کند.

۳. استفاده از تولید پراکنده به صورت متصل به شبکه برای جبران کمبود تولید و به عنوان

منبع قابل اتکای انرژی

۴. استفاده از تولید پراکنده برای جبران بار پیک، در این حالت که اغلب توسط

شرکت‌های برق انجام می‌شود. از این منابع برای مقابله با تحمیل افزایش تولید ایجاد

شده توسط بار پیک استفاده می‌شود.

۲-۱-۶ مشکلات به کارگیری منابع پراکنده

علیرغم تمام مزایایی که برای منابع تولید پراکنده بر شمردیم، باید به اثرات منفی احتمالی

این منابع برای روی شبکه توزیع توجه داشته باشیم که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [۴-۶]:

- پدیده‌ی فلیکر ولتاژ که ممکن است توسط منابع پراکنده به وجود آید.
- پیچیده شدن شبکه و سیستم‌های حفاظتی شبکه که باعث سخت‌تر شدن بهره برداری و کنترل شبکه می‌شود.
- ژنراتورهای تولید پراکنده ممکن است موجب تولید هارمونیک در شبکه شوند.
- میزان جریان اتصال کوتاه ناشی از مجموعه‌ی منابع پراکنده موجود در سیستم توزیع ممکن است آنقدر زیاد شود که باعث اشتباه عملکرد سیستم‌های حفاظتی و کاهش قابلیت سیستم شود.
- عملکرد منابع تولید پراکنده متصل به شبکه به صورت جزیره‌ای در هنگام خاموشی شبکه که ممکن است برای تعمیر کاران شبکه بسیار خطرناک باشد.

۲-۲ قابلیت اطمینان

۲-۲-۱ مقدمه

هدف کارشناسان و برنامه ریزان سیستم‌های قدرت از طراحی و ساخت انواع شبکه‌ها و سیستم‌های ساده و پیچیده، افزایش سطح کارایی سیستم و در نتیجه آن رشد شاخص‌های اقتصادی و مهم‌تر از همه افزایش رضایتمندی مصرف کنندگان می‌باشد. از کارافتادگی و اختلال در سیستم، گاه صدمات جبران ناپذیری را به سیستم و مشترکین وارد می‌کند و بسیاری از مردم را از شرایط عادی زندگی خود خارج می‌کند. همین اتکا کار و زندگی مردم به انرژی الکتریکی باعث بالا رفتن سطح توقع مردم شده است و بروز حوادثی که منجر به قطع برق و یا عدم کیفیت مناسب برق دریافتی می‌شود، اعتراضات گسترده مردمی را در پی خواهد داشت. این عوامل و بسیاری از عوامل دیگر باعث شده است که امروزه ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده و تبدیل به یکی از فاکتورهای مهم در طراحی سیستم‌های قدرت شود.

ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت بدون شناخت عوامل به وجود آوردن حوادث ممکن نخواهد بود. از طرفی برای شناخت حوادث نیازمند به اطلاعات و آمار صحیح خواهیم بود. پس اولین قدم در شناخت حوادث جمع آوری اطلاعات صحیح و تحلیل آماری آن‌ها می‌باشد. داده‌های گردآوری شده از سابقه سیستم بایستی پاسخگوی فاکتورهایی که بر قابلیت اطمینان سیستم تأثیر می‌گذارند، باشند و بتوان با استفاده از آن‌ها، کلیه داده‌های ورودی مورد نیاز روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان را بدست آورد.

۲-۲-۲ تعریف قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان یک وسیله یا یک سیستم عبارتست از «احتمال اینکه آن وسیله یا سیستم تحت شرایط معینی در مدت زمان معین، عملکرد موفقیت آمیزی داشته باشد و دچار خرابی نشود».

این تعریف شامل چهار بخش اصلی است که عبارتند از :

۱. احتمال

۲. عملکرد رضایت بخش

۳. زمان معین

۴. کار معین

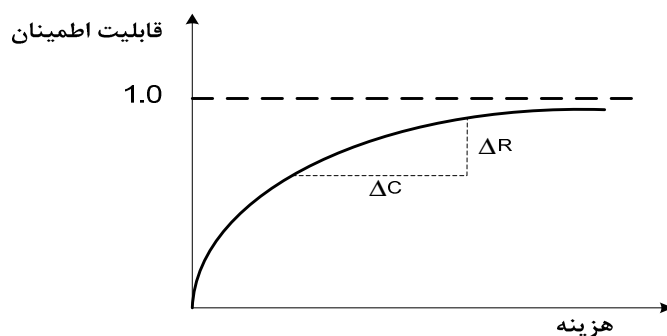
بخش احتمال با یک عدد بیان می‌شود که همان شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان می‌باشد. اما در ارزیابی سه بخش دیگر که همگی پارامترهای مهندسی می‌باشند و تئوری احتمال هیچ‌گونه کمکی نمی‌کند [۸].

تعیین معیارهای عملکرد رضایت بخش یک مسئله مهندسی می‌باشد که بستگی به نوع سیستم و مصرف کننده دارد. از کار افتادگی ممکن است به شکل‌های مختلفی از جمله از کار افتادگی فاجعه آمیز، از کار افتادگی عمده و تنزل مشخصات از یک حدود معین در یک سیستم بروز کند.

۲-۲-۳ بررسی اقتصادی قابلیت اطمینان

هزینه نقش بسیار مهمی را در کاربرد و قابلیت اطمینان یک سیستم ایفا می‌کند. افزایش تقاضا برای سطوح بالای قابلیت اطمینان منجر به سرمایه گذاری و صرف هزینه بیشتر در سیستم‌ها خواهد شد و اینکه سرمایه بعدی در کجا و بر روی چه چیزی در سیستم هزینه شود تا بیشترین بهبود را در قابلیت اطمینان سیستم داشته باشیم، تبدیل به یکی از دغدغه‌های برنامه ریزان و طراحان سیستم‌ها شده است.

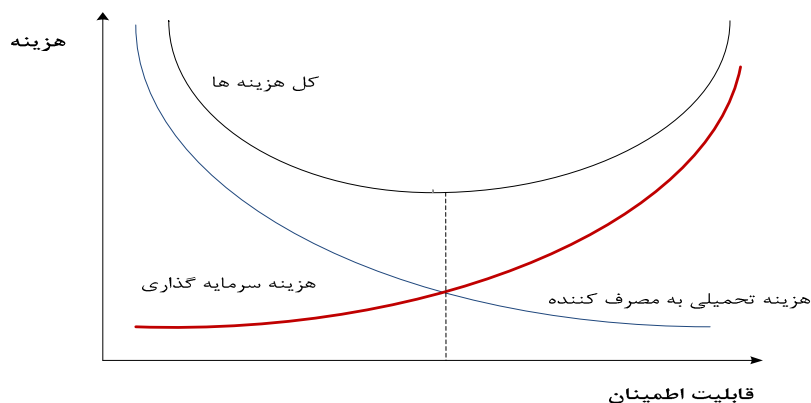
پس می‌توان گفت قابلیت اطمینان و هزینه نقش مهم و عمده‌ای در فرآیند تصمیم گیری دارند. اولین قدم در فرآیند تصمیم گیری، تعیین نرخ افزایش هزینه به ازاء افزایش قابلیت اطمینان یک سیستم می‌باشد که در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱): تغییرات قابلیت اطمینان نسبت به هزینه مصرفی برای افزایش قابلیت اطمینان [۸]

همان‌طور که در شکل (۲-۱) ملاحظه کردید نسبت $\Delta C / \Delta R$ با افزایش هزینه سرمایه گذاری به مقدار قابل ملاحظه‌ای زیاد می‌شود. این بدان معنی است که بهبود قابلیت اطمینان همواره مستلزم سرمایه گذاری بیشتر است. همچنین با صرف سرمایه گذاری معین در سطوح بالاتری از قابلیت اطمینان، بهبود کمتری در قابلیت اطمینان بدست می‌آید.

با توجه به اینکه شاخص $\Delta C / \Delta R$ منافع تولیدکننده و مصرف کننده را به خوبی منعکس نمی‌کند، می‌توان دو مقوله قابلیت اطمینان و هزینه را از طریق مقایسه هزینه دست‌یابی به قابلیت اطمینان مشخص و ارزش‌های حاصل از آن سطح قابلیت اطمینان به شکل منسجم‌تری ارزیابی کرد. ارزیابی هزینه دست‌یابی به قابلیت اطمینان در مقابل ارزش حاصله به صورت ساده در شکل (۲-۲) آورده شده است.



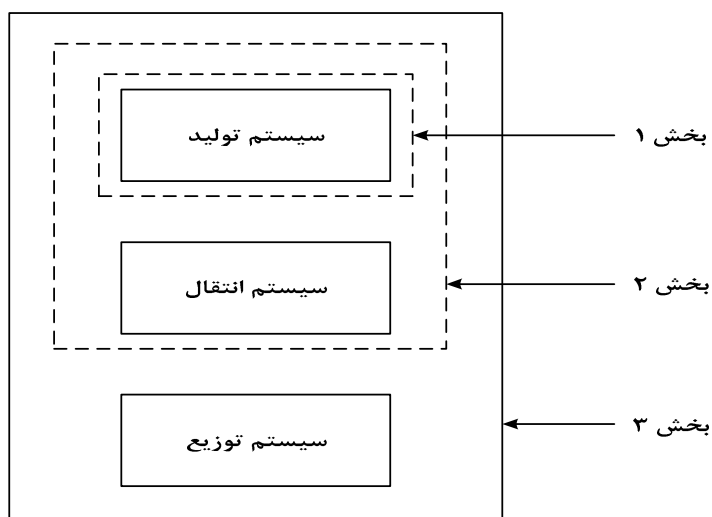
شکل (۲-۲): رابطه بین کل هزینه تحمیلی به مصرف کنندگان و شرکت‌های توزیع انرژی با قابلیت اطمینان [۸]

همان‌طور که در شکل (۲-۲) ملاحظه کردید قابلیت اطمینان یک سیستم با صرف هزینه

افزایش می‌یابد، از طرفی هزینه‌های تحمیلی به مصرف کننده به دلیل از کار افتادگی با افزایش قابلیت اطمینان کم می‌شود. مجموع این دو منحنی، هزینه کلی قابلیت اطمینان است. بنابراین نقطه بهینه که بیان کننده سطح قابلیت اطمینان بهینه می‌باشد، نقطه مینیمم این مجموع است [۸].

۳-۲ قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت

همان‌طور که در قسمت‌های قبلی بیان شد، شرایط اقتصادی، اجتماعی و سیاسی کنونی حاکم بر عملکرد سیستم‌های قدرت باعث شد که ارزیابی قابلیت اطمینان اهمیت ویژه‌ای پیدا کند و برنامه ریزان و شرکت‌های برق را به فکر افزایش قابلیت اطمینان سیستم‌های خود بیندازد. ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت را می‌توان به دو بخش کفایت^۱ سیستم و امنیت^۲ سیستم تقسیم کرد. کفایت سیستم مربوط به وجود امکانات و تجهیزات با کارایی بالا در سیستم است که نیازمندی‌های مصرف کنندگان و محدودیت‌های عملکرد سیستم را برآورده می‌کند. امنیت سیستم مربوط به توانایی پاسخگویی سیستم به اغتشاشاتی است که در سیستم بروز می‌کند. تکنیک‌های اصلی ارزیابی کفایت را از لحاظ کاربریشان در بخش‌های مختلف یک سیستم قدرت می‌توان مطابق با شکل (۳-۲) به سه بخش تقسیم کرد.



شکل (۳-۲): ارزیابی قابلیت اطمینان بخش‌های مختلف یک سیستم قدرت الکتریکی [۹]

¹ Adequacy

² Security

بخش اول شامل ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستم‌های تولید الکتریکی است. بخش دوم شامل ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستم‌های تولید و انتقال به صورت هم‌زمان است. در بخش سوم نیز قابلیت اطمینان در سیستم‌های تولید، انتقال و توزیع با هم ارزیابی می‌شود [۹].

۲-۳-۱ ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی

قابلیت اعتماد سیستم توزیع تا چند دهه پیش اهمیت چندانی نداشت چرا که نیروگاه‌های تولید برق به راحتی جوابگوی تقاضا بودند. با افزایش تقاضا و بیشتر شدن تعداد مصرف کنندگان و نیز اهمیت تداوم در برق رسانی به مشترکین، می‌بایستی به این مسأله اهمیت بیشتری داده می‌شد.

۲-۳-۱-۱ اهمیت قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع

یکی از اهداف مهم طراحان و برنامه ریزان در سیستم قدرت تأمین انرژی الکتریکی و ارائه خدمات با کیفیت مناسب و با کم‌ترین هزینه به مشترکین می‌باشد. قابلیت اطمینان نقش مهمی را در رسیدن به این هدف بزرگ ایفا می‌کند بطوریکه امروزه یکی از مهم‌ترین فاکتورها در طراحی و بهره برداری از سیستم‌های قدرت، شناخت قابلیت اطمینان و چگونگی افزایش سطح آن در سیستم می‌باشد.

به طور کلی شبکه توزیع در نقش یک واسطه بین مصرف کننده و سیستم بزرگ قدرت عمل می‌کند و می‌توان گفت به عنوان آخرین زیر سیستم قدرت، وظیفه نهایی سیستم را که همان توزیع انرژی به مشترکین می‌باشد، را بر عهده دارد. بدیهی است که قابلیت اطمینان در شبکه توزیع دارای اهمیت و جایگاه بسیار مهمی باشد. ویژگی‌های مهم شبکه توزیع که اهمیت بحث‌های قابلیت اطمینان را در این بخش نشان می‌دهد عبارتند از :

- گسترده‌ترین بخش سیستم قدرت و پیچیدگی آن
- اهمیت بار در شبکه‌های توزیع
- مصرف کنندگان فراوان

• تأثیرات اجتماعی

بررسی وقفه‌های مشترکین نشان می‌دهد که سیستم توزیع با توجه به گستردگی و کیفیت پایین تجهیزات به کار رفته در این سیستم، نقش عمده‌ای در عدم دسترسی مصرف کنندگان به انرژی الکتریکی دارد. بر اساس آمار تقریباً بیش از ۸۸٪ خرابی در سیستم قدرت، به دلیل وقفه‌ها و مشکلات سیستم توزیع ایجاد می‌گردد [۹].

همچنین با رشد صنایع حساس، تقاضا برای انرژی با قابلیت اطمینان بیشتر شده و حساسیت مشترکین نسبت به قطعی‌های انرژی الکتریکی بیشتر شده است. همه این موارد سبب گردیده که متخصصین و برنامه ریزان صنعت برق، قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع را بیشتر مورد توجه قرار دهند و با بررسی آن، نقاط ضعف شبکه‌های توزیع را شناسایی و سعی در برطرف کردن آن‌ها نمایند. به علت ساختار عموماً شعاعی شبکه‌های توزیع در صورت بروز خطا در طول شبکه تمام بار یک فیدر قطع شده و تا زمان رفع عیب این قطعی ادامه پیدا کند. می‌توان با پیش بینی نکاتی مانند کاهش اثر خطا بر روی عملکرد سیستم توزیع در طراحی، کاهش عوامل ایجاد کننده خطر و کاهش زمان رفع عیب و استفاده از تجهیزات مناسب، قابلیت اطمینان این شبکه را تا مقدار زیادی افزایش داد. برای ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع دو پارامتر اساسی نرخ خطا^۱ و مدت زمان خاموشی^۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد و با استفاده از این پارامترها شاخص‌های اساسی و شاخص‌های قابلیت اطمینان محاسبه می‌گردند.

۲-۳-۲ شاخص‌های قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع

ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع زیر مجموعه‌ای از محاسبات قابلیت اطمینان سیستم قدرت می‌باشد. ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم توزیع توسط شاخص‌های مرتبط که در سال ۱۹۹۸ در استاندارد IEEE Std-1366 معرفی شده است، انجام می‌پذیرد.

^۱ Failure rate

^۲ Interruption duration

این شاخص‌ها مجموعی آماری از داده‌های احتمالی است که برنامه ریزان سیستم‌های قدرت و اپراتورها از آن به عنوان ابزاری برای بهبود سرویس دهی به مصرف کنندگان استفاده می‌کنند. برنامه ریزان با استفاده از آن نیازهای سیستم (تولید، انتقال، توزیع) را تعیین می‌کنند و اپراتورها با استفاده از آن مطمئن می‌شوند که آیا سیستم قابلیت مقاومت کردن در مقابل خطاهای متداول بدون حادثه و خاموشی را دارد. قبل از معرفی این شاخص‌ها ضروری است به سه پارامتر اساسی که در مطالعه و ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع اهمیت ویژه‌ای دارند اشاره گردد. این سه پارامتر اساسی نرخ خطای متوسط (λ_s) بر حسب خطا به سال، زمان متوسط خروج سیستم از حالات عملکرد (r_s) بر حسب ساعت و زمان متوسط سالیانه خروج از حالت عملکرد یا عدم دسترس بودن متوسط در دوره زمانی مطالعه (U_s) بر حسب ساعت به سال می‌باشد. این پارامترهای اساسی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع به کمک نتایج آماری خطاهای سال‌های گذشته واقع شده در سیستم به دست می‌آیند [۹].

قبل از معرفی شاخص‌ها لازم است به این نکته توجه شود که سیستم‌های توزیع شعاعی (اغلب سیستم‌های توزیع از نوع سیستم‌های شعاعی می‌باشند) در محاسبات قابلیت اطمینان به صورت یک سیستم با عناصر سری مدل می‌شوند و معادلات مربوط به سیستم سری در آن صدق می‌کند. با توجه به این نکته در این سیستم‌ها باید تمام عناصر بین باس بار و تغذیه شبکه در حالت عملکرد باشند، تا مصرف کننده بتواند تغذیه گردد. لذا برای معرفی شاخص‌ها نیاز است یک سیستم سری با n مؤلفه در نظر گرفته شود. در این سیستم پارامترهای اساسی مذکور را می‌توان از روابط زیر به دست آورد:

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (1-2)$$

$$U_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i = \lambda_s r_s \quad (2-2)$$

$$r_i = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i r_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{U_s}{\lambda_s} \quad (3-2)$$

که در آن λ_i نرخ خرابی و r_i مدت زمان خاموشی عنصر i ام شبکه می‌باشد [۹-۱۱].

آنچه مسلم است این پارامترها به تنهایی نمی‌توانند تعیین کننده رفتار و وضعیت سیستم باشند. برای ایجاد نمایی ملموس‌تر از وضعیت شبکه و همچنین اهمیت ویژه خروج سیستم از حالت عملکرد که می‌تواند حجم بسیار بالایی از مصرف کنندگان را دچار خاموشی کند، از شاخص‌های متعددی که در استاندارد IEEE Std-1366 مطرح شده‌اند، استفاده می‌شود. در این استاندارد شاخص‌ها در دو نوع شاخص‌های مربوط به مصرف کننده و شاخص‌های بار تعریف شده‌اند. با توجه به تعدد این شاخص‌ها، در ادامه به بررسی مهم‌ترین و پرکاربردترین آن‌ها می‌پردازیم [۱۲].

۲-۳-۱ شاخص‌های مربوط به مصرف کننده

❖ شاخص متوسط تعداد دفعات خاموشی در سیستم (SAIFI)

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} = \frac{\text{تعداد کل قطعی‌های مشترکین}}{\text{تعداد کل مشترکین}} \quad (4-2)$$

که در آن λ_i نرخ خطا و N_i تعداد مشترکین وصل شده به باس بار i ام می‌باشد و بر حسب وقفه^۱ یا خطا^۲ بر سال (fault/year) بیان می‌گردد. این شاخص نشان می‌دهد که در دوره زمانی مورد مطالعه، به طور متوسط هر مشترک چند بار قطع شده است. به عبارت دیگر این شاخص نشان می‌دهد که با توجه به خاموشی‌های ناشی از خطاها، هر یک از مشترکین شبکه در طول زمان مورد مطالعه چند بار به طور متوسط قطع شده‌اند.

¹ Interruption

² Fault

❖ شاخص متوسط مدت زمان خاموشی سیستم (SAIDI)

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} = \frac{\text{مجموع مدت زمان خاموشی مشترکین}}{\text{تعداد کل مشترکین}} \quad (5-2)$$

در این رابطه N_i تعداد مشترکین باس بار i ام و U_i نیز مدت زمان خروج آن می‌باشد و بر حسب ساعت بر سال (hr/year) بیان می‌گردد و بیانگر مدت زمان متوسط خاموشی هر مشترک در دوره زمانی مورد مطالعه است. به عبارت دیگر این شاخص نشان می‌دهد که در طی خطاهایی که در بازه زمانی مورد مطالعه در شبکه رخ داده، هر یک از مشترکین شبکه به طور متوسط چه مدت زمان را بی برق بوده‌اند. به عبارت دیگر هر یک از مشترکین به طور متوسط چه مدت زمانی ممکن است از مدار خارج شده باشند. کاهش SAIDI به معنی کاهش مجموع مدت زمان‌های قطع برق مشترکین است و در نتیجه کاهش آن به معنی بهبود قابلیت اطمینان است.

❖ شاخص متوسط زمان خاموشی مشترکین ($CAIDI^1$)

$$CAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i N_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i N_i} = \frac{\text{مجموع زمان‌های خاموشی مشترکین}}{\text{تعداد کل خاموشی‌های مشترکین}} \quad (6-2)$$

این شاخص بیانگر متوسط زمان خاموشی هر مشترک به ازای هر بار خاموشی می‌باشد و بر حسب ساعت بر وقفه (hr/fault) بیان می‌گردد. در این شاخص، بر خلاف شاخص SAIDI متوسط زمان خاموشی هر یک از مشترکین به صورت متوسط مدنظر نمی‌باشد. بلکه در این شاخص مدت زمان متوسط برای تمام مشترکینی که حداقل یک بار دچار قطعی (خاموشی) شده باشند به دست می‌آید. این شاخص می‌تواند با کاهش طول مدت زمان خاموشی و یا با افزایش تعداد خاموشی‌های برق ایجاد شده برای مشترکین، کاهش یابد؛ پس کاهش آن لزوماً به معنی بهبود قابلیت اطمینان نیست.

¹ Customer Average Interruption Duration Index

❖ شاخص متوسط دسترسی (عدم دسترسی) به انرژی برق^۱ $ASAI$ ($ASUI$)

(۷-۲)

$$ASAI = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot 8760 - \sum_{i=1}^n U_i \cdot N}{\sum_{i=1}^n N_i \cdot 8760} = \frac{\text{مجموع زمان‌های خاموشی مشترکین} - \text{کل ساعت‌های مورد نیاز مشترکین در تامین انرژی}}{\text{کل ساعت‌های مورد نیاز مشترکین در تامین انرژی}}$$

$$ASUI = 1 - ASAI \quad (۸-۲)$$

شاخص $ASAI$ میزان دسترسی مشترکین به انرژی برق را به صورت درصد ساعات برق دار بودن نسبت به کل ساعت‌های مورد نیاز مشترکین در تأمین انرژی برق در یک سال را بیان می‌کند. بنابراین مقادیر بالاتر $ASAI$ نشان دهنده سطوح بالاتر قابلیت اطمینان هستند.

شاخص $ASUI$ بر خلاف شاخص $ASAI$ میزان عدم دسترسی مشترکین به انرژی برق را نسبت به کل ساعت‌های مورد نیاز مشترکین در تأمین انرژی بیان می‌کند.

❖ شاخص متوسط تعداد خاموشی مشترکین^۳ ($CAIFI$)

این شاخص مشابه با شاخص $SAIFI$ می‌باشد با این تفاوت که تعداد خاموشی‌ها به جای محاسبه بر مبنای کل مشترکین، بر مبنای مشترکینی که یک یا تعداد بیشتری خاموشی را در دوره زمانی مورد مطالعه تجربه کرده‌اند، محاسبه می‌شوند.

$$CAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i N_i}{N_{CI}} = \frac{\text{تعداد کل قطعی های مشترکین}}{\text{تعداد کل مشترکین تحت تاثیر}} \quad (۹-۲)$$

این شاخص بر حسب خاموشی بر مشترکین در تحت تأثیر بیان می‌شود. در محاسبات قابلیت اطمینان اگر شاخص $CAIFI$ خیلی بزرگ‌تر از $SAIFI$ باشد، این امر نشان دهنده این واقعیت است که وضعیت در یک بخش از شبکه بسیار نامطلوب می‌باشد.

^۱ Average System Accessible Index

^۲ Average System Unaccessible Index

^۳ Customer Average Interruption Frequency Index

۲-۲-۳-۲ شاخص‌های مربوط به بار و انرژی

یکی از پارامترهای مورد نیاز در محاسبه شاخص‌های مربوط به بار و انرژی، مقدار متوسط بار تغذیه شده توسط هر باس بار می‌باشد، که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$L_a = L_p \cdot f \quad (۱۰-۲)$$

در رابطه (۱۰-۲) L_a بار متوسط، L_p حداکثر بار مورد تقاضا و f نیز ضریب بار^۱ است. همچنین مقدار L_a با استفاده از رابطه (۱۱-۲) محاسبه می‌شود.

$$L_a = \frac{E_d}{t} = \frac{\text{کل انرژی مورد نیاز در مدت مورد نظر}}{\text{مدت مورد نظر}} \quad (۱۱-۲)$$

به کمک این پارامتر شاخص‌های مربوط به بار و انرژی محاسبه می‌شوند.

❖ شاخص کل انرژی تأمین نشده (ENS^2)

$$ENS = \sum_{i=1}^n L_{ai} \cdot U_i \quad (۱۲-۲)$$

این شاخص بیانگر کل انرژی تأمین نشده سیستم می‌باشد و بر حسب کیلو وات ساعت (kWh) بیان می‌شود. در رابطه فوق، L_{ai} متوسط بار متصل شده به باس بار i ام است که با تکیه بر آن و بر مبنای هزینه واحد انرژی می‌توان زیان ناشی از وقفه و عدم امکان فروش انرژی الکتریکی را محاسبه نمود.

❖ شاخص انرژی متوسط تأمین نشده ($AENS$)

$$AENS = \frac{\sum_{i=1}^n L_{ai} \cdot U_i}{\sum_{i=1}^n N_i} = \frac{\text{کل انرژی تأمین نشده}}{\text{تعداد کل مشترکین}} \quad (۱۳-۲)$$

این شاخص مقدار متوسط انرژی فروخته نشده به هر مشترک را بر حسب کیلو وات ساعت بیان می‌کند. نکته مثبت این شاخص نسبت به شاخص ENS قابل مقایسه بودن آن است. مثلاً در یک

^۱ Load Factor

^۲ Energy Not Supplied

شبکه مقدار کل انرژی فروخته نشده به مشترکین (ENS) از شبکه دوم بیشتر است ولی چون تعداد مشترکین آن نیز بیشتر از شبکه دوم می‌باشد، مقدار متوسط انرژی فروخته نشده به هر مشترک (AENS) در شبکه اول کمتر است و این بدین معنی است که مشترکین شبکه اول مدت زمان کمتری در قطعی و خاموشی به سر می‌برند.

علاوه بر موارد فوق، در استاندارد IEEE Std-1366 شاخص‌های متنوع دیگری را تعریف شده است.

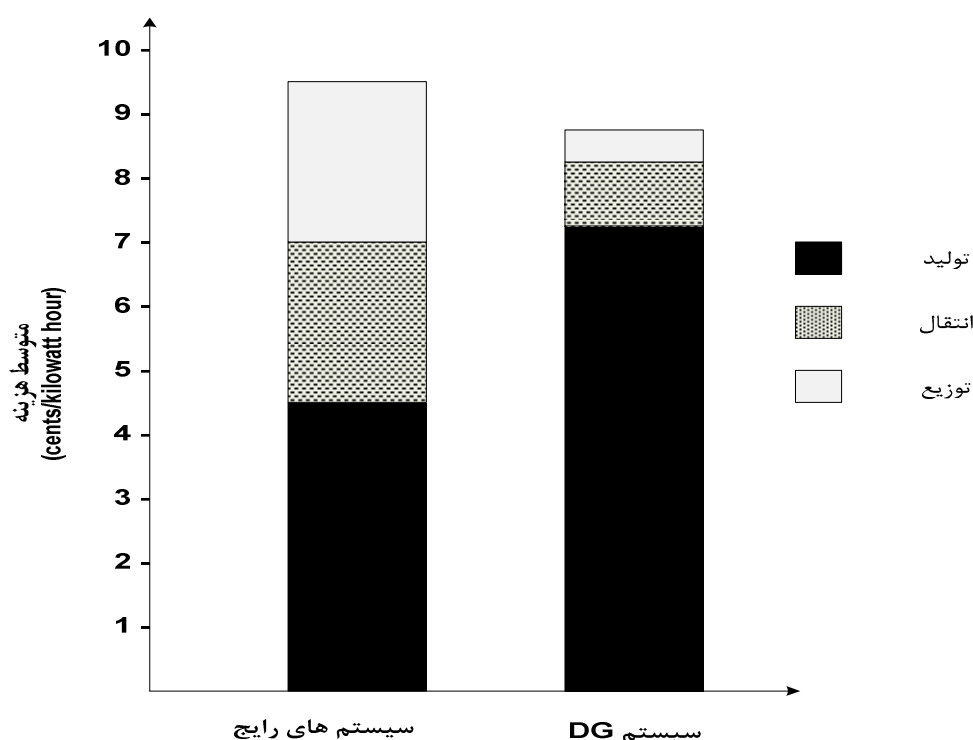
۴-۲ تولید پراکنده و قابلیت اطمینان سیستم قدرت

همان‌طور که قبلاً بیان شد در بین مزایای استفاده از منابع تولید پراکنده، بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت توجه بسیاری از متخصصین شرکت‌های توزیع را بیش از بقیه به خود جلب کرده است. قابلیت اطمینان در رضایت مندی مشترکین و مصرف کنندگان نقش اساسی را ایفا می‌کند. یکی از اهداف مهم برنامه ریزان و کارشناسان سیستم قدرت داشتن عکس‌العمل محتمل و مناسب می‌باشد که منجر به حوادثی با عواقب کمتر شود و زمانی که خاموشی رخ می‌دهد مدت زمان خاموشی کمتری داشته باشند و همچنین تعداد مصرف کنندگان کمتری از مدار خارج شوند. نزدیک به ۹۰ درصد عدم دسترسی به انرژی الکتریکی در مصرف کنندگان ناشی از وقفه در شبکه توزیع می‌باشد. با توجه به نوع مصرف کنندگان از لحاظ اقتصادی، این مصرف کنندگان به درجات مختلفی از قابلیت اطمینان نیازمند هستند. به عنوان مثال هزینه قطع برق برای صنایع مخابرات سلولی و صنایع هوایی به ترتیب برابر ۴۱۰۰۰ دلار بر ساعت و ۹۰۰۰۰ دلار بر ساعت است. با استفاده از واحدهای تولید پراکنده می‌توان قابلیت اطمینان را در ناحیه‌های مورد نظر افزایش داد [۱۳].

