



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد

جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون
توزیع با استفاده از ترکیب فازی در الگوریتم ژنتیک

ایمان گروهی ساردو

استاد راهنما :

دکتر مهدی بانژاد

استاد مشاور:

دکتر علی دستفان

زمستان ۱۳۸۹





دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه قدرت

جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع با استفاده از ترکیب فازی در الگوریتم ژنتیک

دانشجو :

ایمان گروهی ساردو

استاد راهنما :

دکتر مهدی بانژاد

استاد مشاور:

دکتر علی دستفان

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

زمستان ۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : برق و کامپیوتر

گروه : قدرت

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای ایمان گروهی ساردو

تحت عنوان: جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع با استفاده از ترکیب فازی در الگوریتم ژنتیک

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.
(رساله دکتری)

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

سر آغاز حمد و سپاس پروردگار کریم را که یاری بخش این بنده
حقیر بود

تقدیم به آنکه جهان در انتظار اوست

تقدیم به آنانکه وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان
برایم همه مهر

تقدیم به مهربانترین پدر و تقدیم به صبورترین

مادر

آنانکه توانشان رفت تا به توان برسم و مویشان سپید گشت تا رویم سپید
بماند

آنان که راستی قامت در شکستگی قامتشان بقاء یافت

تقدیر و تشکر:

سپاس خدای را که منت نهاد، هستی بخشید و توفیق کسب علم و دانش داد. 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. بویژه از استاد ارزشمند جناب آقای دکتر بانژاد که درس‌های بزرگی را از ایشان فرا گرفته‌ام. لازم است از زحمات و راهنمایی‌های ایشان در انجام این پروژه حداکثر تشکر را داشته باشم. و همچنین جناب آقای دکتر دستفان که از مشاوره‌های ایشان در انجام این پروژه حداکثر بهره را برده‌ام. در پایان از کلیه عزیزانی که تا بدین جا زحمات زیادی را برایم کشیده‌اند تشکر می‌کنم. از خانواده خوبم که از آغاز تا کنون با تمام وجود برایم زحمت کشیده و همواره مشوق و پشتیبانم بوده‌اند. امید که توانسته باشم در سایه لطف خداوند گامی هر چند کوچک در راستای توسعه و تعالی کشور بردارم.

ایمان گروهی ساردو

۱۳۸۹

دانشجو تأیید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه (رساله) نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نو آوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد .

زمستان ۸۹

چکیده:

قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی یکی از موارد اساسی است که توجه بسیاری از شرکت‌های فعال در بخش توزیع را به خود جلب کرده است. سیستم‌های اتوماسیون توزیع (DAS¹) و واحدهای تولید پراکنده (DG²) در شبکه‌های توزیع جهت بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم اهمیت زیادی یافته‌اند.

پایان نامه حاضر متشکل از دو بخش اساسی می‌باشد. بخش اول به جایابی بهینه کلیدهای دستی و اتوماتیک در سیستم‌های اتوماسیون توزیع (DAS³) فاقد واحدهای تولید پراکنده (DG⁴)، می‌پردازد. تعداد کلیدهای دستی و اتوماتیک نیز در این بخش به عنوان متغیرهای مسئله در نظر گرفته شده‌اند. تابع هدف در این بخش افزایش صرفه‌جویی اقتصادی ضمن کاهش مجموع هزینه وقفه مشترکین (CIC⁵) و هزینه خرید و نگهداری کلیدها (SPMC⁶) می‌باشد. در این بخش روابطی دقیق جهت برآورد شاخص CIC، با در نظر گرفتن کلیه حالات خطا در شاخه‌های مختلف و نرخ خطای متفاوت برای هر شاخه، و همچنین نرخ بارگذاری ساعتی، روزانه و ماهیانه متفاوت، ارائه شده است. همچنین از یک روش دقیق ردبانی جهت تعیین باس بارهای از دست رفته، کلیدهایی که باید سویچ کنند و زمان وقوع خطا در هر حالت، استفاده شده است. برای بهینه‌سازی مسئله از الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزار بهینه‌سازی استفاده شده است. کارآیی روش پیشنهادی از طریق انجام آزمایش روی شبکه استاندارد ۱۲۳ باس بار IEEE، نشان داده شده است.

بخش دوم یک روش اصلاح شده الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه (SFLA⁷) را برای جایابی

¹ Distribution Automation System

² Distributed Generation

³ Distribution Automation System

⁴ Distributed Generation

⁵ Customer Interruption Cost

⁶ Switches Purchasing and Maintenance Cost

⁷ Shuffled Frog Leaping Algorithm

چکیده

همزمان کلیدهای خط و همچنین واحدهای DG، در سیستم‌های DAS ارائه می‌کند. در این بخش همچنین تعداد کلیدها و اندازه واحدهای DG متغیر در نظر گرفته شده‌اند. در روش پیشنهادی از ترکیب فازی چندین تابع هدف به عنوان تابع هدف کلی مسئله استفاده شده است. همچنین یک تابع عضویت فازی برای هر تابع هدف در نظر گرفته شده است. اولین تابع هدف بهبود قابلیت اطمینان سیستم ضمن حداقل کردن شاخص CIC می‌باشد. تابع هدف دوم کاهش شاخص SPMC می‌باشد. توابع هدف سوم و چهارم کاهش تلفات توان اکتیو و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه می‌باشد. این بخش همچنین یک روش جدید جهت محاسبه شاخص‌های CIC و SPMC در حضور واحدهای DG ارائه می‌کند. همچنین از یک شبکه توزیع حلقوی KV ۱۱ دارای ۹۵ باس بار جهت شبیه سازی مسئله استفاده شده است. نتایج حاصل بهبود قابل ملاحظه‌ای را در پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم، کاهش تلفات توان اکتیو و همچنین کاهش قابل توجه انحراف ولتاژ با اعمال روش پیشنهادی به شبکه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در پایان جهت بررسی کارایی روش در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها، الگوریتم ژنتیک (GA^1) نیز به مسئله اعمال شده است و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه شده‌اند. از مقایسه نتایج می‌توان دریافت که روند همگرایی در روش SFLA نسبت به GA بهتر و سریعتر می‌باشد.

کلمات کلیدی:

سیستم‌های اتوماسیون توزیع، تولید پراکنده، الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه، قابلیت اطمینان سیستم، پخش بار توزیع، کلیدهای منطقه‌ای، بهینه سازی چند هدفه، ترکیب فازی

¹ Genetic Algorithm

مقالات مستخرج از پایان نامه:

- “Representation of New Ladder Method to Calculate the Cost of Customer Fault in Optimal Placement of Manual and Automatic Switches in Distribution Automation System”, in: 18th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), May 2010, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
- “Optimal Placement of Line Switches in Distribution Automation System Using Genetic Algorithm”, in: 51th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering, October 2010, Riga Technical University, Riga, Latvia
- “Simultaneously Fuzzy Optimal placement of Switches and Distributed Generators in Distribution Systems Using a Modified Shuffled Frog Leaping Algorithm”, Electric Power Systems Research (Submitted December 26, 2010, Pending for Acceptance)
- “Placement of Distributed Generators and Reclosers for Improving the Self-Supporting Islands Operation after a Fault Occurrence”, Electric Power Systems Research (to be Submitted)

فهرست مطالب

۱	فصل اول: مقدمه.....
۲	مقدمه.....
۷	فصل دوم: پایه‌های نظری جایابی کلیدها و منابع تولید پراکنده و مروری بر کار دیگران.....
۸	۱-۲- مفاهیم اولیه و شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت.....
۱۱	۱-۱-۲- شاخص‌های مربوط به مصرف کننده.....
۱۱	۲-۱-۱- شاخص متوسط تعداد وقفه در سیستم.....
۱۲	۲-۱-۲- شاخص متوسط تعداد وقفه مشترک.....
۱۲	۲-۱-۳- شاخص دوره متوسط وقفه سیستم.....
۱۳	۲-۱-۴- شاخص دوره متوسط وقفه مشترک.....
۱۳	۲-۱-۵- شاخص متوسط دسترسی (عدم دسترسی) به خدمات.....
۱۴	۲-۱-۲- شاخص‌های مربوط به بار و انرژی.....
۱۴	۲-۱-۲- شاخص انرژی تامین نشده.....
۱۵	۲-۲-۲- شاخص انرژی متوسط تامین نشده.....
۱۵	۲-۲-۳- شاخص کاهش متوسط مشترک.....
۱۷	۲-۱-۳- تاثیر DG بر شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم توزیع.....
۱۹	۲-۲- مروری بر مفاهیم اقتصاد مهندسی و محاسبات مربوط به ارزش فعلی هزینه طرح.....
۱۹	۲-۲-۱- ارزش خالص فعلی.....
۲۰	۲-۲-۲- نرخ بازگشت سرمایه.....
۲۱	۲-۲-۳- ارزش فعلی هزینه طرح.....
۲۲	۲-۳- پخش بار در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی.....
۲۲	۲-۳-۱- روش پخش بار شبکه‌های شعاعی.....
۲۵	۲-۳-۱- جدول مشخصه خطوط.....
۲۷	۲-۳-۲- روش پخش بار شبکه‌های با تعداد حلقه‌های کم.....
۳۰	۲-۳-۳- حل پخش بار شبکه‌های توزیع با حلقه‌های ضعیف.....
۳۲	۲-۳-۲- محاسبه جریان‌های نقاط شکست با استفاده از روش جبران.....
۳۳	۲-۳-۳- محاسبه ماتریس امپدانس نقاط شکست.....
۳۴	۲-۳-۴- فرآیند جبران تکراری.....
۳۷	۴-۲- پیشینه پژوهش در زمینه جایابی کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع.....
۴۵	فصل سوم: روش‌های بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه.....

فهرست مطالب

۴۶	۱-۳-الگوریتم ژنتیک.....
۴۶	۱-۱-۳-مقدمه.....
۴۶	۲-۱-۳-تاریخچه الگوریتم ژنتیک.....
۴۷	۳-۱-۳-مفهوم الگوریتم ژنتیک.....
۴۷	۲-۱-۳-ساختار الگوریتم ژنتیک.....
۴۸	۱-۲-۱-۳-افراد یا کروموزومها.....
۴۹	۲-۲-۱-۳-جمعیت.....
۵۰	۳-۲-۱-۳-نمایش و کدگذاری کروموزومها.....
۵۰	۴-۲-۱-۳-رمز گشایی کروموزومها.....
۵۱	۵-۲-۱-۳-رمز گشایی و قیود مسئله.....
۵۲	۶-۲-۱-۳-تابع هدف و ارزیابی شایستگی کروموزومها.....
۵۳	۷-۲-۱-۳-انتخاب.....
۵۵	۸-۲-۱-۳-همبری.....
۵۶	۹-۲-۱-۳-جهش.....
۵۷	۱۰-۲-۱-۳-اعمال قیود در مسائل بهینه‌سازی.....
۵۸	۱۱-۲-۱-۳-دستور خاتمه الگوریتم.....
۶۰	۲-۳-الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه.....
۶۰	۱-۲-۳-مقدمه.....
۶۰	۲-۲-۳-تاریخچه الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه.....
۶۱	۳-۲-۳-اصول الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه.....
۶۱	۴-۲-۳-ساختار الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه.....
	فصل چهارم : ارائه روش پیشنهادی در جایابی بهینه کلیدها در سیستم‌های اتوماسیون توزیع فاقد DG
۶۷
۶۸	۱-۴-مقدمه.....
۷۰	۲-۴-طرح مسئله.....
۷۱	۳-۴-توصیف و فرمول بندی تابع هدف.....
۸۵	۴-۴-تعیین باس بارهای در معرض خطا و زمان خطا.....
۸۸	۵-۴-جایابی بهینه کلیدها در سیستم‌های اتوماسیون توزیع با الگوریتم ژنتیک.....
۸۹	۶-۴-تشبیه سازی مسئله جایابی بهینه کلیدها.....
۸۹	۱-۶-۴-شبکه مورد بررسی.....

فهرست مطالب

۹۱	۴-۶-۲-نتایج حاصل از الگوریتم.....
۹۵	۴-۷-تحلیل نتایج.....
	فصل پنجم: ارائه روش پیشنهادی در جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های
۹۷	اتوماسیون توزیع با استفاده از ترکیب فازی توابع هدف چند گانه.....
۹۸	۵-۱-مقدمه.....
۱۰۰	۵-۲-طرح مسئله.....
۱۰۰	۵-۲-۱-فرمول بندی مسئله.....
۱۰۱	۵-۲-۲-ترکیب فازی توابع هدف چندگانه.....
۱۰۳	۵-۲-۳-تابع هدف مربوط به بهبود قابلیت اطمینان سیستم
۱۰۴	۵-۲-۴-تابع هدف مربوط به حداقل کردن هزینه سرمایه‌گذاری کلیدهای خط.....
۱۰۵	۵-۲-۵-تابع هدف مربوط به حداقل کردن تلفات توان اکتیو.....
۱۰۶	۵-۲-۶-تابع هدف مربوط به بهبود پروفیل ولتاژ
۱۰۷	۵-۲-۷: محدودیت‌های روش پیشنهادی.....
۱۰۷	۵-۳-تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌های اتوماسیون توزیع در حضور واحدهای DG.....
	۵-۴-شبیه سازی مسئله جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع
۱۰۸
۱۱۱	۵-۴-۱-روش اصلاح شده SFLA
۱۱۳	۵-۴-۲-اعمال SFLA به مسئله جایابی کلیدها و منابع DG.....
۱۱۴	۵-۴-۳-شبکه مورد بررسی.....
۱۱۶	۵-۵- نتایج حاصل از الگوریتم.....
۱۲۲	۵-۶-اعمال GA به مسئله و مقایسه روند تکاملی دو الگوریتم.....
۱۲۴	۵-۷-تحلیل نتایج.....
۱۲۶	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۱۲۷	۶-۱-نتیجه گیری.....
۱۳۰	۶-۲-پیشنهادات.....
۱۳۲	پیوست‌ها.....
۱۳۶	مراجع.....

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱): سیستم اتوماسیون توزیع (DAS) در یک شبکه نمونه..... ۳
- شکل (۱-۲): مدل ۴ حالتی هر باس بار..... ۱۷
- شکل (۲-۲): یک شبکه شعاعی نمونه ۲۶
- شکل (۳-۲): فلوچارت روش پسر-پیشرو جهت حل پخش بار شبکه های شعاعی ۲۸
- شکل (۴-۲): یک شبکه توزیع با حلقه‌های ضعیف..... ۳۱
- شکل (۵-۲): نمایش نقطه شکست با جریان گره تزریقی..... ۳۲
- شکل (۶-۲): چند قطبی هم ارز شبکه که از قطب‌های نقاط شکست دیده می‌شود ۳۲
- شکل (۷-۲): مدار معادل تونن شبکه‌ای که از قطب‌های نقاط شکست دیده می‌شود. . . ۳۴
- شکل (۸-۲): فلوچارت روش حل شبکه‌های حلقوی ضعیف ۳۶
- شکل (۱-۳): چگونگی نمایش یک کروموزوم..... ۴۹
- شکل (۲-۳): نمایش یک جمعیت اولیه شامل ۴ کروموزوم و به طول ۵ بیت..... ۵۰
- شکل (۳-۳): یک تابع عضویت ذوزنقه ای..... ۵۳
- شکل (۴-۳): نمایی از یک چرخ گردان..... ۵۵
- شکل (۵-۳): نمایش فرآیند همبری تک نقطه‌ای ۵۶
- شکل (۶-۳): فلوچارت الگوریتم ژنتیک در حالت کلی..... ۵۹
- شکل (۷-۳): فلوچارت الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه..... ۶۴
- شکل (۸-۳): فلوچارت جستجوی محلی با استفاده از قاعده جهش قورباغه..... ۶۵
- شکل (۹-۳): قاعده جهش قورباغه..... ۶۶
- شکل (۱-۴): نمونه‌ای از یک سیستم DAS..... ۶۹
- شکل (۲-۴): نرخ خطای ماهیانه در طول سال..... ۷۷
- شکل (۳-۴): نرخ خطای روزانه در طول هفته..... ۷۸
- شکل (۴-۴): نرخ خطای ساعتی در طول شبانه روز..... ۷۸
- شکل (۵-۴): نرخ بارگذاری ماهیانه مربوط به انواع مختلف مشترکین مسکونی، تجاری، صنعتی و کلیدی ۷۹
- شکل (۶-۴): نرخ بارگذاری روزانه مربوط به مشترکین مسکونی..... ۷۹
- شکل (۷-۴): نرخ بارگذاری روزانه مربوط به انواع مختلف مشترکین تجاری..... ۸۰
- شکل (۸-۴): نرخ بارگذاری روزانه مربوط به انواع مختلف مشترکین صنعتی و کلیدی..... ۸۰
- شکل (۹-۴): نرخ بارگذاری ساعتی مربوط به انواع مختلف مشترکین مسکونی، تجاری، صنعتی و کلیدی ۸۱
- شکل (۱۰-۴): تابع هزینه مربوط به مشترکین مسکونی..... ۸۱