همان‌طور پیش‌تر گفته شد دلیل اصلی استفاده از منابع تولید پراکنده نزدیک بودن تولیدات پراکنده برق به مصرف کننده می‌باشد که باعث کاهش چشمگیری در هزینه‌های اولیه شبکه انتقال

و توزیع می‌شود. با این وجود شکل (۲-۴) نشان می‌دهد که هزینه این واحدها نسبت به نیروگاه‌های رایج (در بخش تولید) بیشتر است [۱۴].

به طور کلی می‌توان گفت منابع تولید پراکنده به طور مستقیم و غیر مستقیم باعث بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت می‌شود. به عنوان مثال این منابع به طور مستقیم می‌تواند برق منطقه‌ای را که دائماً دچار افت ولتاژ می‌شوند، را تأمین کند و یا می‌تواند با کم کردن تنش و بار از روی اجزاء شبکه به طور غیر مستقیم قابلیت اطمینان اجزا سیستم را افزایش دهند (به عنوان نمونه با کم کردن زمان کار کردن ترانسفورماتورهای توزیع در دمای بالا با کاستن بار از روی آن) که این منجر به افزایش طول عمر اجزا می‌شود.



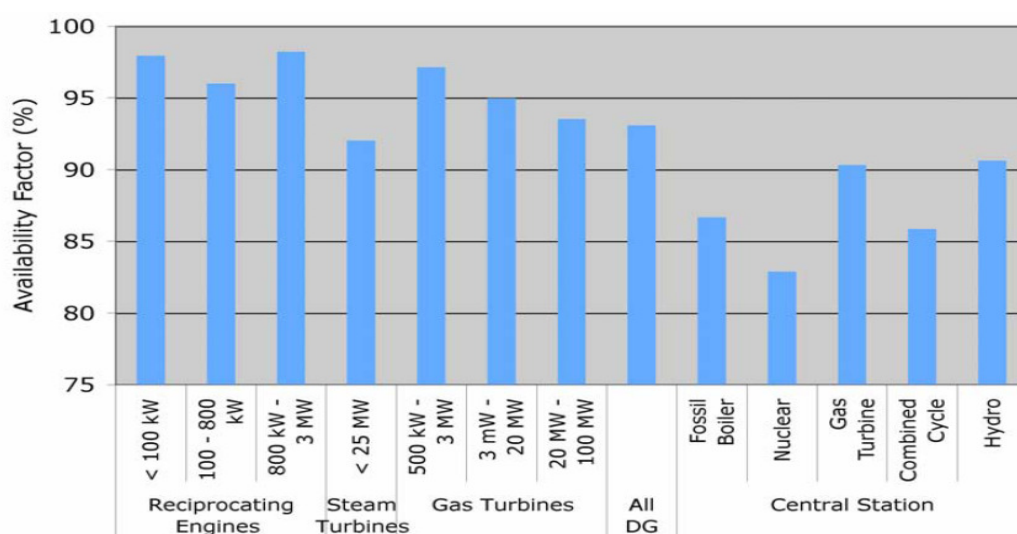
شکل (۲-۴): مقایسه دو سیستم از لحاظ هزینه در بخش‌های مختلف سیستم قدرت [۱۴]

۲-۴-۱ تأثیر مستقیم تولید پراکنده بر بهبود قابلیت اطمینان

تولید پراکنده می‌تواند بر تنوع نیرو رسانی (تغذیه) بیفزاید و منجر به بهبود کفایت سیستم شود. معمولاً این منابع را با روش‌های سنتی مقایسه می‌کنند. در این مقایسه بیشتر تأکید بر قابلیت

اطمینان واحدهای تولید پراکنده و دسترس بودن آن می‌باشد و اینکه در بعضی مواقع ظرفیت این واحدها را شمارش نمی‌کنند، به علت ۱۰۰٪ قابل اتکا نبودن این منابع می‌باشد. به هر حال در این مقایسه باید دو عامل در نظر گرفته شود. عامل اول این است که چند واحد تولید پراکنده (که تنوعی را هم به وجود می‌آورد) دارای قابلیت اطمینان بیشتری نسبت به یک واحد می‌باشند و دیگری اینکه سیستم‌های سنتی هم به طور ۱۰۰٪ قابل اتکا نیستند. آقای مورگان واپت در پژوهشی که در سال ۲۰۰۵ داشته نشان داده است که شبکه توزیع با منابع کوچک که اندازه و مدت خطا را کاهش می‌دهد، دارای درجه کفایت بالاتری نسبت به یک سیستم مرکزی با تعداد کمتری منبع است [۱۵]. در روش سنتی زمانی که بار یک فیدر افزایش می‌یابد برای حفظ قابلیت اطمینان سیستم باید تغذیه (نیرو رسانی) افزایش یابد. برای این کار باید یا یک فیدر دیگر اضافه کنیم یا ظرفیت ایستگاه محلی فرعی (پست توزیع) را افزایش دهیم.

با مطالعه بر روی نرخ خروج اجباری، ضریب خروج برنامه ریزی شده، ضریب سرویس دهی و متوسط زمان خروج و زمان متوسط منابع تولید پراکنده با تکنولوژی متفاوت می‌توان به بررسی دسترس پذیری آن‌ها با دیگر منابع پرداخت. نتایج حاصل از این بررسی در شکل (۲-۵) آورده شده است [۴].



شکل (۲-۵): دسترس پذیری منابع تولید پراکنده با دیگر منابع [۴].

همان طور که در شکل (۲-۵) مشاهده نمودید اگرچه سائز منابع تولید پراکنده در مقابل تجهیزات نیروگاه‌های مرکزی کمتر می‌باشد اما دسترس پذیری آن در مقایسه با آن‌ها چشمگیر است. به طور کلی می‌توان اثرات مستقیم منابع تولید پراکنده بر بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت را به صورت زیر بر شمرده [۱۶،۵]:

- آزاد کردن ظرفیت سیستم‌های تولید، انتقال و توزیع
- بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان (به خصوص مدت خاموشی و تعداد خاموشی)
- افزایش تنوع نیرو رسانی (تغذیه)
- بهبود کفایت سیستم
- اضافه کردن ظرفیت تولید در محل مصرف کنندگان به عنوان منبع توان پشتیبان و مداوم
- کاهش تلفات سیستم انتقال و توزیع
- برطرف کردن اضافه بار سیستم انتقال و توزیع و افزایش ضریب امنیت و حاشیه تولید

۲-۴-۲ تأثیر غیر مستقیم تولید پراکنده بر بهبود قابلیت اطمینان

واحدهای تولید پراکنده به طور بالقوه باعث کاهش خاموشی‌های ناشی از اضافه بار وارد بر اجزا می‌شوند. به طور مثال در شرایط پیک بار ترانس‌ها و دیگر تجهیزات شبکه در جریان بالایی کار می‌کند که باقی ماندن در این وضعیت باعث خروج تجهیزات و خاموشی می‌شود. (علت این خاموشی‌ها خطای ناگهانی تجهیزات است که منجر به اضافه بار بر روی تجهیزات باقی مانده می‌شود). از واحدهای تولید پراکنده می‌توان به عنوان کاهنده تعداد دفعاتی که تجهیزات مجبور به کار در نزدیکی مقادیر نامی خود (مقادیر بحرانی) می‌باشند، نام برد. بنابراین این واحدها می‌تواند دفعات خطای تجهیزات و خروج‌های ثانویه را کاهش دهد [۱۷].

۲-۴-۳ تأثیرات نامطلوب تولید پراکنده بر قابلیت اطمینان

با وجود تأثیرات مثبت نگرانی‌های بسیاری در زمینه تأثیر منابع تولید پراکنده بر امنیت و پایداری سیستم وجود دارد. بدین جهت مؤسسه‌ای مانند IEEE اقدام به انتشار استانداردهای اتصال این منابع به شبکه نموده‌اند اما اجرای تعدادی از این استانداردها هزینه بر است مخصوصاً اگر واحدهای تولید پراکنده مورد نظر کوچک باشد. بحث دیگر درباره سوخت این واحدها (اکثراً گاز طبیعی) می‌باشد که در صورت دسترس نبودن (اتمام سوخت و عدم تأمین آن) منجر به خطا در عملکرد آن‌ها می‌شود. همچنین میزان جریان اتصال کوتاه ناشی از مجموعه منابع پراکنده موجود در سیستم توزیع ممکن است آنقدر زیاد شود که باعث اشتباه عملکرد سیستم‌های حفاظتی و کاهش قابلیت اطمینان سیستم شود [۴].

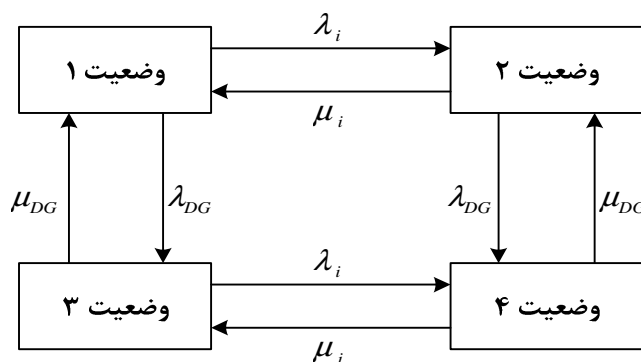
خارج شدن تولیدات پراکنده با ظرفیت بالا و واحدهای تولید پراکنده با رویکرد اضطراری از مدار و همچنین نامناسب بودن مکان نصب و ظرفیت این واحدها ممکن تأثیرات نامطلوبی بر پارامترهای سیستم بگذارد و منجر به کاهش قابلیت اطمینان سیستم شود [۵].

۲-۴-۴ تأثیر تولید پراکنده بر شاخص‌های قابلیت اطمینان

تفاوت قابلیت اطمینان سیستم توزیع در حضور منابع تولید پراکنده و عدم حضور این منابع از تفاوت λ_i ها و U_i ها در معادلات (۲-۴) و (۲-۵) مربوط به محاسبه شاخص‌های SAIFI و SAIDI حاصل می‌شود [۱۸].

۲-۴-۴-۱ مدل مارکوف تولید پراکنده

مدل چهار وضعیتی نشان داده شده در شکل (۲-۶) می‌تواند وضعیت تولید پراکنده متصل به نقطه بار را نشان دهد [۱۸، ۸].



شکل (۶-۲): مدل ۴ حالتی هر باس بار [۱۸]

در شکل (۶-۲) λ_{DG} و μ_{DG} به ترتیب نرخ خطا و تعمیر سالانه منابع تولید پراکنده و λ_i و μ_i نرخ‌های خطا و تعمیر باس بار i ام در سیستم توزیع می‌باشد. از آنجا که μ_i متناسب با معکوس مدت زمان خاموشی در باس بار i ام می‌باشد می‌توان آن را به صورت فرم زیر بیان کرد.

$$\mu_i = \frac{1}{r_i} = \frac{\lambda_i}{U_i} \quad (۱۴-۲)$$

که در آن r_i متوسط مدت زمان قطعی در باس بار i ام و U_i زمان قطعی سالانه در باس بار i ام می‌باشد.

جهت‌های نشان داده شده در شکل (۶-۲) نشان دهنده گذر بین حالت‌ها می‌باشد. به طوری که در حالت (۱) واحد تولید پراکنده و باس بار در شرایط طبیعی و بدون خطا قرار دارند در حالت (۲) در سیستم خطا رخ داده و ارتباط باس بار با پست قطع شده است. در حالت (۳) واحد تولید پراکنده دچار قطعی شده ولی باس بار هنوز به پست وصل است و در حالت (۴) هم واحد تولید پراکنده و هم سیستم انتقال دچار قطعی شده‌اند و باس بار ایزوله شده است.

۲-۴-۴-۲ ماتریس احتمال گذر تصادفی^۱ و مقادیر حدی^۲

به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان لازم است ماتریسی که احتمالات گذر از یک حالت به حالت دیگر را نشان می‌دهد، را بدست آوریم [۱۸]. اگر چهار حالت نشان داده شده در شکل (۶-۲) را

¹ Stochastic transitional probabilities matrix

² Limiting values

در نظر بگیریم، ماتریس احتمال گذر تصادفی آن مطابق رابطه (۱۵-۲) بدست می‌آید.

$$P = \begin{bmatrix} 1-(\lambda_i + \lambda_{DG}) & \lambda_i & \lambda_{DG} & 0 \\ \mu_i & 1-(\mu_i + \lambda_{DG}) & 0 & \lambda_{DG} \\ \mu_{DG} & 0 & 1-(\lambda_i + \mu_{DG}) & \lambda_i \\ 0 & \mu_{DG} & \mu_i & 1-(\mu_i + \mu_{DG}) \end{bmatrix} \quad (15-2)$$

اگر برداری به فرم $\alpha = [P_1 \ P_2 \ P_3 \ P_4]$ داشته باشیم و P_i ها را مقادیر حدی بنامیم با

استفاده از ضریب ماتریس‌ها و رابطه (۱۶-۲) مقادیر حدی بدست می‌آید و نهایتاً به مقادیر حدی

معادلات (۱۷-۲) و (۱۸-۲) می‌رسیم.

$$\alpha_{old} . P = \alpha_{new} \quad (16-2)$$

$$p_i = \left[\frac{\mu_i \mu_{DG}}{L} \quad \frac{\lambda_i \mu_{DG}}{L} \quad \frac{\mu_i \lambda_{DG}}{L} \quad \frac{\lambda_i \lambda_{DG}}{L} \right] \quad (17-2)$$

$$L = (\lambda_i + \mu_i)(\lambda_{DG} + \mu_{DG}) \quad (18-2)$$

۳-۴-۴-۲ فراوانی^۱ هر حالت

فرکانس مواجه شدن با هر حالت با استفاده از مقادیر حدی یا احتمال به کمک

رابطه (۱۹-۲) بدست می‌آید.

$$f_i = P_j \lambda_{d,j} \quad (19-2)$$

که $\lambda_{d,j}$ نرخ خروج از حالت j می‌باشد و در نهایت فرکانس مواجه شدن با هر حالت و نرخ

خروج از هر حالت با استفاده از معادلات (۲۰-۲) و (۲۱-۲) بدست می‌آید.

$$\lambda_d = [\lambda_i + \lambda_{DG} \quad \mu_i + \lambda_{DG} \quad \lambda_i + \mu_{DG} \quad \mu_i + \mu_{DG}] \quad (20-2)$$

¹ Frequency

$$f = \begin{bmatrix} \frac{\mu_i \mu_{DG} (\lambda_i + \lambda_{DG})}{L} \\ \frac{\lambda_i \mu_{DG} (\mu_i + \lambda_{DG})}{L} \\ \frac{\mu_i \lambda_{DG} (\lambda_i + \mu_{DG})}{L} \\ \frac{\lambda_i \lambda_{DG} (\mu_i + \mu_{DG})}{L} \end{bmatrix} \quad (21-2)$$

و در نهایت نرخ خرابی و زمان قطعی سالانه باس بار i ام متصل به واحد تولید پراکنده به کمک روابط (22-2) و (23-2) محاسبه می‌شوند [18].

$$\lambda_i^{bus} = \frac{p_2 \lambda_{DG} + p_3 \lambda_i}{p_1 + p_2 + p_3} \quad (22-2)$$

$$U_i^{bus} = \frac{p_4}{p_1 + p_2 + p_3} \quad (23-2)$$

۵-۲ پیشینه پژوهش در زمینه جاییابی منابع تولید پراکنده

امروزه سیستم‌های تولید پراکنده با هدف بهینه سازی در مصرف انرژی به صورت کاهش تلفات ناشی از انتقال و توزیع انرژی الکتریکی در شبکه و بهبود قابلیت اطمینان سیستم قدرت و پروفیل ولتاژ و همچنین کاهش آلودگی‌های ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی به کار گرفته می‌شوند. امروزه با پیشرفت گسترده‌ای که در زمینه تکنولوژی منابع تولید پراکنده داشته‌ایم، باعث رشد استفاده از این منابع در سیستم‌های توزیع بوده‌ایم. این پیشرفت‌ها شرایطی ایجاد کرده است که این واحدها با توجه به هزینه کمتر نصب و راه اندازی و همچنین قابلیت اطمینان بالایی که دارند، می‌توانند در زمینه کاهش هزینه‌ها به رقابت بپردازند. البته این بهبود مشخصات سیستم، بستگی به ظرفیت، تعداد و مکان مناسب این واحدها دارد. بدین جهت مکان یابی و تعیین ظرفیت منابع تولید پراکنده از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. نصب واحدهای تولید پراکنده در مکان‌های غیر بهینه می‌تواند باعث افزایش تلفات شبکه و افزایش هزینه‌ها شود و بدین ترتیب نتایجی خلاف انتظار حاصل خواهد شد [19].

بررسی کارهای گذشته در خصوص اعمال واحدهای تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع نشان می‌دهد که اخیراً مطالعات بسیاری در زمینه تولید پراکنده صورت گرفته است. اضافه کردن این واحدها به شبکه با اهداف گوناگونی مطرح و با روش‌های مختلفی حل شده است.

در مراجع [۳۳،۲۰] تعیین بهینه ظرفیت و مکان واحدهای تولید پراکنده به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفایل ولتاژ انجام شده است. در [۲۰] از الگوریتم بلمان زاده^۱ به همراه منطق فازی برای بهینه سازی توابع چند هدفه مورد استفاده قرار گرفته است. اجزای توابع هدف با استفاده از توابع عضویت مناسب، به یک حوزه‌ی فازی^۲ انتقال داده شده‌اند. توابع عضویت^۳ درجه رضایت مندی توابع هدف را نمایش می‌دهند. مقدار بالاتر تابع عضویت به مفهوم رضایت مندی بیشتر از جواب مسئله می‌باشد. در این مرجع، برای پیاده سازی الگوریتم خود از یک سیستم توزیع واقعی در کشور امریکا استفاده نموده است.

اساس روش پیشنهادی مرجع [۳۳] بر پایه تحلیل پخش بار پیوسته و شناسایی باس بارهای حساس به فروپاشی ولتاژ می‌باشد. در این مرجع تأثیر انواع تولید پراکنده بر پایداری ولتاژ نیز بررسی شده است. در این مرجع با شناسایی باس بارهای حساس به فروپاشی ولتاژ در سیستم تست ۳۴ باسه IEEE، واحدهای تولید پراکنده را در این باس ها قرار داده و با انجام پخش بار به محاسبه تابع هدف خود می‌پردازد. در نهایت با بدست آوردن تابع هدف برای چندین تکرار الگوریتم به جواب بهینه خود برای جاییابی منابع تولید پراکنده می‌رسد.

در مراجع [۲۳-۲۵،۳۴] از روش الگوریتم ژنتیک برای جاییابی و تعیین ظرفیت واحدهای تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات استفاده شده است. در مرجع [۲۱] تابع هدف کاهش تلفات شبکه می‌باشد و مسئله جاییابی تحت بارگذاری‌های مختلف بررسی شده است و الگوریتم پیشنهادی خود را بر روی سیستم تست ۱۶، ۳۷ و ۶۵ باسه اعمال کرده است. کم‌ترین ولتاژ شین ها و بارگذاری حداکثر

^۱ Bellman-Zadeh

^۲ Fuzzy

^۳ Membership

خطوط به عنوان قیود مسئله باید در این مرجع برآورده شوند.

در مرجع [۲۲] از منطق فازی برای حل مسئله جاییابی منابع تولید پراکنده کمک گرفته است. تابع هدف این مرجع هزینه نصب و بهره برداری واحدهای تولید پراکنده و هزینه تلفات با در نظر گرفتن احتمال اضافه بار و تغییرات قیمت برق می‌باشد. در این مرجع کدگذاری کروموزوم‌ها به صورت اعداد حقیقی انتخاب شده است. به عبارت دیگر هر ژن کروموزوم، نشان دهنده ظرفیت واحد نصب شده در هر باس بار می‌باشد. تعداد ژن‌های هر کروموزوم به اندازه تعداد باس بارهای سیستم نمونه می‌باشد.

مرجع [۲۳] جاییابی و تعیین ظرفیت واحدهای تولید پراکنده به تعداد از پیش تعیین شده را در شبکه توزیع با هدف کاهش تلفات توان انجام داده است. در این مرجع کدگذاری کروموزوم‌ها به صورت باینری انتخاب شده است.

در مرجع [۲۵] با تعریف یک تابع چند هدفه به جاییابی واحد های تولید پراکنده با هدف کمینه سازی هزینه تلفات، هزینه خاموشی مشترکین، هزینه انرژی تأمین نشده می‌پردازد. در این مرجع ولتاژ باس ها و جریان عبوری از آن‌ها و جریان اتصال کوتاه به عنوان قیود مسئله در نظر گرفته شده‌اند. کدگذاری کروموزوم‌ها بدین گونه می‌باشد که در هر ژن اعداد صحیح می‌توانند قرار بگیرند. عدد صفر در یک ژن کروموزوم نشان دهنده عدم وجود واحد تولید پراکنده در باس بار مربوط به آن ژن می‌باشد. برای اعداد غیر صفر، ظرفیت‌های مختلفی برای واحدهای تولید پراکنده از قبل تعیین شده است.

در مرجع [۳۴] مسئله جاییابی و تعیین ظرفیت واحدهای تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات انجام شده است. در این مرجع تابع هدف را به صورت هزینه‌ای در نظر گرفته است. تابع هدف از هزینه تلفات و هزینه نصب و تعمیر و نگهداری واحدهای تولید پراکنده تشکیل شده است. روش کدگذاری کروموزوم‌ها در این مرجع مطابق با روش گفته شده در مرجع [۲۵] می‌باشد و در نهایت برای اثبات کارایی الگوریتم پیشنهادی خود ضمن اعمال آن به یک شبکه واقعی توزیع در کشور برزیل

و مقایسه‌ای نیز بین مقدار شاخص‌های قابلیت اطمینان از قبیل SAIFI و SAIDI قبل و بعد از جابجایی واحدهای تولید پراکنده انجام داده است.

مرجع [۲۴] با ارائه یک روش تحلیلی بر مبنای پخش بار به جابجایی و تعیین ظرفیت تولیدات پراکنده در شبکه توزیع شعاعی پرداخته است. در این مرجع ابتدا با انجام پخش بار نقطه‌ای را که دارای بیشترین تلفات می‌باشند را شناسایی کرده و با قرار دادن یک واحد تولید پراکنده در نقطه‌ای که اولویت بیشتری دارد، پخش بار را انجام می‌دهد. مقدار ظرفیت واحد تولید پراکنده را به آرامی تغییر می‌دهد و هر بار پخش بار را انجام می‌دهد و در انتها ظرفیتی را که با آن کمترین تلفات بدست آمد به عنوان جواب در نظر گرفته و این روند را برای همه باس‌هایی که دارای الویت از لحاظ تلفات می‌باشند، تکرار می‌کند.

روش پیشنهاد شده در [۲۶] سعی در پیدا کردن بهترین تعادل بین هزینه‌های واحدهای تولید پراکنده و هزینه خاموشی مصرف کنندگان دارد. در این مرجع به کمک الگوریتم ژنتیک به یافتن نوع، محل و اندازه بهینه واحدهای تولید پراکنده می‌پردازد. کدگذاری کروموزوم‌ها در این مرجع به صورت باینری در نظر گرفته شده است.

الگوریتم بکار رفته در [۲۷] یک الگوریتم وزن داده شده بهینه‌سازی گروهی ذرات^۱ (PSO) برای حل مسئله جابجایی بهینه تولیدات پراکنده است که در آن هدف کاهش تلفات توان با در نظر گرفتن محدوده قابل قبول ولتاژ می‌باشد. در این مرجع انواع مختلف تولید پراکنده به صورت‌های فتو ولتایی، ژنراتورهای سنکرون، توربین‌های بادی بررسی شده‌اند و با فرض تعداد مشخص هر نوع از واحدهای تولید پراکنده به مسئله جابجایی می‌پردازد.

در [۲۸] مدلی برای تعیین اندازه و مکان تولیدات پراکنده ارائه می‌شود که از بهینه سازی کلونی مورچه‌ها^۲ به عنوان ابزار شبیه سازی با هدف مینیمم کردن هزینه سرمایه گذاری و هزینه بهره برداری تولیدات پراکنده و هزینه تلفات استفاده شده است. ولتاژ باس‌ها و جریان عبوری از آن‌ها و

^۱ Particle Swarm Optimization

^۲ Ant Colony Optimization

همچنین ظرفیت واحدهای تولید پراکنده به عنوان قیود مسئله در نظر گرفته شده‌اند.

در مرجع [۲۹] یک تکنیک جستجوی تکراری متعارف مبتنی بر روش پخش بار نیوتن رافسون برای تعیین بهینه اندازه و محل واحدهای تولید پراکنده در سیستم‌های انتقال با هدف کاهش هم‌زمان هزینه و تلفات ارائه شده است. در این مرجع با قرار دادن یک واحد تولید پراکنده در باس‌های مختلف و با ظرفیت‌های مختلف تابع هدف متشکل از اهداف بالا را محاسبه می‌کند. سپس با مقایسه نتایج بدست آمده از سناریوهای مختلف، مکان و اندازه بهینه واحد تولید پراکنده را در سیستم تست بدست می‌آورد. الگوریتم پیشنهادی به سیستم‌های ۶ باسه، ۱۴ باسه و ۳۰ باسه IEEE اعمال شده است.

در مرجع [۳۰]، با استفاده از چند روش فرا ابتکاری به جایابی بهینه واحدهای تولیدی زیست محیطی (بیوماس) با در نظر گرفتن شاخص صرفه‌جویی اقتصادی می‌پردازد و تحلیل نتایج و مقایسه‌ای بین این روش‌ها انجام شده است. شاخص صرفه‌جویی اقتصادی از هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه نصب، هزینه تعمیر و نگهداری واحد و سود ناشی از فروش برق تشکیل شده است. در این مرجع الگوریتم سرد شدن تدریجی فلزات^۱ (SA) و الگوریتم بهینه‌سازی گروهی ذرات (PSO) مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در مرجع [۳۱] با استفاده از روش بهینه‌سازی چند هدفه، جایابی منابع تولید پراکنده انجام شده است. تابع هدف در این مرجع، شاخص متوسط مدت زمان خاموشی (SAIDI)، هزینه انرژی تأمین نشده و تلفات می‌باشد. ضرایب وزنی تابع هدف را از معکوس قرار دادن مقادیر شاخص‌ها قبل از جایگذاری واحدهای تولید پراکنده بدست می‌آورد. جهت اثبات الگوریتم پیشنهادی را به یکی از سیستم‌های توزیع ۱۱۴ باسه تبریز اعمال کرده است.

در مرجع [۳۲] به جایابی واحدهای تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات و بهبود قابلیت اطمینان سیستم قدرت می‌پردازد. از شاخص هزینه خاموشی مشترکین به عنوان شاخص قابلیت

^۱ Simulated Annealing

اطمینان و هزینه تلفات برای شکل دهی تابع هدف استفاده کرده است. برای بهینه سازی روشی را با ترکیب دو الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه سازی تجمعی ذرات گسسته^۱ (DPSO) ارائه داده است.

در بیشتر مراجع فوق و پژوهش انجام شده، جایابی واحدهای تولید پراکنده با هدف بهبود پروفایل ولتاژ و کاهش تلفات انجام شده است و تعداد مقالات کمی به نقش این واحدها در بهبود قابلیت اطمینان پرداخته‌اند. همچنین در پژوهش‌هایی که جایابی واحدهای تولید پراکنده به جهت بهبود قابلیت اطمینان انجام شده است، با فرض ایده آل بودن واحدهای تولید پراکنده از لحاظ خاموشی این کار صورت گرفته است. به عبارت دیگر نرخ خطا (λ_{DG}) و تعمیر سالانه منابع تولید پراکنده (μ_{DG}) را صفر در نظر گرفته‌اند. همچنین در پژوهش‌های فوق از شاخص‌های هزینه نصب و تعمیر و بهره برداری واحدهای تولید پراکنده و شاخص‌های قابلیت اطمینان به صورت هم‌زمان در توابع هدف استفاده نشده است.

۲-۶ خلاصه فصل

با توجه به مطالبی که در این فصل بیان شد، می‌توان گفت که واحدهای تولید پراکنده تأثیرات مثبت و قابل توجهی بر روی سیستم‌های توزیع به وجود می‌آورند و خصوصاً قابلیت اطمینان سیستم را به مقدار قابل ملاحظه بهبود می‌بخشند. این بهبود مشخصات سیستم نیازمند جایابی مناسب این واحدها در شبکه می‌باشد و در صورت مکان یابی نامناسب این واحدها تأثیرات نامطلوبی بر سیستم خواهد داشت و هزینه‌های تحمیلی به سیستم را افزایش می‌دهد. در ادامه به معرفی الگوریتم‌های بهینه سازی ژنتیک و جهش قورباغه خواهیم پرداخت. از این دو الگوریتم به منظور رسیدن به جایابی بهینه منابع تولید پراکنده استفاده شده است.

¹ Discrete Particle Swarm Optimization

فصل سوم

روش‌های بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و

الگوریتم جهش قورباغه

۳-۱ مقدمه

امروزه با پیشرفت تکنولوژی در همه علوم از جمله مهندسی و در نتیجه بزرگ‌تر و پیچیده‌تر شدن مسائل سبب شده است روش‌های بهینه سازی کلاسیک با توجه به اهمیت زمان و دقت دیگر قادر به حل مسائلی با ابعاد بزرگ نبوده و از الگوریتم‌های فرا ابتکاری یا فرا کاوشی^۱ به جای جستجوی همه جانبه استفاده شود. این الگوریتم‌ها می‌توانند هم در زمان صرفه جویی کنند و هم با استفاده از تدابیر خاصی از بهینه محلی بگذرند و به جواب بهینه همگرا شوند. بزرگ‌ترین عیب این الگوریتم‌ها ماهیت تصادفی آن‌ها می‌باشد و هیچ تضمینی برای رسیدن به پاسخ بهینه در این الگوریتم‌ها وجود ندارد. پاسخ‌های بدست آمده با الگوریتم‌های فرا ابتکاری قابل قبول هستند ولی اغلب بهینه ریاضی نیستند. این پاسخ‌ها تقریب خوبی از پاسخ بهینه مسئله را به ما می‌دهند و می‌توان آن‌ها را بهینه مهندسی نامید [۳۶].

در سال‌های اخیر، توسعه همه جانبه و موفقیت آمیز الگوریتم‌های بهینه سازی فرا ابتکاری در حل مسائل بهینه سازی تک هدفه^۲ و چند هدفه^۳، توجه محققین زیادی را به خود جلب کرده است و روش‌ها و الگوریتم‌های متنوعی به وجود آمده‌اند. از جمله این روش‌ها می‌توان به الگوریتم ژنتیک (GA) و الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات (PSO)، الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه‌ها (ACO)، الگوریتم جهش قورباغه (SFLA) اشاره نمود. از آنجایی که الگوریتم‌های برشمرده یک روند تکراری با تکامل و بهبود تدریجی تا رسیدن به جواب را طی می‌کنند، به الگوریتم‌های تکاملی^۴ نیز مرسوم می‌باشند. در ادامه دو الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جهش قورباغه را که امروزه به طور گسترده در مسائل مهندسی پیچیده استفاده می‌شود، بررسی می‌کنیم.

¹ Meta Heuristic

² Single Objective Optimization

³ Multi Objective Optimization

⁴ Evolutionary Algorithm

۳-۲ الگوریتم ژنتیک

۳-۲-۱ مقدمه

پیشرفت کامپیوتر در طی ۵۰ سال گذشته باعث توسعه روش‌های بهینه سازی شده است و در طی این دوره روش‌ها و الگوریتم‌های بسیاری تدوین گردیده است. یکی از معروف‌ترین و کاراترین این رویکردها الگوریتمی است که با الگو برداری از تکامل ژنتیکی، الگوهایی را برای حل مسئله ارائه می‌کند و به همین دلیل به الگوریتم ژنتیک معروف شده است. ایده این الگوریتم از نظریه تکامل آقای داروین الهام گرفته شده است که با ایجاد یک روش جستجوی موثر در فضاها بسیار بزرگ و وسیع، در نهایت منجر به جهت گیری به سمت یافتن جواب بهینه می‌گردد.

ایده اصلی الگوریتم‌های تکاملی در سال ۱۹۶۰ توسط آقای ریچنبرگ مطرح گردید. این ایده توسط محققان دیگر توسعه یافت و در سال ۱۹۶۲ اصول اولیه الگوریتم ژنتیک را آقای جان هالند و همکارانش در دانشگاه میشیگان ارائه دادند. با ادامه مطالعات در این زمینه، در سال ۱۹۷۵ در کتاب سازگاری در سیستم‌های طبیعی و مصنوعی، توسط آقای هالند این الگوریتم معرفی شد که ارائه این الگوریتم دستاوردهای مهمی را در هر دو زمینه علوم و سیستم‌های مصنوعی به دنبال داشت [۳۵].

۳-۲-۲ مفاهیم الگوریتم ژنتیک

از آنجا که الگوریتم ژنتیک از دو علم کامپیوتر و ژنتیک نشأت گرفته است، واژه‌های مورد استفاده آن مخلوطی از واژه‌های طبیعی و مصنوعی می‌باشد. مفاهیم اولیه که در فهم الگوریتم ژنتیک بسیار حیاتی هستند در ادامه آورده شده است.

کروموزوم^۱: اساس الگوریتم ژنتیک تبدیل هر مجموعه از جواب به یک کدینگ (رشته‌ای از ارقام) است. این کدینگ را اصطلاحاً کروموزوم گویند. کروموزوم‌ها را با توجه به مسئله بهینه سازی، می‌توان به اشکال متفاوتی از قبیل عدد باینری، عدد صحیح و عدد حقیقی نمایش داد.

^۱ Chromosome

ژن^۱: اعضای تشکیل دهنده یک کروموزوم را ژن می‌گویند.

جمعیت^۲: مفهوم جمعیت در الگوریتم ژنتیک شبیه به چیزی ایست که در زندگی طبیعی وجود دارد. برای مسئله گزاره‌هایی وجود دارند که می‌توانند به عنوان پاسخ، چه درست و چه غلط در نظر گرفته شوند. به این گزاره‌ها پاسخ ممکن یا شدنی می‌گویند. مثلاً اگر مسئله یافتن ماکزیمم یک تابع در مجموعه اعداد صحیح باشد، تمام اعداد صحیح می‌توانند به عنوان پاسخ شدنی مسئله در نظر گرفته شوند.

در الگوریتم ژنتیک به عنوان اولین مرحله لازم است مجموعه‌ای از جواب‌های شدنی به عنوان جمعیت اولیه ایجاد شود. اعضای این مجموعه معمولاً به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند.

نسل^۳: هر تکرار از الگوریتم را یک نسل می‌گویند.

ساختار کلی یک الگوریتم ژنتیک را می‌توان به صورت زیر تصور کرد. ابتدا بیش از هر چیزی نیاز به تعریف مکانیزمی برای تبدیل هر جواب مسأله به کروموزوم می‌باشد. سپس ایجاد یک جمعیت آغازین از مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها که اندازه مجموعه دلخواه بوده و توسط کاربر تعیین می‌شود و اغلب به صورت تصادفی ایجاد می‌گردد.

بعد از این با به کارگیری عملگرهای الگوریتم که به دو عملگر تقاطعی^۴ و جهشی^۵ تقسیم می‌شوند، اقدام به ایجاد کروموزوم‌های جدید به نام فرزند می‌کنیم. همچنین در فرایند انتخاب کروموزوم‌هایی که در نقش والدین ظاهر می‌شوند دو مفهوم نرخ تقاطع و نرخ جهش که توسط کاربر تعیین می‌شود، کاربرد فراوانی دارند. سپس به انتخاب برانده‌ترین کروموزوم‌ها از میان والدین و اولاد می‌پردازیم به طوری که تعداد کروموزوم‌های منتخب برابر با تعداد جمعیت اولیه باشد. تا بدین مرحله یک تکرار با یک نسل از الگوریتم طی شده است. الگوریتم بعد از طی چندین نسل به سمت جواب بهینه همگرا می‌شود.

¹ Gene

² Population

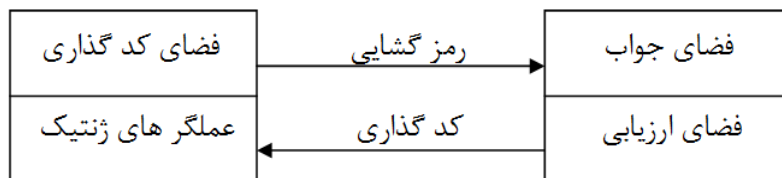
³ Generation

⁴ Cross over

⁵ Mutation

۳-۲-۳ روش‌های نمایش^۱ کروموزوم

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، اولین گام در به‌کارگیری و بکار بردن یک الگوریتم ژنتیک نمایش و کد گذاری جواب‌های مسئله به صورت یک کروموزوم است. این مرحله شاید مشکل‌ترین مرحله حل مسئله به روش الگوریتم ژنتیک باشد. الگوریتم ژنتیک به جای این که بر روی پارامترها یا متغیرهای مسئله کار کند، به شکل کد شده آن‌ها سر و کار دارد. دقت بیت‌هایی که برای کد گذاری متغیر استفاده می‌شود به دقت مورد نظر برای جواب‌ها، محدوده تغییر پارامترها و رابطه بین پارامترها وابسته است. رشته یا دنباله‌ای از بیت‌ها که به عنوان شکل کد شده یک جواب از مسئله مورد نظر می‌باشد، کروموزوم نامیده می‌شود. در حقیقت بیت‌های یک کروموزوم نقش ژن‌ها در طبیعت را بازی می‌کنند. یکی از ویژگی‌های اصلی الگوریتم ژنتیک این است که پیوسته بر روی فضای کدینگ و فضای جواب کار می‌کند. عملگرهای ژنتیک بر روی کروموزوم‌ها یا فضای کدینگ اعمال می‌شود در حالیکه انتخاب و ارزیابی بر روی فضای جواب عمل می‌نماید. شکل (۳-۱) بیانگر همین مطلب است [۳۵].



شکل (۳-۱): فضای نمایش و فضای جواب [۳۵]

یکی از روش‌های معمول و پر کاربرد در مسائل بهینه سازی، روش کدگذاری باینری یا دودویی است که در آن هدف تبدیل جواب مسئله به رشته‌ای از اعداد باینری است. کد گذاری باینری ساده‌ترین کد گذاری و بهترین تبدیل برای عملگرهای ژنتیک است اما در مسائل پیچیده این تبدیل چندان مناسب نیست چون معمولاً باعث می‌شود طول کروموزوم‌ها برای نگهداری اطلاعات بسیار بزرگ شود. در این کد گذاری اعضای جمعیت به رشته‌هایی از ۰ و ۱ ها تبدیل می‌شود. برای نمونه

^۱ Encoding

تبدیل اعداد به یک رشته باینری نشان داده شده است. (رشته با طول ۴).

$$11 \rightarrow 1011$$

$$9 \rightarrow 1001$$

روش‌های کدگذاری دیگری نیز همانند سیستم کدگذاری درختی^۱، کدگذاری جایگشتی^۲ و... وجود دارد که در مسائل بهینه سازی کاربرد بسیار کمی دارند و تنها در مسائل بسیار خاص استفاده می‌شوند.

۳-۲-۴ ایجاد جمعیت اولیه

پس از تعیین روش کدگذاری و مشخص کردن روش تبدیل هر جواب به کروموزوم، باید یک جمعیت اولیه از کروموزوم‌ها ایجاد شود. اعضای این مجموعه معمولاً به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. البته در بعضی از مسائل با توجه به نوع مسئله و برای بالا بردن سرعت همگرایی از روش‌های ابتکاری نیز استفاده می‌شود اما فراگیرترین و عمومی‌ترین روش، استفاده از رویکرد تصادفی است. همچنین می‌توان با استفاده از قیدهایی از پراکندگی بیش از حد جمعیت جلوگیری کرد.

تعداد اعضای جمعیت به نوع مسئله بستگی دارد. در واقع تعداد اعضا پارامتری است که با تغییر آن می‌توان دقت جواب‌ها و سرعت همگرایی جستجو را بهبود بخشید. در برخی از مسائل یک جمعیت ۱۰ عضوی کاملاً مناسب است در حالی که در برخی مسائل ممکن است یک جمعیت ۱۰۰ عضوی کافی نباشد. بر اساس تجربه بهتر است تعداد اعضای جمعیت عددی بین ۱۰ تا ۱۶۰ انتخاب شود [۳۵].

۳-۲-۵ رمز گشایی^۳ کروموزوم‌ها

هر کروموزوم حاوی اطلاعاتی از متغیرهای تصمیم‌گیری مسئله است. برای ارزیابی پاسخ‌های بدست آمده باید از مقادیر استاندارد هر متغیر تصمیم‌گیری استفاده شود. به همین دلیل

^۱ Tree Encoding

^۲ Permutation Encoding

^۳ Decoding

کروموزوم‌های کدگذاری شده باید دوباره به فضای استاندارد باز گردانده شوند و اطلاعات آن‌ها رمز گشایی شود. برای توضیح بهتر این مرحله، کدگذاری کروموزوم‌ها به صورت باینری انتخاب شده است. برای رمز گشایی، ابتدا هر یک از کروموزوم‌ها شکسته شده و بیت‌های مربوط به هر متغیر جدا می‌شود. سپس این بیت‌ها از فضای باینری به معادل آن در فضای ده دهی تبدیل می‌شوند. عدد ده دهی بدست آمده ممکن است در محدوده مجاز متغیر مورد نظر نباشد. برای رفع این مشکل ابتدا عدد بدست آمده به حداکثر عدد قابل نمایش توسط تعداد بیت‌های متغیر تقسیم می‌شود. سپس عدد تولید شده در بازه ۰ و ۱ با استفاده از رابطه زیر به بازه کاری مطلوب انتقال پیدا می‌کند.

$$x = k \times (H - L) + L \quad (1-3)$$

K : عدد تولید شده در بازه صفر و یک

H : حد بالای محدوده مجاز متغیر

L : حد پایین محدوده مجاز متغیر

همان‌طور که اشاره شد، ممکن است برخی متغیرها دارای ماهیت گسسته باشند. در این صورت عدد نهایی بدست آمده باید طی فرآیندی به معادل گسسته آن تبدیل شود. برای این کار روش استاندارد وجود ندارد و ساده‌ترین کار گرد کردن عدد بدست آمده است که این کار موجب خطای زیادی در حل مسئله می‌شود. به هر حال باید توجه داشت که عدد بدست آمده در این مرحله را حتی‌الامکان نباید گرد کرد [۳۶].

۳-۲-۶ ارزیابی جواب‌های هر نسل و قیود مسئله

در این مرحله با معرفی یک معیار یا اندازه به بهتر بودن یا نبودن هر جواب ممکن از جمعیت موجود پی می‌بریم. یعنی این معیار به ما می‌گوید که مثلاً جواب x واقع در جمعیت اولیه چقدر خوب است.

تابعی که بر اساس آن میزان سازگاری کروموزوم‌ها را با محیط ارزیابی می‌شود تابع برازندگی

می‌نامند. تابع برازندگی را از اعمال تبدیل مناسب بر روی تابع هدف یعنی تابعی که قرار است بهینه شود به دست می‌آید. این تابع هر رشته را با یک مقدار عددی ارزیابی می‌کند که کیفیت آن را مشخص می‌کند. هر چه کیفیت رشته جواب بالاتر باشد مقدار برازندگی جواب بیشتر است و احتمال مشارکت برای تولید نسل بعدی نیز افزایش خواهد یافت. بسته به اینکه مسئله مورد نظر بیشینه یا کمینه سازی باشد، برازندگی بیشتر متناسب با بیشینه یا کمینه بودن تابع هدف خواهد بود. از آن جایی که الگوریتم ژنتیک طبیعتاً به دنبال بیشینه تابع است باید مسائل کمینه سازی به بیشینه سازی تبدیل شود.

بهترین و ساده‌ترین روش برای تبدیل تابع هدف به تابع برازندگی در مسائل بیشینه سازی مساوی قرار دادن تابع برازندگی با تابع هدف می‌باشد. برای تبدیل مسائل کمینه سازی به بیشینه سازی روش‌های گوناگونی وجود دارد که پر کاربردترین آن مساوی قرار دادن تابع برازندگی با معکوس تابع هدف و انجام مسئله به صورت بیشینه سازی است.

معمولاً مسائل بهینه سازی دارای قیدهایی هستند که هنگام حل مسئله باید ارضا شوند در صورتیکه تعداد قیدها کم یا زیاد باشند و احتمال ارضا شدن آن‌ها به خودی خود زیاد باشد می‌توان در هر نسل افرادی را که قیدها را ارضا نمی‌کنند با افراد جدید به طور تصادفی جایگزین کرد ولی در شرایط پیچیده قیدها به صورت تابع جریمه در تابع هدف منظور می‌شوند. به این شیوه شایستگی افرادی از هر نسل که قیدها را ارضا نمی‌کنند، به شدت کم می‌شود.

۳-۲-۷ عملگر انتخاب^۱

در مرحله انتخاب یک جفت از کروموزوم‌ها برگزیده می‌شوند تا با هم ترکیب شده تا فرزندان جدید تولید شوند. عملگر انتخاب رابط بین دو نسل است و بعضی از اعضای نسل فعلی را به نسل آینده منتقل می‌کند. بعد از انتخاب عملگرهای الگوریتم بر روی دو عضو انتخاب شده اعمال می‌شود. معیار در انتخاب اعضا، شایستگی آن‌ها می‌باشد اما روند انتخاب حالتی تصادفی دارد.

^۱Selection

شاید انتخاب به این روش که بهترین اعضا دو به دو انتخاب شوند مناسب به نظر آید اما باید به این نکته توجه داشته باشیم که ما با ژن‌ها در این الگوریتم سر و کار داریم. یک عضو با ارزش پایین اگر چه در نسل خودش عضو مناسبی نمی‌باشد اما ممکن است شامل ژن‌های خوبی باشد. اگر شانس انتخاب شدن این عضو صفر باشد، این ژن‌های خوب نمی‌توانند به نسل‌های بعد منتقل شوند. پس روش انتخاب باید به گونه‌ای باشد که عضوهایی با این شرایط شانس انتخاب شدن داشته باشند. راه حل مناسب، طراحی یک روش انتخاب می‌باشد به صورتی که احتمال انتخاب اعضا با ارزش بیشتر بوده و تا جایی که ممکن است میانگین ارزش هر نسل نسبت به نسل ما قبل خود بیشتر باشد. روش‌های انتخاب مختلفی وجود دارد که ما در ادامه تعدادی از متداول‌ترین آن‌ها را بیان می‌کنیم [۳۵].

۳-۲-۷-۱ انتخاب تصادفی^۱

با استفاده از یک تابع تصادفی دو کروموزوم انتخاب می‌شوند. به عنوان مثال می‌توان دو عدد تصادفی را در بازه یک و تعداد کروموزوم‌ها تولید کرده و کروموزوم‌های مربوط به آن دو عدد را به عنوان والد انتخاب کرد.

۳-۲-۷-۲ انتخاب بر اساس رتبه بندی^۲

این روش در سال ۱۹۸۵ توسط بیکر ارائه شد که در آن کروموزوم‌ها بر حسب شایستگی مرتب می‌شوند و برنامه به ترتیب انتخاب را انجام می‌دهد.

۳-۲-۷-۳ روش چرخ گردان^۳ یا چرخ رولت

انتخاب چرخ گردان که اولین بار توسط هالند پیشنهاد شد یکی از مناسب‌ترین انتخاب‌های تصادفی که اساس آن بر مبنا احتمال انتخاب می‌باشد. احتمال انتخاب متناظر با هر کروموزوم، بر اساس برازندگی آن محاسبه می‌شود. اگر f_k مقدار برازندگی کروموزوم k ام باشد، احتمال بقای متناظر

¹ Random selection

² Ranking

³ Roulette Wheel

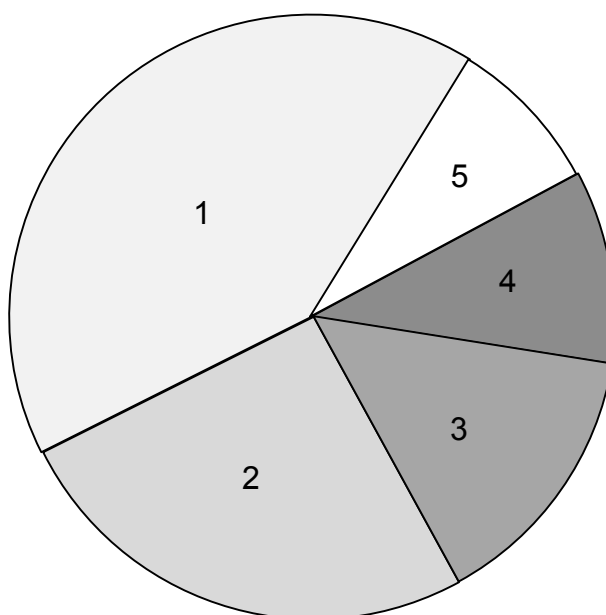
به آن کروموزوم عبارت است از:

$$P_k = \frac{f_k}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (2-3)$$

کروموزوم‌ها بر اساس P_k مرتب کرده و Q_k که همان مقادیر تجمعی P_k می‌باشد به صورت زیر به دست می‌آید:

$$Q_k = \sum_{i=1}^k P_i \quad (3-3)$$

چرخ گردان به این صورت عمل می‌کند که برای انتخاب هر کروموزوم یک عدد تصادفی بین یک و صفر تولید کرده و عدد مذکور در هر بازه‌ای که قرار گرفت، کروموزوم متناظر با آن انتخاب می‌شود. البته روش پیاده سازی آن به این صورت است که ما یک دایره همانند شکل (۲-۳) در نظر می‌گیریم و آن را به تعداد کروموزوم‌ها طوری تقسیم می‌کنیم که هر بخش متناظر با مقدار شایستگی کروموزوم (احتمال انتخاب یک کروموزوم) مربوط باشد. حال چرخ را چرخانده و هر کجا که چرخ متوقف شد به شاخص چرخ نگاه کرده، کروموزوم مربوط به آن بخش انتخاب می‌گردد.



شکل (۲-۳): نمایی از یک چرخ گردان

در این روش با توجه به ارزش اعضا، انتخاب انجام می شود. این روش یک چرخ گردان را شبیه سازی می کند تا تعیین کند کدام اعضا شانس باز تولید را دارند. هر عضو به نسبت ارزش خود، تعدادی از بخش های چرخ را به خود اختصاص می دهد. سپس در هر مرحله انتخاب یک عضو انتخاب می شود و روند آنقدر تکرار می شود تا به اندازه کافی، جفت برای تشکیل نسل برگزیده شوند.

۳-۲-۷-۴ روش بولتزمن^۱

این روش با الهام از توزیع احتمال بولتزمن به انتخاب کروموزوم های والد می پردازد و بر خلاف روش چرخ گردان از پارامتر های دیگری علاوه بر مقدار شایستگی یک کروموزوم در فرایند انتخاب کروموزوم ها استفاده می کند.

۳-۲-۷-۵ روش رقابتی^۲

در این روش تعدادی از کروموزوم ها به صورت تصادفی انتخاب می شوند و به رقابت می پردازند و بهترین کروموزوم از این کروموزوم ها بر اساس میزان شایستگی به نسل بعد کپی می شود. این عملیات به تعداد جمعیت انجام می شود تا انتخاب کروموزوم های والد به پایان برسد.

۳-۲-۸ عملگر ترکیب یا تقاطع^۳

در طبیعت بقای نسل یکی از مهم ترین فاکتورها می باشد و تنها عملگر ممکن برای این امر آمیزش است. در الگوریتم ژنتیک به طبع از طبیعت آمیزش وجود دارد. آمیزش با تعویض ژن ها بین دو کروموزوم انجام می شود و هر کدام از کروموزوم ها خاصیتی از خود را به فرزندان انتقال می دهند. بدیهی است کروموزوم هایی که شایستگی بیشتری دارند شانس بیشتری برای آمیزش خواهند داشت. مهم ترین عملگر در الگوریتم ژنتیک عملگر تقاطع می باشد. تقاطع، فرایندی است که در آن نسل قدیمی کروموزوم ها با یکدیگر مخلوط و ترکیب می شوند تا نسل تازه ای از کروموزوم ها به وجود آید. جفت هایی که در قسمت انتخاب، به عنوان والد در نظر گرفته شدند، در این قسمت ژن هایشان را

¹Boltzman

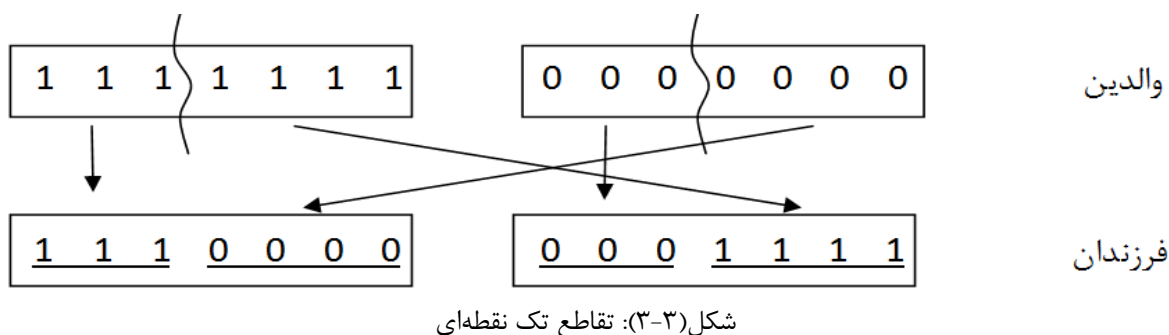
²Tournament

³Cross Over

با هم مبادله می‌کنند و اعضای جدیدی را به وجود می‌آورند. ترکیب کروموزوم‌ها با ارزش بالا باعث به وجود آمدن کروموزوم‌هایی می‌شود که شایستگی آن‌ها از شایستگی میانگین بیشتر است. تقاطع در الگوریتم ژنتیک باعث از بین رفتن پراکندگی یا تنوع ژنتیکی جمعیت می‌شود زیرا اجازه می‌دهد ژن‌های خوب همدیگر را بیابند. که در ادامه روش‌های معمول تقاطع را بیان می‌کنیم [۳۵].

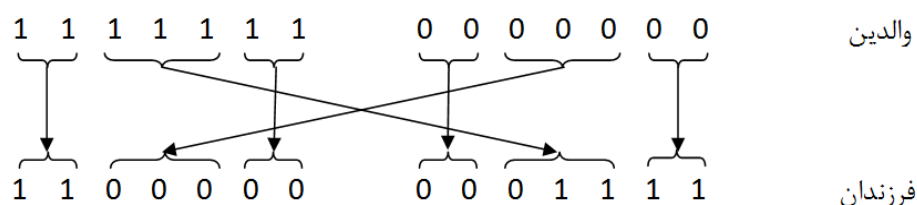
۳-۲-۱ تقاطع تک نقطه‌ای^۱

همان‌طور که بیان کردیم عملگر تقاطع، یک عملگر ترکیبی می‌باشد که شامل سه عمل است: اول یک جفت از کروموزوم‌های انتخابی را به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. دوم محلی برای عمل تقاطع به صورت تصادفی در طول کروموزوم انتخاب می‌شود و سرانجام در سومین مرحله مقدار دو رشته با توجه به محل شکست جابه‌جا می‌شود. نحوه عملکرد این نوع تقاطع به خوبی در شکل (۳-۳) نمایش داده شده است.



۳-۲-۲ تقاطع چند نقطه‌ای^۲

این روش مانند روش قبلی است با این تفاوت که نقاط شکست بیشتر از یک نقطه خواهد بود.



شکل (۴-۳) : تقاطع چند نقطه‌ای

¹ Single Point Cross Over

² Multi Point Cross Over

۳-۲-۸-۳ تقاطع یکنواخت^۱

یک کروموزوم تصادفی به نام ماسک^۲ هم طول با کروموزوم‌های موجود تولید می‌کنیم. کروموزوم ماسک تعیین می‌کند که کدام ژن از والد اول و کدام ژن از والد دوم به فرزند منتقل شود. مقدار بیت‌های کروموزوم ماسک تعیین کننده میزان نقش هر والد در ویژگی‌های فرزند است که در شکل زیر نشان داده شده است.

ماسک :	0110011000	(تولید شده به صورت تصادفی)
والدین:	1010001110	0011010010
فرزند اول:	0011001010	
والدین:	1010001110	0011010010
فرزند دوم:	1010010110	

شکل (۳-۵) : تقاطع یکنواخت

۳-۲-۸-۴ نرخ تقاطع

تقاطع یا ترکیب لازم نیست در هر نسل اتفاق بیفتد. در واقع ممکن است نسل‌هایی بدون عملگر تقاطع به نسل‌های جدید تبدیل شوند. برای رخ دادن یا رخ ندادن ترکیب از پارامتری به نام احتمال تقاطع یا نرخ تقاطع استفاده می‌شود. این پارامتر را با P_c نشان می‌دهند و مقدار آن بین صفر و یک می‌باشد. از آنجا که تقاطع نقش مهمی در رشد مقدار میانگین شایستگی دارد، مقدار این پارامتر بین ۰/۵ تا ۰/۷ و بیشتر بین ۰/۷ تا ۰/۹ در نظر گرفته می‌شود [۳۵].