فهرست شکل‌ها

- شکل (۴-۱۱): تابع هزینه مربوط به انواع مختلف مشترکین تجاری با SIC مشخص ۸۲
- شکل (۴-۱۲): تابع هزینه مربوط به انواع مختلف مشترکین صنعتی با SIC مشخص ۸۳
- شکل (۴-۱۳): تابع هزینه مربوط به مشترکین کلیدی ۸۳
- شکل (۴-۱۴): فلوچارت روش پیشنهادی جهت فرمول بندی تابع هدف ۸۴
- شکل (۴-۱۵): فلوچارت روش پیشنهادی جهت محاسبه باس بارهای از دست رفته و زمان وقفه ۸۶
- شکل (۴-۱۶): شکل کلی کروموزوم مورد استفاده در الگوریتم ۸۹
- شکل (۴-۱۷): ساختار اولیه شبکه نمونه مورد بررسی ۹۰
- شکل (۴-۱۸): ساختار پیشنهادی برای شبکه نمونه مورد بررسی با استفاده از الگوریتم ۹۲
- شکل (۴-۱۹): نمودار میله‌ای مقایسه مجموع هزینه وقفه مشترکین و هزینه سرمایه‌گذاری کلیدها در ساختار اولیه و پیشنهادی ۹۴
- شکل (۴-۲۰): نمودار حداکثر شایستگی بر حسب تعداد تکرار الگوریتم ۹۵
- شکل (۵-۱): تابع عضویت مورد استفاده برای توابع هدف موجود در مسئله ۱۰۳
- شکل (۵-۲): مدل ۴ حالتی هر باس بار ۱۰۹
- شکل (۵-۳): فلوچارت روش پیشنهادی جهت فرمول بندی تابع هدف در حضور واحدهای DG ۱۱۰
- شکل (۵-۴): فلوچارت روش پیشنهادی جهت محاسبه باس بارهای از دست رفته و زمان وقوع خطا در حضور واحدهای DG ۱۱۲
- شکل (۵-۵): فلوچارت جستجوی محلی با استفاده از قاعده جهش قورباغه در روش اصلاح شده ۱۱۳
- شکل (۵-۶): ساختار داده‌ای قورباغه‌ها ۱۱۳
- شکل (۵-۷): ساختار اولیه شبکه توزیع حلقوی KV ۱۱ مورد بررسی ۱۱۵
- شکل (۵-۸): با انتخاب یک نقطه شکست در شاخه‌ی ۵۹ شبکه حلقوی به دو شبکه شعاعی تقسیم شده است ۱۱۷
- شکل (۵-۹): ساختار پیشنهادی روش SFLA برای شبکه KV ۱۱ ۱۱۹
- شکل (۵-۱۰): مقایسه هزینه‌های SPMC و CIC در ساختار اولیه و پیشنهادی ۱۲۰
- شکل (۵-۱۱): ولتاژ باس‌های شبکه قبل و بعد از اعمال روش پیشنهادی ۱۲۱
- شکل (۵-۱۲): مقایسه روند همگرایی الگوریتم SFLA و GA در طول ۴۰ تکرار الگوریتم ۱۲۴

فهرست جداول

جدول (۱-۲): جدول مشخصه خطوط.....	۲۷
جدول (۱-۴): مقدار هزینه‌های خرید و نگهداری کلیدهای دستی و اتوماتیک.....	۷۳
جدول (۲-۴): زمان عملکرد کلیدهای دستی و اتوماتیک.....	۸۷
جدول (۳-۴): پارامترهای GA	۸۸
جدول (۴-۴): توصیف متناظر با هر ژن در ساختار باینری	۸۹
جدول (۵-۴): مقایسه وضعیت کلیدها در ساختار اولیه و ساختار محاسبه شده از الگوریتم.....	۹۳
جدول (۶-۴): مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم در ساختار اولیه و ساختار پیشنهادی	۹۴
جدول (۱-۵): ساختار صحیح و توصیف متناظر با هر قورباغه	۱۱۴
جدول (۲-۵): پارامترهای SFLA اعمال شده به مسئله	۱۱۶
جدول (۳-۵): مقدار ضرایب وزنی توابع هدف.....	۱۱۸
جدول (۴-۵): مقایسه ساختار اولیه و ساختار پیشنهادی الگوریتم از نظر وضعیت کلیدها و واحدهای DG	۱۱۸
جدول (۵-۵): نتایج شبیه سازی قبل و بعد از اعمال روش پیشنهادی برای شبکه ۱۱ KV نمونه.....	۱۲۰
جدول (۶-۵): پارامترهای GA اعمال شده به مسئله.....	۱۲۲
جدول (۷-۵): مقایسه نحوه همگرایی GA و SFLA با توجه به پارامترهای کنترلی آن‌ها.....	۱۲۳

فهرست نمادهای بکار رفته

فهرست نمادهای بکار رفته به ترتیب ذکر شدن در متن:

CIC	هزینه وقفه مشتری
DAS	سیستم اتوماسیون توزیع
DG	واحد تولید پراکنده
SPMC	هزینه خرید و نگهداری کلیدها
GA	الگوریتم ژنتیک
SFLA	الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه
λ	نرخ خطای متوسط
η	متوسط زمان وقفه
U	زمان وقفه سالانه
MCS	شبیه سازی مونت کارلو
λ_j	نرخ خطا یا وقفه سالیانه مؤثر بر باس بار j ام
u_j	متوسط مدت زمان وقفه یا خروج باس بار j ام از شبکه توزیع
r_i	زمان تعمیر یا تعویض عنصر i ام شبکه
SAIFI	شاخص متوسط تعداد وقفه در سیستم
N_j	تعداد مشترکین وصل شده به باس بار j ام
CAIFI	شاخص متوسط تعداد وقفه مشترک
SAIDI	شاخص دوره متوسط وقفه سیستم
CAIDI	شاخص دوره متوسط وقفه مشترک
ASAI	شاخص متوسط دسترسی به خدمات
ASUI	شاخص متوسط عدم دسترسی به خدمات
L_a	بار متوسط
L_p	حداکثر بار مورد تقاضا
f	ضریب بار
ENS	شاخص انرژی تامین نشده
L_{a_j}	بار متوسط باس بار j ام
AENS	شاخص انرژی متوسط تامین نشده
ACCI	شاخص کاهش متوسط مشترک
NPV	ارزش خالص فعلی
ben_i	میزان سود خالص سالیانه طرح در سال i
I	نرخ بهره
R_0	ارزش روز تجهیز در پایان سال مطالعه
C_0	میزان هزینه‌های باقی مانده در پایان دوره مطالعه

فهرست نمادهای بکار رفته

C_o	میزان هزینه‌های باقی مانده در پایان دوره مطالعه
n	طول دوره مطالعه
IRR	نرخ بازگشت سرمایه
CPV	ارزش فعلی هزینه طرح
Y_{BUS}	ماتریس ادمیتانس شبکه
Z_{BUS}	ماتریس امپدانس شبکه
E_s^*	مقدار مزدوج ولتاژ پست مرجع
$\hat{J}_j^{(k)}$	جریان در نقطه شکست j ام
\hat{V}	ولتاژ تونن
$\left[\hat{Z} \right]$	ماتریس $(P \times P)$ غیر صفر از امپدانس‌های نقاط شکست
\hat{J}	یک بردار $(P \times 1)$ از جریان‌های دلخواه نقاط شکست
MACO	روش بهینه‌سازی الگوریتم مورچه‌ها با توابع هدف چندگانه
FDIR	شناسایی و بازیابی خطا
SA	گداختگی شبیه‌سازی شده
PSO	بهینه‌سازی تجمعی ذرات
APSO	بهینه‌سازی تجمعی ذرات تطبیقی
BPSO	بهینه‌سازی پایه‌ای تجمعی ذرات
MOGA	الگوریتم ژنتیک با تابع هدف چندگانه
F_i	شایستگی کروموزوم i
P_i	احتمال انتخاب کروموزوم i
X_g	قورباغه با بهترین شایستگی کل جمعیت
X_b	قورباغه با بهترین شایستگی در میمپلکس
X_w	قورباغه با بدترین شایستگی در میمپلکس
$W_{i,max}$	حداکثر حرکت و نفوذ مجاز در فضای جستجوی i بعدی
D_{max}	حداکثر مسافت مجاز پرش
RTU	واحد کنترل از راه دور
HMI	واحد مانیتورینگ
DSO	واحد سازمان دهی داده‌ها
C_a	هزینه سالیانه
C_t	هزینه کلی محاسبه شده در چرخه عمر کلیدها برگشت داده شده به سال اول
f_{er}	تابع مورد استفاده جهت محاسبه C_a از C_t
LC	چرخه عمر کلیدها
R_g	نرخ افزایشی هزینه
R_r	نرخ بازگشتی هزینه

فهرست نمادهای بکار رفته

R_i	نرخ تورم
μ	مقدار تابع هدف کلی
$SIIC$	مجموع هزینه‌های وقفه مشتری و سرمایه‌گذاری کلیدها مربوط به هر ساختار
$SIIC_{in}$	مقدار $SIIC$ برای ساختار اولیه
SN_{ma}	تعداد کلیدهای دستی
SN_{ma}^{in}	مقدار SN_{ma} برای ساختار اولیه
SN_{au}	تعداد کلیدهای اتوماتیک
SPC_{ma}	هزینه خرید کلیدهای دستی
SPC_{au}	هزینه خرید کلیدهای اتوماتیک
SMC_{ma}	هزینه نگهداری کلیدهای دستی
SMC_{au}	هزینه نگهداری کلیدهای اتوماتیک
b	شماره شاخه محل وقوع خطا
λ_b	نرخ سالیانه خطا در شاخه b
l_b	طول شاخه b
P_m	نرخ وقوع خطا در ماه m ام سال
P_d	نرخ وقوع خطا در روز d ام هفته
P_h	نرخ وقوع خطا در ساعت h ام شبانه روز
NC_{sic}	تعداد مشترکین تجاری با SIC متفاوت
NI_{sic}	تعداد مشترکین صنعتی با SIC
f_{res}	تابع هزینه وقفه مربوط به بارهای مسکونی
f_{com}	تابع هزینه وقفه مربوط به بارهای تجاری
f_{ind}	تابع هزینه وقفه مربوط به بارهای صنعتی
f_{key}	تابع هزینه وقفه مربوط به بارهای کلیدی
γ_b	زمان خطا به علت وقوع خطا در شاخه b
$RESL_{bmdh}$	میزان بار مسکونی از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در ساعت h ام از روز d ام از ماه m ام
$COML_{bmdh}^S$	میزان بار تجاری با SIC مشخص از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در ساعت h ام از روز d ام از ماه m ام
$INDL_{bmdh}^S$	میزان بار صنعتی با SIC مشخص از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در ساعت h ام از روز d ام از ماه m ام
$KEYL_{bmdh}$	میزان بار کلیدی از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در ساعت h ام از روز d ام از ماه m ام
W_m	نرخ بارگذاری در ماه m مربوط به انواع مختلف مشترکین مسکونی، تجاری، صنعتی و کلیدی
WR_d	نرخ بارگذاری در روز d مربوط به مشترکین مسکونی
WC_d	نرخ بارگذاری در روز d مربوط به مشترکین تجاری با SIC مختلف
WIK_d	نرخ بارگذاری در روز d مربوط به مشترکین کلیدی و صنعتی با SIC متفاوت

فهرست نمادهای بکار رفته

WR_h	نرخ بارگذاری در ساعت h مربوط به مشترکین مسکونی
WC_h	نرخ بارگذاری در ساعت h مربوط به مشترکین تجاری با SIC مختلف
WIK_h	نرخ بارگذاری در ساعت h مربوط به مشترکین کلیدی و صنعتی با SIC متفاوت
$RESL_b$	میزان نامی بار مسکونی از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در ساعت h ام از روز d ام از ماه m
$COML_b^S$	میزان نامی بار تجاری با SIC مشخص از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در ساعت h ام از روز d ام از ماه m
$INDL_b^S$	میزان نامی بار صنعتی با SIC مشخص از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در ساعت h ام از روز d ام از ماه m
$KEYL_b$	میزان نامی بار کلیدی از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در ساعت h ام از روز d ام از ماه m
OMS	سیستم مدیریت وقفه
CIS	سیستم اطلاعات مشتری
$[LP_{mis}]$	ماتریس مورد استفاده جهت ذخیره باس بارهای از دست رفته
$[BR_{mis}]$	ماتریس مورد استفاده جهت ذخیره شاخه‌های از دست رفته
$L_{LP_{mis}}$	تعداد عناصر ماتریس $[LP_{mis}]$
N	تعداد کروموزوم‌های موجود در هر جمعیت
P_c	ضریب همبری
P_m	ضریب جهش
IT_{max}	تعداد تکرار مسئله
P_{dg}	مجموع ظرفیت واحدهای DG
dv_m	میانگین انحراف ولتاژ باس بارهای شبکه از ولتاژ نامی فیدر
P_{loss}	تلفات کلی توان اکتیو
MOP	مسئله بهینه‌سازی چند هدفه
μ_{CIC}	مقدار تابع عضویت مربوط به کاهش شاخص CIC مشترکین
μ_{SPMC}	: مقدار تابع عضویت مربوط به کاهش هزینه SPMC کلیدها
$\mu_{P_{loss}}$	مقدار تابع عضویت مربوط به کاهش P_{loss}
μ_{dv}	مقدار تابع عضویت مربوط به کاهش dv_m
N_b	تعداد کل شاخه‌های شبکه
$r(i)$	مقاومت شاخه i ام
$I_L(i)$	جریان شاخه i ام
N_{bus}	تعداد کل باس بارهای شبکه
v_i	اندازه ولتاژ باس بار i ام
v_i^*	اندازه ولتاژ نامی باس بار i ام

فهرست نمادهای بکار رفته

$V_{i,min}$	حداقل ولتاژ قابل تحمل باس بار i ام
$V_{i,max}$	حداکثر ولتاژ قابل تحمل باس بار i ام
$I_{L,max}(i)$	حداکثر جریان قابل تحمل شاخه i ام
$\lambda_{d,j}$	نرخ خروج از حالت z
TST	زمان نهایی شبیه سازی
β_{dg}	زمان لازم جهت قطع و سنکرون کردن مجدد واحد DG از شبکه
I_{ss}	جریان دریافتی از پست اصلی فیدر
S	مجموع کل توان سیستم
S_{loss}	مجموع کل تلفات توان
E_{ss}	اندازه ولتاژ پست اصلی فیدر
SIC	شاخص اهمیت بار

فصل اول

مقدمه

مقدمه:

شاخص مربوط به هزینه وقفه مشترکین (CIC¹) یکی از مهمترین شاخص های قابلیت اطمینان سیستم می باشد که در اکثر مواردی که قابلیت اطمینان سیستم از جنبه ی اقتصادی مورد بررسی قرار می گیرد، از این شاخص به عنوان تابع هدف استفاده می شود. این شاخص برابر هزینه ایست که شرکت های ارائه دهنده ی سرویس در صنعت برق به ازای مدت زمان وقفه مشترکین و میزان بار بی برق شده آن ها، باید به آن ها بپردازند.

در شبکه های قدیمی توزیع، در صورت وقوع خطا در هر قسمت فیدر²، از آنجا که محل دقیق خطا در طول فیدر مشخص نیست و تنها در دو سمت فیدر واقع در پست ها، کلید داریم، لذا نقطه خطا از طریق این کلیدها از شبکه جدا می شود؛ که این فرآیند سبب خروج کلیه بارهای متصل به فیدر می شود و در نتیجه شاخص CIC افزایش می یابد. اما در سیستم های نوین اتوماسیون توزیع (DAS³)، با بکاربردن رله های ولتاژ متوسط در طول فیدر، شبکه کردن آن ها، ارسال داده ها به مرکز دیسپاچینگ و مانیتورینگ آن ها، شناسایی محل وقوع خطا در طول فیدر و خروج نقطه خطا از شبکه با فرمان رله ها به کلیدهای متصل به دو سمت خطا، به راحتی امکان پذیر می شود. که این فرآیند هزینه های کلی وقفه ی مشتری را به شدت کاهش می دهد.