اگر تقاطعی صورت نگیرد، فرزندان دقیقاً همانند والدین خواهد بود. اگر تقاطع صورت بگیرد، فرزندان از بخش‌هایی از کروموزوم‌های والدین به وجود می‌آیند. اگر احتمال تقاطع ۱۰۰٪ باشد، در این صورت همه فرزندان در نتیجه تقاطع به وجود آمده‌اند. اگر این احتمال صفر باشد کل نسل جدید،

^۱ Uniform Cross Over

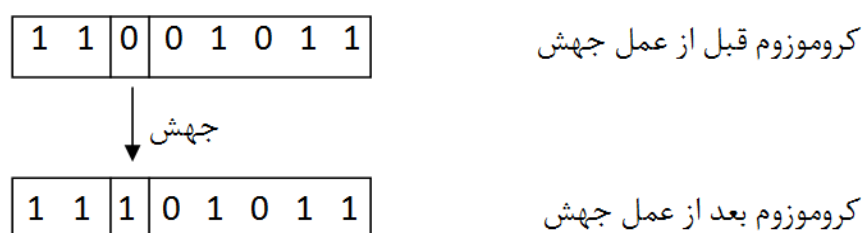
^۲ Mask

در اثر نسخه برداری عینی کروموزوم‌ها نسل قدیم به وجود می‌آیند. تقاطع به این امید انجام می‌شود که کروموزوم‌های جدید، حاوی بخش‌های مناسب کروموزوم‌های قدیمی باشند و در نتیجه این عمل کروموزوم‌های جدید بهتر از کروموزوم‌های نسل قبل خود خواهند بود. با این حال خوب است که برخی نسل‌های قدیم عیناً به نسل جدید منتقل شود.

۳-۲-۹ عملگر جهش^۱

در طبیعت برخی عوامل مانند تابش اشعه ماورای بنفش باعث به وجود آمدن تغییرات غیر قابل پیش بینی در کروموزوم‌ها می‌شوند. از آنجایی الگوریتم ژنتیک از قانون تکامل پیروی می‌کنند در این الگوریتم هم عملگر جهش با احتمال کم انجام می‌پذیرد. جهش باعث جستجو در فضاهاست دست نخورده مسئله می‌شود و می‌توان استنباط کرد که مهم‌ترین وظیفه جهش اجتناب از همگرایی به نقطه بهینه محلی است.

در الگوریتم ژنتیک بعد از اینکه یک عضو در جمعیت جدید به وجود آمد، هر ژن بسته به احتمال جهش آن ژن، جهش می‌یابد. ژن‌های یک کروموزوم به صورت مستقل جهش می‌یابند. به این معنی که جهش یک ژن بر روی احتمال جهش سایر ژن‌ها تأثیر نمی‌گذارد. برای نمونه در الگوریتم ژنتیک با کدگذاری باینری، با جهش یک ژن، بیت مربوط به آن از ۰ به ۱ یا از ۱ به ۰ تبدیل می‌شود.



شکل (۳-۶): عملگر جهش

همان‌طور که گفته شد، در هر کروموزوم هر ژن بسته به احتمال جهش خود، جهش می‌یابد. احتمال جهش را با P_m نشان می‌دهند که توسط کاربر تعیین می‌شود و مقدار آن بین صفر و یک

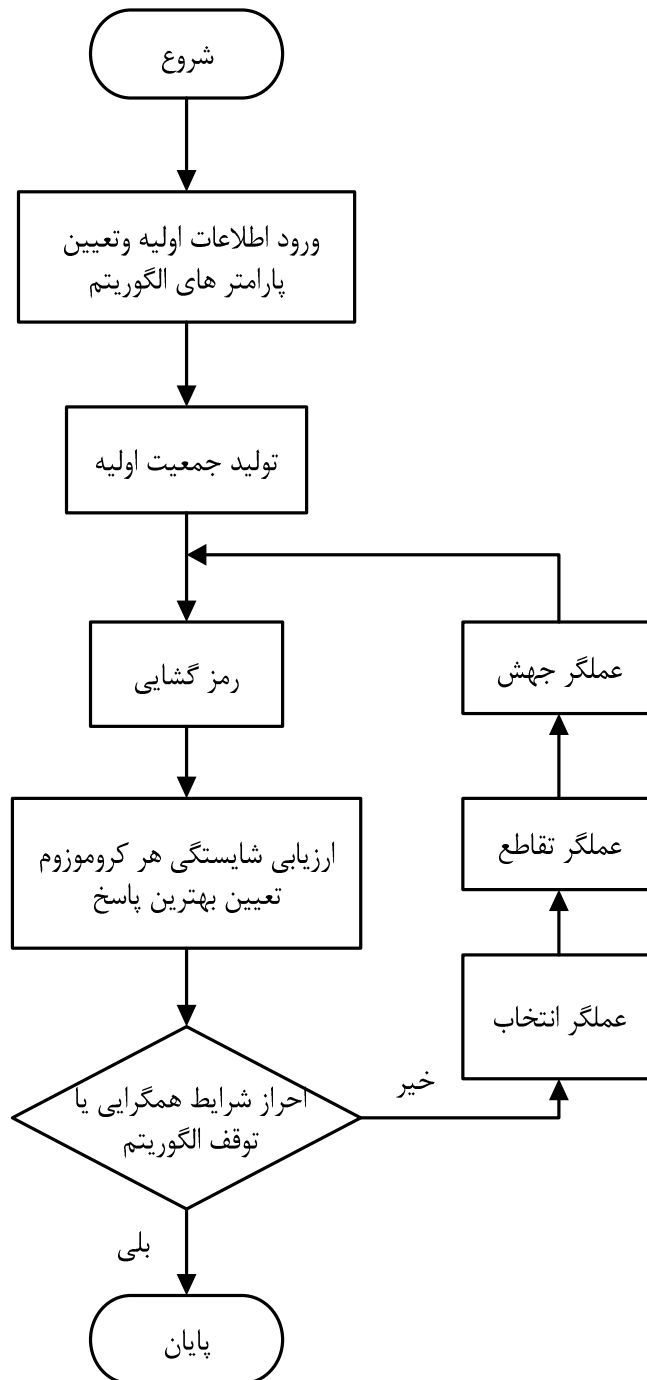
^۱ Mutation

می‌باشد و معمولاً کوچک انتخاب می‌شود. در الگوریتم‌های استاندارد ژنتیک مقدار این پارامتر را بسیار کوچک مثل 0.01 یا حتی 0.001 انتخاب می‌کنند. نرخ بالای جهش باعث تنوع و پراکندگی ژنتیکی در جمعیت می‌شود که پراکندگی ممکن است همگرایی را به تأخیر بیندازد [۳۵].

روند کار در این عملگر به این صورت است که در فرزندی که بعد از مرحله تقاطع به وجود آمده است به ترتیب مقداری تصادفی بین صفر و یک به هر ژن اختصاص می‌یابد. اگر این مقدار اختصاص داده شده برای هر ژن از P_m کمتر باشد، ژن جهش می‌یابد و اگر بیشتر باشد، ژن تغییر نمی‌کند.

۳-۲-۱۰ توقف یا خاتمه الگوریتم

برای این که تشخیص دهیم چه موقع الگوریتم از اجرا متوقف شود یا الگوریتم تا چند نسل پیش برود از شیوه‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد. به عنوان نمونه می‌توان برای تعداد نسل‌ها محدودیتی در نظر گرفت و یا اینکه فاصله شایستگی بهترین فرد جمعیت از متوسط شایستگی را در نظر گرفت که در این حالت باید از حد مشخصی کوچک‌تر باشد و یا یک محدودیت زمانی در نظر گرفت. روشی دیگر می‌تواند چک کردن بهترین کروموزوم هر نسل باشد که در صورت تکرار شدن آن به میزان K دفعه عملیات خاتمه یابد. در صورتی که الگوریتم در نهایت به یک حل بهینه همگرا نشود یا هیچ‌کدام از شرایط توقف برآورده نشد باید پارامترهایی مانند اندازه جمعیت، احتمال تقاطع و جهش را تغییر داده و الگوریتم را دوباره اجرا نمود. شکل (۳-۷) فلوچارت الگوریتم ژنتیک معمولی را نشان می‌دهد [۳۶].



شکل (۷-۳) : فلوچارت الگوریتم ژنتیک

۳-۳ الگوریتم جهش قورباغه^۱

۳-۳-۱ مقدمه

الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه، یک روش بهینه‌سازی فراکاوشی است که از ترکیب مزیت‌های دو الگوریتم ژنتیک (GA) و الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات (PSO) به وجود آمده است. در این الگوریتم از زندگی گروهی قورباغه‌ها زمانی که به دنبال غذا می‌گردند الهام گرفته شده است. هدف اصلی از بیان الگوریتم جهش قورباغه، بدست آوردن الگوریتمی بود که به توان از آن در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی، بدون استفاده از روابط ریاضی استفاده کرد.

الگوریتم جهش قورباغه برای اولین بار در سال ۲۰۰۳ توسط یوسف و لنسی^۲ معرفی شد و از این الگوریتم جهت تعیین قطر بهینه لوله‌ها در طراحی و توسعه شبکه توزیع آب شهری استفاده کردند. در سال ۲۰۰۵، البلتاگی^۳ این الگوریتم را با سایر الگوریتم‌های تکاملی (الگوریتم ژنتیک، محاسبات تکاملی، الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات و الگوریتم جامعه پرندگان و غیره) مقایسه کرد و بیان کرد که سرعت همگرایی و عملکرد این الگوریتم نسبت به سایر روش‌ها بهتر است. یوسف (۲۰۰۶) با توسعه این الگوریتم، از آن برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی استفاده کرد و نیز آن را برای کالیبره کردن مدل آب‌های زیر زمینی و طراحی شبکه توزیع آب به کار برد [۳۷-۳۹].

در این الگوریتم هر قورباغه به عنوان ترکیبی از متغیرهای تصمیم در نظر گرفته می‌شود و جمعیت اولیه را به چند گروه مجزا تقسیم می‌شود که در جهت رسیدن به هدف خاصی حرکت می‌کنند. جهش قورباغه نمادی از ارتقاء خصوصیات متغیرهای تصمیم موجود در آن در جهت حالت بهینه است و باعث بهبود عملکرد آن در جهت هدفش می‌شود.

بر اساس این تقسیم بندی دو نوع تکنیک جستجو در این الگوریتم وجود دارد، تکنیک اول

¹ Suffled Frog Leaping Algorithm

² Eussuff and Lansey

³ Elbeltagi

که تکنیک جستجوی محلی است و تأثیرگذاری و تأثیرپذیری قورباغه‌ها از هم در هر گروه باعث اصلاح متغیرهای تصمیم شده و قورباغه‌ها با تبادل اطلاعات موقعیت خود را نسبت به غذا (بهترین جواب) بهبود می‌دهند و تکنیک دوم مربوط به تبادل اطلاعات بین گروه‌ها می‌باشد، که بعد از تعداد مشخصی تکامل، طی فرآیند ترکیب شدن گروه‌ها و تشکیل جمعیت جدید، اطلاعات بین قورباغه‌ها منتقل شده و جستجوی هدفمند برای تعیین جواب بهینه صورت می‌گیرد. این روند تا برقرار شدن شرایط همگرایی مشخص ادامه می‌یابد [۴۰].

۳-۳-۲ ساختار الگوریتم جهش قورباغه

در الگوریتم SFLA از جستجوی محلی و تبادل اطلاعات سراسری^۱ استفاده می‌شود. مجموعه از جواب‌های ممکن مسئله که به صورت قورباغه‌های مجازی در آمده‌اند، به زیر مجموعه‌هایی به نام میمپلکس^۲ها تقسیم می‌شوند. در هر میمپلکس، قورباغه‌ها با تأثیرپذیری از مکان بهترین قورباغه نسبت به غذا (بهترین جواب)، موقعیت خود را بهبود می‌دهند.

برای تقسیم قورباغه‌ها به m میمپلکس که هر میمپلکس شامل n قورباغه باشد به این صورت عمل می‌شود که اولین قورباغه از جمعیت مرتب شده به اولین گروه می‌رود، دومین قورباغه از جمعیت مرتب شده به دومین گروه می‌رود و m امین قورباغه از جمعیت مرتب شده به m امین گروه می‌رود و برای $m+1$ امین قورباغه از جمعیت مرتب شده دوباره از اولین گروه شروع می‌شود و $m+1$ امین قورباغه را در گروه اول قرار می‌گیرد و به همین ترتیب در m گروه n قورباغه قرار می‌گیرد. (تعداد قورباغه‌های موجود در همه‌ی گروه‌ها با هم برابر است).

با انتخاب بهترین قورباغه در هر میمپلکس، به علت تمایل تمرکز قورباغه‌ها حول این قورباغه امکان گیر افتادن در نقاط بهینه محلی افزایش می‌یابد. برای جلوگیری از این کار در هر میمپلکس زیر مجموعه‌ای به نام سابمیمپلکس^۳ در نظر گرفته می‌شود. برای انتخاب قورباغه‌های هر سابمیمپلکس از

^۱ Global

^۲ Memplex

^۳ Submemplex

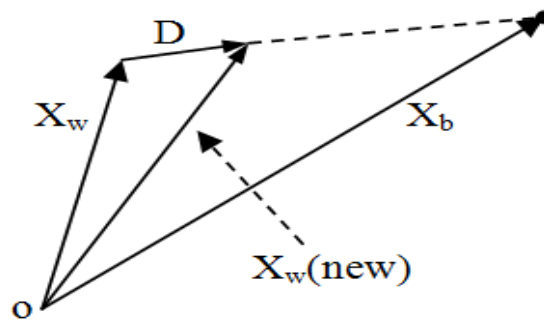
یک توزیع احتمال مثلثی همانند رابطه (۴-۳) جهت دادن ضرایب به قورباغه‌ها، استفاده می‌شود و به گونه‌ای که قورباغه‌هایی که ارزش کمتری دارند، ضرایب کوچک‌تر و قورباغه‌هایی که ارزش بالاتری دارند، ضرایب بزرگ‌تر تعلق می‌گیرد. به عبارت دیگر قورباغه با کم‌ترین ارزش در یک میمپلکس، کم‌ترین احتمال یعنی $P_n = 2/n(n+1)$ را جهت انتخاب شدن برای سابمیمپلکس را دارا می‌باشد، و قورباغه با بهترین ارزش، بالاترین احتمال یعنی $P_1 = 2/(n+1)$ را دارا می‌باشد [۳۸].

$$P_k = \frac{2(n+1-k)}{n(n+1)} \quad k=1, \dots, n \quad (۴-۳)$$

پس از انجام جستجوی محلی در هر سابمیمپلکس، قورباغه‌ها با بدترین و بهترین جواب را مشخص کرده و به ترتیب با X_b و X_w نشان می‌دهیم. همچنین قورباغه‌ای را که در کل جمعیت دارای بهترین جواب بوده را مشخص کرده و با X_g نشان می‌دهیم. سپس در هر گروه موقعیت بدترین قورباغه (X_w) را به صورت زیر اصلاح می‌کنیم (شکل ۸-۳):

$$D_i = rand \times (X_b - X_w) \quad (۵-۳)$$

$$X_w(new) = X_w(old) + D_i \quad (-D_{max} \leq D_i \leq D_{max}) \quad (۶-۳)$$



شکل (۸-۳): جهش بدترین قورباغه به سمت بهترین قورباغه [۳۹]

در روابط فوق، rand یک عدد تصادفی بین صفر و یک می‌باشد و D_{max} هم بیانگر بیشترین جابه‌جایی که قورباغه می‌تواند داشته باشد. پس از اعمال تغییرات فوق در صورتیکه قورباغه در موقعیت جدید ($X_w(new)$) دارای جواب بهتری نسبت به موقعیت قبلی ($X_w(old)$) بود، موقعیت قبلی قورباغه را با موقعیت جدید جایگزین می‌کنیم. در صورتیکه جواب بهبود پیدا نکرد روابط (۵-۳)

و (۳-۶) را تکرار می‌کنیم با این تفاوت که در حالت جدید بجای X_b در روابط، X_g را قرار می‌دهیم. اگر با اعمال این تغییر باز هم در جواب بهبودی حاصل نشد، یک جواب به صورت تصادفی تولید کرده و آن را جایگزین X_w می‌کنیم. به خاطر اینکه داده‌های هر قورباغه اعداد صحیح هستند، پس از هر بار اعمال روابط (۳-۵) و (۳-۶) بایستی جواب حاصله را رند کنیم. پس از اتمام جستجوی محلی و بهبود موقعیت قورباغه‌ها، جهت تضمین جستجوی سراسری جمعیت جدید را از بهترین جواب تا بدترین جواب مرتب کرده و به میمپلکس و سابمپلکس‌های جدیدی تقسیم می‌کنیم. با تکرار این روند X_g و X_b در هر تکرار تغییر کرده و به تدریج متوسط شایستگی جمعیت قورباغه‌ها در طی مراحل افزایش می‌یابد تا به مقدار مشخصی همگرا می‌شود. جستجوی محلی و فرآیند ترکیب تا زمانی که معیارهای مشخص همگرایی برآورده نشوند ادامه پیدا می‌کند.

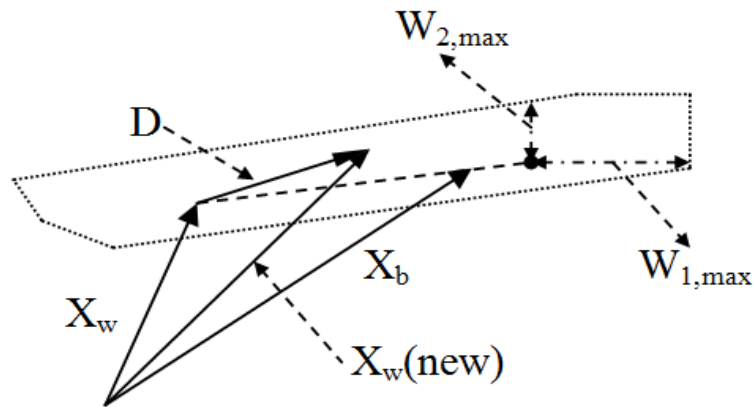
۳-۳-۳ بهبود الگوریتم قورباغه

همان‌طور که در قسمت قبل بیان شد، در هر گروه بدترین قورباغه موقعیت خود را با توجه به موقعیت بهترین قورباغه در آن گروه و یا بهترین قورباغه در کل جمعیت قورباغه‌ها بهبود می‌بخشد. ولی با استفاده از روابط (۳-۵) و (۳-۶) همان‌طور که در شکل (۳-۸) نشان داده شده است، موقعیت جدید بدترین قورباغه در امتداد خط بین X_b و X_w قرار می‌گیرد و موقعیت جدید بدترین قورباغه نمی‌تواند در اطراف این خط باشد (شکل ۳-۹). وجود این محدودیت می‌تواند باعث کاهش سرعت همگرایی الگوریتم و یا همگرا شدن الگوریتم به جواب‌های غلط شود. برای رفع این محدودیت به جای استفاده از روابط (۳-۵) و (۳-۶) از روابط (۳-۷) و (۳-۸) استفاده می‌کنیم.

$$D_i = rand \times C(X_b - X_w) + W \quad (۳-۷)$$

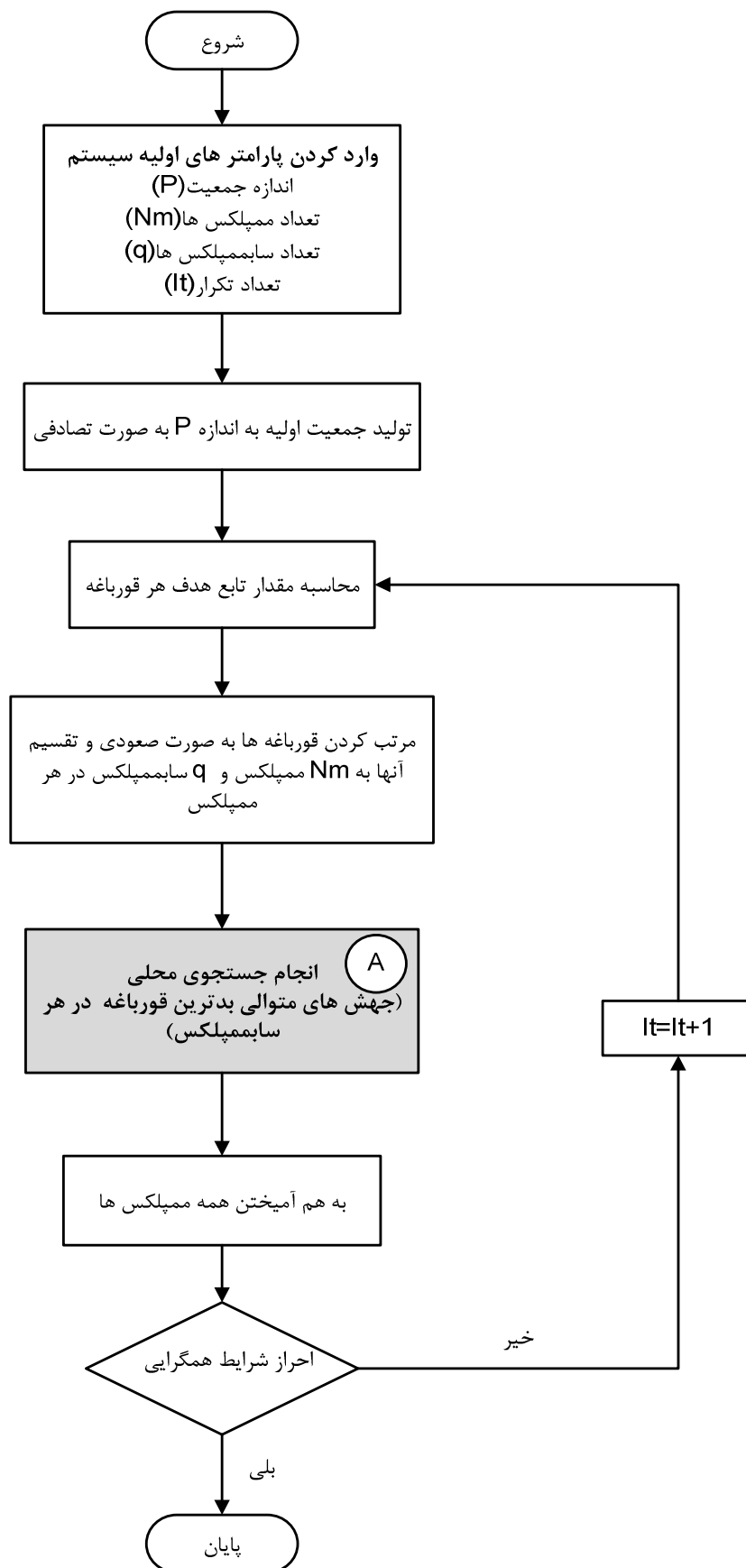
$$W = [r_1 W_{1,max}, r_2 W_{2,max}, \dots, r_{NF} W_{NF,max}]^T \quad (۳-۸)$$

$$X_w(new) = \begin{cases} X_w + D & \text{if } |D| \leq D_{max} \\ X_w + \frac{D}{\sqrt{D^T D}} D & \text{if } |D| \geq D_{max} \end{cases} \quad (۳-۹)$$

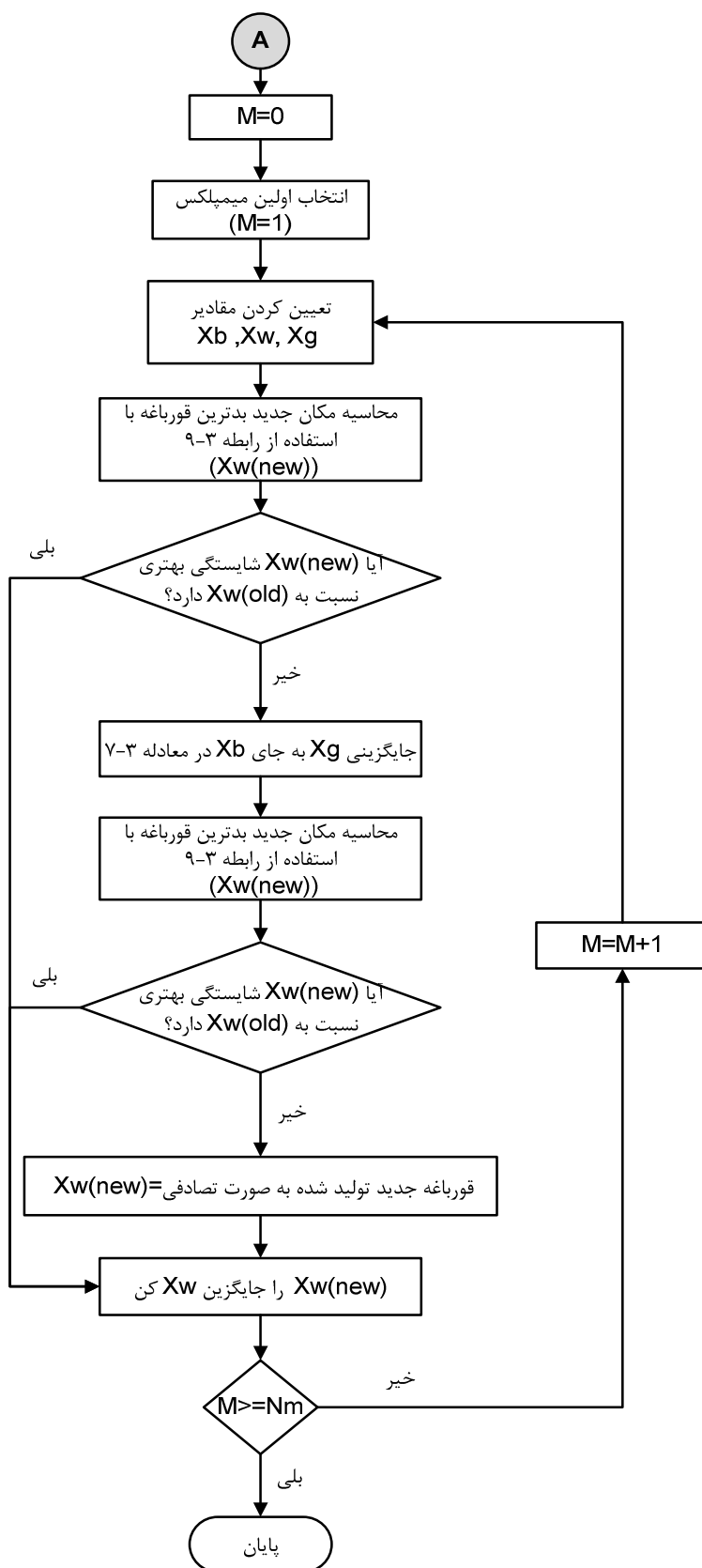


شکل (۳-۹): جهش بدترین قورباغه به سمت بهترین قورباغه [۳۹]

در روابط فوق $rand$ یک عدد تصادفی بین صفر و یک است و C یک عدد ثابت بین ۱ و ۲ می باشد. r_i ها اعداد تصادفی بین ۱ و ۱- هستند و $W_{i,max}$ بیانگر ماکزیمم محدوده ای که هر قورباغه در بعد i ام می بیند و همچنین D_{max} بیانگر بیشترین جابه جایی که قورباغه می تواند داشته باشد. به خاطر اینکه داده های هر قورباغه اعداد صحیح هستند، پس از هر بار اعمال روابط بایستی جواب حاصله را رند کنیم. با اعمال روابط فوق فضای جستجوی محلی در هر گروه افزایش می یابد و بدین ترتیب می توان هم سرعت همگرایی را افزایش داد و هم اینکه احتمال همگرایی الگوریتم به بهترین جواب را افزایش داد. شکل (۳-۱۰) و (۳-۱۱) فلوچارت الگوریتم جهش قورباغه و جستجوی محلی این الگوریتم را نشان می دهد.



شکل (۳-۱۰): فلوچارت الگوریتم جهش قورباغه



شکل (۱۱-۳): فلوچارت جستجوی محلی (بلوک A در شکل (۱۰-۳)) با استفاده از قاعده جهش قورباغه

۳-۴ خلاصه فصل

در این فصل مروری بر روش‌های بهینه سازی الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جهش قورباغه داشتیم. نحوه عملکرد عملگرهای الگوریتم به تفصیل شرح داده شد و چگونگی استفاده از جست و جوی محلی و بهبود وضعیت بدترین قورباغه در الگوریتم جهش قورباغه بیان شد. در ادامه نحوه پیاده سازی این دو الگوریتم برای مسئله جایابی واحدهای تولید پراکنده و تئوری حل مسئله جایابی ارائه خواهد شد.

فصل چهارم

تئوری حل مسئله جایابی بهینه منابع تولید پراکنده

با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان

۴-۱ مقدمه

همان طور که بیان شد، شبکه‌های توزیع که اکثراً به صورت شعاعی طراحی می‌شوند و دارای تلفات زیاد و افت ولتاژ قابل مقایسه با شبکه‌های انتقال می‌باشند. خطوط و تجهیزات این شبکه‌ها برای تأمین افزایش توان مصرفی، اغلب در خارج محدوده حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر این افزایش توان کنترل نشود برخی از خطوط در مسیرهای خاص، ممکن است دچار اضافه بار شوند و در نتیجه علاوه بر فرسودگی زود هنگام شبکه‌های توزیع، مشکلات گسترده‌ای در بهره برداری از این فیدرها همانند عدم امکان بازیابی بار در هنگام وقوع حوادث و در نتیجه اعمال خاموشی‌های طولانی مدت به مشترکین، به وجود می‌آورد و حاشیه امنیت شبکه به خطر بیفتد.