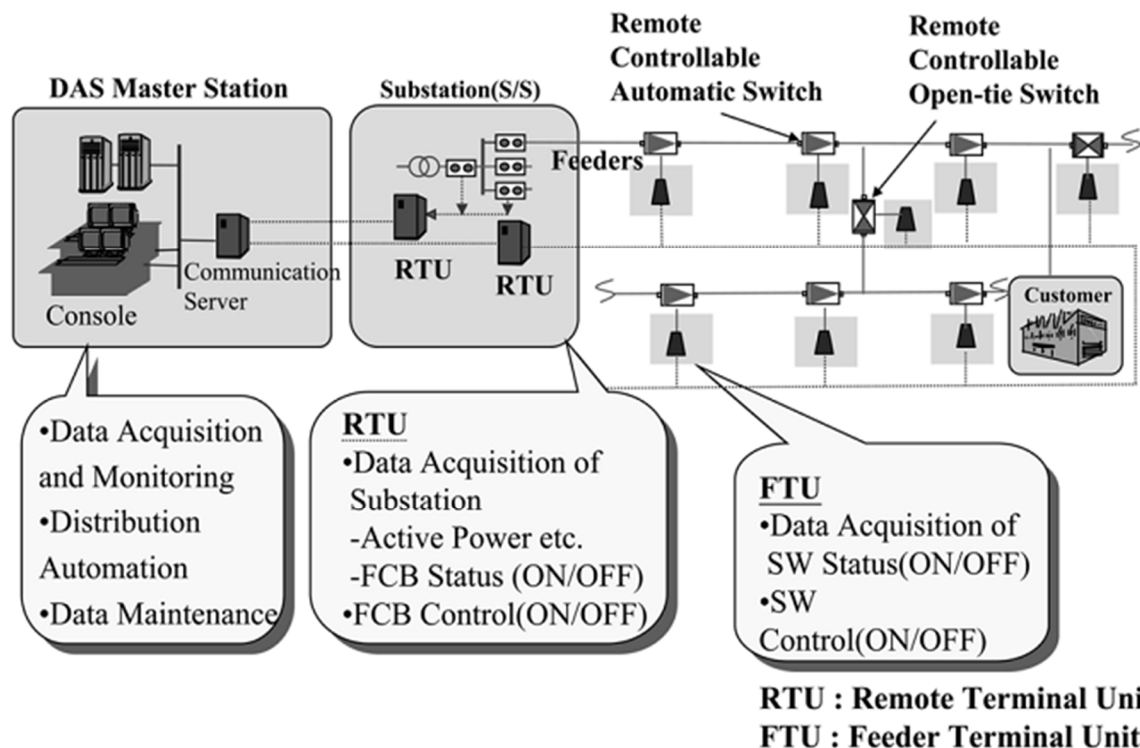
از این رو سیستم های DAS، جهت ردیابی سریع خطا و بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم⁴، با استفاده از جایگزین کردن کلیدهای دستی با کلیدهای اتوماتیک، در شبکه های توزیع، اهمیت یافته است [۵-۱]. سیستم اتوماسیون توزیع در یک شبکه نمونه در شکل (۱-۱) نمایش داده شده است. همانگونه که از این شکل پیداست این سیستم از کلیدهای قابل کنترل از راه دور، واحد کنترل از راه دور،

¹ Customer Interruption Cost

² Feeder

³ Distribution Automation System

⁴ System Reliability



شکل(۱-۱): سیستم اتوماسیون توزیع (DAS) در یک شبکه نمونه [۶]

واحد ترمینال فیدر و واحدهای کنترل محلی و اصلی تشکیل شده است.

روشهای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستمهای قدرت عموماً به دو دسته‌ی تحلیلی و شبیه سازی مونت کارلو تقسیم می شوند. روش تحلیلی برای سیستم یک مدل ریاضی ارائه می دهد که معمولاً ساده شده می باشد و شاخصهای قابلیت اطمینان در این روش مستقیماً با استفاده از روابط ریاضی بدست می آید.

شاخصهای قابلیت اطمینان در روش تحلیلی، از سه مفهوم کلاسیک نرخ خطای متوسط λ (failure/yr)، متوسط زمان قطعی η (hr/failure) و متوسط سالانه عدم دسترسی یا متوسط زمان قطعی سالانه U (hr/yr) که هر سه مربوط به کل مشترکین سیستم توزیع می باشند، بهره می گیرند.

روش شبیه سازی، شاخصهای قابلیت اطمینان را با استفاده از شبیه سازی فرایندهای واقعی و

رفتار تصادفی سیستم برآورد می کند. از آنجا که در روش شبیه سازی کلیه جزئیات و حالت‌های ممکن سیستم در نظر گرفته می شود و معمولاً مانند روش تحلیلی ساده سازی انجام نمی دهیم واضح است که روش شبیه سازی جهت ارزیابی قابلیت اطمینان نسبت به روش تحلیلی زمان بیشتری صرف کند. روش شبیه سازی مونت کارلو به عنوان یک ابزار مستقل جهت تعیین میزان دقت روش‌های تحلیلی یا میزان عدم دقت ناشی از تقریب زنی وساده سازی، استفاده می شود.

همچنین، اخیراً با تبدیل صنعت برق به یک ساختار رقابتی و تشدید مقررات‌های زیست محیطی افزایش رویکرد به تولید پراکنده^۱ را شاهد بوده ایم. از طرفی بالا رفتن هزینه‌های انتقال و توزیع به مولدهای تولید پراکنده این امکان را می دهد که برق تولیدی خود را با قیمتی ارزانتر در اختیار مصرف کنندگان قرار دهند [۷].

عمدتاً لفظ DG^۲ یا تولید پراکنده به ژنراتورهای کوچکی که توان تولیدی کمتر از 10MW دارند، اطلاق میشود که اغلب به پست‌ها، فیدرهای توزیع و یا مستقیم به باس بار وصل می شوند. مهمترین تکنولوژی‌های DG شامل فوتوولتایک، توربین بادی، پیل‌های سوختی، میکروتوربین‌ها و ژنراتورهای احتراق داخلی می باشد.

کاربردهای DG شامل تولید همزمان برق و گرما (CHP)، پیک سایه^۳ و توان آماده به کار^۴ می باشد [۸-۹]. کاربرد یک DG به صورت آماده به کار به این معنی است که یک واحد برای تامین برق مشترکینی که دچار قطعی شده‌اند به کار گرفته شود. مشترکین انتظار دارند که خدمات بدون وقفه ای دریافت کنند، اما بروز قطعی اجتناب ناپذیر است و برای پیشگیری از این رخداد و یا حداقل رساندن آن و بالا نگه داشتن میزان قابلیت اطمینان، DGها نصب می شوند تا توان مورد نیاز را تامین کرده مادامی که سیستم ترمیم شود. کاربرد یک DG به صورت پیک سایه به این مفهوم است که یک واحد DG در زمان

¹ Distribution Generation

² Distributed Generator

³ Peak shaving

⁴ Standby Power

پیک بار به کار گرفته شود. یک روش اقتصادی مفید جهت اصلاح پیک بار استفاده از DG می‌باشد که سالیان درازی است مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۰]. قابل ذکر است که هر دو روش تحلیلی و شبیه سازی، جهت محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع شامل DG به کار برده می‌شوند.

امروزه 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. سیستم‌های DAS، از جمله این روش‌های نوین جهت بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد. با توجه به هزینه‌های نسبتاً بالای خرید و نگهداری کلیدها در سیستم‌های اتوماسیون توزیع، تعیین محل بهینه نصب این کلیدها از جمله مباحث مهمی است که موضوع بسیاری از مقالات جدید را به خود اختصاص داده است. همچنین مبحث واحدهای تولید پراکنده با توجه به تأثیری که در کاهش هزینه‌های توسعه شبکه دارند، در مقالات و مراجع مربوط به سیستم‌های قدرت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده‌اند.

استفاده از ترکیب فازی^۱ توابع هدف چندگانه جهت تعیین تعداد و جایابی بهینه کلیدهای دستی و اتوماتیک در سیستم‌های DAS با معیار کاهش شاخص CIC کلی مشترکین ضمن کمینه کردن هزینه-های خرید و نگهداری کلیدها (SPMC)^۲ و همچنین تعیین میزان و محل بهینه واحدهای DG با معیار بهبود پروفیل ولتاژ^۳، کاهش تلفات شبکه و کاهش شاخص CIC کلی مشترکین، با قرارگیری این واحدها در فیدرهای شعاعی از یک سو تغذیه، اهداف اصلی این پروژه را تشکیل می‌دهد.

فصل دوم این پروژه مربوط به پایه‌های نظری جایابی کلیدها و منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع و همچنین مروری بر کار دیگران در این زمینه می‌باشد. مروری بر مفاهیم و شاخص‌های اصلی

1 Fuzzy Compound

2 Switches Purchasing and Maintenance Cost

3 Voltage Profile

قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت، مفاهیم اقتصاد مهندسی و همچنین روش‌های انجام پخش بار^۱ در شبکه‌های توزیع از جمله پایه‌های نظری مورد بحث در این فصل می‌باشند. پیشینه پژوهش و آخرین مقالات و کارهای انجام شده در زمینه جایابی کلیدهای خط و منابع DG نیز در این فصل مورد بررسی قرار گرفته است. روش‌های بهینه‌سازی مورد استفاده در پروژه یعنی الگوریتم ژنتیک (GA)^۲ و همچنین الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه (SFLA)^۳ در فصل سوم به تفصیل شرح داده شده‌اند. فصل چهارم به جایابی بهینه کلیدهای دستی و اتوماتیک در سیستم‌های DAS فاقد DG اختصاص دارد. در این فصل از روش بهینه‌سازی GA و شبکه استاندارد ۱۲۳ باس بار IEEE، جهت شبیه‌سازی مسئله استفاده شده است. استفاده از ترکیب فازی توابع هدف چندگانه جهت جایابی همزمان کلیدهای خط و واحدهای DG در سیستم‌های DAS، با استفاده از یک فرم اصلاح شده از الگوریتم SFLA در فصل پنجم ارائه شده است. در این فصل از یک شبکه نمونه ۹۵ باسه استفاده شده است و همچنین شبیه‌سازی مسئله با الگوریتم GA انجام شده و نتایج مقایسه شده‌اند. نهایتاً فصل ششم به نتیجه‌گیری و پیشنهادات اختصاص دارد.

¹ Load Flow

² Genetic Algorithm

³ Shuffled Frog Leaping Algorithm

فصل دوم :

پایه‌های نظری جایابی کلیدها و منابع تولید پراکنده

و مروری بر کار دیگران

۲-۱- مفاهیم اولیه و شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم‌های

قدرت

یکی از اساسی‌ترین اهداف سیستم‌های قدرت تداوم تامین انرژی الکتریکی ارزان با کیفیت مطلوب می‌باشد. به دلیل معایب و خطاهای احتمالی در تجهیزات به کار رفته در سیستم و تغییرات جوی نمی‌توان انتظار داشت که همواره این انرژی در دسترس قرار گیرد. سیستم توزیع گسترده‌ترین بخش سیستم قدرت از نظر حجم حوزه‌ی تحت پوشش می‌باشد، از طرف دیگر این سیستم واسطه‌ای بین مصرف و سیستم بزرگ قدرت می‌باشد که انرژی را از نقاط عمده تولید دریافت کرده و به مصرف کننده تحویل می‌دهد. همچنین علی‌رغم سادگی ساختار شبکه‌های توزیع، سهم عمده‌ای از سرمایه‌گذاری در سیستم قدرت به این بخش اختصاص دارد.

با توجه به کیفیت پایین تجهیزات به کار رفته در سیستم‌های توزیع و در معرض خطا قرار گرفتن سیستم توزیع، به خصوص به دلیل گستردگی و شرایط خاص مداری معمولاً شبکه‌های توزیع دارای نرخ خطا بسیار بالاتری نسبت به سایر بخش‌های سیستم قدرت می‌باشند و لذا تغذیه مصرف کنندگان بیشتر از این ناحیه آسیب پذیر خواهد بود. بر اساس آمار تقریباً ۹۰٪ خروج مشترکین و عدم اطمینان ایجاد شده به دلیل وقفه‌ها و مشکلات سیستم توزیع ایجاد می‌گردد [۱۱].

منظور از قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع ارزیابی مقدار خاموشی و عملکرد سیستم فشار متوسط می‌باشد. قابلیت اطمینان سیستم توزیع در دایره‌المعارف IEEE به صورت زیر تعریف شده است:

قابلیت اطمینان عبارت است از توانایی سیستم توزیع برای انجام وظایف و خدمت رسانی تحت شرایط عملکردی معین در دوره عملکرد مشخص، به گونه‌ای که خطایی در آن رخ ندهد.

کاهش اثر خطا بر روی عملکرد سیستم توزیع به عنوان پارامتری مهم در طراحی بهینه شبکه

توزیع باید در نظر گرفته شود تا از این رهگذر هم رضایت مشترکین جلب گردد و هم اینکه میزان انرژی توزیع نشده کاهش یابد. برای ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع دو پارامتر اساسی نرخ خطا و مدت زمان وقفه مورد استفاده قرار می‌گیرد و با استفاده از این پارامترها شاخص‌های اساسی و شاخص‌های قابلیت اطمینان محاسبه می‌گردند.

انجام محاسبات قابلیت اطمینان در شبکه را می‌توان به مراحل زیر تقسیم کرد. ابتدا باید پارامترهای اساسی و مورد نیاز هر یک از تجهیزات شبکه فشار متوسط محاسبه گردند.

پارامترهای اساسی محاسبات قابلیت اطمینان به طور کلی در هر سیستمی به کمک نتایج آماری حاصل از خطاهای واقع شده در سیستم و در نظر گرفتن طول عمر آن سیستم به دست می‌آیند. از آنجایی که شبکه‌های توزیع دارای شرایط خاص مداری می‌باشند و این که طول عمر سیستم توزیع یک تابع چندین متغیره است که علاوه بر زمان وابسته به متغیرهای دیگر نیز می‌باشد، طول عمر شبکه توزیع به راحتی سایر سیستم‌ها قابل محاسبه نمی‌باشد و اطلاعات آماری نیز نمی‌توانند درک درستی از طول عمر یک سیستم توزیع در اختیار ما قرار دهند. لذا از این پارامترها جهت محاسبه پارامترهای اساسی قابلیت اطمینان استفاده نمی‌گردد و از این رو در محاسبات پارامترهای اساسی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع، نتایج آماری خطاهای سال‌های گذشته به تنهایی و بدون در نظر گرفتن طول عمر شبکه برای یافتن پارامترهای اساسی شبکه توزیع استفاده می‌گردند. پارامترهای اساسی هر یک از اجزای شبکه توزیع عبارتند از:

- λ_i نرخ خطای متوسط قطعه i ام
- u_i مدت زمان خروج از شبکه قطعه i ام

در مورد فیدرهای شبکه توزیع مدت زمان خروج از شبکه به دو زمان تعمیر و کلید زنی تقسیم

می‌شود.

پس از یافتن پارامترهای اساسی برای هر یک از اجزای شبکه توزیع، شاخص‌های اساسی قابلیت اطمینان برای هر باس بار به کمک روش‌های محاسبات قابلیت اطمینان استخراج می‌شود. این شاخص‌ها عبارتند از:

- نرخ خطا یا وقفه سالیانه مؤثر بر باس بار j ام در شبکه توزیع که با نماد λ_j نمایش داده شده و به صورت تعداد خطا یا وقفه بر سال ($fault/year$) تعریف می‌شود.
- متوسط مدت زمان وقفه یا خروج باس بار j ام از شبکه توزیع که با نماد u_j نمایش داده شده و به صورت زمان بر سال ($time/year$) محاسبه می‌گردد [۱۲].

برای معرفی شاخص‌های قابلیت اطمینان لازم است بدانیم سیستم‌های شعاعی (که اغلب سیستم‌های توزیع از نوع سیستم‌های شعاعی می‌باشند) در محاسبات قابلیت اطمینان به صورت یک سیستم با عناصر سری در نظر گرفته می‌شوند. در این نوع سیستم‌ها باید تمام مؤلفه‌های بین باس بار و محل تغذیه شبکه در حالت عملکرد باشند، تا مصرف کننده بتواند تغذیه گردد. لذا برای معرفی شاخص‌ها نیاز است یک سیستم سریع با n مؤلفه در نظر گرفته شود. در این سیستم شاخص‌های مذکور را می‌توان از روابط زیر به دست آورد:

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

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

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

که در آن r_i زمان تعمیر یا تعویض عنصر i ام شبکه می‌باشد. این شاخص‌ها به تنهایی نمی‌توانند

تعیین کننده وضعیت و رفتار سیستم باشند. به عنوان مثال مقادیر یکسان شاخص‌ها، گویای تعداد مصرف کننده یا میزان بار متصل به باس بار نیست.

به دلایل زیر شاخص‌های قابلیت اطمینان معرفی می‌شوند:

(۱) شاخص‌های اساسی قابلیت اطمینان به تنهایی وضعیت و رفتار سیستم را نمی‌توانند بیان کنند.

(۲) به جهت اهمیت ویژه خروج سیستم از حالت عملکرد که می‌تواند حجم بسیار بالایی از مشترکین را بی برق نماید.

آنچه مسلم است اینکه هر یک از این شاخص‌ها از زاویه خاصی به سیستم می‌نگرد و با اجماع این

شاخص‌ها به سهولت و با دقت بیشتری می‌توان قابلیت اطمینان سیستم را مورد ارزیابی قرار داد.

۲-۱-۱- شاخص‌های مربوط به مصرف کننده

۲-۱-۱-۱- شاخص متوسط تعداد وقفه در سیستم (SAIFI)^۱

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_j N_j}{\sum N_j} \quad (۴-۲)$$

که در آن λ_j نرخ خطا و N_j تعداد مشترکین وصل شده به باس بار j می‌باشد.