این مشکل را می‌توان با احداث فیدرها و پست‌های جدید یا با نصب واحدهای تولید پراکنده حل نمود. واحدهای تولید پراکنده می‌تواند نقشی مشابه یک پست جدید را برای بهبود قابلیت اطمینان بازی کند و این منابع می‌توانند با ایجاد جزایر عمدی^۱ از خاموشی تعدادی از مصرف کنندگان جلوگیری کند. تصمیم گیری بین یکی از دو گزینه احداث فیدرها و پست‌های جدید یا نصب واحدهای تولد پراکنده، عمدتاً بستگی به تنظیمات شبکه، میزان کمبود ظرفیت و شرایط اقتصادی دارد. زمانی که مقدار زیادی از ظرفیت مورد نیاز باشد، احداث پست جدید خواهیم داشت و زمانی که ظرفیت کوچکی مورد نیاز باشد، واحدهای تولید پراکنده نصب می‌شود [۴۱].

همان‌طور که در بخش دوم بیان شد فراهم کردن سطح بالاتر قابلیت اطمینان منجر به افزایش هزینه‌های سرمایه گذاری و افزایش قیمت انرژی الکتریکی می‌شود. به عبارت دیگر بهبود قابلیت اطمینان و رسیدن به سطوح بالاتر آن با انرژی الکتریکی ارزان در تضادند و این تبدیل به یکی از دغدغه طراحان و برنامه ریزان صنعت برق شده است و همیشه سعی در ایجاد تعادلی بین این دو هستند.

از سوی دیگر با توجه به رشد چشمگیر صنعت برق و تکنولوژی‌های منابع تولید پراکنده، این

¹ Intentional islanding

مولدها تبدیل به یکی از گزینه‌های برنامه ریزان و طراحان صنعت برق در جهت پیشبرد اهداف خود از جمله کاهش تلفات، بهبود پایداری و همچنین کاهش هزینه‌های سرمایه گذاری در سیستم‌های انتقال و گسترش شبکه‌های توزیع و به خصوص افزایش قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت و کاهش در هزینه خاموشی مصرف کنندگان شده‌اند. این بهبودها به مشخصات، تعداد و موقعیت احداث واحد های تولید پراکنده وابسته است و به جهت تأمین این بهبودها در کم‌ترین هزینه ممکن، جایابی و ظرفیت یابی مناسب واحدهای تولید پراکنده ضروری به نظر می‌رسد و باعث شده است که جایابی این واحدها به یکی از فاکتورهای مهم در طراحی شبکه‌های توزیع تبدیل شوند.

روش‌های متعددی در خصوص مدل‌سازی و ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع مطرح و ارائه شده است و تحقیقات و مطالعات در این زمینه همچنان ادامه دارد، به طور کلی روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع را می‌توان به دو دسته عمده تحلیلی و شبیه سازی تقسیم نمود. در روش‌های تحلیلی که کاربرد فراوانی در مطالعات مهندسی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع دارند، فیدر و تجهیزات مربوطه در قالب ریاضی به صورت اجزای سری یا موازی مدل می‌شوند و شاخص‌های مربوطه در زمان نسبتاً کوتاهی محاسبه می‌شوند. در روش‌های شبیه سازی، رفتار تصادفی سیستم شبیه سازی شده (مقادیر شاخص‌های اصلی با استفاده از یک تابع توزیع به صورت تصادفی تولید می‌شود) سپس با تکرار شبیه سازی، مقادیر پارامترها و شاخص‌ها بدست می‌آیند. لازم به ذکر است که استفاده از روش شبیه سازی مونت کارلو باعث افزایش محاسبات و زمان حل می‌شود. در این پروژه از روش تحلیلی به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان استفاده شده است که در ادامه به تفصیل شرح داده شده است.

مسئله و تابع هدف مورد نظر در بخش ۴-۲ آورده شده است. بخش ۴-۳ به نحوه محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان اختصاص دارد. در بخش ۴-۴ به چگونگی محاسبه تابع هدف کلی مسئله پرداخته شده است.

۴-۲ بیان مسئله

مسئله مورد بررسی در این پایان نامه تعیین مکان و ظرفیت محل بهینه واحدهای تولید پراکنده با در نظر گرفتن معیارهای قابلیت اطمینان می‌باشد. همان‌طور که در بخش قبل بیان شد استفاده از منابع تولید پراکنده به جهت بهبود قابلیت اطمینان سیستم بدون در نظر گرفتن هزینه امری بیهوده می‌باشد. پس ما در این پروژه به نوعی از یک فرمول بندی چند هدفه جهت تعیین اندازه و مکان و تعداد واحدهای تولید پراکنده استفاده می‌کنیم. دو تابع هدف در روش پیشنهادی وجود دارد که باید به طور هم‌زمان بهینه شوند. تابع هدف اصلی، شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد که خود از سه شاخص اصلی و متداول قابلیت اطمینان تشکیل شده است. این شاخص‌ها عبارتند از: شاخص متوسط تعداد دفعات خاموشی در سیستم (SAIFI)، شاخص متوسط مدت زمان خاموشی سیستم (SAIDI) و شاخص انرژی متوسط تأمین نشده (AENS).

تابع هدف دوم کاهش هزینه‌های مرتبط با واحدهای تولید پراکنده می‌باشد. که هزینه‌ها شامل هزینه نصب، تعمیر و نگهداری و بهره برداری از این واحدها می‌باشد.

۴-۲-۱ فرمول بندی مسئله

با توجه به اینکه در این پروژه دو هدف بهبود قابلیت اطمینان و کاهش هزینه را دنبال می‌کنیم، بنابراین تابع هدف کلی ما از دو قسمت تشکیل شده است که هر قسمت، یکی از اهداف یاد شده را دنبال می‌کنند. قسمت اول همان شاخص‌های قابلیت اطمینان است که با OBF_R نشان داده می‌شود و خود به سه زیر تابع دیگر تقسیم می‌شوند که در ادامه تشریح خواهند شد. قسمت دوم مربوط به هزینه واحد های تولید پراکنده می‌باشد که با OBF_C نشان داده می‌شود. بنابراین تابع هدف کلی مسئله به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود :

$$OBF = OBF_R + OBF_C \quad (۱-۴)$$

به علت وجود چندین تابع هدف در این مسئله و اینکه امکان بهینه سازی این اهداف به خاطر

مغایرت و تضاد ذاتی بین آن‌ها به کمک روش‌های بهینه سازی تک هدفه امکان پذیر نمی‌باشد. لذا در حل این گونه مسائل از روش‌های بهینه سازی چند هدفه استفاده می‌شود [۴۲].

در بهینه سازی چند هدفه، مصالحه‌ای بین چند تابع هدف ایجاد می‌شود. لذا بر خلاف بهینه سازی تک هدفه بجای یک جواب با مجموعه‌ای از جواب‌ها سر و کار خواهیم داشت. در اینجا انتخاب جواب بهینه سازی برای سیستم مورد نظر، از بین این مجموعه جواب‌ها و با توجه به نظر تصمیم گیرنده انجام می‌شود. روش‌های متنوعی برای تولید این مجموعه جواب‌ها وجود دارد. در این پروژه از روش مجموع وزنی استفاده شده است. در این روش تمامی توابع هدف را با ضرایب وزنی مختلفی که به هر کدام اختصاص می‌دهیم، جمع می‌نماییم.

۴-۲-۲ تابع هدف مربوط به شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم ($OBFR$)

تابع هدف اصلی ما در این پروژه بهبود شاخص قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد. این تابع خود از سه شاخص مهم و متداول قابلیت اطمینان سیستم تشکیل شده است [۴۳].

- شاخص متوسط تعداد دفعات خاموشی در سیستم ($SAIFI$) :

همان‌طور که در فصل دوم بیان شد این شاخص زیر مجموعه شاخص‌های مصرف کننده می‌باشد و بیان می‌کند که در دوره زمانی مورد مطالعه، به طور متوسط هر مشترک چند بار قطع شده‌اند و یا اینکه با توجه به خاموشی‌های ناشی از خطاها، هر یک از مشترکین شبکه در طول زمان مورد مطالعه چند بار به طور متوسط خاموشی را تجربه کرده‌اند.

- شاخص متوسط مدت زمان خاموشی سیستم ($SAIDI$) :

این شاخص همانند شاخص $SAIFI$ زیر مجموعه شاخص‌های مصرف کننده تعریف شده است و نشان دهنده مدت زمان متوسط خاموشی هر مشترک در دوره زمانی مورد مطالعه می‌باشد و یا اینکه در طی خطاهایی که در بازه زمانی مورد مطالعه در شبکه رخ داده، هر یک از مشترکین شبکه به طور متوسط چه مدت زمان را بی برق بوده‌اند.

- شاخص انرژی متوسط تأمین نشده (AENS) :

این شاخص در دسته بندی شاخص‌های قابلیت اطمینان در دسته شاخص‌های بار و انرژی قرار گرفته است و بیانگر مقدار متوسط انرژی فروخته نشده به هر مشترک را بر حسب کیلو وات ساعت می‌باشد. در ادامه نحوه محاسبه این شاخص‌ها به تفصیل شرح داده شده است. تابع هدف اصلی مسئله ما که همان بهبود قابلیت اطمینان سیستم (OBF_R) می‌باشد به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$OBF_R = W_1 \cdot \frac{SAIFI}{SAIFI_T} + W_2 \cdot \frac{SAIDI}{SAIDI_T} + W_3 \cdot \frac{AENS}{AENS_T} \quad (2-4)$$

ضرایبی که با w نشان داده شده‌اند همان ضرایب وزنی هستند که بر حسب اهمیتی که هر جز دارند تعیین می‌شوند و یا به عبارت دیگر اهمیت نسبی هر یک از توابع را نشان می‌دهد. مقادیر این ضرایب بزرگ‌تر از صفر بوده و جمع آن‌ها برابر یک می‌باشد. همچنین ضرایبی که با T نشان داده شده‌اند معمولاً مقادیر ایده آل می‌باشند که برای حذف واحد ضرایب w ها و همچنین برای افزایش سرعت همگرایی مسئله استفاده می‌شود.

۴-۲-۳ تابع هدف مربوط به هزینه واحدهای تولید پراکنده (OBF_C)

برای اینکه بررسی قابلیت اطمینان سیستم مورد نظر دارای ارزش اجرایی و کاربردی پیدا کند، هزینه واحدهای تولید پراکنده به تابع هدف اصلی افزوده می‌شود. تابع هزینه واحدهای تولید پراکنده خود از سه قسمت هزینه نصب، تعمیر و نگهداری و هزینه بهره برداری تشکیل شده است و با توجه به از یک جنس بودن این سه قسمت (هر سه بر حسب دلار می‌باشند)، می‌توان بدون در نظر گرفتن ضرایب وزنی این سه جزء را با هم ترکیب کرد. هزینه واحدهای تولید پراکنده که با OBF_C در رابطه (۴-۱) مشخص شده است، با استفاده از رابطه (۴-۳) بدست می‌آید و برای زیبایی و تفهیم بیشتر تابع هدف مسئله، در ادامه OBF_C را با C_{DG} نشان می‌دهیم [۳۲].

$$OBF_C = C_{DG} = C_{Ins} + C_{Oper} + C_{Main} \quad (3-4)$$

در رابطه (۳-۴)، C_{Ins} هزینه نصب^۱ واحدهای تولید پراکنده و C_{Oper} هزینه‌های تعمیر و نگهداری^۲ و C_{Main} هزینه بهره برداری^۳ واحدهای تولید پراکنده می‌باشد.

هزینه مربوط به ساخت واحدهای تولید پراکنده، هزینه مکان نصب این واحدها و نقشه برداری و ساخت مکان، هزینه تجهیزات حفاظتی و تجهیزات انتقال سوخت در هزینه نصب لحاظ شده است. هزینه نگهداری شامل هزینه‌های بازدیدهای مکانیکی و الکتریکی و تعمیر قطعات معیوب می‌باشد. هزینه‌های نیروی کار، مالیات و هزینه سوخت در هزینه‌های بهره برداری گنجانده شده است.

۴-۲-۴ تابع هدف کلی مسئله

در نهایت با جایگذاری رابطه‌های (۲-۴) و (۳-۴) در رابطه (۱-۴) تابع هدف کلی که تمام توابع را دنبال می‌کنند به صورت رابطه (۴-۴) در نظر گرفته می‌شود.

$$OBF = W_{SAIFI} \cdot \frac{SAIFI}{SAIFI_T} + W_{SAIDI} \cdot \frac{SAIDI}{SAIDI_T} + W_{AENS} \cdot \frac{AENS}{AENS_T} + W_{C_{DG}} \cdot \frac{C_{DG}}{C_{DGT}} \quad (4-4)$$

در رابطه (۴-۴) W_{SAIFI} ، W_{SAIDI} ، W_{AENS} و $W_{C_{DG}}$ ضرایب وزنی می‌باشند که بر حسب اهمیت هر یک از توابع و مقدار نقش آن‌ها در تابع هدف کلی مقدار دهی می‌شوند. $SAIFI_T$ ، $SAIDI_T$ ، $AENS_T$ و C_{DGT} ضرایبی می‌باشند که به منظور افزایش سرعت همگرایی جواب و بهبود ساختار تابع هدف مسئله استفاده می‌شوند. مقادیر مختلف این ضرایب‌ها در تابع هدف به صورت تجربی و با انجام آزمایشات تکراری انتخاب می‌شوند. در ادامه نحوه محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان که اجزا اصلی تابع هدف کلی مسئله ما را تشکیل می‌دهند استفاده می‌کنیم.

۴-۳ نحوه محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان

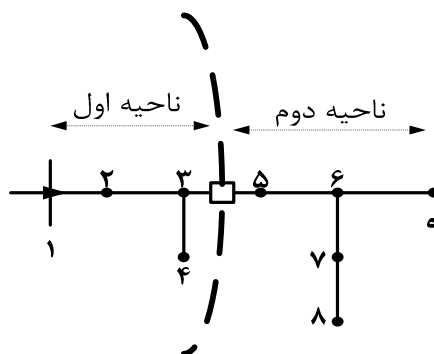
اولین گام در محاسبه تابع هدف، بدست آوردن شاخص‌های قابلیت اطمینان برای هر آرایش واحدهای تولید پراکنده در شبکه مورد نظر می‌باشد [۴۶].

¹ Install Cost

² Maintenance Cost

³ Operating Cost

برای درک بهتر مسئله، یک شبکه ۹ باسه از یکسو تغذیه را به عنوان شبکه نمونه انتخاب می‌کنیم. با فرض حضور کلید بر روی خط ۴ شبکه ۹ باسه، شبکه مورد نظر به دو ناحیه برای ارزیابی قابلیت اطمینان به صورت شکل (۱-۴) تقسیم خواهد شد.



شکل (۱-۴): نواحی ارزیابی قابلیت اطمینان برای شبکه نمونه ۹ باسه

برای مشخص کردن کل بارها، خطوط و باس‌های موجود در هر ناحیه جدولی مطابق جدول (۱-۴) را تشکیل می‌دهیم. با کمک این جدول می‌توانیم امکان تشکیل جزایر عمده و بازیابی بارهای موجود در آن جزایر توسط واحدهای تولید پراکنده به واسطه رخ دادن خطا در خطوط را بررسی نمود. گام بعدی در محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان بررسی تأثیرپذیری دو ناحیه از یکدیگر در هنگام بروز خطا با توجه به مکان و عملکرد کلیدها می‌باشد. به عبارت دیگر بررسی می‌شود که با خروج هر یک از نواحی به واسطه رخ دادن خطا در هر یک از خطوط مربوط به آن ناحیه، آیا ناحیه دیگر هم تحت تأثیر این خطا قرار گرفته‌اند. بدین جهت جدولی مطابق جدول (۲-۴) تشکیل می‌دهیم.

جدول (۱-۴): باس‌های موجود در نواحی قابلیت اطمینان برای شبکه نمونه ۹ باسه

شماره باس	ناحیه ۱	ناحیه ۲
۱	*	---
۲	*	---
۳	*	---
۴	*	---
۵	---	*
۶	---	*
۷	---	*
۸	---	*
۹	---	*

در گام بعدی جدولی به نام جدول خطا (جدول ۴-۳) تشکیل می‌دهیم که در آن نشان داده شده است که با رخ دادن خطا در هر یک از خطوط، چه نواحی و کدام بارها دچار خاموشی می‌شوند. در این جدول فرض شده است که با تشکیل جزایر، واحدهای تولید پراکنده موجود در هر ناحیه نمی‌توانند توان مورد نیاز مربوط به آن ناحیه را تأمین کنند.

جدول (۴-۲) : تأثیر پذیری نواحی مختلف قابلیت اطمینان برای شبکه نمونه ۹ باسه

ناحیه ۲	ناحیه ۱	ناحیه دچار خطا شده
*	*	ناحیه ۱
*	---	ناحیه ۲

در گام آخر با توجه به آرایش و ظرفیت واحدهای تولید پراکنده در شبکه مورد نظر امکان تشکیل جزایر عمده توسط این واحدها و همچنین توانایی تأمین توان مربوط به هر جزیره توسط منابع موجود در هر جزیره بررسی می‌شود. اگر منابع موجود در هر جزیره توانایی تأمین بار را داشتند در جدول خطا، خطوط مربوط به آن ناحیه حذف می‌شوند و تعداد مشترکین مربوط به آن ناحیه از مشترکین تحت تأثیر خطا کم می‌شود. این روند برای تمام خطوط تکرار می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به آرایش واحدهای تولید پراکنده بایستی مقادیر نرخ خرابی و زمان قطعی سالانه باس باری که این واحدها به آن‌ها متصل می‌باشند، با استفاده از روابط (۲۲-۲) و (۲۳-۲) بدست آیند. در نهایت با استفاده از روابط (۴-۲) و (۵-۲) و (۶-۲) و مشخص شدن تعداد مشترکین تحت تأثیر هر خطا، شاخص‌های متوسط تعداد دفعات خاموشی در سیستم، متوسط مدت زمان خاموشی سیستم و انرژی متوسط تأمین نشده سیستم بدست می‌آیند. در ادامه نحوه محاسبه تابع هدف کلی مسئله بیان می‌شود.

جدول (۳-۴): جدول خطا

شماره باس	ناحیه ۱	ناحیه ۲
۱	*	*
۲	*	*
۳	*	*
۴	*	*
۵	---	*
۶	---	*
۷	---	*
۸	---	*
۹	---	*

۴-۴ نحوه محاسبه تابع هدف مسئله

اولین گام در استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی و محاسبه تابع هدف کلی مسئله، انتخاب یک روش مناسب برای کدگذاری جواب‌های ممکن مسئله می‌باشد. در فصل بعد نحوه کدگذاری برای روش پیشنهادی به تفصیل شرح داده خواهد شد. با فرض انتخاب یک جواب ممکن مسئله که در آن ظرفیت و تعداد و مکان نصب واحدهای تولید پراکنده مشخص شده است، مراحل محاسبه تابع هدف مسئله به صورت زیر می‌باشد:

(۱) در خط i ام شبکه خطا رخ داده است.

(۲) ایزوله شدن ناحیه دچار خطا شده از سایر شبکه

(۳) بررسی جزیره‌های عمده ایجاد شده توسط واحدهای تولید پراکنده با توجه ظرفیت و مکان نصب این واحدها و امکان تغذیه بارهای موجود در هر جزیره توسط منابع موجود در هر جزیره

(۴) شمارش تعداد مشترکین که تحت تأثیر خطای رخ داده در خط i ام قرار گرفته‌اند.

(۵) رفتن به مرحله ۲ تا پایان یافتن شبیه سازی خطا در تمام خطوط

(۶) محاسبه مقادیر نرخ خرابی و زمان قطعی سالانه باس بارها متصل شده به واحدهای تولید پراکنده

(۷) محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان

برای محاسبه این شاخص‌ها به صورت زیر عمل می‌کنیم:

- شاخص متوسط تعداد دفعات خاموشی در سیستم (SAIFI)

$$SAIFI = \frac{\text{تعداد کل قطعی های مشترکین}}{\text{تعداد کل مشترکین}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \lambda_i S_i \quad (5-4)$$

که در آن λ_i نرخ خطا خط i و n تعداد کل مشترکین سیستم و m تعداد کل خطوط می‌باشد. همچنین S_i تعداد مشترکین تحت تأثیر خطای رخ داده در خط i ام می‌باشد.

- شاخص متوسط مدت زمان خاموشی سیستم (SAIDI)

$$SAIDI = \frac{\text{مجموع مدت زمان خاموشی مشترکین}}{\text{تعداد کل مشترکین}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \lambda_i D_i \quad (6-4)$$

که در آن λ_i نرخ خطا خط i و n تعداد کل مشترکین سیستم و m تعداد کل خطوط می‌باشد. همچنین D_i مدت زمان خاموشی مشترکین که تحت تأثیر خطای رخ داده در خط i ام می‌باشد.

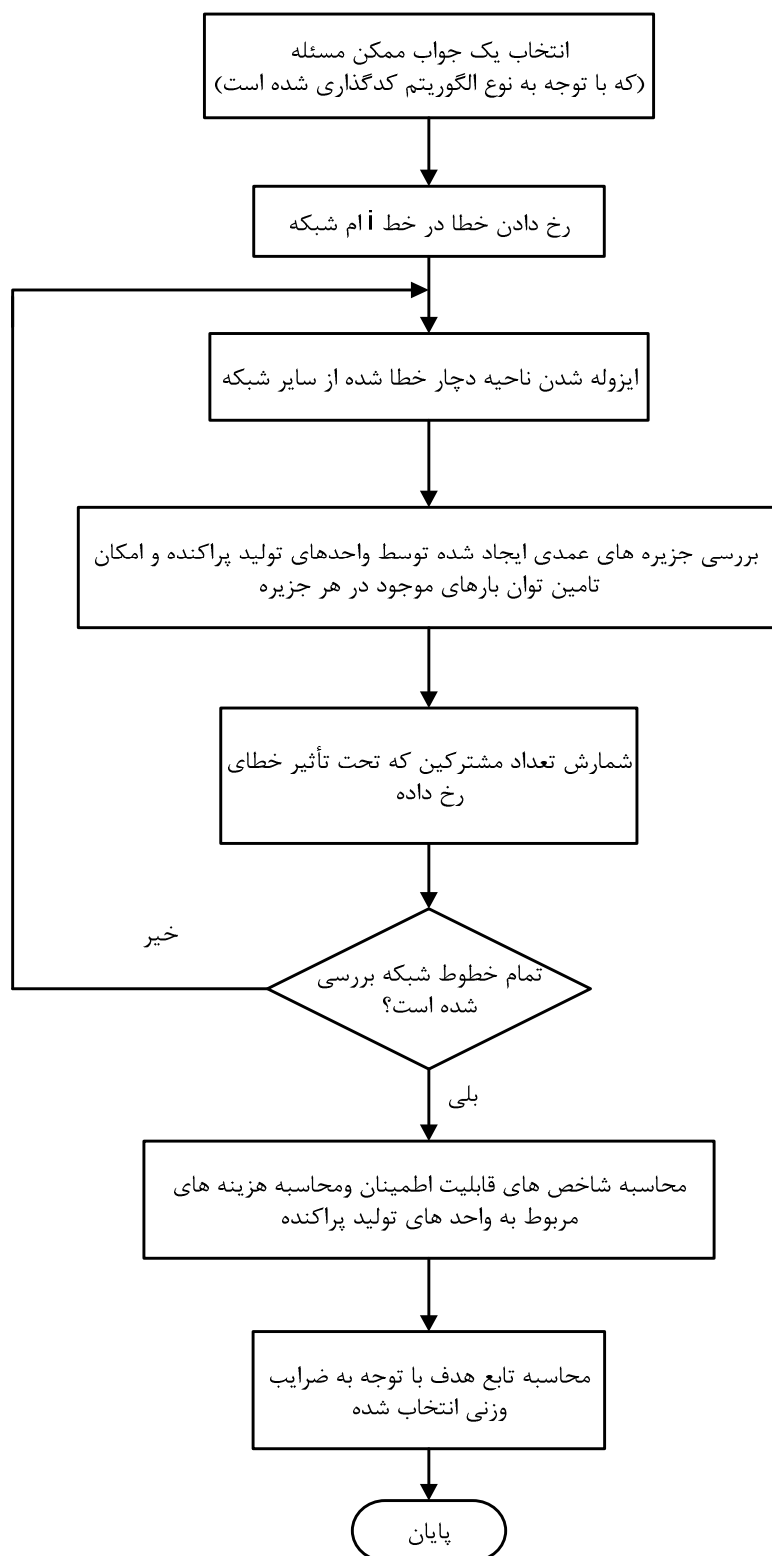
- شاخص انرژی متوسط تأمین نشده (AENS)

$$AENS = \frac{\text{کل انرژی تامین نشده}}{\text{تعداد کل مشترکین}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m L_{ai} D_i \quad (7-4)$$

این شاخص مقدار متوسط انرژی فروخته نشده به هر مشترک را بر حسب کیلو وات ساعت بیان می‌کند و در آن D_i مدت زمان خاموشی مشترکین که تحت تأثیر خطای رخ داده در خط i ام می‌باشد و L_{ai} متوسط بار متصل شده به باس بار i ام می‌باشد.

(۸) محاسبه هزینه‌های مربوط به واحدهای تولید پراکنده و محاسبه تابع هدف کلی مسئله با توجه به ضرایب وزنی انتخاب شده. برای فهم بیشتر، چگونگی فلوچارت نحوه محاسبه تابع هدف در

شکل (۲-۴) آورده شده است.

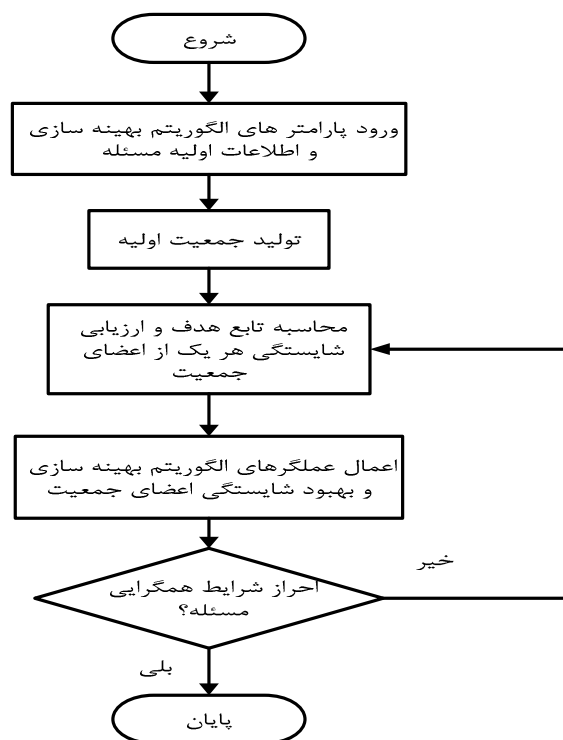


شکل (۲-۴) : فلوچارت نحوه محاسبه تابع هدف

۴-۵ نحوه استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی در جایابی بهینه

واحدهای تولید پراکنده بر اساس قابلیت اطمینان

همان‌طور که بیان شد مسئله مورد بررسی در این پایان نامه تعیین ظرفیت و محل بهینه واحدهای تولید پراکنده بر اساس معیارهای قابلیت اطمینان با استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی می‌باشد. ساختار و نحوه عملکرد دو الگوریتم ژنتیک و جهش قورباغه به صورت مفصل در بخش سوم شرح داده شد اما به طور کلی نحوه عملکرد الگوریتم‌های بهینه سازی بدین صورت می‌باشد که با تولید یک جمعیت اولیه به صورت تصادفی و اعمال عملگرهای خود و تکرار این فرایند شایستگی جمعیت را بهبود می‌بخشند و در هر تکرار مقدار تابع هدف برای تمام اعضاء جمعیت محاسبه می‌شود. نحوه محاسبه تابع هدف به طور مفصل در بخش قبل شرح داده شده است. در نهایت پس از خاتمه الگوریتم، بهترین و بهینه‌ترین جواب برای مسئله مورد نظر بدست می‌آید. برای درک بهتر این قضیه، فرایند عملکرد الگوریتم‌های بهینه سازی در شکل (۴-۳) آورده شده است.



شکل (۴-۳): فرایند عملکرد الگوریتم‌های بهینه سازی

۴-۶ خلاصه فصل

در این فصل تئوری حل مسئله جایابی منابع تولید پراکنده به جهت بهبود قابلیت اطمینان سیستم قدرت بیان شد و ترکیب مناسبی برای اهداف تشکیل دهنده تابع هدف کلی مسئله که بتوان به کمک آن جواب مناسب برای جایابی منابع تولید پراکنده بدست آورد، ارائه کردیم. همچنین در این فصل روشی را برای محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان بیان نمودیم. در فصل بعد به شبیه سازی دو روش پیشنهادی الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جهش قورباغه و پیاده سازی آن بر روی سیستم نمونه خواهیم پرداخت.

فصل پنجم

شبیه سازی روش پیشنهادی

بر روی شبکه مورد مطالعه

۵-۱ مقدمه

همان‌طور که در فصل قبل بیان شد، تابع هدف کلی مسئله جاییابی منابع تولید پراکنده به منظور بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان از چهار زیر تابع، شاخص متوسط تعداد دفعات خاموشی در سیستم، شاخص متوسط مدت زمان خاموشی سیستم و شاخص انرژی متوسط تأمین نشده و هزینه‌های نصب، تعمیر و نگهداری و بهره برداری از واحدهای تولید پراکنده تشکیل شده است. در این فصل با توجه به ترکیبی که برای تابع هدف در فصل چهارم تعریف نمودیم و با استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی به مکان یابی و ظرفیت یابی منابع تولید پراکنده در یک شبکه نمونه خواهیم پرداخت.