این شاخص بدون توجه به مدت زمان وقفه نشان می‌دهد که به طور متوسط هر مشترک چند بار

قطع شده است و بر حسب وقفه بر مشترک (مشترک/وقفه) بیان می‌گردد. به عبارت دیگر این شاخص

بیانگر این مطلب است که با توجه به تعداد خطاها و وقفه‌های ناشی از این خطاها هر یک از مشترکین

شبکه در طول زمان مورد بررسی چند بار به طور متوسط ممکن است قطع شوند.

^۱ System Average Interruption Frequency Index

۲-۱-۱-۲- شاخص متوسط تعداد وقفه مشترک (CAIFI^۱)

$$CAIFI = \frac{\text{تعداد کل وقفه های مشترکین}}{\text{تعداد کل مشترکین تحت تأثیر قرار گرفته}} \quad (۵-۲)$$

در رابطه‌ی فوق مخرج کسر بیانگر مشترکینی می باشد که برقشان حداقل یک بار قطع شده باشد. زیرا ممکن است برق برخی از مشترکین در طول سال قطع نشده باشد. این شاخص برای مقایسه عملکرد سیستم در یک سال تقویمی با عملکرد آن در سال تقویمی دیگر به کار می‌رود. همچنین شاخص CAIFI برای تشخیص روندهای زمانی در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم توزیع بسیار مفید بوده و بر حسب (مشترکین در معرض / وقفه) یا (*Int/Cust.off*) می‌باشد. 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.

این شاخص همانند شاخص قبلی، بدون در نظر گرفتن زمان وقفه بیان می‌کند که مشترکینی که حداقل یک بار قطع شده‌اند، در مدت زمان مورد بررسی به طور متوسط چند بار تحت تأثیر خطا و وقفه ناشی از آن در شبکه قرار گرفته‌اند و به تعداد کل مشترکین شبکه توجهی ندارد. اما با این تفاوت که این مقدار را به صورت دقیق و نه به صورت متوسط محاسبه می‌کند.

۲-۱-۱-۳- شاخص دوره متوسط وقفه سیستم (SAIDI^۲)

$$SAIDI = \frac{\text{مجموع دوره های قطعی مشترکین}}{\text{تعداد کل مشترکین}} = \frac{\sum U_j N_j}{\sum N_j} \quad (۶-۲)$$

در این رابطه N_j تعداد مشترکین باس بار j ام و U_j نیز زمان خروج سالیانه آن می‌باشد. این شاخص بر حسب مشترک/ساعت (*hr/cust*) بیان می‌گردد.

این شاخص بدون توجه به تعداد وقفه‌ها، بیانگر این مطلب است که در طی خطاهای شبکه در

^۱ Customer Average Interruption Frequency Index

^۲ System Average Interruption Duration Index

بازه زمانی مورد مطالعه هر یک از مشترکین شبکه به طور متوسط چه مدت زمان را ممکن است بی برق مانده باشند. به عبارت دیگر هر یک از مشترکین به طور متوسط چه مدت زمانی ممکن است از مدار خارج شده باشند.

۲-۱-۱-۴- شاخص دوره متوسط وقفه مشترک (CAIDI^۱)

$$CAIDI = \frac{\text{مجموع دوره های قطعی مشترکین}}{\text{تعداد کل وقفه های مشترکین}} = \frac{\sum U_j N_j}{\sum \lambda_j N_j} \quad (۷-۲)$$

در این شاخص نیز همانند شاخص قبلی تعداد دفعات قطعی مطرح نیست بلکه مدت زمان قطعی برق مدنظر قرار گرفته و بر حسب (وقفه مشترکین/ساعت) ($hr/Intr.cust$) بیان می‌گردد. در این شاخص، بر خلاف شاخص SAIDI متوسط زمان وقفه هر یک از مشترکین به صورت متوسط مدنظر نمی‌باشد. بلکه این مدت زمان متوسط را برای تمام مشترکینی که حداقل یک بار قطع شده باشند به دست می‌دهند. این شاخص بیانگر این مطلب است که هر یک از مشترکین قطع شده چه مدت زمانی را می‌توانستند تحت تأثیر وقفه قرار گیرند.

۲-۱-۱-۵- شاخص متوسط دسترسی (عدم دسترسی) به خدمات (ASAI^۲, ASUI^۳)

$$ASAI = \frac{\text{مدت زمان خروج مشترک} - \text{ساعت دسترسی به خدمات مشترک}}{\text{ساعت مورد تقاضا مشترک}} = \frac{\sum N_j \times 8760 - \sum U_j N_j}{\sum N_j \times 8760} \quad (۸-۲)$$

$$ASUI = 1 - ASAI \quad (۹-۲)$$

شاخص ASAI بیانگر این مطلب است که به طور متوسط، شبکه برای کل مشترکین در یک سال چه مدت زمانی در دسترس بوده است و مشترکین به طور متوسط چه زمانی از شبکه استفاده کرده‌اند. این شاخص

^۱ Customer Average Interruption Duration Index

^۲ Average System Accessible Index

^۳ Average System Unaccessible Index

بدون بعد بوده و وضعیت شبکه را از نظر خدمت رسانی به صورت درصدی و برای اطلاع از وضعیت شبکه بیان می‌کند، مقدار این شاخص همیشه کمتر از یک می‌باشد.

شاخص ASUI بر خلاف شاخص ASAI میزان در دسترس نبودن شبکه را به طور متوسط برای مشترکین شبکه بیان می‌دارد [۱۵].

۲-۱-۲- شاخص‌های مربوط به بار و انرژی

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

$$L_a = L_p \cdot f \quad (۱۰-۲)$$

که در آن L_a بار متوسط، L_p حداکثر بار مورد تقاضا و f نیز ضریب بار (*Load Factor*) است.

از طرف دیگر:

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

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

۲-۱-۲-۱- شاخص انرژی تامین نشده (ENS^1)

$$ENS = \text{انرژی کل تامین نشده توسط سیستم} = \sum L_{a_j} \times U_j \quad (۱۲-۲)$$

L_{a_j} بار متوسط باس بار j 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.

این شاخص جهت محاسبه مقدار انرژی‌ای که کل شبکه نتوانسته تغذیه نماید به کار می‌رود. در

این شاخص بدون توجه به تعداد وقفه‌ها زمان وقفه هر باس بار در بار متوسط آن باس بار ضرب شده و این

¹ Energy Not Supplied

مقادیر با هم جمع شده و زیان ناشی از قطعی و عدم امکان فروش انرژی الکتریکی بر مبنای هزینه واحد انرژی محاسبه می‌شود. به کمک این شاخص و با در دست داشتن زیان مالی ناشی از عدم امکان فروش برای هر کیلو وات انرژی، می‌توان زیان اقتصادی را نیز به دست آورد.

۲-۱-۲- شاخص انرژی متوسط تامین نشده (AENS¹)

$$AENS = \frac{\text{انرژی کل تامین نشده}}{\text{تعداد کل مشترکین وصل شده}} = \frac{\sum L_a(j)U_j}{\sum N_j} \quad (13-2)$$

این شاخص بیانگر متوسط میزان انرژی کل فروخته نشده توسط شرکت‌های توزیع به ازای هر مشترک می‌باشد و به عبارت ساده تر بیان می‌دارد که چه میزان انرژی به طور متوسط به ازای هر مشترک در زمان مورد مطالعه فروخته نشده است.

۲-۱-۳- شاخص کاهش متوسط مشترک (ACCI)

$$ACCI = \frac{\text{انرژی کل تامین نشده}}{\text{تعداد کل مشترکین تحت تاثیر قرار گرفته}} \quad (14-2)$$

این شاخص، بر خلاف شاخص AENS که میزان متوسط انرژی تغذیه نشده به ازای تمامی مشترکین شبکه را بیان می‌کرد، مشخص می‌نماید که به طور متوسط به ازای هر مشترک که در بازه زمانی مورد مطالعه حداقل یک بار بی برق شده است، چه مقدار انرژی تأمین نشده است. برای محاسبه این شاخص باید تعیین کرد که چه تعداد مشترک در زمان مورد مطالعه بی برق شده اند، سپس به کمک میزان کل انرژی تغذیه نسبت به این مشترکین متوسط گیری نمود.

با توضیحات ارائه شده در بخش‌های قبل، مشخص گردید که شاخص‌های قابلیت اطمینان بهترین معیار جهت مقایسه گزینه‌های انتخابی مختلف بوده و باید مبنای مطالعات قرار گیرد. لازم به توضیح است که در مطالعات قابلیت اطمینان، پارامترهای الکتریکی و مشخصات امپدانس و فیزیکی شبکه مانند

¹ Average Energy Not Supplied

فیدرها و خطوط تأثیر قابل ملاحظه‌ای نداشته و مدل سازی آن‌ها ضروری به نظر نمی‌رسد. در مثالی که ارائه خواهد شد، این مطلب به طور کامل تشریح می‌گردد.

آنگونه که قبلاً نیز تشریح شده است، هدف از مطالعات قابلیت اطمینان، مقایسه بین گزینه‌های انتخابی است. به این ترتیب مقادیر دقیق شاخص‌های قابلیت اطمینان مورد نظر نمی‌باشد، بلکه کاهش یا افزایش آن‌ها در شرایط مختلف تعیین کننده است. بنابراین استفاده از مقدار تقریبی پارامترها تأثیری در نتیجه مقایسه نخواهد داشت، همانگونه که در مقایسه قد یک بسکتبالیست با یک فوتبالیست استفاده از هر گونه خط کش با سنجش‌های میلی متر، سانتی متر، اینچ یا هر واحد دیگری، نتیجه یکسان خواهد داشت.

به عنوان مثال شبکه آبی را در نظر بگیرید که از تجهیزاتی با کیفیت عالی و از اروپای غربی تشکیل شده باشد. دو گزینه مختلف در این شبکه تعریف شده است و مطالعات قابلیت اطمینان انجام گیرد و در مقایسه، یک گزینه بهتر ارزیابی شود. حال شبکه کاملاً مشابه را در نظر بگیرید که از تجهیزات با کیفیت پایین تر (مثلاً چینی) تشکیل شده باشد. اگر همان دو گزینه را مورد بررسی قرار دهید، نتیجه‌ی مقایسه یکسان خواهد بود، اگر چه مقدار شاخص‌های قابلیت اطمینان دو شبکه متفاوت باشد [۱۸].

همچنین پارامترهای الکتریکی و مشخصات امپدانس و فیزیکی شبکه مانند طول فیدرها و خطوط، امپدانس خطوط در واحد طول و دیگر پارامترهای مشابه نیز تنها بر روی مقادیر مؤثر می‌باشد، و تأثیر قابل ملاحظه‌ای در نتیجه مقایسه نخواهد داشت. همانگونه که نرخ خطا در یک کیلومتر فیدر تشکیل شده از تجهیزات زمینس ممکن است معادل نرخ خطا در صد متر فیدر تشکیل شده از تجهیزات چینی باشد، ولی مقایسه دو گزینه مختلف در دو شبکه زمینس و چینی منجر به انتخاب همان گزینه از دو شبکه می‌گردد.

۲-۱-۳- تاثیر DG بر شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم توزیع

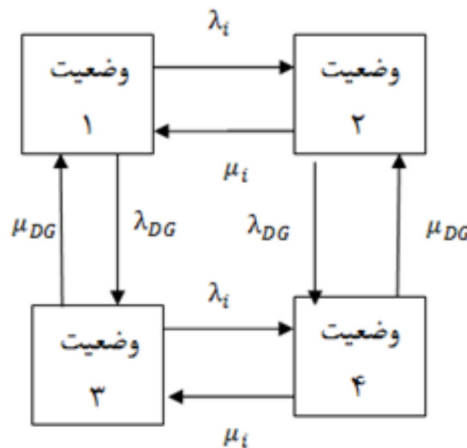
تفاوت قابلیت اطمینان سیستم توزیع شامل DG و بدون DG از تفاوت λ_i ها و U_i ها در معادلات

(۴-۲) و (۶-۲) مربوط به محاسبه شاخص‌های SAIFI و SAIDI حاصل می‌شود [۱۰].

- مدل مارکوف تولید پراکنده [۱۰]

مدل چهار وضعیتی نشان داده شده در شکل زیر می‌تواند وضعیت DG متصل به باس بار را

نشان دهد.



شکل (۱-۲): مدل ۴ حالتی هر باس بار [۱۰]

در شکل (۱-۲) λ_{DG} و μ_{DG} به ترتیب نرخ خطا و تعمیر سالانه DG و λ_i و μ_i نرخ‌های خطا و

تعمیر باس بار i ام در سیستم توزیع می‌باشد. جهت‌های نشان داده شده در شکل (۲-۵) نشان دهنده گذر

بین حالت‌ها می‌باشد. به طوری که در حالت (۱) DG باس بار در شرایط طبیعی قرار دارد و باس بار انرژی

الکتریکی را از سیستم انتقال و DG اصلاح پیک بار دریافت می‌کند. در حالت (۲) خطای مولفه در حالت

(۱) سیستم رخ داده و ارتباط باس بار با پست قطع شده است. در حالت (۳) DG دچار قطعی شده ولی

باس بار هنوز به پست وصل است و در حالت (۴) هم DG و هم سیستم انتقال دچار قطعی شده‌اند و باس

بار ایزوله شده است.

- ماتریس احتمال گذر تصادفی و مقادیر حدی

به منظور استفاده از تکنیک جبر ماتریس‌ها جهت ارزیابی قابلیت اطمینان لازم است ماتریسی که احتمالات گذر از یک حالت به حالت دیگر را نشان می‌دهد استنتاج شود. با در نظر گرفتن چهار حالت نشان داده شده در شکل (۱)، ماتریس گذرتصادفی آن مطابق رابطه (۱۵-۲) می‌باشد.

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

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 برحدی بدست می‌آید و نهایتاً به مقادیر حدی معادلات (۱۷-۲) و (۱۸-۲) می‌رسیم.

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

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

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

- فرکانس 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.

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

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

قابلیت اطمینان DG -

DG آماده به کار هنگام عملکرد نرمال سیستم به صورت آفلاین باقی می ماند و هنگامی که یک واحد تولید توان دچار قطعی شد وارد عمل می شود. برخی از مشترکین جهت رفع قطعی‌های لحظه ای رخ داده تا زمان راه اندازی DG از UPS در ترکیب بهره می گیرند. نرخ خرابی و زمان قطعی سالانه باس بار i ام متصل به DG به کمک روابط (22-2) و (23-2) محاسبه می شوند [29].

$$\lambda_i^{post} = \frac{P_2 \lambda_{DG} + P_3 \lambda_i}{P_1 + P_2 + P_3} \quad (22-2)$$

$$U_i^{post} = P_4 \quad (23-2)$$

2-2- مروری بر مفاهیم اقتصاد مهندسی و محاسبات مربوط به

ارزش فعلی هزینه طرح

2-2-1- ارزش خالص فعلی (NPV)¹

ارزش خالص فعلی طرح (NPV) یکی از شاخص‌های اقتصاد مهندسی برای داوری بین یک یا چند طرح و تعیین طرح‌های اقتصادی تر است. ارزش خالص فعلی یک طرح بیانگر این امر است که به دنبال سرمایه‌گذاری برای یک طرح، در طول عمر مفید طرح چه مقدار سود حاصل می‌شود. به عبارت دیگر سود حاصل از سرمایه‌گذاری در یک پروژه طی طول عمر مفید آن در سال پایه، بیانگر ارزش خالص فعلی آن پروژه است. این مقدار با توجه به اطلاعات مربوط به سال پایه محاسبه می‌شود. در این فرآیند

¹ - Net Present Value

تمامی هزینه‌ها و درآمدها با استفاده از روابط اقتصاد مهندسی به سال پایه انتقال پیدا می‌کنند. هر چه شاخص NPV طرح بزرگتر باشد، ارزش اقتصادی طرح بیشتر است. لذا از این منظر ترکیباتی از واحدهای گاز سوز که دارای شاخص NPV بزرگتری هستند اولویت بیشتری برای نصب در شین‌های مورد نظر دارند. برای بدست آوردن ارزش خالص فعلی یک طرح با توجه به شرایط مختلف درآمد سالیانه طرح، می‌توان از روابط موجود در مراجع اقتصاد مهندسی استفاده کرد. در این تحقیق از رابطه زیر برای محاسبه شاخص NPV استفاده می‌شود [۳۳ و ۴۰].

$$NPV = -P + \sum_{i=1}^n \frac{ben_i}{(1+I)^i} + (R_o - C_o) \left(\frac{1}{(1+I)^n} \right) \quad (2-24)$$

P: تمام یا بخشی از هزینه اولیه طرح که توسط سرمایه گذار تأمین می‌شود (آورده سرمایه

گذار) (RIs)

ben_i : میزان سود خالص سالیانه طرح در سال i (RIs)

I: نرخ بهره

R_o : ارزش روز تجهیز در پایان سال مطالعه (RIs)

C_o : میزان هزینه‌های باقی مانده در پایان دوره مطالعه (مانند اقساط وام)

n: طول دوره مطالعه (year)

۲-۲-۲- نرخ بازگشت سرمایه^۱

نرخ بازگشت سرمایه بیانگر این امر است که هزینه لازم برای سرمایه‌گذاری اولیه با چه سرعتی جبران می‌شود. به بیان دیگر مقدار نرخ است که به ازای آن در طول عمر مفید پروژه هیچ سود خالصی حاصل نشود. از لحاظ ریاضی با برابر صفر قرار دادن شاخص NPV یک طرح، نرخ بدست آمده نرخ بازگشت سرمایه برای آن طرح است. با مقایسه IRR و نرخ بهره بانکی می‌توان به اقتصادی بودن یا نبودن

^۱ -Internal Rate of Return (IRR)

یک طرح پی برد. بر این اساس حالت‌های زیر پیش می‌آید :

$IRR > I$: در این حالت طرح در نهایت سود دهی دارد و اقتصادی است.