در این مسئله برای تعداد واحدهای تولید پراکنده محدودیت چهار عدد در نظر گرفته شده است. در روش پیشنهادی از دو الگوریتم ژنتیک (GA) و الگوریتم بهبود یافته پرش قورباغه (MSFLA) که در فصل سوم به تفصیل شرح داده شد، استفاده شده است و در نهایت نتایج حاصل از دو الگوریتم با هم مقایسه شده‌اند. به منظور اثبات کارایی الگوریتم پیشنهادی، از سیستم تست ۳۴ باسه IEEE به عنوان شبکه نمونه استفاده شده است.

برای شروع شبیه سازی و پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی نیازمند مشخص کردن دو پارامتر مهم می‌باشیم. یکی مقادیر ضرایب وزنی در تابع هدف کلی مسئله و دیگری نوع و ظرفیت واحدهای تولید پراکنده انتخاب شده برای حل مسئله جاییابی واحدهای تولید پراکنده.

مقدار انتخاب شده ضرایب وزنی و سایر ضرایب موجود در تابع هدف (رابطه ۴-۴) در جدول (۵-۱) نمایش داده شده است. قابل ذکر است که این ضرایب با استفاده از روش سعی و خطا و انجام آزمایشات تکراری انتخاب شده‌اند و نحوه انتخاب آن‌ها به گونه‌ای بوده است که توابع هدفی که از اهمیت بیشتری برخوردار بوده‌اند سهم بیشتری در تابع هدف نهایی داشته باشند و سرعت همگرایی مسئله بهبود بخشیده شود.

جدول (۵-۱) : مقدار ضرایب وزنی توابع هدف مورد استفاده در شبیه سازی

W_{SAIFI}	۰/۳
W_{SAIDI}	۰/۳
W_{AENS}	۰/۳۳
W_{CDG}	۰/۰۷
$SAIFI_T$	۱۰
$SAIDI_T$	۱۰۰
$AENS_T$	۳۰۰
CDG_T	۱۰۰۰۰۰۰

همچنین چهار نوع واحد تولید پراکنده از نوع توربین گازی در نظر گرفته شده است. در

جدول (۵-۲) ظرفیت و هزینه‌های نصب و تعمیر و نگهداری و بهره برداری هر کدام آورده شده است

[۴۷،۱۴]. همچنین نرخ خطا و تعمیر سالانه منابع تولید پراکنده به ترتیب ۰/۱ و ۰/۲ انتخاب شده

است.

جدول (۵-۲) : مشخصات واحدهای تولید پراکنده انتخابی [۴۷،۱۴]

نوع تولید پراکنده	مشخصات تولیدات پراکنده	هزینه نصب (\$)	هزینه نگهداری (\$/yr)	هزینه بهره برداری (\$/yr)
۱	300 kW Mini Gas turbine	۱۸۲۰۰۰	۱۱۶۳۰	۷۸۰۰۰
۲	500 kW Mini Gas turbine	۳۳۰۰۰۰	۲۱۱۴۰	۱۴۲۰۰
۳	700 kW Mini Gas turbine	۴۱۰۰۰۰	۲۷۳۱۰	۱۷۸۰۰۰
۴	1000 kW Mini Gas turbine	۵۵۰۰۰۰	۳۲۲۴۰	۲۳۷۰۰۰

ساختار فصل پیش رو به صورت زیر می‌باشد:

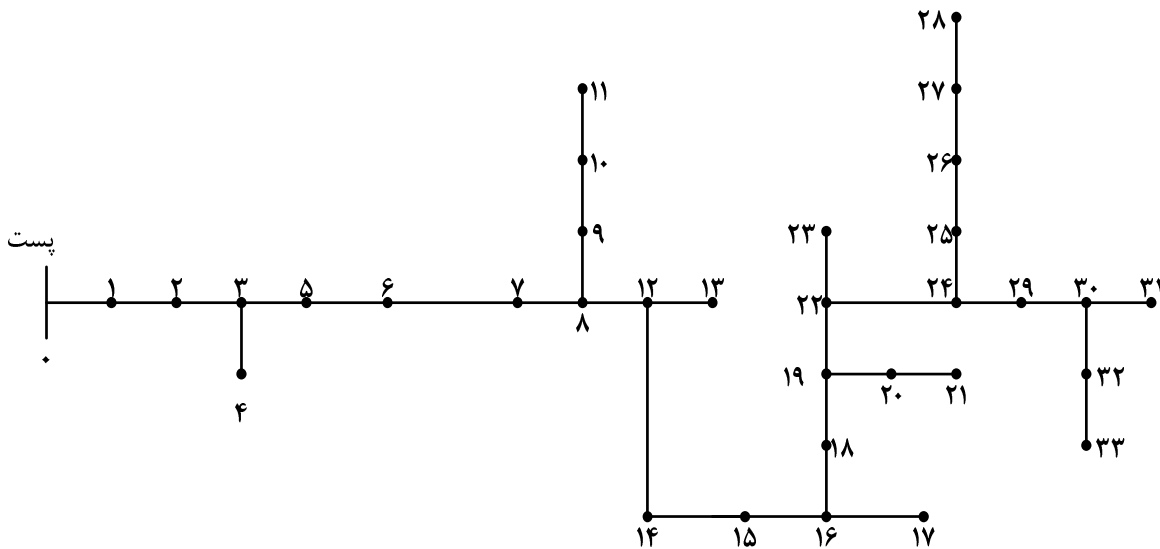
شبکه مورد مطالعه در بخش ۵-۲ معرفی شده است. در بخش ۵-۳ شبیه سازی مسئله با

استفاده از روش پیشنهادی GA برای شبکه نمونه مورد بررسی انجام شده است. در بخش ۵-۴

الگوریتم پیشنهادی SFLA به مسئله اعمال شده است. نهایتاً نتایج حاصل و روند همگرایی دو الگوریتم در بخش ۵-۵ با هم مقایسه شده‌اند.

۵-۲ شبکه مورد مطالعه

جهت اثبات کارایی روش پیشنهادی، از شبکه نمونه ۳۴ باسه IEEE استفاده می‌کنیم و سپس نتایج را تحلیل کرده و مورد بحث قرار می‌دهیم. شبکه توزیع مورد مطالعه در شکل (۵-۱) نمایش داده شده است. این شبکه توزیع از نوع شعاعی شامل ۳۴ باس بار و ۳۵۴ مصرف کننده می‌باشد [۴۴-۴۶].



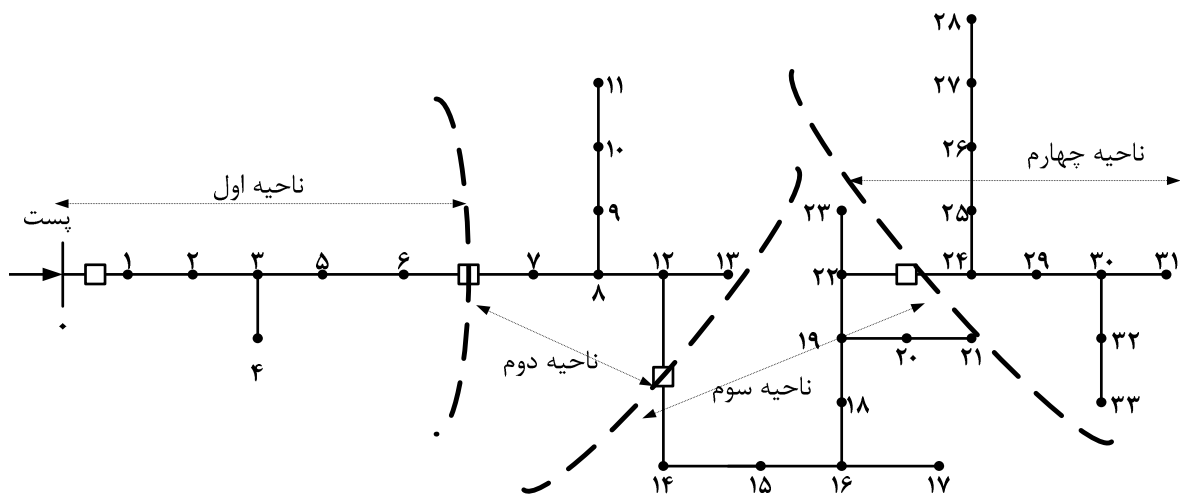
شکل (۵-۱): ساختار اولیه شبکه نمونه مورد بررسی [۴۴-۴۶]

اطلاعات شبکه شامل اطلاعات خطوط، بارها و مقادیر نرخ متوسط خطا و طول دوره تعمیر در پیوست ۱ و ۲ ارائه شده است. مقادیر نرخ بروز خطا و طول دوره تعمیر در واحد طول خطوط شبکه یکسان فرض شده‌اند. مشخصات شبکه از لحاظ شاخص‌های قابلیت اطمینان قبل از اجرای الگوریتم، در جدول (۵-۳) آورده شده است.

جدول (۵-۳): مشخصات شاخص‌های شبکه

SAIFI (fault / year)	SAIDI (hr / year)	AENS (kWh)
۸/۷	۹۲/۴	۴۶۱/۴

همان طور که در فصل چهارم اشاره نمودیم اولین گام در محاسبه تابع هدف و شاخص‌های قابلیت اطمینان تشکیل نواحی قابلیت اطمینان و مشخص کردن باس‌های موجود در هر ناحیه و تأثیر پذیری نواحی از یکدیگر و جدول خطا می‌باشد. با فرض حضور کلیدها روی خطوط ۱ و ۴ و ۷ و ۲۴ شبکه ۳۴ باسه، نواحی برای ارزیابی قابلیت اطمینان و تشکیل جزیره‌های عمده به صورت شکل (۵-۲) تشکیل خواهند شد.



شکل (۵-۲): نواحی ارزیابی قابلیت اطمینان برای شبکه نمونه ۳۴ باسه

به جهت مشخص کردن باس‌های موجود در هر ناحیه، جدولی مطابق جدول (۵-۴) تشکیل می‌دهیم که با کمک آن می‌توان کل بارها، خطوط و باس‌های موجود در نواحی مختلف را بدست آورد و همچنین می‌توان احتمال تشکیل جزایر عمده به واسطه رخ دادن خطا در خطوط را با توجه به نوع و ظرفیت منابع تولید پراکنده به کمک این جدول بررسی کرد.

در مرحله بعد نوبت به محاسبه تأثیرپذیری نواحی از یکدیگر می‌رسد تا بررسی شود که با رخ دادن یک خطا روی یک خط و با توجه به عملکرد کلیدها، آیا بقیه نواحی نیز تحت تأثیر خطا قرار گرفته‌اند یا همچنان به شبکه متصل خواهند بود. به عبارت دیگر با خروج هر ناحیه، چه نواحی از شبکه برق سراسری جدا خواهند شد. بدین منظور جدول (۵-۵) را تشکیل می‌دهیم که نشان دهنده تأثیر پذیری نواحی مختلف قابلیت نسبت به خطای رخ داده در نواحی دیگر می‌باشد.

جدول (۴-۵) : باس های موجود در نواحی قابلیت اطمینان

شماره باس	ناحیه ۱	ناحیه ۲	ناحیه ۳	ناحیه ۴
۰	*	---	---	---
۱	*	---	---	---
۲	*	---	---	---
۳	*	---	---	---
۴	*	---	---	---
۵	*	---	---	---
۶	*	---	---	---
۷	---	*	---	---
۸	---	*	---	---
۹	---	*	---	---
۱۰	---	*	---	---
۱۱	---	*	---	---
۱۲	---	*	---	---
۱۳	---	*	---	---
۱۴	---	---	*	---
۱۵	---	---	*	---
۱۶	---	---	*	---
۱۷	---	---	*	---
۱۸	---	---	*	---
۱۹	---	---	*	---
۲۰	---	---	*	---
۲۱	---	---	*	---
۲۲	---	---	*	---
۲۳	---	---	*	---
۲۴	---	---	---	*
۲۵	---	---	---	*
۲۶	---	---	---	*
۲۷	---	---	---	*
۲۸	---	---	---	*
۲۹	---	---	---	*
۳۰	---	---	---	*
۳۱	---	---	---	*
۳۲	---	---	---	*
۳۳	---	---	---	*

در مرحله بعدی جدول خطا مطابق جدول (۴-۶) شکل می‌گیرد، به طوری که این جدول نشان می‌دهد که با وجود آمدن خطا در هر یک از خطوط، چه نواحی و کدام بارها دچار خاموشی می‌شوند. این جدول بدون در نظر گرفتن تشکیل جزایر عمدی توسط واحدهای تولید پراکنده می‌باشد.

جدول (۵-۵) : تأثیر پذیری نواحی مختلف قابلیت اطمینان

ناحیه ۴	ناحیه ۳	ناحیه ۲	ناحیه ۱	ناحیه دچار خطا شده
*	*	*	*	ناحیه ۱
*	*	*	---	ناحیه ۲
*	*	---	---	ناحیه ۳
*	---	---	---	ناحیه ۴

جدول (۶-۵) : جدول خطا

شماره باس	ناحیه ۱	ناحیه ۲	ناحیه ۳	ناحیه ۴
۰	*	*	*	*
۱	*	*	*	*
۲	*	*	*	*
۳	*	*	*	*
۴	*	*	*	*
۵	*	*	*	*
۶	*	*	*	*
۷	---	*	*	*
۸	---	*	*	*
۹	---	*	*	*
۱۰	---	*	*	*
۱۱	---	*	*	*
۱۲	---	*	*	*
۱۳	---	*	*	*
۱۴	---	---	*	*
۱۵	---	---	*	*
۱۶	---	---	*	*
۱۷	---	---	*	*
۱۸	---	---	*	*
۱۹	---	---	*	*
۲۰	---	---	*	*
۲۱	---	---	*	*
۲۲	---	---	*	*
۲۳	---	---	*	*
۲۴	---	---	---	*
۲۵	---	---	---	*
۲۶	---	---	---	*
۲۷	---	---	---	*
۲۸	---	---	---	*
۲۹	---	---	---	*
۳۰	---	---	---	*
۳۱	---	---	---	*
۳۲	---	---	---	*
۳۳	---	---	---	*

پس از تشکیل این جداول با توجه به نحوه آرایش واحدهای تولید پراکنده و ظرفیت آنها

شاخص‌های قابلیت اطمینان مطابق آنچه که در بخش ۴-۴ بیان شد محاسبه می‌شود. لازم به ذکر

است که نحوه آرایش و ظرفیت واحدهای تولید پراکنده از کدگشایی جوابهای ممکن مسئله که با توجه به نوع الگوریتم بهینه سازی اعمال شده کدگذاری شده‌اند، بدست می‌آیند.

۳-۵ اجرای روش پیشنهادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

در این قسمت برای دستیابی به پاسخ بهینه مسئله جاییابی منابع تولید پراکنده از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. همان‌طور که در بخش ۳-۱ بیان شد، این الگوریتم مطابق با اصول تکاملی طبیعی ژن‌ها مدل سازی شده است. این الگوریتم با جمعیت اولیه که به صورت تصادفی توسط کاربر تولید شده است آغاز شده و سپس با توجه به محدودیت‌ها و قیود مسئله، امکان پذیری هر یک از اعضای جمعیت بررسی می‌شود و برای آن دسته از اعضا که با توجه به تابع هدف بهینه سازی کیفیت بالاتری را دارا هستند عمل تقاطع و جهش انجام می‌گیرد و فرزندان تولید می‌شوند و این روند تا زمانی ادامه می‌یابد که جواب بهتری در الگوریتم حاصل نشود.

به طور کلی روند پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی ژنتیک به صورت زیر می‌باشد:

اولین گام جهت بهینه سازی یک مسئله توسط الگوریتم ژنتیک، تبدیل متغیرهای مسئله در قالب کدهای قابل استفاده در عملگرهای الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در روش پیشنهادی از ساختار باینری برای نمایش هر کروموزوم (کدینگ) استفاده می‌کنیم. در این ساختار، هر باس با سه بیت کدگذاری می‌شود. بیت اول بیانگر وجود یا عدم وجود واحد تولید پراکنده در باس می‌باشد و دو بیت بعدی نشانگر نوع (ظرفیت) واحد نصب شده می‌باشد. نوع واحد نصب شده با توجه به کدی که بیت‌های دوم و سوم نشان می‌دهند، از جدول (۵-۲) استخراج می‌شود. بنابراین طول هر کروموزوم سه برابر تعداد باس‌ها می‌باشد. شکل (۵-۳) ساختار کروموزوم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

گام دوم، تشکیل جمعیت اولیه به صورت تصادفی می‌باشد و به هر یک از ژن‌های کروموزوم به صورت تصادفی صفر یا یک تعلق می‌گیرد.

بیت	۱	۲	۳	۳n-۲	۳n-۱	۳n

$$\text{بیت ۳-۲:} \begin{pmatrix} \text{DG : 00 نوع ۱} & \text{DG : 01 نوع ۲} \\ \text{DG : 10 نوع ۲} & \text{DG : 11 نوع ۴} \end{pmatrix}$$

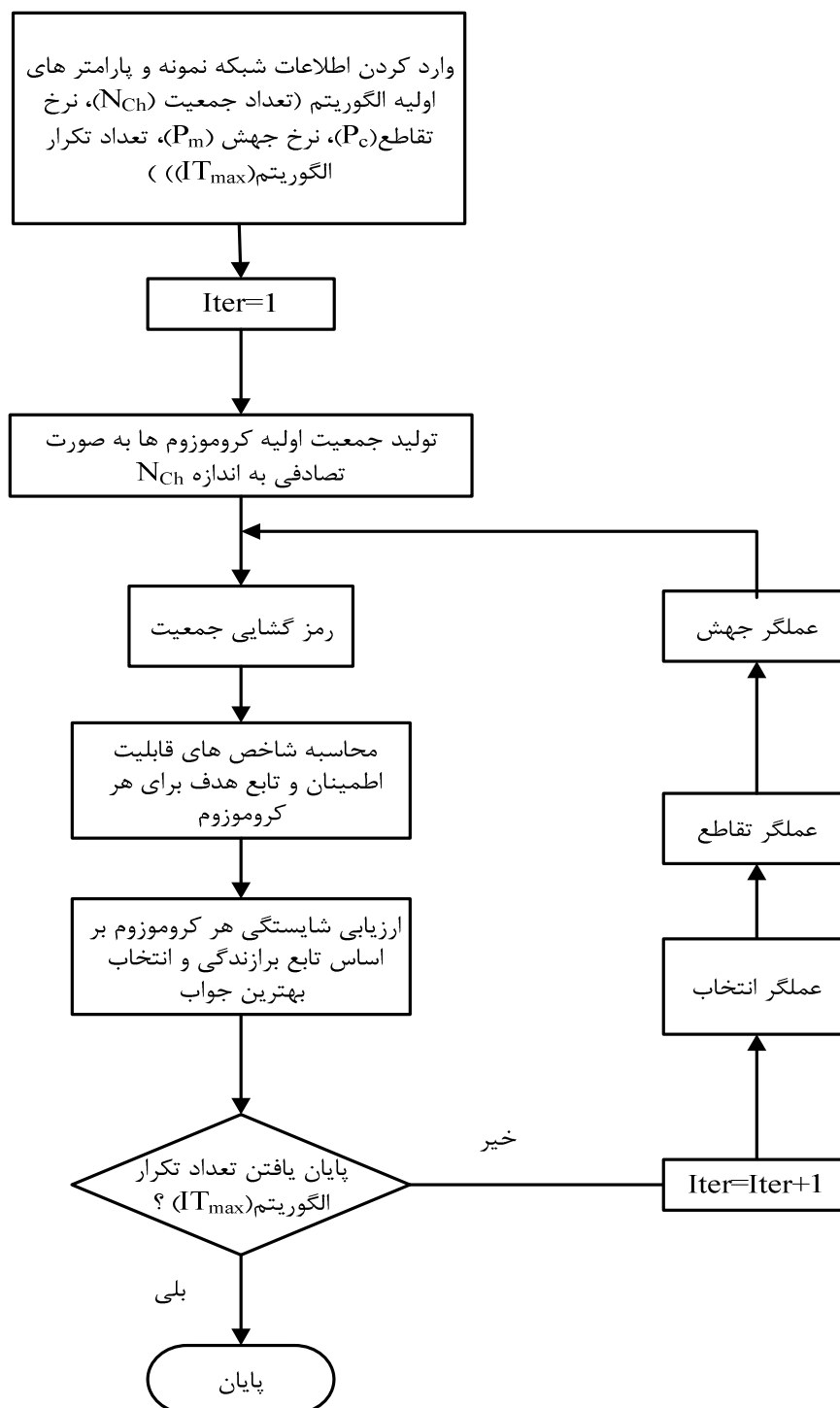
شکل (۳-۵) : ساختار کروموزوم پیشنهادی

گام سوم، محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان و تابع هدف کلی می‌باشد. در این مرحله باید محدودیت تعداد واحدهای تولید پراکنده قبل از محاسبه تابع هدف چک شود. در صورتی که این محدودیت توسط کروموزوم‌ها (جواب‌های ممکن مسئله) نقض شد، با استفاده از ضریب جریمه شایستگی کروموزوم مورد نظر را کم می‌کنیم. در این مرحله شایستگی هر کروموزوم بر اساس تابع برازندگی ارزیابی می‌شود. به علت اینکه مسئله مورد نظر ما از نوع کمینه سازی می‌باشد، تابع برازندگی را عکس تابع هدف کلی مسئله (رابطه (۴-۴)) انتخاب می‌کنیم. بهترین شایستگی در میان جمعیت کروموزوم‌ها در این مرحله تعیین می‌شود.

گام چهارم، اجرای عملگرهای الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در الگوریتم پیشنهادی انتخاب والدین با روش چرخ گردان انجام شده است و از روش تقاطع تک نقطه‌ای بهره برده شده است. مقادیر نرخ جهش و تقاطع در جدول (۷-۵) آورده شده است.

گام پنجم، رفتن به گام سوم و تکرار فرآیندهای فوق با جمعیت جدید می‌باشد.

الگوریتم تا آنجا ادامه می‌یابد که پاسخ بهتری یافت نشود یا این که تعداد نسل‌ها به حد تعیین شده برسد. در تکرار آخر، بهترین کروموزوم از لحاظ شایستگی به عنوان جواب مسئله انتخاب می‌شود. شکل (۴-۵) فلوچارت الگوریتم ژنتیک را برای مسئله جایابی منابع تولید پراکنده نشان می‌دهد.



شکل (۴-۵): فلوچارت الگوریتم ژنتیک اعمال شده به مسئله

پارامترهای روش بهینه سازی GA که بهترین جوابها را با آنها خواهیم داشت، مطابق

جدول (۷-۵) انتخاب شده‌اند. این پارامترها با انجام آزمایشات تکراری بدست آمده‌اند.

جدول (۵-۷) : پارامترهای الگوریتم ژنتیک اعمال شده به مسئله

تعداد کروموزوم‌های جمعیت (N_{Ch})	۱۰۰
نرخ تقاطع (P_c)	۰/۹
نرخ جهش (P_m)	۰/۰۰۱
تعداد مراحل تکرار الگوریتم (IT_{max})	۵۰

۵-۳-۱ نتایج حاصل از الگوریتم

ساختار پیشنهادی روش GA مورد استفاده در این مسئله در شکل (۵-۵) نمایش داده شده

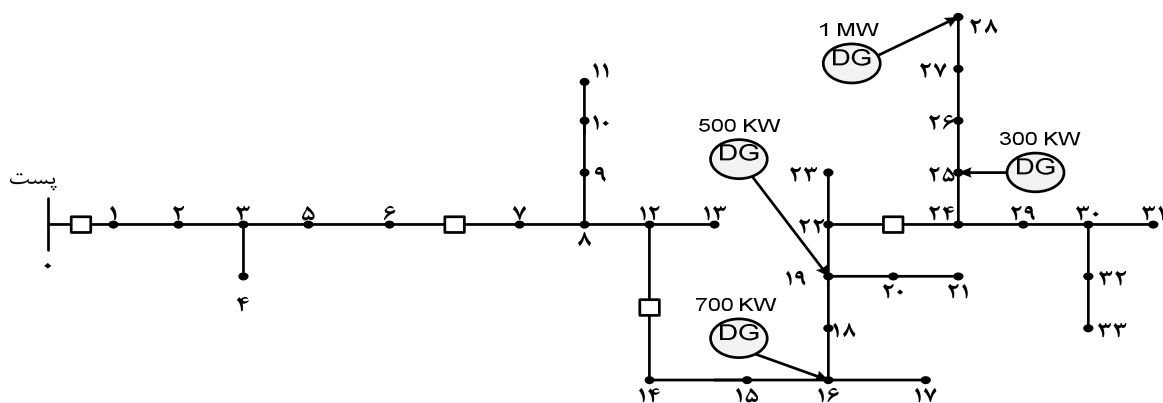
است. تعداد و محل و اندازه واحدهای تولید پراکنده برای ساختار پیشنهادی به خوبی در این شکل مشخص می‌باشد و همچنین در جدول (۵-۸) نمایش داده شده است.

جدول (۵-۸) : مقایسه ساختار اولیه و ساختار پیشنهادی الگوریتم ژنتیک از نظر وضعیت واحدهای تولید پراکنده

ساختار	باس بارهای دارای تولیدات پراکنده	ظرفیت واحد تولید پراکنده (MW)
ساختار اولیه	-	-
ساختار پیشنهادی الگوریتم ژنتیک	۱۶	۰/۷
	۱۹	۰/۵
	۲۵	۰/۳
	۲۸	۱

همچنین مقدار شاخص‌های قابلیت اطمینان در ساختار اولیه و ساختار به دست آمده از روش

پیشنهادی GA، در جدول (۵-۹) مقایسه شده‌اند.



شکل (۵-۵) : ساختار پیشنهادی روش GA برای شبکه نمونه

همچنین برای کاربردی تر شدن پژوهش باید مقایسه‌ای بین هزینه‌ای که به سیستم به خاطر نصب و نگهداری و بهره برداری واحدهای تولید پراکنده تحمیل می‌شود و در مقابل آن صرفه جویی که در هزینه خاموشی مشترکین به خاطر کاهش قطعی‌ها خواهیم داشت، داشته باشیم. به همین دلیل یک دوره ۲۰ ساله را به جهت منطقی بودن خرید تجهیزات در نظر گرفته و با انتخاب مقدار نرخ تورم^۱ ۰/۱، نرخ بهره بانکی^۲ ۰/۱۸ و نرخ رشد بار^۳ ۰/۱، مقایسه‌ای بین این دو هزینه انجام می‌دهیم. مقدار هزینه خاموشی مشترکین و هزینه واحدهای تولید پراکنده برای یک دوره ۲۰ ساله را با استفاده از روابط (۱-۵) و (۲-۵) بدست می‌آوریم [۳۲].

$$C_{\text{INTERRUPTION}} = \left(\sum_{t=1}^{20} NC \times SAIDI \times CI \times \frac{(1+IF)^t \times (1+IG)^t}{(1+IR)^t} \right) \quad (1-5)$$

$$C_{DG} = C_{Ins} + \left(\sum_{t=1}^{20} C_{O\&M} \frac{(1+IF)^t}{(1+IR)^t} \right) \quad (2-5)$$

در روابط فوق NC تعداد مشترکین شبکه نمونه، CI هزینه خاموشی مشترکین، IF نرخ تورم، IG نرخ رشد بار، IR نرخ بهره بانکی، C_{Ins} هزینه نصب واحدهای تولید پراکنده و $C_{O\&M}$ مجموع هزینه‌های تعمیر نگهداری و بهره برداری این واحدها می‌باشد.

با در نظر گرفتن جواب‌های بدست آمده برای آرایش و ظرفیت واحدهای نصب شده در شبکه نمونه و با استفاده از جدول (۲-۵) هزینه خاموشی مشترکین و هزینه واحدهای تولید پراکنده برای دوره زمانی مورد نظر بدست می‌آیند. مقدار هزینه خاموشی مشترکین به ازای هر دقیقه ۷ دلار و مقدار شاخص $SAIDI$ برای این دوره زمانی ثابت در نظر گرفته شده است [۳۲]. مقدار هزینه خاموشی مشترکین و هزینه واحدهای تولید پراکنده در ساختار اولیه و ساختار به دست آمده از روش پیشنهادی GA ، در جدول (۹-۵) آورده شده‌اند. همچنین نمودار میله‌ای مربوط به مقایسه این دو هزینه در ساختار اولیه و پیشنهادی در شکل (۶-۵) نمایش داده شده است.

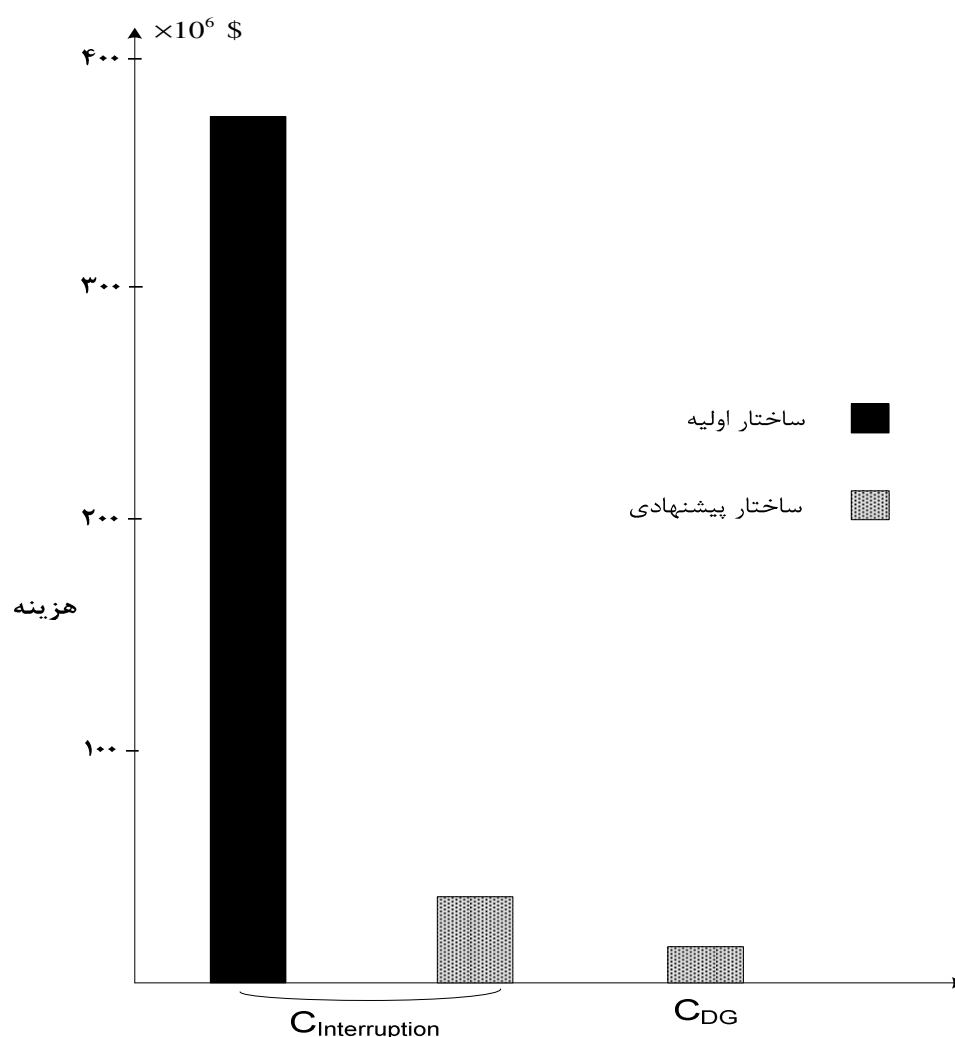
¹ Inflation rate

² Interest rate

³ Load Growth rate

جدول (۵-۹): نتایج شبیه سازی قبل و بعد از اعمال روش پیشنهادی الگوریتم ژنتیک برای شبکه نمونه

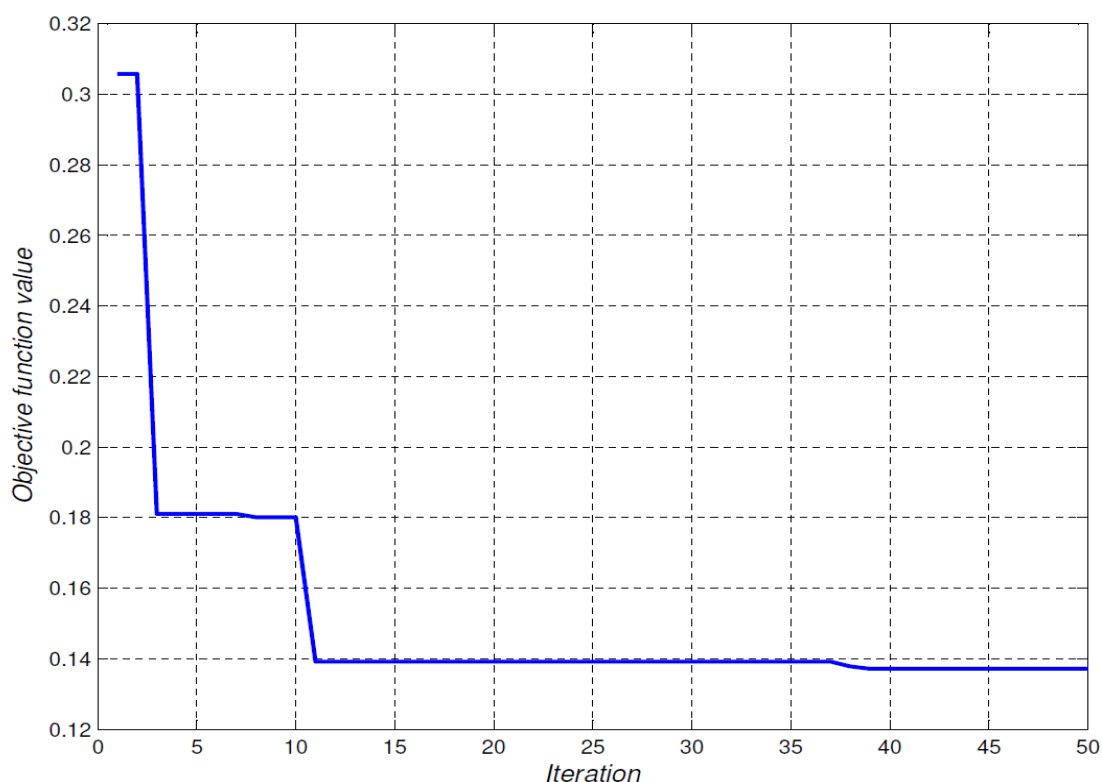
ساختار	AENS (kWh)	SAIDI (hr/ year)	SAIFI (fault/ year)	C _{DG} (M\$)	C _{INTERRUPTION} (M\$)
ساختار اولیه	۴۶۱/۴	۹۲/۴	۸/۷	---	۳۶۱/۳۹
ساختار پیشنهادی	۴۹/۵۷۲۷	۹/۹۱۸۸	۱/۳۰۴۷	۹/۰۱۶۶	۳۸/۷۹۲



شکل (۵-۶): مقایسه هزینه‌های خاموشی مشترکین در ساختار اولیه و روش پیشنهادی الگوریتم ژنتیک

نحوه همگرایی تابع هدف با اعمال روش پیشنهادی GA در شکل (۵-۷) نمایش داده شده

است.



شکل (۷-۵) : نحوه همگرایی تابع هدف با اعمال روش پیشنهادی GA

همان‌طور که در شکل (۷-۵) مشاهده می‌کنید مقدار تابع هدف بعد از ۳۹ تکرار به مقدار بهینه خود (۰/۱۳۷) می‌رسد.

از جدول (۹-۵) و شکل (۶-۵) می‌توان دریافت که اگر از ساختار روش پیشنهادی GA بر روی سیستم نمونه اعمال شود، شاخص‌های SAIFI و SAIDI و AENS تقریباً کاهشی ده برابری خواهند داشت و به علت این افزایش قابلیت اطمینان سیستم که نتیجه اعمال جایابی پیشنهاد شده برای واحدهای تولید پراکنده می‌باشد، مقدار هزینه خاموشی مشترکین برای مدت زمان مورد مطالعه ۲۰ سال به میزان تقریباً ده برابر کاهش داشته و به رقم ۳۸/۷۹۲۷۵ میلیون دلار می‌رسد. این در حالی است که شاخص C_{DG} به علت استفاده از منابع تولید پراکنده به میزان ۹/۰۱۶۶ میلیون دلار می‌رسد که این مقدار برای استفاده از منابع تولید پراکنده باید در سیستم هزینه شود. همان‌طور که ملاحظه کردید این مقدار هزینه در مقایسه مقدار تفاوت هزینه خاموشی مشترکین قبل و بعد از اعمال روش پیشنهادی (۳۲۲/۵۹۸ میلیون دلار) بسیار ناچیز می‌باشد.

۴-۵ اجرای روش پیشنهادی با استفاده از الگوریتم جهش

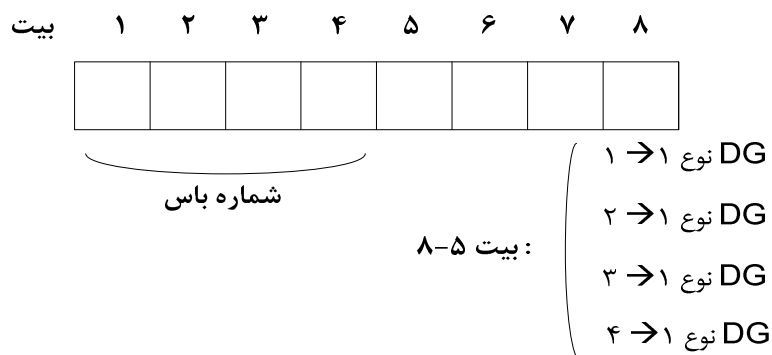
قورباغه

در این قسمت از الگوریتم تکاملی پرش قورباغه به منظور جایابی بهینه واحدهای تولید پراکنده در شبکه مورد مطالعه استفاده می‌شود.

همان‌طور که در فصل سوم اشاره شد در این الگوریتم در هر گروه، بدترین قورباغه که معرف یکی از جواب‌های ممکن مسئله می‌باشد، موقعیت خود را با توجه به موقعیت بهترین قورباغه در آن گروه و یا بهترین قورباغه در کل جمعیت قورباغه‌ها بهبود می‌بخشد. اما به کمک الگوریتم پرش قورباغه معمولی این بهبود موقعیت دارای محدودیت می‌باشد. در این روش قورباغه تنها می‌تواند در راستای خط که بین موقعیت بهترین قورباغه و موقعیت بدترین قورباغه می‌باشد عمل پرش را انجام دهد. وجود این محدودیت می‌تواند باعث کاهش سرعت همگرایی الگوریتم و یا همگرا شدن الگوریتم به جواب‌های غلط شود. برای رفع این محدودیت و تضمین رسیدن به جواب بهینه در این پروژه از الگوریتم بهبود یافته پرش قورباغه که در فصل سوم به طور تفصیل آن را شرح دادیم، استفاده می‌کنیم.

روند اجرای روش فوق به صورت زیر است:

مرحله اول: همان‌طور که در فصل سوم اشاره شد، اولین گام در به‌کارگیری الگوریتم جهش قورباغه انتخاب یک روش نمایش مناسب برای کد گذاری جواب‌های مسئله در غالب قورباغه‌های مجازی می‌باشد. در این پروژه طول هر قورباغه مجازی، هشت بیت در نظر گرفته شده است. ساختار داده‌ای یک قورباغه مجازی در شکل (۵-۸) نمایش داده شده است.



شکل (۵-۸) : ساختار داده‌ای قورباغه‌ها

همان‌طور که در شکل (۵-۸) مشاهده می‌کنید چهار بیت اولی مکان نصب واحدهای تولید پراکنده بر روی شبکه مورد مطالعه نشان می‌دهد. (شماره باس هایی که واحدهای تولید پراکنده در آن‌ها نصب می‌شود در چهار بیت اولی نشان داده می‌شود). چهار بیت دیگر ظرفیت (نوع) واحدهای نصب شده در هر باس را نشان می‌دهد. نوع واحدهای تولید پراکنده بر حسب عددی که چهار بیت دوم نشان می‌دهند، از جدول (۵-۲) استخراج می‌شود. ساختار صحیح و توصیف متناظر با هر قورباغه مجازی در جدول (۵-۱۰) نمایش داده شده است.

جدول (۵-۱۰) : ساختار صحیح و توصیف متناظر با هر قورباغه

چهار بیت اول	چهار بیت دوم	
نشان دهنده شماره باس که واحد تولید پراکنده در آن نصب می‌شود	۱	تولید پراکنده نوع اول
	۲	تولید پراکنده نوع دوم
	۳	تولید پراکنده نوع سوم
	۴	تولید پراکنده نوع چهارم

برای نمونه یکی از جواب‌های ممکن مسئله در شکل (۵-۹) آورده شده است.

۱۵	۱۸	۲۵	۳۳	۲	۱	۳	۳
----	----	----	----	---	---	---	---

شکل (۵-۹) : یکی از جواب‌های ممکن مسئله با استفاده از روش پیشنهادی جهش قورباغه

همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌کنید تولیدات پراکنده ای با ظرفیت‌های ۵۰۰، ۳۰۰، ۷۰۰، ۷۰۰ کیلو واتی به ترتیب در باس های ۱۵، ۱۸، ۲۵، ۳۳ نصب می‌شوند.

مرحله دوم: تولید جمعیت اولیه به صورت تصادفی می‌باشد. در این مرحله به تعداد جمعیت اولیه انتخاب شده، قورباغه‌هایی به صورت شکل (۵-۸) تولید می‌کنیم. پس از محاسبه شایستگی هر قورباغه آن‌ها را به صورت نزولی مرتب می‌کنیم.

مرحله سوم: در این مرحله میمپلکس و سابمیمپلکس ها را تشکیل می‌دهیم. برای تقسیم قورباغه‌ها به m میمپلکس که هر میمپلکس شامل n قورباغه باشد به این صورت عمل می‌کنیم که اولین قورباغه از جمعیت مرتب شده در مرحله قبل، به اولین گروه می‌رود، دومین قورباغه از جمعیت مرتب شده به دومین گروه می‌رود و m امین قورباغه از جمعیت مرتب شده به m امین گروه می‌رود و برای $m+1$ امین قورباغه از جمعیت مرتب شده دوباره از اولین گروه شروع می‌شود و $m+1$ امین قورباغه را در گروه اول قرار می‌گیرد و با تکرار این روند تا اتمام همه قورباغه‌ها، m گروه n قورباغه‌ای خواهیم داشت. همان‌طور که در فصل سوم بیان شد برای جلوگیری از گیر افتادن در نقاط بهینه محلی در هر میمپلکس (گروه قورباغه) q قورباغه در غالب سابمیمپلکس انتخاب می‌کنیم. برای انتخاب q قورباغه سابمیمپلکس ها از روش چرخ گردان که در فصل سوم شرح داده شده است، استفاده می‌کنیم.

مرحله چهارم: در این مرحله جستجوی محلی صورت می‌گیرد، به این صورت که در هر سابمیمپلکس، قورباغه‌هایی با بدترین و بهترین جواب مشخص می‌شوند و موقعیت بدترین قورباغه با استفاده از روابط (۳-۷) و (۳-۹) با توجه موقعیت بهترین قورباغه بهبود می‌یابد. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به اینکه ما در این پروژه از SFLA برای متغیرهای گسسته استفاده می‌کنیم، لذا جهت تعیین محل جدید قورباغه‌ها، یک عملگر Round به معادله (۳-۹) اعمال می‌شود.

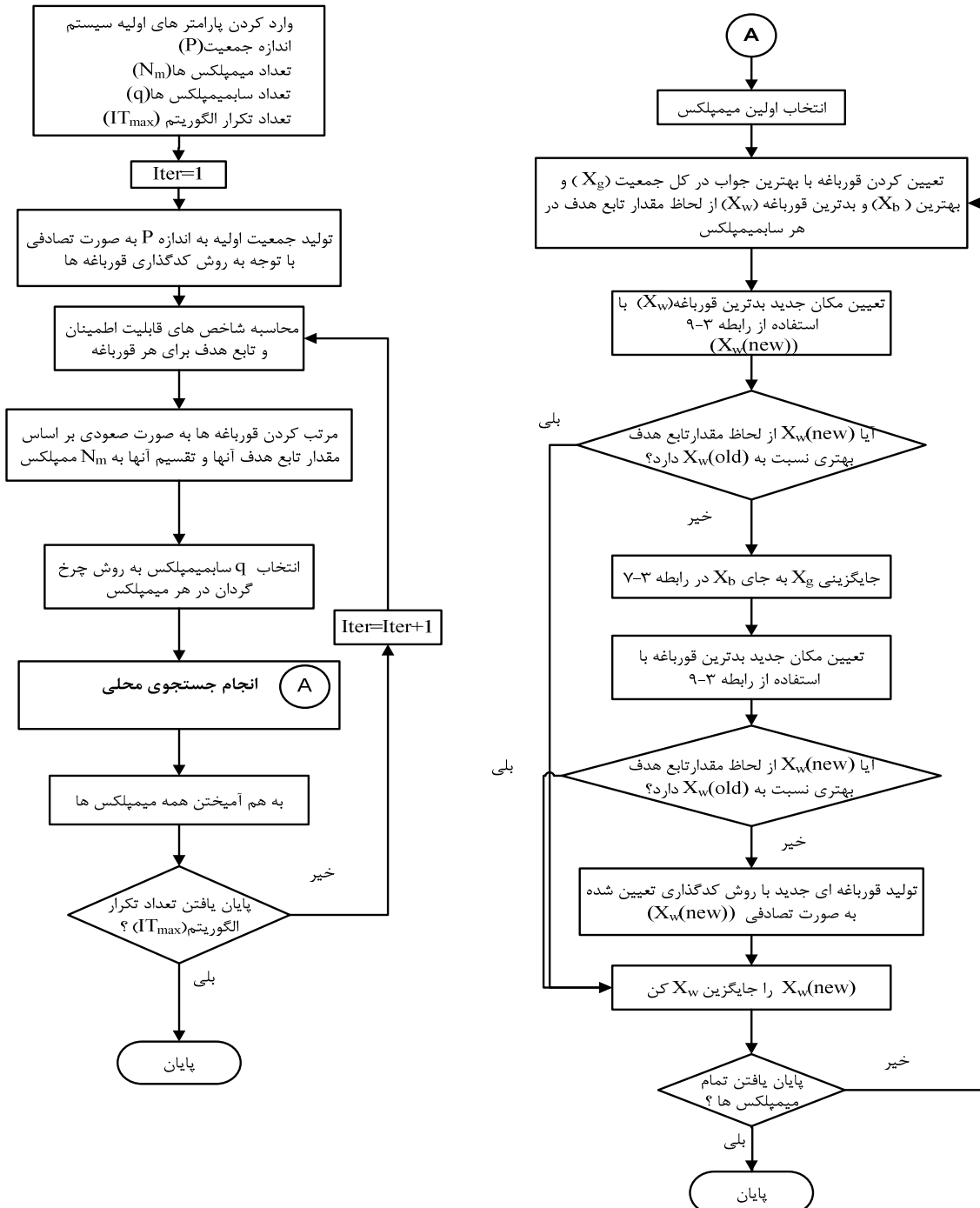
مرحله پنجم: در این مرحله پس از انجام جستجوی محلی و بهبود موقعیت قورباغه‌ها، جمعیت جدید را از بهترین تا بدترین جواب مرتب می‌کنیم.

مرحله ششم: در صورتیکه شرایط توقف الگوریتم یا شرایط همگرایی حاصل شد، الگوریتم

متوقف می‌شود در غیر این صورت به مرحله دوم باز می‌گردیم. در تکرار آخر بهترین جواب به عنوان

جواب مسئله انتخاب می‌شود. شکل (۵-۱۰) فلوچارت الگوریتم جهش قورباغه و جستجوی محلی این

الگوریتم را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۱۰): فلوچارت الگوریتم جهش قورباغه اعمال شده به مسئله

۵-۴-۱ نتایج حاصل از الگوریتم

نکته‌ای که در الگوریتم‌های بهینه سازی باید به آن توجه کرد این است که عملکرد هر الگوریتمی به انتخاب پارامترهای آن وابسته می‌باشد. پارامترهای SFLA که منتج به بهترین جواب را برای شبکه نمونه می‌شوند، در جدول (۵-۱۱) نمایش داده شده است. این پارامترها با انجام آزمایشات تکراری بدست آمده‌اند. در این جدول D_{max} نشان دهنده بیشترین جابه‌جایی که قورباغه می‌تواند داشته باشد و C یک عدد ثابت است که در رابطه (۳-۷) برای محاسبه مکان جدید بدترین قورباغه به آن نیازمندیم.

جدول (۵-۱۱) : پارامترهای روش پیشنهادی جهش قورباغه اعمال شده به مسئله

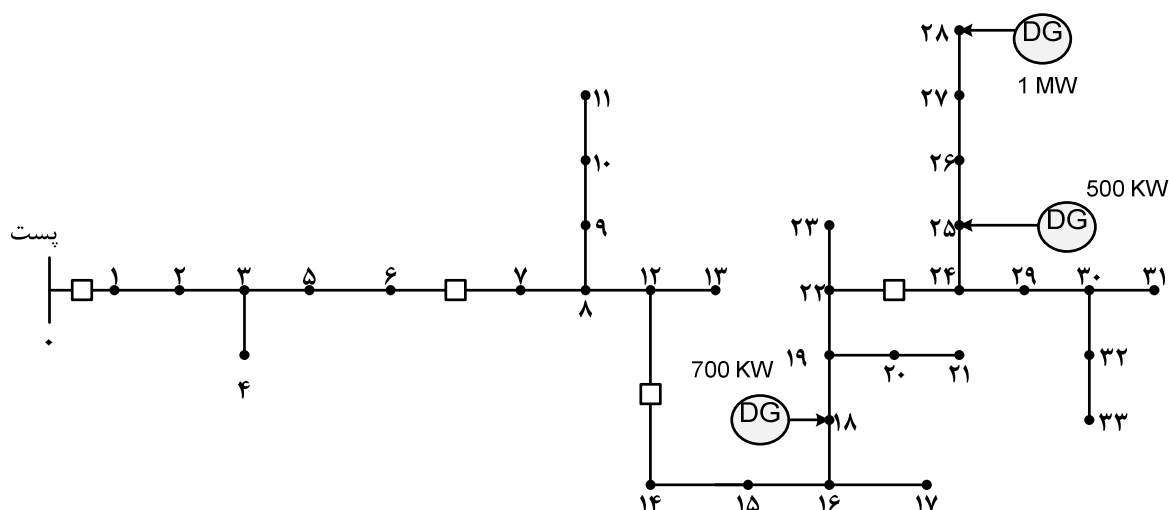
تعداد میمپلکس ها (N_m)	۲۰
اندازه جمعیت مربوط به هر میمپلکس (N)	۵
اندازه جمعیت مربوط به هر سابمیمپلکس (q)	۳
تعداد مراحل تکاملی (IT_{max})	۵۰
C	۱/۵
D_{max}	۹

ساختار پیشنهادی روش SFLA مورد استفاده در این مسئله در شکل (۵-۱۱) نمایش داده شده است. تعداد، محل و اندازه واحدهای تولید پراکنده برای ساختار پیشنهادی به خوبی در این شکل مشخص می‌باشد و همچنین در جدول (۵-۱۲) نمایش داده شده است.

جدول (۵-۱۲) : مقایسه ساختار اولیه و ساختار پیشنهادی الگوریتم SFLA از نظر واحدهای تولید پراکنده

ساختار	باس بارهای دارای تولید پراکنده	ظرفیت واحد تولید پراکنده (MW)
ساختار اولیه	-	-
ساختار پیشنهادی	۱۸	۰/۷
	۲۵	۰/۵
	۲۸	۱

همچنین مقدار شاخص‌های قابلیت اطمینان در ساختار اولیه و ساختار به دست آمده از روش پیشنهادی، در جدول (۵-۱۳) مقایسه شده‌اند.

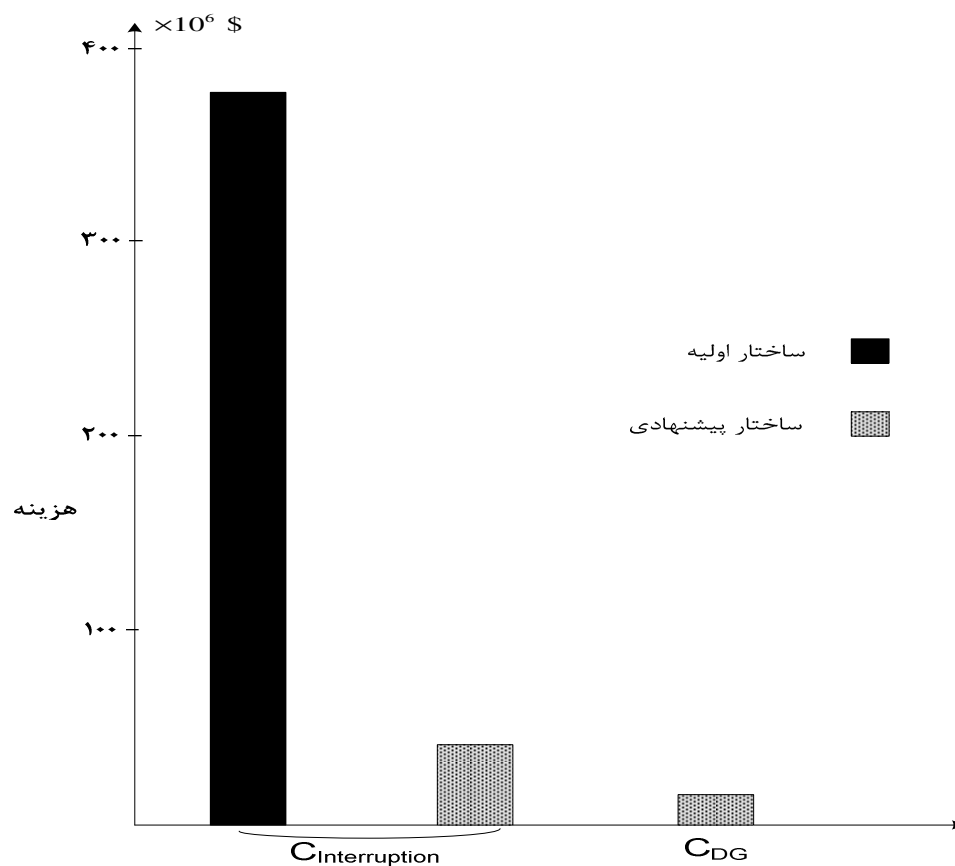


شکل (۵-۱۱): ساختار پیشنهادی روش SFLA برای شبکه نمونه

در ادامه مشابه آنچه که برای الگوریتم ژنتیک انجام دادیم، مقایسه‌ای بین هزینه‌ای که به خاطر استفاده از واحدهای تولید پراکنده به سیستم تحمیل می‌شود و صرفه جویی که در هزینه خاموشی مشترکین به خاطر کاهش قطعی‌ها می‌شود، با استفاده از رابطه (۵-۱) و (۵-۲) خواهیم داشت. نمودار میله‌ای مربوط به مقایسه هزینه خاموشی مشترکین در ساختار اولیه و ساختار پیشنهادی SFLA در شکل (۵-۱۳) نمایش داده شده است.

جدول (۵-۱۳): نتایج شبیه سازی قبل و بعد از اعمال روش پیشنهادی الگوریتم جهش قورباغه برای شبکه نمونه

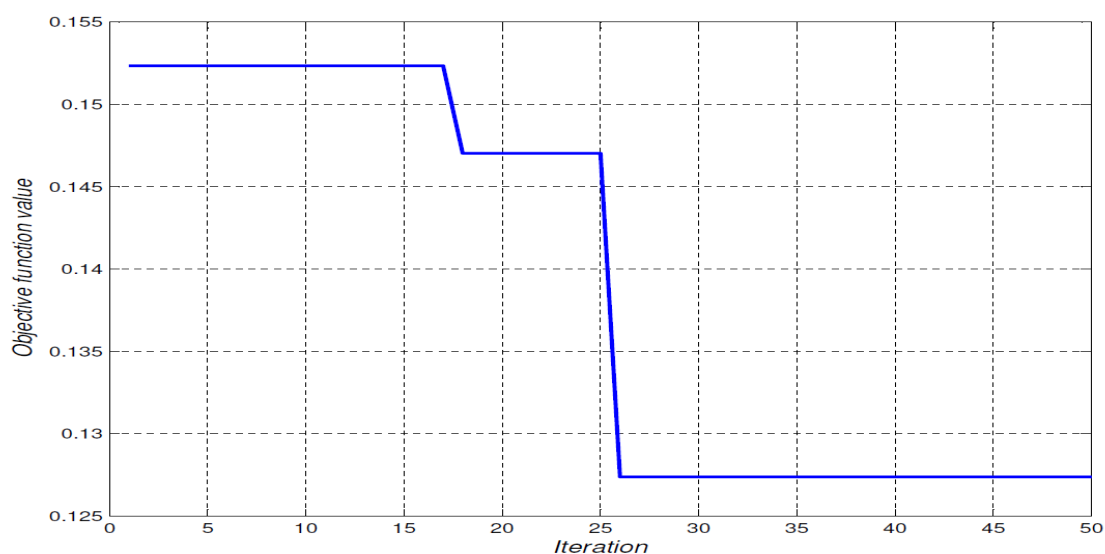
ساختار	AENS (kWh/cust.year)	SAIDI (h/cust.year)	SAIFI (f/cust.year)	C_{DG} (M\$)	$C_{INTERRUPTION}$ (M\$)
ساختار اولیه	۴۶۱/۴	۹۲/۴	۸/۷	---	۳۶۱/۳۹
ساختار پیشنهادی	۴۳/۲۶۸۹	۸/۶۵۱۵	۱/۳۶	۷/۹۰۴۹	۳۳/۸۳۸



شکل (۵-۱۲): مقایسه هزینه‌های خاموشی مشترکین در ساختار اولیه و ساختار پیشنهادی جهش قورباغه

نحوه همگرایی تابع هدف با اعمال روش پیشنهادی SFLA در شکل (۵-۱۳) نمایش داده

شده است.



شکل (۵-۱۳): نحوه همگرایی تابع هدف با اعمال روش پیشنهادی SFLA

همان‌طور که در شکل (۵-۱۳) مشاهده می‌کنید مقدار تابع هدف بعد از ۲۶ تکرار به مقدار بهینه خود (۰/۱۲۷) می‌رسد.