$IRR = I$: در این حالت مقدار سود در نهایت برابر صفر است و طرح اقتصادی نیست.

$IRR < I$: در این حالت طرح در نهایت ضرر می‌دهد و طرح اقتصادی نیست.

ممکن است برای مقایسه به جای نرخ بهره از حداقل نرخ مورد انتظار سرمایه گذار استفاده شود.

در این حالت نیز شرایط همانند قبل است و به جای I از حداقل نرخ مورد انتظار استفاده می‌شود. همانطور

که اشاره شده با برابر صفر قرار دادن NPV می‌توان نرخ بازگشت سرمایه را بدست آورد. رابطه زیر

چگونگی این امر را نشان می‌دهد:

$$NPV = 0 \Rightarrow -P + \sum_{i=1}^n \frac{ben_i}{(1+I)^i} + (R_o - C_o) \left(\frac{1}{(1+I)^n} \right) \Rightarrow I = IRR \quad (25-2)$$

در سرمایه‌گذاری برای یک طرح، هرچه نرخ بازگشت سرمایه بزرگتر باشد این امر بیانگر بهتر

بودن و سود دهی بیشتر طرح نسبت به سرمایه‌گذاری اولیه برای آن است. لذا از این منظر ترکیباتی که

دارای نرخ بازگشت سرمایه بیشتری هستند دارای اولویت بیشتری برای انتخاب و نصب در شین‌های

تعیین شده می‌باشند. نرخ بازگشت سرمایه نیز به تنهایی ملاک خوبی برای تصمیم‌گیری نیست. ممکن

است طرحی دارای IRR بالایی باشد ولی از اساس میزان ارزش سرمایه‌گذاری کم باشد [۱۸].

۲-۲-۳- ارزش فعلی هزینه طرح^۱

در بسیاری از مطالعات سرمایه‌گذاران به دنبال کاهش هزینه‌های ناشی از سرمایه‌گذاری هستند.

این موضوع در شرایطی رخ می‌دهد که میزان سود سالیانه سرمایه گذار مقدار ثابتی باشد. در صورتیکه

خرید برق به صورت تضمینی باشد، آنگاه در طول دوره قرارداد، سرمایه گذار برق خود را با قیمت ثابتی به

شبکه تحویل می‌دهد. از طرفی در مرحله استاندارد سازی وقتی در نهایت ظرفیت مورد نظر ساخته می‌-

^۱ -Cost Present Value (CPV)

شود با توجه به اینکه نرخ خرید برق در قرارداد تضمینی برای تمامی واحدهای دارای سیستم بازیافت حرارت تقریباً یکسان است می‌توان نتیجه گرفت ظرفیت‌های مشابه تقریباً سود یکسانی بدست می‌دهند. در این شرایط باید طرحی با کمترین ارزش خالص فعلی هزینه‌ها انتخاب شود. محاسبه این شاخص تا حد زیادی مشابه محاسبه شاخص NPV است. برای این کار باید هزینه‌های سالیانه طرح به سال پایه انتقال پیدا کنند. رابطه زیر چگونگی محاسبه ارزش فعلی هزینه‌های طرح را نشان می‌دهد [۳۳ و ۴۰].

$$CPV = P + \sum_{i=1}^n \frac{cost_i}{(1+I)^n} + (C_o - R_o) \left(\frac{1}{(1+I)^n} \right) \quad (۲۶-۲)$$

CPV: ارزش فعلی هزینه طرح (RIs)

۲-۳- پخش بار در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی

۲-۳-۱- روش پخش بار شبکه‌های شعاعی

روش‌های نیوتن-رافسون و غیر کوپله سریع قادرند اکثر شبکه‌های عادی را با بازده بسیار بالا حل نمایند و در این موارد دچار مشکل نشده‌اند، ولی تحقیقات نشان داده است که این تکنیک‌ها در مورد شبکه‌هایی که شرایط خاصی دارند و رفتار عادی و خوبی ندارند (ill-Condition) قدرتشان را از دست می‌دهند، و بازده آن‌ها به شدت افت می‌کند. در نتیجه، محققان با تغییر دادن این تکنیک‌ها سعی در رفع این شکل‌ها داشته‌اند. عملکرد هر روش کامپیوتری، نماینگر میزان موفقیت آن در این زمینه می‌باشد. روش گوس-سایدل که یک روش کلاسیک برای حل پخش بار می‌باشد و دارای بازده و قدرت بالایی است، در مورد شبکه‌های بسیار بزرگ از قدرت و سرعت لازم برخوردار نمی‌باشد.

شبکه‌های توزیع به خاطر متغیر بودن مقاومت و اندوکتانس آن‌ها و شعاعی بودنشان در ردیف شبکه‌ها با رفتار نامناسب قرار می‌گیرند و تکنیک‌های نیوتن-رافسون و غیره کوپله سریع به خوبی کارگر نمی‌افتند. تجربه در مورد برنامه پخش بار به روش نیوتن-رافسون نشان می‌دهد که این روش برای

بسیاری از شبکه‌هایی از این نوع واگرا می‌شود، و هیچگاه به همگرایی نمی‌رسد. روش‌های متداول پخش بار نیوتن-رافسون و گوس-سایدل بیشتر برای شبکه‌های ولتاژ بالا تدوین شده‌اند. در این روش‌ها با کاهش نسبت X/R خطوط، سرعت همگرایی به شدت کاهش می‌یابد و حتی ممکن است این روش‌ها قادر به حل شبکه‌هایی که در آن‌ها مقادیر X و R خطوط نزدیک به هم هستند، نباشند. هر چند که تمهیداتی برای افزایش سرعت رسیدن به جواب در نظر گرفته و روش‌های خاصی تدوین شده‌اند. این مشکل بیشتر آشکار می‌شود وقتی که شبکه‌های بزرگ شعاعی با تعداد زیاد خط و پست مورد مطالعه قرار گیرند و نیاز به یک روش جهت حل این قبیل شبکه‌ها احساس می‌شود. روش‌های معمول پخش بار را می‌توان به روش‌های ماتریس ادمیتانس، روش‌های ماتریس امپدانس و روش‌های نیوتن-رافسون طبقه بندی کرد [۱۲-۱۵].

در روش‌های ماتریس ادمیتانس از ماتریس معروف ادمیتانس شبکه برای نشان دادن رفتار آن استفاده می‌شود.

$$I_{BUS} = Y_{BUS} E_{BUS} \quad (27-2)$$

در رابطه‌ی فوق Y_{BUS} ماتریس ادمیتانس شبکه می‌باشد.

روش‌های فوق این مزیت را دارند که غیر حساس به حدس اولیه ولتاژ پست‌ها می‌باشند و برنامه نویسی با این روش‌ها ساده تر است. ضعف اصلی این روش‌ها، سرعت کم به خصوص در حل شبکه‌های شعاعی و نیاز به تعداد زیادی تکرار برای حل شبکه‌های بزرگ است. علت اصلی سرعت کم این روش‌ها تهی بودن ماتریس Y_{BUS} می‌باشد. زیرا تغییر ولتاژ یک پست بین تکرارهای مختلف تنها روی پست‌های مجاور پست مربوطه اثر دارد و سرعت میل به سمت جواب را کاهش می‌دهد.

در روش‌های ماتریس امپدانس از ماتریس امپدانس شبکه استفاده می‌شود. معادله ماتریس امپدانس شبکه بصورت زیر است.

$$E_{BUS} = Z_{BUS} I_{BUS} \quad (28-2)$$

Z_{BUS} در رابطه فوق ماتریس امیدانس شبکه است.

روش‌های فوق سریعتر از روش ماتریس ادمیتانس هستند. ولی نیاز به حافظه کامپیوتری بیشتری دارند. وضعیت همگرایی روش‌های فوق به شدت تابع تعداد پست‌های ژنراتوری (P-V) در شبکه می‌باشد. اگر پست ژنراتوری فقط پست مرجع باشد، سرعت همگرایی روش‌های فوق قابل مقایسه با روش نیوتن-رافسون است. ولی همانطور که تعداد پست‌های ژنراتوری افزایش می‌یابد، روش‌های فوق دچار مشکلاتی می‌شود، به همین خاطر روش‌های ماتریس امیدانس مورد استفاده کمتری نسبت به روش‌های دیگر دارند. در این بخش اصول اساسی روش پیشرو-پسرو^۱ جهت حل شبکه‌های شعاعی توزیع ارائه شده است [۴۹]. این روش مخصوص شبکه‌های شعاعی است. در این روش حل شبکه از یک خط به خط دیگر به طور سیستماتیک ادامه پیدا می‌کند تا تمام خطوط در شبکه به حساب آیند. ابتدا ولتاژ در تمام پست‌ها به جزء پست مرجع (که اندازه و فاز ولتاژ آن معلوم است) مساوی یک پریونیت فرض می‌شود. بر مبنای این ولتاژها، توان اکتیو و راکتیو بار پست‌ها و جریان خطوط محاسبه و در حافظه کامپیوتر ذخیره می‌شوند. البته این کار نیاز به یک روش منطقی برای تعقیب پست‌های شبکه دارد. بدین منظور یک ماتریس مشخصه برای خطوط شبکه مورد نیاز است. جریان خطوط محاسبه شده برای محاسبه توان اکتیو و راکتیو تلف شده در هر خط به کار می‌رود و تلفات کل سیستم محاسبه می‌گردد.

جریان در پست مرجع به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{(\sum P + \sum P_{loss}) - j(\sum Q + \sum Q_{loss})}{E_s^*} \quad (29-2)$$

مقادیر $\sum P$ و $\sum Q$ بار کل سیستم و مقادیر $\sum P_{loss}$ و $\sum Q_{loss}$ تلفات کل سیستم می‌باشند. E_s^* مقدار مزدوج ولتاژ پست مرجع است. محاسبات سپس ادامه پیدا می‌کند و افت ولتاژ، جریان و تلفات در هر خط شبکه به صورت سیستماتیک از پست مرجع تا انتهای خطوط شبکه محاسبه می‌شوند. جدول

^۱ Backward-Forward

مشخصه خطوط دوباره برای دنبال کردن مسیر صحیح خطوط مورد استفاده قرار می‌گیرد. وقتی که یک بار این تکرار کامل شد کل تلفات محاسبه و با تلفات محاسبه شده در تکرار قبل مقایسه می‌شود. اگر تفاوت تلفات به دست آمده در دو تکرار متوالی کمتر از مقدار تلورانس قابل قبول نباشد جریان خروجی از پست مرجع مجدداً با استفاده از مقادیر جدید تلفات خطوط محاسبه (معادله ۲-۲۹) و عملیات تکرار می‌شود. این تکرار ادامه پیدا می‌کند تا وقتی که تفاوت تلفات محاسبه شده در دو تکرار متوالی کمتر از مقدار تلورانس قابل قبول باشد.

۲-۳-۱-۱-جدول مشخصه خطوط

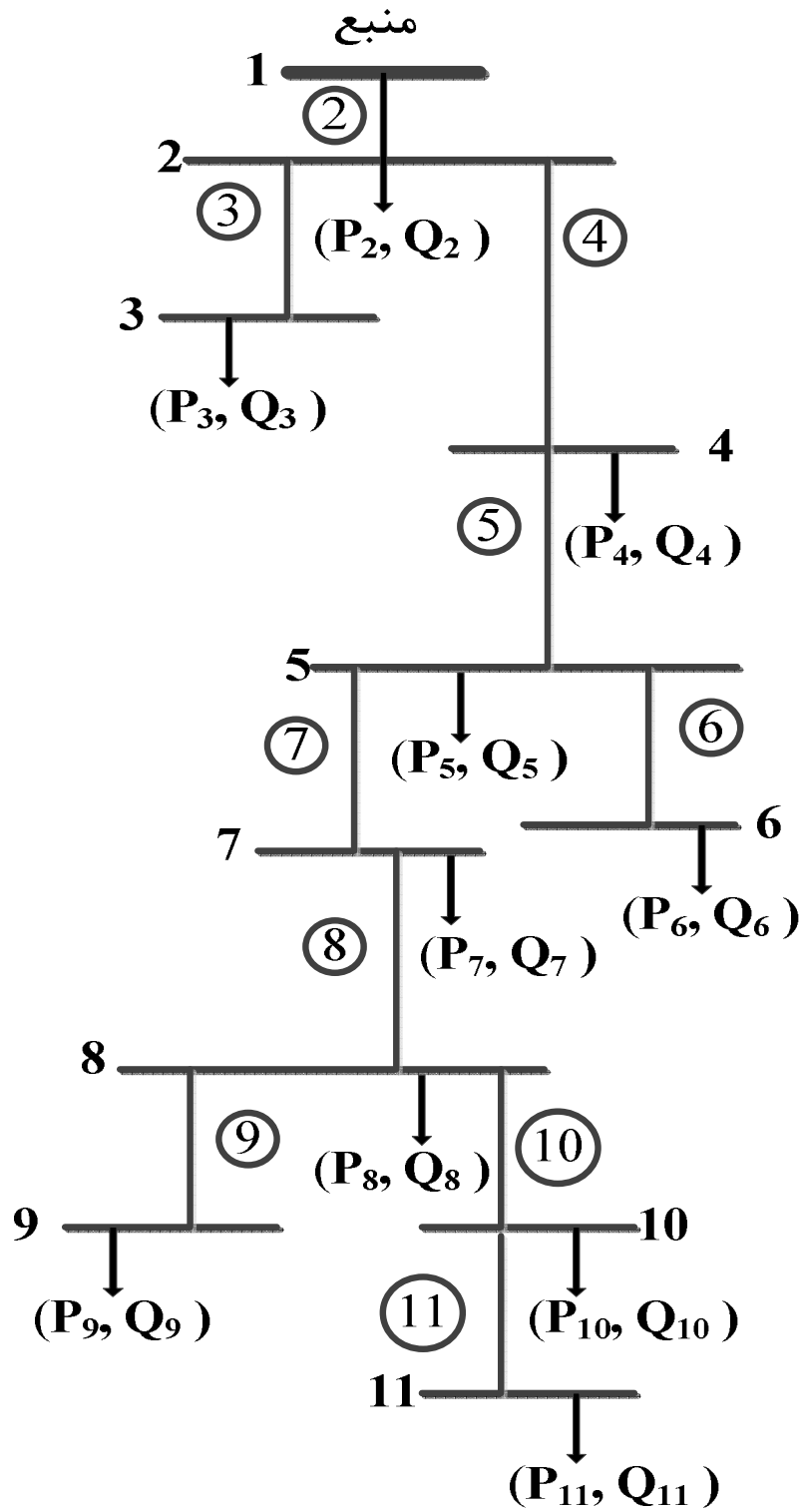
این جدول جهت مشخص کردن وضعیت شبکه از نقطه نظر محل خطوط در شبکه و ارتباط آن‌ها با پست‌های بالایی می‌باشد. با استفاده از این جدول می‌توان به طور سیستماتیک محاسبات مربوط به هر خط و پست را دنبال کرد بدون اینکه خط یا پستی فراموش شود.

روشی که به این منظور به کار می‌رود بدین صورت است که برای هر خطی کدی در نظر گرفته می‌شود که شماره آن برابر با شماره پست قبلی خط مربوطه (به طرف پست مرجع) می‌باشد. بدین طریق جدول مشخصه خطوط که کد تمام خطوط را داراست تهیه می‌شود که محل خط‌ها را در شبکه مشخص می‌کند. جدول (۱-۲) جدول مشخصه خطوط مربوط به شبکه نمونه شکل (۲-۲) می‌باشد.

محاسبه جریان بار خطوط معمولاً از پستی که در انتها قرار گرفته است آغاز می‌شود. (پست شماره ۱۱ در شکل (۲-۲)).

$$I_{11} = \frac{P_{11} - jQ_{11}}{V_{11}^*} \quad (۳۰-۲)$$

نظر به اینکه خط شماره ۱۱ بعد از پست شماره ۱۱ قرار دارد جریان آن بالاجبار از پست شماره ۱۱ می‌گذرد. جدول مشخصه خطوط بکار برده شده و شماره پست قبل از خط شماره ۱۱ که پست شماره



شکل (۲-۲): یک شبکه شعاعی نمونه [۴۹]

جدول (۲-۱): جدول مشخصه خطوط

شماره فیدر	شماره پست قبل از فیدر
۲	۱
۳	۲
۴	۲
۵	۴
۶	۵
۷	۵
۸	۷
۹	۸
۱۰	۸
۱۱	۱۰

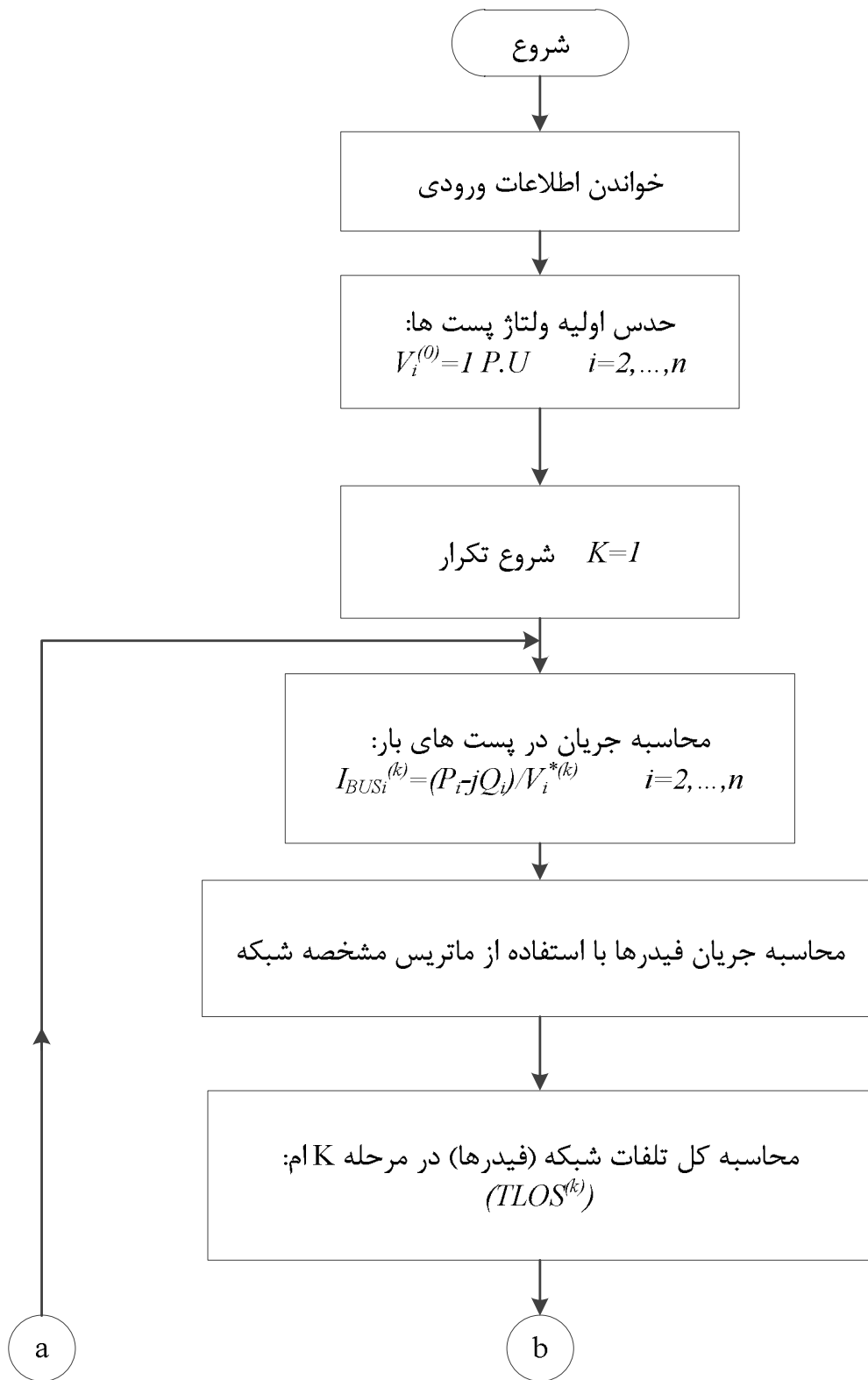
۱۰ است به دست می‌آید. جدول فوق همچنین بیانگر این است که پست شماره ۱۰ مستقیماً به خط شماره ۱۱ متصل است، و جریان خط شماره ۱۱ از پست شماره ۱۰ می‌گذرد. در نتیجه جریان خط شماره ۱۱ باید با جریان بار در پست شماره ۱۰ جمع شود. به همین صورت شماره خط قبل از پست شماره ۱۰ که خط شماره ۸ است از جدول فوق به دست می‌آید. جریان در خط شماره ۱۰ باید با جریان بار در پست شماره ۸ جمع شود تا جریان در خط شماره ۸ به دست آید. بدین طریق با استفاده از جدول مشخصه خطوط جریان بار در تمام خطوط محاسبه می‌شود. محاسبه جریان خطوط، ولتاژ پست‌ها و تلفات در خطوط مختلف پس از به دست آمدن جریان پست مرجع انجام می‌شود.

یک برنامه کامپیوتری برای انجام پخش بار شبکه‌های شعاعی نوشته شده است. فلوچارت برنامه

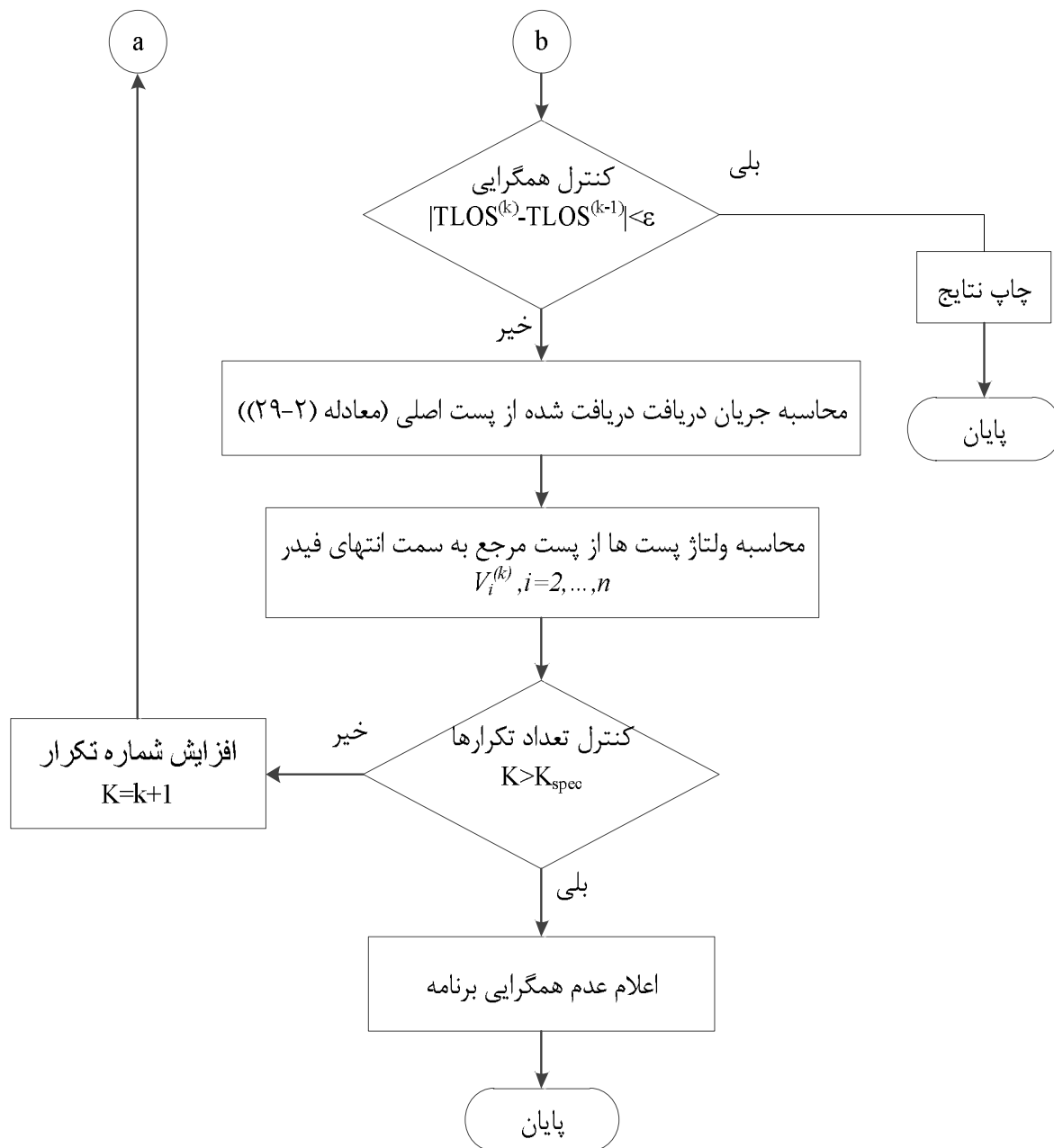
فوق در شکل (۲-۳) آمده است.

۲-۳-۲- روش پخش بار شبکه‌های با تعداد حلقه‌های کم

شبکه‌های انتقال انرژی معمولاً به صورت به هم پیوسته هستند. در صورتی که شبکه‌های توزیع



شکل (۲-۳): فلوچارت روش پیشرو-پسرو جهت پخش بار شبکه های شعاعی [۴۹]



ادامه شکل (۲-۳) [۴۹]

فشار متوسط به طور شعاعی مورد بهره برداری قرار می‌گیرند. در این میان شبکه‌های فشار قوی توزیع هستند که بیشتر به صورت حلقوی یا به صورت به هم پیوسته با تعداد حلقه‌های کم (حلقه‌های ضعیف) و در بعضی مواقع به صورت شعاعی مورد بهره برداری قرار می‌گیرند.

مهندسين شبکه‌های توزیع، برنامه و الگوریتم‌های پخش بار خاصی برای این گونه شبکه‌ها اعم از

سه فاز متقارن و نامتقارن طرح نموده‌اند که دارای بازده بالایی می‌باشند و به خوبی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۴، ۱۷-۱۹]. اما این الگوریتم‌ها برای شبکه‌های حلقوی طراحی نشده‌اند.

در این بخش روش اعمال پخش بار پیشرو-پسرو به شبکه‌های توزیع حلقوی ارائه شده است که دارای سرعت و دقت بالایی است. در این جا برای حل و آنالیز شبکه‌های حلقوی ضعیف از روش شبکه‌های شعاعی استفاده شده است. بدین ترتیب که ابتدا شبکه بهم پیوسته را در چند نقطه می‌شکنیم (نقاط شکست) تا شبکه بهم پیوسته به یک شبکه شعاعی تبدیل شود. هر نقطه شکست یک حلقه ساده را باز می‌کند. شبکه شعاعی توسط روش ارائه شده در بخش قبل به خوبی و با بازده بالا قابل حل می‌باشد. پس از این مرحله، در نقاط شکست در دو نقطه انتهایی یعنی گره‌ها، جریان‌های به دست آمده را تزریق می‌کنیم. برای محاسبه جریان‌های نقاط شکست از روش جبران کنندگی چند ورودی^۱ استفاده می‌شود. مطالعات نشان داده است که با روش حل پخش بار فوق، فقط طی چند مرحله پخش بار برای یک شبکه توزیع، همگرایی به دست خواهد آمد. در مورد شبکه‌های انتقال حلقوی ضعیف، تعداد این مراحل افزایش می‌یابد چرا که در این گونه شبکه‌ها به واسطه وجود باس بار ژنراتور با P و V ثابت، خاصیت غیر خطی شبکه تقویت می‌گردد.

دقت در پاسخ عددی این روش پخش بار چنانچه تعداد نقاط شکست برای تبدیل شبکه حلقوی به شعاعی افزایش یابد، به شدت افت خواهد کرد و این موضوع باعث می‌شود که این روش فقط در مورد شبکه‌های حلقوی ضعیف به کار گرفته شود. در ادامه به جزئیات حل شبکه‌های حلقوی ضعیف می‌پردازیم.

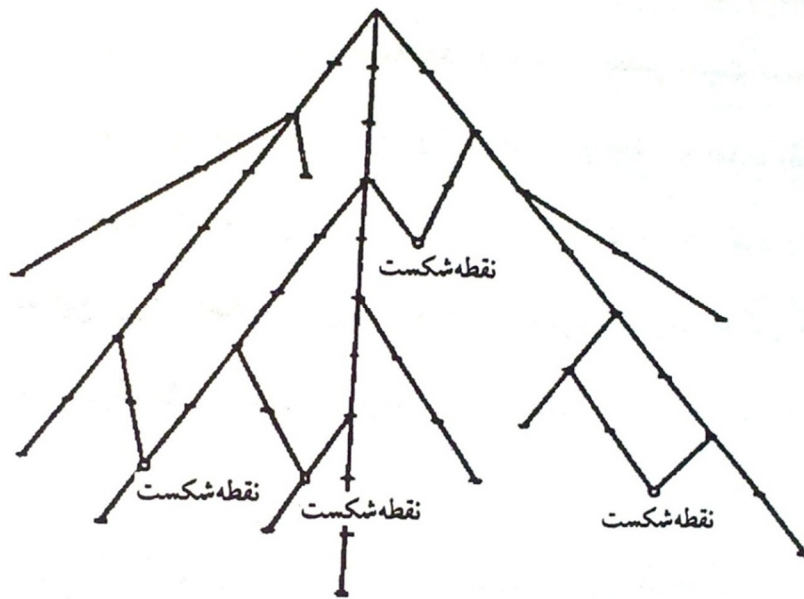
۲-۳-۱-۲- حل پخش بار شبکه‌های توزیع با حلقه‌های ضعیف

شبکه‌ی شکل (۲-۴) یک نمونه از شبکه‌های توزیع با حلقه‌های ضعیف شامل چهار حلقه ساده را

^۱ Multi-Port Compensation Method

نشان می‌دهد. الگوریتم حل شبکه شعاعی را نمی‌توان به طور مستقیم در این شبکه اعمال نمود. اما با انتخاب چهار نقطه شکست مطابق این شکل و باز کردن شبکه از این نقاط می‌توان شبکه را به شکل شعاعی تبدیل کرد. جریان شاخه‌هایی که قطع شده‌اند، به وسیله‌ی اعمال جریان‌های تزریقی به گره‌های در انتهای این شاخه‌ها جبران می‌شود. پس می‌توان شبکه شعاعی منتهی را به وسیله‌ی تکنیک‌های مورد استفاده در شبکه‌های شعاعی حل کرد. در استفاده از الگوریتم حل شبکه‌های شعاعی جریان در نقطه شکست j ام، J_j با پلاریته مخالف در دو انتهای گره‌ها نقطه شکست اعمال می‌شود. در تکرار k ام خواهیم داشت:

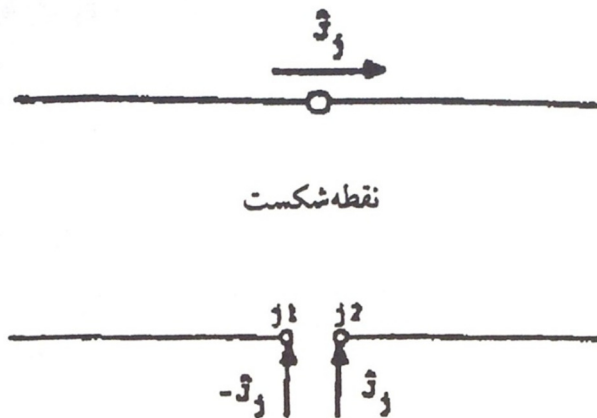
$$\begin{aligned} I_{j1}^{(k)} &= -\hat{J}_J^{(k)} \\ I_{j2}^{(k)} &= \hat{J}_J^{(k)} \end{aligned} \quad j=1,2,\dots,P \quad (31-2)$$



شکل (۲-۴): یک شبکه توزیع با حلقه‌های ضعیف [۴۹]

که j_1 و j_2 متناظر با دو انتهای گره‌های نقطه شکست j ام هستند. $I_{j1}^{(k)}$ و $I_{j2}^{(k)}$ جریان‌های تزریقی گره‌ای در این گره‌ها می‌باشند. $\hat{J}_J^{(k)}$ جریان نقطه شکست j ام و p تعداد نقاط شکست است. در

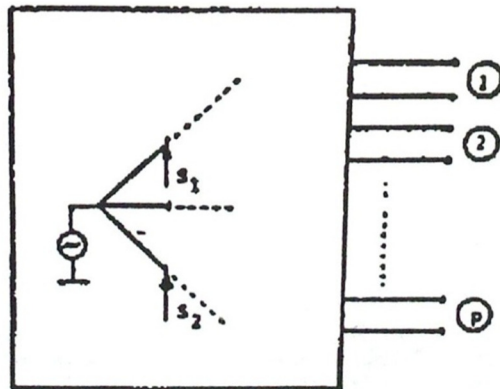
صورت وجود عناصر موازی و بارها در گره‌های نقاط شکست، جریان‌های $I_{j1}^{(k)}$ و $I_{j2}^{(k)}$ در هر تکرار باید با جریان‌های گره‌ای موجود در این گره‌ها جمع شوند این فرآیند بطور شماتیک در شکل (۵-۲) نشان داده شده است. $I_{j1}^{(k)}$ و $I_{j2}^{(k)}$ در هر تکرار تازه می‌شوند.