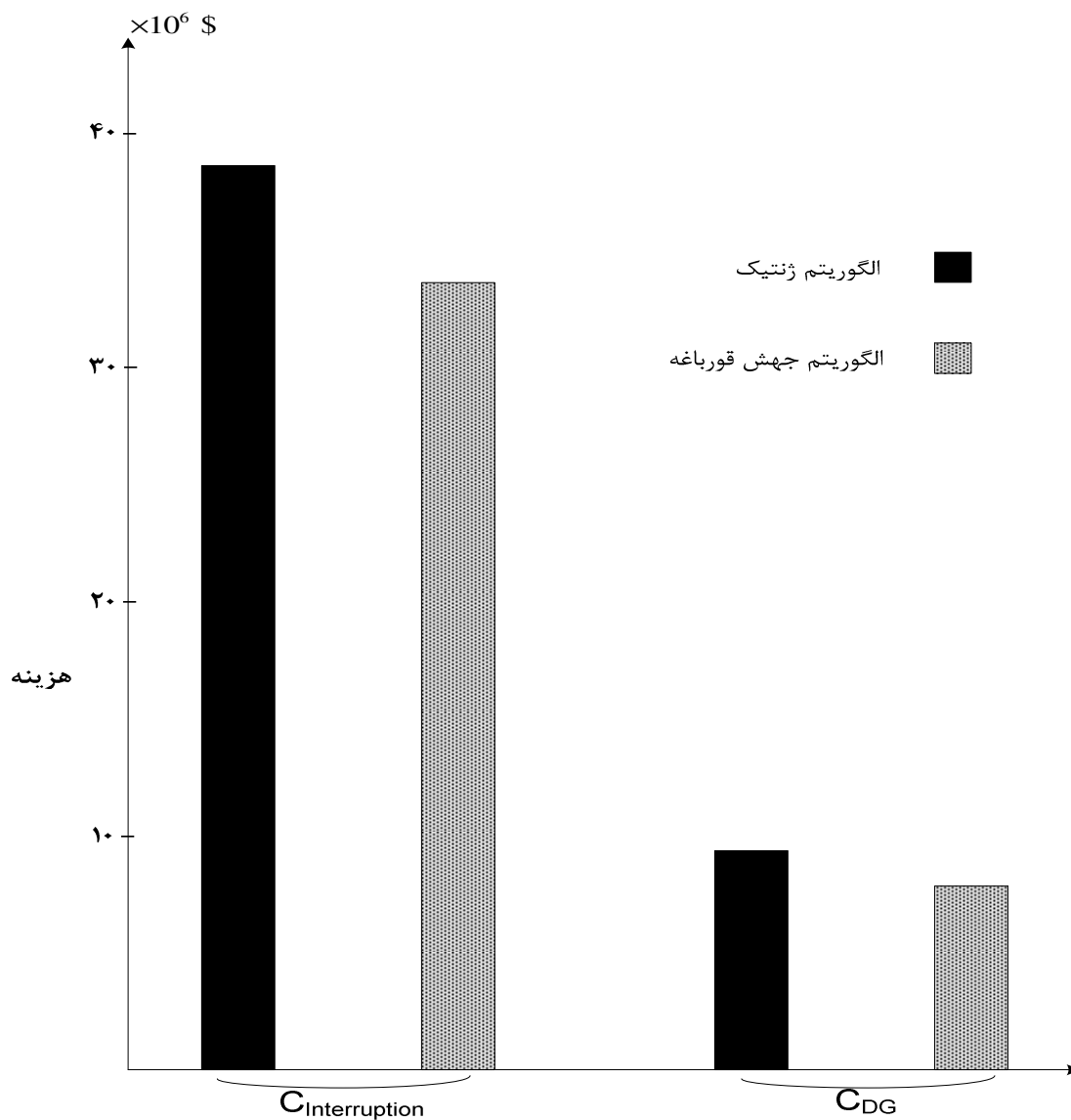
از جدول (۵-۱۳) و شکل (۵-۱۲) می‌توان دریافت که با اعمال الگوریتم پیشنهادی SFLA بر روی سیستم نمونه، قابلیت اطمینان سیستم بهبود قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت و شاخص‌های SAIFI و SAIDI و AENS تقریباً به مقدار ده برابر کاهش پیدا خواهند کرد. به علت این افزایش قابلیت اطمینان سیستم، در مقدار هزینه خاموشی مشترکین به میزان ده برابر کاهش خواهیم داشت و این مقدار به رقم ۳۳/۸۳۸ میلیون دلار برای مدت زمان مورد مطالعه ۲۰ سال خواهد رسید. این در حالی است که مقدار ۷/۹۰۴۹ میلیون دلار هزینه بابت استفاده از واحدهای تولید پراکنده به سیستم تحمیل می‌شود. این هزینه در مقابل هزینه صرفه جویی شده در مقدار تفاوت هزینه خاموشی مشترکین قبل و بعد از اعمال روش پیشنهادی (۳۲۷/۵۵۲ میلیون دلار) ناچیز می‌باشد. این مقایسه نشان می‌دهد که با اعمال الگوریتم پیشنهادی SFLA، سود مناسبی نصیب شرکت‌های برق و بهره‌بردار خواهد شد.

۵-۵ مقایسه نتایج و روند تکاملی دو الگوریتم پیشنهادی

بررسی و مقایسه نتایج بدست آمده از دو الگوریتم پیشنهادی ژنتیک و جهش قورباغه نشان می‌دهد که الگوریتم جهش قورباغه از لحاظ مقدار همگرایی جواب مسئله، سرعت همگرایی (زمان) و حافظه مورد استفاده کامپیوتری برتری محسوس نسبت به الگوریتم ژنتیک دارد.

همان‌طور که در شکل (۵-۷) و (۵-۱۳) مشاهده کردید در الگوریتم پیشنهادی GA مقدار تابع هدف بعد از ۳۹ تکرار به مقدار بهینه خود (۰/۱۳۷) همگرا می‌شود. این در حالی است که الگوریتم SFLA پیشنهادی، زودتر (در تکرار ۲۶) به مقدار بهینه خود (۰/۱۲۷) همگرا می‌شود. همچنین اگر مقایسه‌ای بین نتایج بدست آمده از دو الگوریتم پیشنهادی در جداول (۵-۹) و (۵-۱۳) داشته باشیم، می‌توان گفت که با اعمال آرایش بدست آمده از اعمال الگوریتم SFLA، مقادیر بهتری

برای شاخص‌های تعداد دفعات خاموشی در سیستم، متوسط مدت زمان خاموشی سیستم و انرژی متوسط تأمین نشده سیستم و همچنین مقدار هزینه خاموشی مشترکین و هزینه واحدهای تولید پراکنده خواهیم داشت. نمودار میله‌ای مربوط به مقایسه هزینه‌های خاموشی مشترکین و هزینه واحدهای تولید پراکنده در ساختار پیشنهادی الگوریتم ژنتیک و ساختار پیشنهادی الگوریتم جهش قورباغه در شکل (۵-۱۴) نمایش داده شده است. بنابراین می‌توان گفت الگوریتم SFLA راه موثر تر و سریع تر را جهت حل مسئله بهینه سازی گسسته این پروژه ارائه می‌کند.



شکل (۵-۱۴): مقایسه هزینه‌های خاموشی مشترکین و هزینه واحدهای تولید پراکنده در ساختار پیشنهادی الگوریتم

ژنتیک و ساختار پیشنهادی الگوریتم جهش قورباغه

یکی از مزیت‌های الگوریتم SFLA و تفاوت آن با سایر روش‌ها این است که در این روش اطلاعات در بین تمام جمعیت قورباغه تبادل می‌شود و این باعث بهبود جمعیت قورباغه (جواب‌های ممکن) در رسیدن به جواب بهینه می‌شود و سرعت همگرایی را بهبود می‌بخشد در حالی که در روش GA تبادل اطلاعات بین والدین و اجداد کروموزوم‌ها صورت می‌گیرد و به علت عملگرهای زمان بر تقاطع و جهش که باید در هر تکرار روی جمعیت بررسی شود، زمان همگرا شدن به جواب بهینه افزایش یافته و نیاز به حافظه و زمان محاسباتی بیشتری نسبت به روش SFLA می‌باشد.

۵-۶ خلاصه فصل

همان‌طور که مشاهده کردید در این فصل روش پیشنهادی جهت جایابی بهینه واحدهای تولید پراکنده بر روی سیستم تست ۳۴ باسه IEEE اعمال شد. همچنین از دو روش الگوریتم GA و بهبود یافته الگوریتم SFLA جهت تعیین جواب بهینه بهره گرفته شد. نتایج شبیه سازی نشان داد که مقدار شاخص‌های SAIFI و SAIDI و AENS سیستم در ساختار پیشنهادی نسبت به ساختار فعلی شبکه به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کرده است. این در حالی بود که هزینه متحمل شده به سیستم در ساختار پیشنهادی در نتیجه استفاده از واحدهای تولید پراکنده در مقایسه کاهش هزینه قابل توجهی که در مقدار هزینه خاموشی مشترکین ساختار پیشنهادی نسبت به ساختار فعلی داشتیم، بسیار ناچیز خواهد بود. در پایان این مقایسه‌ای بین نتایج دو الگوریتم پیشنهادی انجام شد. مقایسه نتایج نشان داد که الگوریتم پیشنهادی SFLA همگرایی بهتری را از خود نشان داده است.

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه گیری

با توجه به تجدید ساختار و ایجاد رقابت و همچنین رشد چشمگیر تکنولوژی‌های منابع تولید پراکنده انتظار می‌رود واحدهای تولید پراکنده نقش فزاینده‌ای در آینده سیستم‌های قدرت ایفا کنند و این مولدها تبدیل به یکی از گزینه‌های برنامه ریزان و طراحان صنعت برق در جهت پیشبرد اهداف خود از جمله کاهش تلفات، بهبود پایداری و همچنین کاهش هزینه‌های سرمایه گذاری در سیستم‌های انتقال و گسترش شبکه‌های توزیع و به خصوص افزایش قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت شوند. قابلیت اطمینان در رضایت‌مندی طرف‌های مختلف ذینفع در صنعت برق و به خصوص مشترکین و مصرف کنندگان نقش اساسی را ایفا می‌کند. این بهبود در مشخصات سیستم قدرت، به تعداد و موقعیت احداث واحد های تولید پراکنده وابسته است و به جهت تأمین این بهبودها در کم‌ترین هزینه ممکن، جاییابی و ظرفیت یابی مناسب واحدهای تولید پراکنده ضروری به نظر می‌رسد و باعث شده است که جاییابی این واحدها به یکی از فاکتورهای مهم در طراحی شبکه‌های توزیع تبدیل شوند.

مرور پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد که از الگوریتم‌های مختلفی جهت جاییابی بهینه واحدهای تولید پراکنده با هدف بهبود پروفایل ولتاژ و کاهش تلفات استفاده شده است و تعداد مقالات و پژوهش‌های کمتری به نقش تولیدات پراکنده در بهبود قابلیت اطمینان پرداخته‌اند. در پایان نامه حاضر سعی شد با رویکردی متفاوت به بهینه سازی اندازه و مکان واحدهای تولید پراکنده به جهت بهبود معیارهای قابلیت اطمینان پرداخته شود.

تابع هدف کلی ما در این پژوهش از چهار زیر تابع، شاخص متوسط تعداد دفعات خاموشی در سیستم (SAIFI)، شاخص متوسط مدت زمان خاموشی سیستم (SAIDI)، شاخص انرژی متوسط تأمین نشده (AENS) و همچنین شاخص هزینه نصب و بهره برداری و تعمیر واحدهای تولید پراکنده تشکیل شده است.

در این پایان نامه روش پیشنهادی جهت جابجایی واحدهای تولید پراکنده با استفاده از الگوریتم GA و الگوریتم بهبود یافته SFLA به شبکه تست ۳۴ باسه IEEE اعمال شد. نتایج حاصل از شبیه سازی دو الگوریتم پیشنهادی نشان داد که با اضافه کردن واحدهای تولید پراکنده با ظرفیت‌های مختلف و جابجایی بهینه‌ی آن‌ها در شبکه، شاخص‌های قابلیت اطمینان و مقدار هزینه خاموشی مشترکین به میزان ده برابر کاهش داشته است این در حالی است که هزینه نصب و بهره برداری و تعمیر واحدهای تولید پراکنده نصب شده در شبکه، در مقایسه با مقدار هزینه صرفه جویی شده از تفاوت هزینه خاموشی مشترکین قبل و بعد از اعمال روش‌های پیشنهادی ناچیز می‌باشد.

لذا می‌توان نتیجه گرفت که با جابجایی مناسب واحدهای تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع، بهبود قابل ملاحظه‌ای در قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت خواهیم داشت و همچنین به سبب کاهش هزینه خاموشی مشترکین سود بسیاری را نصیب شرکت‌های بهره بردار و تأمین کننده انرژی الکتریکی خواهد کرد.

همچنین در پایان با مقایسه نتایج حاصل از اعمال دو الگوریتم پیشنهادی نشان داده شد که اجرای روش پیشنهادی با استفاده از الگوریتم SFLA، راه موثرتر و سریع‌تر را جهت حل مسائل بهینه سازی ارائه می‌کند.

۲-۶ پیشنهادات:

با توجه به گستردگی موضوع پروژه و اهمیت آن در صنعت برق پیشنهاداتی برای انجام پژوهش‌های جدید ارائه می‌شود:

۱. در این تحقیق به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان و بدست آوردن شاخص‌های قابلیت اطمینان از روش تحلیلی استفاده شده است. می‌توان از روش شبیه سازی مونت کارلو به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های قدرت استفاده نمود و باید در این زمینه با انتخاب تابع توزیع مناسب، مقادیر مناسبی برای شاخص‌های اصلی قابلیت اطمینان

به صورت تصادفی تولید کرد. انتخاب نادرست تابع توزیع می‌تواند از دقت ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم بکاهد.

۲. در این پروژه ظرفیت واحدهای تولید پراکنده مورد نیاز شبکه از پیش تعیین شده در نظر گرفته شده است و روش پیشنهادی با توجه به ثابت بودن مقدار ظرفیت این واحدها به جایابی می‌پردازد. می‌توان اندازه این واحدها را به عنوان یک زیر تابع جدید با تابع هدف کلی مسئله افزود. اما باید به این نکته توجه شود که به دلیل وجود اندازه‌های مشخص منابع تولید پراکنده در بازار ممکن است که در تعیین تعداد و اندازه واحدهای مورد نیاز با مشکل مواجه شوید.

۳. می‌توان توابع هدف دیگری مانند کاهش تلفات، بهبود پروفایل امثال این‌ها که وابسته به محل واحدهای تولید پراکنده می‌باشند، را با تابع هدف کلی مسئله به جهت افزایش دقت پروژه اعمال نمود.

۴. می‌توان روش‌های دیگر بهینه‌سازی مانند الگوریتم بهینه‌سازی غذایابی باکتری^۱ و الگوریتم بهینه‌سازی تکامل دیفرانسیلی^۲ و مانند این‌ها را به مسئله جایابی واحدهای تولید پراکنده اعمال نمود و نتایج و روند همگرایی آن‌ها را با هم مقایسه نمود.

۵. با توجه به نیاز تمامی بخش‌های صنعت برق کشور به امر پژوهش، انتخاب شبکه‌های موجود در حال کار به عنوان شبکه تست به جای شبکه نمونه IEEE مفید تر به نظر می‌رسد.

¹ Bacterial Foraging Optimization Algorithm

² Differential Evolution Optimization Algorithm

پیوست‌ها

پیوست‌ها

پیوست ۱: اطلاعات مربوط به بار و تعداد مصرف کننده هر باس بار شبکه ۳۴ باسه [۴۵]

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

پیوست‌ها

پیوست ۲: نرخ متوسط خطا و مدت زمان قطعی خطوط شبکه ۳۴ باسه [۴۵]

شماره خط	باس مبدأ	باس مقصد	$\lambda(\text{fault/year})$	r(hour)	شماره خط	باس مبدأ	باس مقصد	$\lambda(\text{fault/year})$	r(hour)
۱	۳۴	۱	۰/۹۸۳	۰/۰۸	۱۸	۱۶	۱۸	۱۴/۰۴	۱/۱۲
۲	۱	۲	۰/۶۵	۰/۰۵	۱۹	۱۸	۱۹	۰/۰۴	۰/۰۱
۳	۲	۳	۱۲/۲۸	۰/۹۸	۲۰	۱۹	۲۰	۱/۹۸	۰/۱۶
۴	۳	۴	۲/۲۱۲	۰/۱۸	۲۱	۲۰	۲۱	۴/۰۲۴	۰/۳۲
۵	۳	۵	۱۴/۲۹	۱/۱۴	۲۲	۱۹	۲۲	۱/۸۶۷	۰/۱۵
۶	۵	۶	۱۱/۳۳	۰/۹۱	۲۳	۲۲	۲۳	۰/۶۱۷	۰/۰۵
۷	۶	۷	۰/۰۴	۰/۰۱	۲۴	۲۲	۲۴	۲/۲۲۱	۰/۱۸
۸	۷	۸	۰/۱۱۸	۰/۰۱	۲۵	۲۴	۲۵	۰/۱۰۷	۰/۰۱
۹	۸	۹	۰/۶۵۱	۰/۰۵	۲۶	۲۵	۲۶	۰/۵۱۲	۰/۰۴
۱۰	۹	۱۰	۱۸/۳۵	۱/۴۷	۲۷	۲۶	۲۷	۱/۳۸۷	۰/۱۱
۱۱	۱۰	۱۱	۵/۲۳۶	۰/۴۲	۲۸	۲۷	۲۸	۰/۲۰۲	۰/۰۲
۱۲	۸	۱۲	۳/۸۹۱	۰/۳۱	۲۹	۲۴	۲۹	۰/۷۷	۰/۰۶
۱۳	۱۲	۱۳	۱/۱۵۴	۰/۰۹	۳۰	۲۹	۳۰	۱/۰۲۱	۰/۰۸
۱۴	۱۲	۱۴	۰/۳۲	۰/۰۳	۳۱	۳۰	۳۱	۰/۳۲۸	۰/۰۳
۱۵	۱۴	۱۵	۷/۷۸۹	۰/۶۲	۳۲	۳۰	۳۲	۰/۱۰۶	۰/۰۱
۱۶	۱۵	۱۶	۰/۱۹۸	۰/۰۲	۳۳	۳۲	۳۳	۱/۸۵	۰/۱۵
۱۷	۱۶	۱۷	۸/۸۹۱	۰/۷۱					

- [1] H. Zareipour, K. Bhattacharya, C.A. Cañizares, Distributed Generation: Current Status and Challenges, in **proc. 36th Annual North American Power Symposium (NAPS)**, University of Idaho, August **2004**.
- [2] Thomas Ackermann, Goran Andersson and Lenart Soder, Distributed Generation: A Definition, **Electric Power Systems Research**, Vol. 57, **2001**, pp. 195–204.
- [3] L.Philipson , H.L. Willis, Understanding Electric Utilities and Deregulation, **CRC Press**, Second Edition, **2006**.
- [4] **U.S. Department of Energy, Technical Report**,The Potential Benefits of Distributed Generation and Rate-Related Issues That May Impede Their Expansion, February **2007**.
- [5] Sun Ming, Deng Bo, Yu Juan,Research about Impact of DGs in Distribution Networks, **CICED 2008**.
- [6] M.H.J. Bollen, Y. Yang, F. Hassan, Integration of Distributed Generation in the Power System – A Power Quality Approach,**13th International IEEE Conference on Harmonics and Quality of Power** , October **2008**.
- [7] W. El-Khattam, M. M. A. Salama,Distributed generation technologies, definitions and benefits, **Electric Power System Research** , **2004**, pp.119-128.
- [8] Billinton R. and Allan R.N.,Reliability evaluation of engineering systems: concepts and techniques, **Plenum Publishing** ,New York, **1984**.
- [9] Billinton R. and Allan R.N.,Reliability Evaluation of Power Systems,2nd Edition,**Plenum Publishing**, New York, **1996**.
- [10] A. A. Chowdhury and D. O. Koval,Value-based distribution system reliability planning, **IEEE Transaction on Industry Application**, Vol. 34, No.1, January/February, **1998**, pp.23-29.
- [11] Roy Billinton, Peng Wang, Teaching Distribution System Reliability Evaluation Using Monte Carlo Simulation, **IEEE Transactions on Power Systems**, Vol. 14, No. 2, May **1999**.
- [12] IEEE Trial-Use Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, **IEEE 1366-1998 Standard**, **1998**.
- [13] Manisa Pipattanasomporn, Michael Willingham, Saifur Rahman,Implications of on-Site Distributed Generation for Commercial/Industrial Facilities, **IEEE Trans. Power Syst.**, Vol. 20, No. 1, February **2005**, pp. 206-212.
- [14] H.L. Willis, W.G. Scott, Distributed Power Generation:Planning and Evaluation, **Marcel Dekker**, New York, **2000**.
- [15] J.Apt and G. Morgan,Critical Electric Power Issues in Pennsylvania: Transmission, Distributed Generation and Continuing Services when the Grid Falls, **Carnegie Mellon Electricity Industry Center for the Pennsylvania Department of Environmental Protection** , **2005**.
- [16] Arthur D. Little, Inc., Reliability and Distributed Generation,**2000**.
- [17] T.E. McDermott and R. C. Dugan, PQ, Reliability, and DG, **IEEE Industry Applications Magazine** ,Vol. 9, No. 5, **2003**, pp. 17-23.
- [18] Jun-Kyung Lee, In-Su Bae, Hyun-Soo Jung and Jin-O Kim, Evaluating Reliability of Distributed Generation with Analytical Techniques , **Power Tech IEEE Russia**, **2005**.

- [19] Pathomthat Chiradeja and R. Ramakumar, "An Approach to Quantify the Technical Benefits of Distributed Generation," **IEEE Transactions on Energy Conversion**, Vol. 19, No. 4, December **2004**.
- [20] Alexandre Barin, Luis F. Pozzatti, "Multi-objective analysis of impacts of distributed generation placement on the operational characteristics of networks for distribution system planning" **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, Vol. 32, No. 10, December **2010**, pp. 1157-1164.
- [21] Deependra Singh, Devender Singh, and K. S. Verma, GA based Optimal Sizing & Placement of Distributed Generation for Loss Minimization, **International Journal of Intelligent Systems and Technologies** Vol. 2, No. 4- **2007**.
- [22] M. R. Haghifam, H. Falaghi, O. P. Malik, Risk-Based Distributed Generation Placement, **IET Generation, Transmission and Distribution**, Vol. 2, No. 2, March **2008**, pp. 252-260.
- [23] T. N. Shukla, S.P. Singh, K. B. Naik, Allocation of optimal distributed generation using GA for minimum system losses in radial distribution networks, **International Journal of Engineering, Science and Technology** Vol. 2, No.3, **2010**, pp. 94-106.
- [24] Naresh Acharya, Pukar Mahat, N. Mithulananthan, An analytical approach for DG allocation in primary distribution network, **Electrical Power and Energy Systems** Vol. 28 , **2006**, pp. 669–678.
- [25] G. Celli, E. Ghiani, S. Mocci, F. Pilo, A Multi Objective Evolutionary Algorithm for the Sizing and Sitting of the Distributed Generation, **IEEE Transactions on Power Systems**, Vol. 20, No. 2, May **2005**, pp.750-757.
- [26] J.H. Teng, T.S. Luor and Y.H. Liu, Strategic distributed generator placements for service reliability improvements, **IEEE Power Engineering Society Summer Meeting**, Vol. 2, July **2002**, pp 719-724.
- [27] W. Prommee and W. Ongsakul, Optimal Multi-Distributed Generation Placement by Adaptive Weight Particle Swarm Optimization" Proc. of the **IEEE International Conference on Control, Automation and Systems**, Oct. **2008**, pp 1663-1668.
- [28] H. Falaghi and M. Haghifam, ACO Based Algorithm for Distributed Generation Sources Allocation and Sizing in Distribution Systems, Proc. of the **IEEE Power Tech**, July **2007**, pp 555-560.
- [29] Sudipta Ghosh, S.P.Ghoshal, Saradindu Ghosh, Optimal sizing and placement of distributed generation in a network system, **Electrical Power and Energy Systems**, Vol. 32, October **2010**, pp. 849-856.
- [30] P.Reche-Lopez, N.Ruiz-Reyes, S.Garcia Galan, Comparison of metaheuristic techniques to determine optimal placement of biomass power plants, **Energy Conversion and Management**, Vol. 50, August **2009**, pp. 2020-2028.
- [31] T. Sami, S. M. Mahaei, M. T. Hashemi Namarvar, H. Iravani, Optimal Placement of DGs for Reliability and Loss Evaluation Using DIgSILENT Software, **10th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)**, **2011**.
- [32] I. Ziari, G. Ledwich, A. Ghosh, D. Cornforth, M. Wishart, Optimal Allocation and Sizing of DGs in Distribution Networks, **PES General Meeting 2010**, USA.
- [33] H. Hedayati, S. A. Nabaviniaki , A. kbarimajd, A Method for Placement of DG Units in Distribution Networks, **IEEE Transactions on Power Delivery**, Vol. 23, No. 3, July **2008**, pp. 1620-1628.
- [34] C. L. T. Borges, and D. M. Falcao, Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement, **International Journal of Power and Energy Systems**, Nol. 28, No. 6, **2006**, pp 413-420.

[35] اکبر عالم تبریز، مصطفی زندیه، علیرضا محمد رحیمی، الگوریتم‌های فرا ابتکاری در بهینه سازی ترکیبی، انتشارات صفار اشراقی، چاپ دوم ۱۳۹۰.

[36] Randy L. Haupt, Sue.E Haupt, Practical Genetic Algorithms, **John Willey & sons Press, 2004.**

[37] Muzaffar M., Eusuff and Kevin E. Lansey, Optimization Of Water Distribution Network Design Using the Shuffled Frog Leaping Algorithm” **J. Water Resources Planning and Management**, Vol. 129, No. 3, **2003**, pp. 210-225.

[38] Muzaffer Eusuff, Kevin Lansey and Fayzul Pasha, Shuffled frog-leaping algorithm: a memetic meta-heuristic for discrete optimization, **Engineering Optimization**, Vol. 38, March **2009**, pp.129-154.

[39] Thai-Hoang Huynh, A modified shuffled frog leaping algorithm for optimal tuning of multivariable PID controllers, In: **IEEE International Conference on Industrial Technology**, Chengdu, April **2008**, pp. 1-6.

[40] Rahimi-Vahed A., Hossein Mirzaei A., A Hybrid Multi-Objective Shuffled Frog Leaping Algorithm For A Mixed-Model Assembly Line Sequencing Problem” **J. Computer and Industrial Engineering**, Vol. 53, **2007**, pp. 642-666.

[41] A.Rajabi-Ghahnavie, M. Fotuhi-Firuzabad and M.Parniani, Impact of Distributed Generation Resources on Customer Interruption Cost ,**IEEE Power System Technology, 2004.**

[42] Lingfeng Wang , Chanan 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**, pp. 757-764.

[43] Richard E. Brown, Electric Power Distribution Reliability, **CRC Press, 2002.**

[44] Ndaga Mwakabuta, Arun Sekar, Comparative Study of the IEEE 34 Node Test Feeder under Practical Simplifications, **Power Symposium, 2007. NAPS '07. 39th North American.**

[45] مسعود جعفری و حسن منصف، جایابی و ظرفیت یابی بهینه و هم‌زمان منابع تولید پراکنده و ادوات حفاظتی با استفاده از ترکیب الگوریتم کلونی مورچگان و تحلیل سلسله مراتبی، بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق، ۲۰۱۰.

[46] N.SABIR , The Effect of Distributed Generation on Distribution System Reliability, M.Sc. Dissertation, University of Tennessee, Knoxville, **Dec 2008.**

[47] Jen-Hao Teng a, Yi-Hwa Liu b, Chia-Yen Chen c, Chi-Fa Chen, Value-based distributed generator placements for service quality improvements , **Electrical Power and Energy Systems** , Vol. 29 ,**2007**, pp. 268–274.

Abstract:

Restructuring and recent developments in the power system and problems arising from construction and maintenance of large power plants have raised amount of interest in distributed power generation (DG) source. Distributed generation units due to specifications, technology and location network connectivity can improve system and load point reliability indices. This demonstrates the importance of finding the optimal size and placement of DGs. Because of the radial structure of distribution networks, in the event of an error occurring due to the impossibility of recovery the load, long-term interruption are applied to customers. Distributed generation units can decrease interruption duration and number of consumers that are influenced by errors.

In this thesis, the allocation and sizing of Distributed Generators (DG) in distribution networks are determined using optimization. Placement is done with numbers and varying sizes of distributed generation resources. The objective function of the proposed method is to improve the reliability indices such as system average interruption duration index (SAIDI), system average interruption frequency index (SAIFI) and average energy not supplied per customer index (AENS) at lowest cost. The optimization is based on a Shuffled Frog Leaping Algorithm (SFLA) aiming to determine optimal DG allocation and sizing in distribution network. The SFLA is a new memetic meta-heuristic algorithm with efficient mathematical function and global search capability. To evaluate the proposed algorithm, the 34-bus IEEE test system, is used. In addition, comparative studies of the genetic algorithm have also been performed. The results show that this proposed method is one of the best methods to improve service reliability, reduce the customer outage costs and decrease the power cost.

Keywords: Distribution System, Distributed Generation, System Reliability, Shuffled Frog Leaping Algorithm, Genetic Algorithm, Cost of DG Unit