شکل (۵-۲): نمایش نقطه شکست با جریان گره تزریقی [۴۹]

۲-۲-۳-۲- محاسبه جریان‌های نقاط شکست با استفاده از روش جبران

جریان‌های نقطه‌ی شکست به وسیله روش جبران چند قطبی محاسبه می‌شود. شکل (۶-۲) نقطه نظر فوق را نشان می‌دهد. در این شکل، شبکه‌ی شعاعی منتهی از باز کردن نقاط شکست به عنوان یک مدار چند قطبی با مشخص نمودن نقاط شکست به عنوان قطب‌های مدار نشان داده شده است.



شکل (۶-۲): چند قطبی هم ارز شبکه که از قطب‌های نقاط شکست دیده می‌شود [۴۹]

برای یک شبکه‌ی خطی، این مدار هم ارز تونن شبکه شعاعی است که از قطب‌های باز مدار دیده می‌شود. در این مدار ولتاژ تونن \hat{V} یک بردار $(P \times 1)$ از ولتاژهای نقاط شکست مدار باز است که از حل پخش بار برای شبکه شعاعی به دست می‌آید. $[\hat{Z}]$ یک ماتریس $(P \times P)$ غیر صفر از امپدانس‌های نقاط شکست و \hat{J} یک بردار $(P \times 1)$ از جریان‌های دلخواه نقاط شکست هستند.

$$\hat{V} = [\hat{Z}] \hat{J} \quad (32-2)$$

در حضور بارهای توان ثابت در گره‌ها، شبکه توزیع غیر خطی می‌شود و از معادله (32-2) نمی‌توان مستقیماً استفاده کرد. بنابراین جریان‌های نقاط شکست را به صورت تکراری از مدار معادل تونن محاسبه می‌کنیم.

۲-۳-۲-۳- محاسبه ماتریس امپدانس نقاط شکست

ماتریس امپدانس نقاط شکست (امپدانس معادل تونن) با استفاده از روش زیر به دست می‌آید.

معادله (32-2) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_1 \\ \vdots \\ \hat{V}_j \\ \vdots \\ \hat{V}_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Z}_{11} & \cdots & \hat{Z}_{1j} & \cdots & \hat{Z}_{1P} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \hat{Z}_{j1} & \cdots & \hat{Z}_{jj} & \cdots & \hat{Z}_{jP} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \hat{Z}_{P1} & \cdots & \hat{Z}_{Pj} & \cdots & \hat{Z}_{PP} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{J}_1 \\ \vdots \\ \hat{J} \\ \vdots \\ \hat{J}_P \end{bmatrix} \quad (33-2)$$

بر طبق معادله (33-2) ستون i ام ماتریس امپدانس نقاط شکست با بردار ولتاژ نقاط شکست به

ازای $\hat{J}_j = 1 \text{ p.u.}$ و $\hat{J}_i = 0$, $i = 1, 2, \dots, p$ & $i \neq j$ مساوی است.

این متناظر با به کار بردن جریان 1 p.u. در نقطه شکست i ام با حذف تمام بارها و حذف منبع در

گره مبنا است. به عبارت دیگر این معادل با تزریق جریان‌های 1 p.u. با پلاریته مثبت در دو انتهای

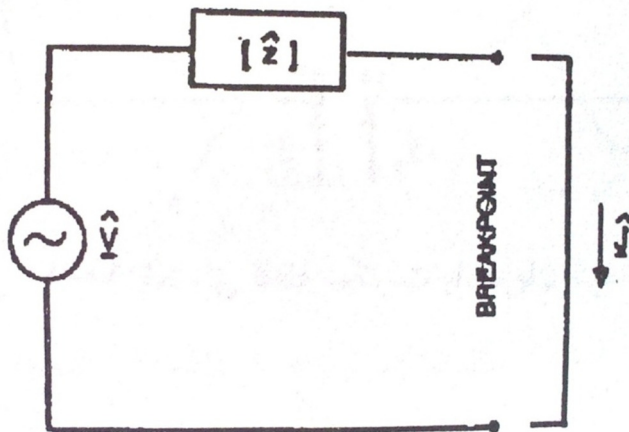
گره‌های نقطه شکست i ام مطابق معادلات (31-2) است. با حذف بارها از گره‌های شبکه، حل دقیق

پخش بار برای شبکه‌ی شعاعی را می‌توان در یک تکرار به دست آورد. هر یک از ولتاژهای نقاط شکست را می‌توان به وسیله‌ی تزریق ولتاژها در دو انتهای گره‌های نقاط شکست به دست آورد. این فرآیند برای همه‌ی نقاط شکست تکرار می‌شود تا همه‌ی ستون‌های ماتریس امپدانس نقاط شکست محاسبه شوند.

۲-۳-۲-۴- فرآیند جبران تکراری^۱

فرآیند جبران تکراری به منظور محاسبه‌ی جریان‌های نقاط شکست با استفاده از مدار معادل

تونن شکل (۷-۲) در زیر توصیف شده است:



شکل (۷-۲): مدار معادل تونن شبکه‌ای که از قطب‌های نقاط شکست دیده می‌شود [۴۹]

۱- محاسبه‌ی امپدانس معادل تونن یا ماتریس امپدانس نقاط شبکه‌ی شعاعی $[Z\hat{Z}]$ از دید نقاط

شکست، با این فرض که در طول فرآیند جبران ثابت باشد.

۲- محاسبه‌ی ولتاژ معادل تونن یا بردار ولتاژ نقاط شکست، $V\hat{V}$ شبکه‌ی شعاعی با استفاده از

الگوریتم حل شبکه‌ی شعاعی شامل جریان نقاط شکست که از تکرار قبلی فرآیند جبران محاسبه شده‌اند. مقدار اولیه‌ی جریان نقاط شکست صفر است.

۳- محاسبه‌ی تغییرات افزایشی در جریان نقاط شکست. با استفاده از مدار معادل تونن در تکرار m

^۱ Iterative Compensation Process

ام فرآیند جبران داریم:

$$\underline{\Delta \hat{J}}^{(m)} = [\hat{Z}]^{-1} \underline{\hat{V}}^{(m)} \quad (34-2)$$

۴- تازه کردن جریان‌های نقاط شکست. در تکرار m ام داریم:

$$\underline{\hat{J}}^{(m)} = \underline{\hat{J}}^{(m+1)} + \underline{\Delta \hat{J}}^{(m)} \quad (35-2)$$

۵- مراحل ۲، ۳ و ۴ را آن قدر تکرار می‌کنیم تا به همگرایی برسیم.

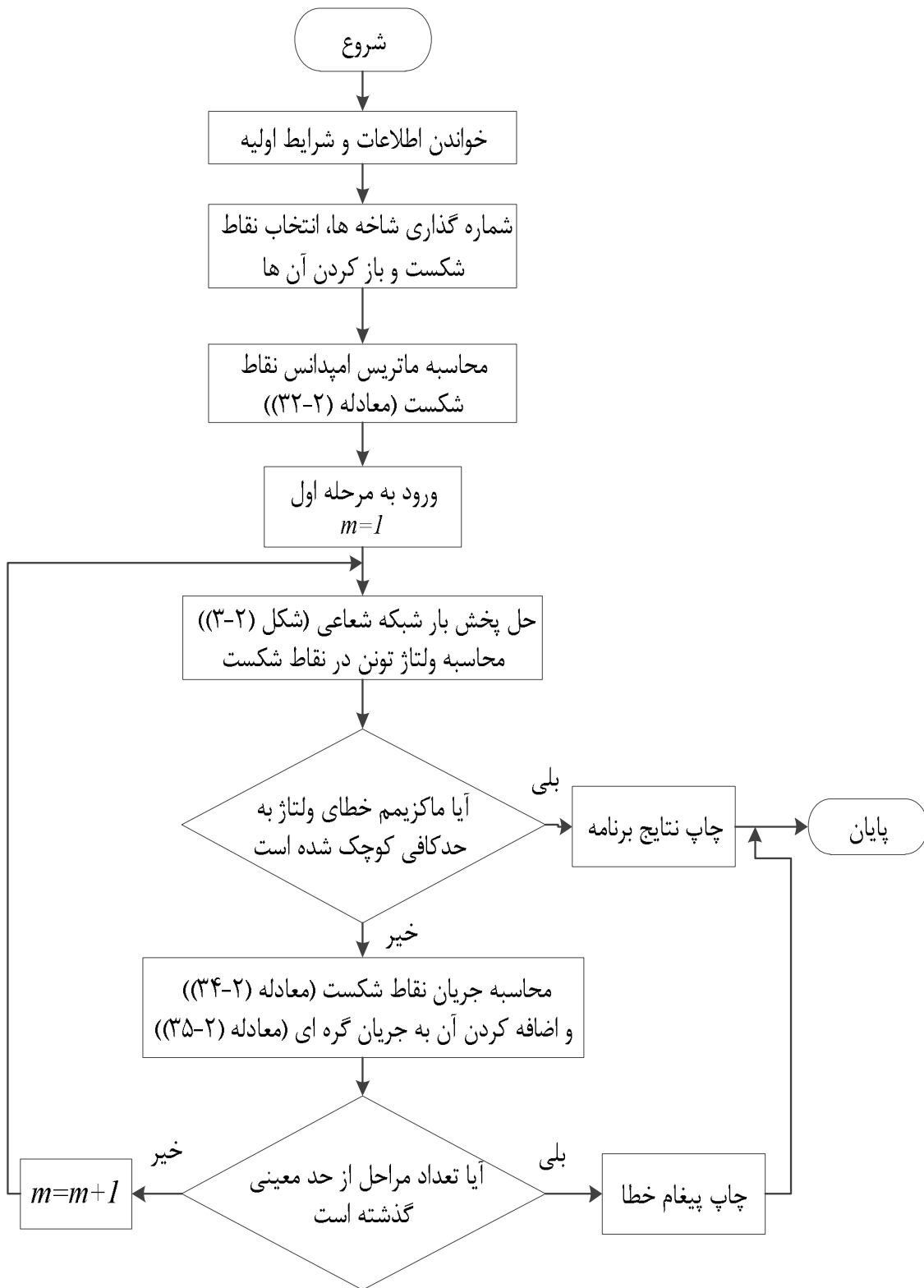
از نظر محاسباتی هیچ نیازی به معکوس کردن ماتریس امپدانس نقاط شکست $[\hat{Z}]$ نیست.

ماتریس مختلط $[\hat{Z}]$ یک بار در شروع حل، تجزیه بالا مثلثی می‌شود و ضرائب مربوطه ذخیره می‌گردند

و در هر تکرار برای محاسبه $\Delta \hat{J}^{(m)}$ از این ضرائب استفاده می‌شود. موارد آزمایش روی شبکه‌های توزیع

عملی نشان داده است که تعداد تکرارهای مورد نیاز برای محاسبه‌ی جریان‌های نقاط شکست در اکثر

موارد کمتر از ۵ است. شکل (۲-۸) روند نمای روش حل پخش بار جامع را نشان می‌دهد [۱۲].



شکل (۲-۸): فلوچارت روش حل شبکه‌های حلقوی ضعیف [۴۹]

۲-۴- پیشینه پژوهش در زمینه جایابی کلیدها و منابع تولید

پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع

با پیشرفت روزافزون صنایع و افزایش هزینه‌های قطعی سرویس برای مشترکین، بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم، اهمیت زیادی یافته است. سیستم‌های DAS، ضمن ردیابی سریع خطا و کاهش زمان وقفه مشترکین با استفاده از کلیدهای اتوماتیک، جهت بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم در شبکه توزیع، اهمیت زیادی یافته‌اند. اما با توجه به هزینه نسبتاً بالای خرید و نگهداری این کلیدها، تعیین تعداد و محل نصب این کلیدها، با هدف دست یافتن به حداکثر صرفه‌جویی اقتصادی در طول چرخه عمر کلیدها، پارامترهای مهمی هستند که باید محاسبه شوند.

از طرفی امروزه با توجه به نیاز روزافزون بشر به انرژی و پیشرفت‌های جدیدی که در زمینه منابع DG داشته ایم، شاهد رشد استفاده از این منابع بوده ایم. واحدهای تولید DG با توجه به هزینه کمتر نصب و راه اندازی و همچنین قابلیت اطمینان بالایی که این واحدها برای مشترکین خود فراهم می‌کنند، جهت توسعه‌ی شبکه به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعیین اندازه و محل مناسب این واحدها به گونه‌ای که حداکثر پروفیل ولتاژ و حداقل تلفات را در شبکه داشته باشیم، نیز از پارامترهای مهمی هستند که باید محاسبه شوند. از طرفی DG ها معمولاً تأثیرات مثبتی روی قابلیت اطمینان دارند به گونه‌ای که وجود یک واحد DG در یک شین در سیستم‌های DAS، احتمال قطع سرویس مشترکین متصل به آن شین را در اثر وقوع خطا کاهش می‌دهد. البته باید به این نکته نیز توجه کرد که محل قرار گرفتن DG نیز باعث تغییرات در شاخص‌ها می‌شود که برای شبکه‌های کوچک می‌توان از روش سعی و خطا و برای شبکه‌های بزرگ می‌توان با الگوریتم‌های پیشرفته و پیچیده‌ای که وجود دارد، بهترین مکان برای اینکه حداکثر مطلوبیت حاصل شود را تعیین کرد. در شبکه‌های بزرگ استفاده از روش شبیه سازی

مونت کارلو باعث افزایش محاسبات و زمان حل می‌شود که توسعه روش‌های تحلیلی در این مورد می‌تواند راه گشا باشد. انتخاب تعداد و محل مناسب کلیدهای دستی و اتوماتیک خط، و همچنین اندازه و محل بهینه واحدهای تولید پراکنده، در طراحی شبکه‌های توزیع فاکتورهای مهمی می‌باشند. در مراجع مرتبط یکی از موارد بهینه‌سازی زیر در دستور کار قرار گرفته است [۲۰]:

بهینه‌سازی جایابی کلیدها زمانی که محل واحدهای DG مشخص است.

بهینه‌سازی جایابی DG زمانی که محل کلیدها مشخص است.

در مرجع [۳۳]، فرمول بندی جهت محاسبه هزینه‌های وقفه مشترکین و سودمندی انرژی کاهش یافته شبکه مرتبط با وقفه‌های انرژی، انجام شده است تا میزان قابلیت اطمینان سیستم را در شبکه‌های توزیع مورد بررسی قرار دهد. در این مرجع نوع مشترکین، بارهای فیدر، نرخ خطای فیدر، تعداد کلیدها، زمان ترمیم و بازترکیب در نظر گرفته شده‌اند. فرمول‌های پیشنهادی در این مرجع می‌تواند یک برآورد دقیقی از هزینه وقفه مشترکین را به دست دهد، و محاسبات آن‌ها بسیار ساده شده است. هزینه‌های وقفه‌ی مشتری سپس می‌تواند سبب بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم در آنالیز هزینه-سود مورد استفاده قرار گیرد.

مرجع [۲۱]، یک روش بهینه‌سازی با توابع هدف چندگانه را جهت جایابی بهینه کلیدها و تجهیزات حفاظتی در شبکه‌های توزیع ارائه می‌کند. در این مرجع روش بهینه‌سازی الگوریتم مورچه‌ها با توابع هدف چندگانه (MACO) به مسئله اعمال شده است تا هزینه‌ها را با کاهش همزمان دو پارامتر قابلیت اطمینان سیستم یعنی SAIFI و SAIDI، کاهش دهد. در این مرجع فیدرهای توزیع واقعی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و نتایج نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه را تعیین نماید. این روش به شرکت‌های ارائه دهنده سرویس این امکان را می‌دهد که به نوع و محل بهینه قطعات حفاظتی دست یابند به گونه‌ای که بهترین قابلیت اطمینان سیستم با کمترین هزینه حاصل

شود.

در مراجع [۶ و ۱۴] و [۲۳-۲۶]، به جایابی بهینه‌ی کلیدها در سیستم‌های توزیع، پرداخته شده است. در کلیه این مراجع از شبکه‌های فاقد واحدهای تولید پراکنده استفاده شده است. در این مراجع از روش‌های بهینه‌سازی مختلف، مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم مورچگان، الگوریتم ایمنی و الگوریتم برنامه ریزی پویا استفاده شده است. تابع هدف در این مراجع مربوط به پارامترهای مختلف قابلیت اطمینان سیستم مانند SAIFI^۱، SAIDI^۲، ENS^۳ و CIC^۴ می‌باشد، و هدف الگوریتم بهبود این پارامترها با جایابی بهینه کلیدهای خط می‌باشد. در این مراجع تنها از مشخصه‌های ساعتی بار جهت ارزیابی هزینه استفاده شده است، و همچنین نرخ خطا در روزهای مختلف هفته و همچنین ایام مختلف سال تفکیک نشده است که این مسئله جامعیت موضوع را کاهش می‌دهد.

در مراجع [۶] و [۱۴]، از شبکه‌های نمونه که تنها دارای فیدرهای از دو سو تغذیه می‌باشند، استفاده شده است که این موضوع کارآیی پروژه را در شبکه‌های واقعی کاهش می‌دهد.

در مراجع [۶ و ۱۴] و [۲۳-۲۶]، کلیه بارهای تجاری و صنعتی، با مشخصه‌ی هزینه-زمان یکسان، در نظر گرفته شده‌اند و هزینه بار بر حسب نوع اهمیت آن سنجیده نشده است، که این مسئله دقت روش را کاهش می‌دهد. همچنین در کلیه مراجع فوق تعداد کلیدهای دستی و اتوماتیک، ثابت در نظر گرفته شده است که با توجه به هزینه‌ی بالای خرید و نگهداری کلیدهای اتوماتیک، تعداد کلیدها، متغیری است که با توجه به هزینه‌ی کلی وقفه مشترکین، باید محاسبه شود.

در مراجع [۶] و [۲۴]، پارامترهای قابلیت اطمینان و هزینه‌ی کلی وقفه مشترکین به صورت سالیانه محاسبه شده‌اند، که با توجه به اینکه چرخه‌ی عمر کلیدها به چندین سال می‌رسد، لذا محاسبه‌ی

^۱ System Average Interruption Frequency Index

^۲ System Average Interruption Duration Index

^۳ Energy Not Supplied

^۴ Customer Interruption Cost

هزینه‌ی کلی وقفه مشترکین باید با استفاده از بازگشت هزینه در اقتصاد مهندسی^۱، در طول چرخه‌ی عمر کلیدها محاسبه شود. همچنین در این مراجع روشی دقیق جهت تعیین باس بارهای از دست رفته، تعداد و نوع کلیدهایی که باید قطع شوند و زمان لازم جهت شناسایی و بازیابی خطا (FDIR^۲)، در هر حالت خطا، ارائه نشده است و اکثراً از روش‌های تقریبی استفاده شده است.

در مراجع [۲۲ و ۲۷] تأثیرات تولید پراکنده بر عملکرد شناسایی خطا و همچنین قابلیت اطمینان سیستم‌های اتوماسیون توزیع (DAS) در محیط رقابتی بازار برق مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در این مراجع، مقایسه‌ای جهت برجسته‌سازی معایب و مزایای حضور واحدهای تولید پراکنده در یک سیستم خاص انجام شده است. علاوه بر این، هزینه‌های مرتبط و جایابی DG و اثرات آن بر قابلیت اطمینان سیستم با هدف بهینه‌سازی طراحی سرمایه‌گذاری از دورنمای یک شرکت توزیع مورد بررسی قرار گرفته است. روش مبتنی بر هزینه-قابلیت اطمینان سیستم ارائه شده در این مراجع می‌تواند به عنوان یک ابزار مؤثر در طراحی و تجدید ساختار سیستم مورد استفاده قرار گیرد.

در مرجع [۳۱]، روشی جهت جایابی کلیدهای خط در شبکه توزیع، در حضور واحدهای تولید پراکنده ارائه شده است. ملاحظات چند هدفه با استفاده از یک روش فازی، به کار گرفته شده‌اند. در این مرجع توابع هدف به عنوان بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم و کاهش هزینه سوئیچینگ کلیدها در نظر گرفته شده‌اند. اولین تابع هدف مربوط به بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی آن می‌باشد. بنابراین توابع هدف به صورت بهبود قابلیت اطمینان سیستم و کاهش هزینه کلیدهای منطقه‌ای تعریف می‌شوند. با توجه به شرایط موجود، یک تابع عضویت فازی برای هر تابع هدف تعریف شده است. برخی از ملاحظات در نظر گرفته شده در روش پیشنهادی، بازآرایی کلیدهای موجود و محدودیت‌های عملیاتی روی شبکه‌های توزیع و منابع تولید پراکنده در طول بازه‌ی

¹ Economic Engineering

² Fault Detection, Isolation and Restoration

شناسایی و ترمیم خطای شبکه می‌باشد. در این مرجع کارآیی روش پیشنهادی با اعمال موردهای مطالعاتی مختلف روی شبکه توزیع نمونه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مرجع [۲۹]، یک فلسفه حفاظتی بر مبنای راه‌حل‌های فنی ابتکاری جهت حل مسئله کمبود هماهنگی تجهیزات حفاظتی در حضور واحدهای DG جهت بهبود پیوستگی سرویس، پیشنهاد می‌کند. این مرجع نتایج قسمت اول یک پروژه تحقیقاتی را که راه‌حل‌های ممکن جهت حل مشکلات حفاظتی مختلف موجود در شبکه‌های توزیع در حضور واحدهای DG را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد، نشان می‌دهد.

مرجع [۴۸]، روش ساده‌ای را برای تعیین بهینه اندازه و محل واحدهای DG در سیستم‌های انتقال ارائه می‌کند. تابع هدف در این مرجع، کاهش همزمان هزینه و تلفات است. در این مرجع از یک تکنیک جستجوی تکراری متعارف مبتنی بر روش پخش بار نیوتن-رافسون به سیستم‌های ۶ باسه، ۱۴ باسه و ۳۰ باسه IEEE اعمال شده است. این مرجع همچنین روی بهینه‌سازی ضرائب وزنی که فاکتورهای تلفات و هزینه را بالانس می‌کند و به ایجاد توابع هدف مطلوب با حداکثر پتانسیل سود دهی کمک می‌کند، تمرکز می‌کند.

در مراجع [۲۰، ۳۰، ۳۴ و ۴۷]، تعیین اندازه و محل مناسب واحدهای DG در سیستم‌های توزیع مورد بررسی قرار گرفته است. کمینه کردن تلفات خط، بهبود ضریب منفعت پذیری و کمینه کردن تلفات توان اکتیو در محدوده‌ی ولتاژ قابل قبول، از جمله توابع هدف در این مراجع می‌باشند.

در مرجع [۳۴]، چندین روش فراکاوشی جهت بهینه کردن جایابی و مناطق تغذیه واحدهای تولیدی زیست محیطی اعمال و مقایسه شده‌اند. هر دو روش مبتنی بر مسیر و جمعیت جهت رسیدن به هدف در این مرجع اعمال شده‌اند. به ویژه دو مسیر رایج مبتنی بر مسیر حرکت مانند گداختگی شبیه سازی شده (SA) و بهینه‌سازی تجمعی ذرات (PSO) بدین وسیله مورد بررسی قرار گرفته‌اند. علاوه بر این

یک نوع جدید الگوریتم PSO باینری پیشنهاد شده است که یک ضریب وزنی را مانند روش پیوسته کلاسیک اینرسی اعمال می‌کند. در این مرجع تابع عضویت برای روش‌های فراکاوشی شاخص صرفه‌جویی اقتصادی به صورت نسبت بین مقدار خالص حاضر و سرمایه‌گذاری اولیه می‌باشد. در این مرجع پسمانده‌های جنگل به عنوان منابع زیست‌محیطی در نظر گرفته شده‌اند. محدودیت‌های مسئله عبارتند از: سیستم تولید باید داخل حوزه‌ی تغذیه واقع شود، و حداکثر توان الکتریکی ۵ مگاوات می‌باشد. در پایان مقایسه نتایج حاصل از همه‌ی روش‌های فراکاوشی مورد بحث قرار گرفته‌اند.

مرجع [۴۷]، یک روش بهینه‌سازی تجمعی ذرات تطبیقی (APSO) را جهت جایابی بهینه واحدهای تولید پراکنده پیشنهاد کرده است. روش APSO قابلیت کنترل شتاب ذرات را دارا می‌باشد. در این مرجع تابع هدف کاهش تلفات توان اکتیو در محدوده‌ی قابل قبول ولتاژ می‌باشد. در این مرجع، چهار نوع DG، شامل DG تغذیه کننده توان اکتیو، DG تغذیه کننده توان راکتیو، DG تغذیه کننده توان اکتیو و مصرف کننده توان راکتیو، DG تغذیه کننده توان اکتیو و راکتیو که به ترتیب به صورت‌های فتو ولتایی، کندانسورهای سنکرون، توربین‌های بادی و توان هیدرولیک نمایش داده می‌شوند، بررسی شده‌اند. سیستم‌های نمونه سیستم‌های ۳۳ باسه و ۶۵ باسه توزیع شعاعی می‌باشد. با فرض تعداد مشخص هر نوع DG، APSO می‌تواند اندازه و محل بهینه انواع مختلف DG را تعیین نماید که منجر به تلفات توان راکتیو کمتر نسبت به روش بهینه‌سازی پایه‌ای تجمعی ذرات (BPSO) و روش پخش بار تکرارشونده می‌شود. به هر حال اگر تعداد واحدهای DG از ۱ به ۳ افزایش یابد، مجموع تلفات توان برای همه‌ی انواع DG، کاهش خواهد یافت.

در مرجع [۳۰]، یک ضریب حساسیت تلفات مبتنی بر تزریق جریان معادل، برای سیستم‌های توزیع فرمول بندی شده است. ضریب حساسیت فرمول بندی شده جهت تعیین اندازه و محل بهینه واحدهای تولید پراکنده مورد استفاده قرار گرفته است، به گونه‌ای که مجموع تلفات توان با استفاده از یک

روش تحلیلی بدون استفاده از ماتریس ادمیتانس، ماتریس معکوس ادمیتانس یا ماتریس ژاکوبین کمینه شود. در این مرجع نشان داده شده است که روش پیشنهادی شباهت‌ها و تطابق‌های بسیار نزدیکی با الگوریتم جستجوی کلاسیک شبکه مبتنی بر پخش بارهای پی در پی دارد.

در مراجع فوق‌الذکر از روش‌های بهینه‌سازی مانند الگوریتم ژنتیک (GA^1)، الگوریتم ژنتیک با تابع هدف چندگانه ($MOGA^2$)، بهینه‌سازی تجمعی ذرات (PSO^3)، بهینه‌سازی پایه‌ای تجمعی ذرات ($BPSO^4$)، بهینه‌سازی وزنی تطبیقی تجمعی ذرات ($APSO^5$)، جهت حل مسئله جایابی واحدهای DG مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

همچنین در این مراجع انواع مختلف روش‌های تکراری پخش بار از قبیل روش پیشرو-پسرو، روش پیشرو باس مرجع⁶ و غیره، جهت حل مسئله پخش بار در شبکه‌های شعاعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

مرجع [۳۲]، مسئله جایابی بهینه ریکلوزرها را برای شبکه با محل تعیین شده DGها حل می‌کند. این مرجع همچنین الگوریتم ژنتیک را جهت تعیین محل بهینه ریکلوزرها، زمانی که واحدهای DG به صورت ایمن و بهینه توسعه یافته‌اند، ارائه می‌کند. در این مرجع تحلیل حساسیت ولتاژ و همچنین آنالیز حساسیت تلفات از معادلات پخش بار، جهت تعیین محل بهینه واحدهای DG مورد استفاده قرار گرفته است، و همچنین پارامترهای قابلیت اطمینان که واحدهای DG را شامل می‌شوند جهت تعیین موقعیت بهینه ریکلوزرها محاسبه شده‌اند. جایابی بهینه با تحلیل حساسیت معادلات پخش بار تعیین شده است. روش جایابی برای یک مجموعه از شرایط بارگذاری، سطح نفوذ تولید و ضریب توان به صورت یک مسئله بهینه‌سازی محدودیتی ایمنی فرمول بندی شده است. اطلاعات مربوط به محل‌های بهینه تولید همچنین

¹ Genetic Algorithm

² Multi-Objective Genetic Algorithm

³ Particle Swarm Optimization

⁴ Basic Particle Swarm Optimization

⁵ Adaptive Weight Particle Swarm Optimization

⁶ Forward Substation

جهت بهینه کردن قابلیت اطمینان سیستم ارزیابی شده با شاخص‌های قابلیت اطمینان مورد استفاده قرار گرفته است. یک الگوریتم ژنتیک جهت تعیین موقعیت ریکلوزرها زمانی که واحدهای DG در یک حالت بهینه و ایمن قرار گرفته اند، مورد استفاده قرار گرفته است.

در کلیه مراجع فوق، جایابی کلیدها و واحدهای DG به صورت غیرهمزمان انجام شده است. به این معنی که جایابی کلیدها با فرض محل مشخص واحدهای DG انجام شده است و یا جایابی واحدهای DG انجام شده است با این فرض که محل کلیدها مشخص است. آنگونه که قبلاً ذکر شده است، بهبود قابلیت اطمینان سیستم در هر دو مسئله جایابی کلیدها و منابع DG از توابع هدف معمول می‌باشد.

فصل سوم :

روش‌های بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و

الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه

۳-۱- الگوریتم ژنتیک^۱

۳-۱-۱- مقدمه

در مسائل پیچیده که دارای متغیرهای زیادی هستند روشهای ریاضی که اغلب با گرادینان جهتی کار می‌کنند در بهینه‌های محلی گرفتار می‌شوند [۲۶]. از طرفی بیشتر این روشها از نقطه اولیه برای حل مسئله استفاده می‌کنند که پاسخ یافته شده به نقطه بستگی دارد و با تغییر این نقطه ممکن است پاسخ دیگری برای مسئله پیدا شود. در الگوریتم ژنتیک جستجو برای پاسخ مسئله از چندین جهت انجام می‌شود و به دلیل وجود عملگر جهش، این الگوریتم قادر است از بهینه‌های محلی فرار کند. لذا در مسائل بزرگ و پیچیده الگوریتم‌های تکاملی مانند ژنتیک عملکرد بهتری نسبت به روش‌های ریاضی دقیق از خود نشان می‌دهند. یکی دیگر از محاسن الگوریتم ژنتیک این است که قابلیت ایجاد چندین پاسخ نزدیک به بهینه را دارد در حالیکه روش‌های ریاضی تنها یک پاسخ برای مسئله پیدا می‌کند. بزرگ‌ترین عیب الگوریتم‌های تکاملی مانند ژنتیک ماهیت تصادفی آنها است. هیچ تضمینی برای رسیدن به پاسخ بهینه در این الگوریتم‌ها وجود ندارد. پاسخ‌های بدست آمده از الگوریتم ژنتیک قابل قبول هستند و تقریب خوبی از پاسخ بهینه مسئله می‌باشند. اما پاسخ‌های بدست آمده اغلب بهینه ریاضی نیستند و می‌توان آنها را بهینه مهندسی نامید. عملکرد الگوریتم ژنتیک به پارامترهای اولیه آن وابسته است و در صورتی که پارامترها به درستی انتخاب نشوند الگوریتم کارآیی لازم را نخواهد داشت. در ادامه این بخش چگونگی تعیین بخش‌های الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله جایابی بهینه واحدهای گازسوز بیان می‌شود [۳۵].

۳-۱-۲- تاریخچه الگوریتم ژنتیک

ایده اصلی الگوریتم‌های تکاملی در سال ۱۹۶۰ مطرح شد. الگوریتم ژنتیک که منشعب از این نوع

^۱ Genetic Algorithm

الگوریتم‌هاست در حقیقت روش جستجوی کامپیوتری بر اساس ساختار ژن‌ها و کروموزوم‌هاست که توسط پروفیسور Holland در دانشگاه میشیگان مطرح شد و پس از وی توسط جمعی از دانشجویانش مثل Arbor,Goldberg توسعه یافت. این الگوریتم در بسیاری از علوم مختلف مثل زیست‌شناسی، علوم فنی و مهندسی (شبکه‌های عصبی، پردازش تصویر، تشخیص الگو و...) علوم پایه، علوم اجتماعی و... کاربرد دارد [۴۶].

۳-۱-۳ - مفهوم الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک را می‌توان به طور ساده یک روش جستجوگر نامید که بر پایه مشاهدات خصوصیات فرزندان نسل‌های متوالی و انتخاب فرزندان بر اساس اصل بقای بهترین، پایه ریزی شده است. الگوریتم ژنتیک با تقلید از قوانین موجود در علم ژنتیک بر روی فرزندان یک نسل (از جمله جوابهای مسئله در یک مرحله) تأثیر کرده و به تولید فرزندان با خصوصیت بهتر (جواب‌های نزدیک تر به هدف مسئله) می‌پردازد. در هر نسل به کمک فرآیند انتخابی متناسب با ارزش جواب‌ها ، فرزندان (جوابهای) تولید شده دارای تقریب بهتری از جواب نهایی می‌باشند. این فرآیند باعث می‌شود که نسل‌های جدید با شرایط مسئله سازگارتر باشند. این رقابت از میان کروموزوم‌ها و پیروز شدن کروموزوم غالب (انتخاب شدن توسط الگوریتم برای تولید مثل بعدی) و کنار رفتن کروموزوم‌های مغلوب (جواب‌های دور از هدف مسئله) روش کارآمدی برای حل مسائل پیچیده و دشوار می‌باشد [۲۶].

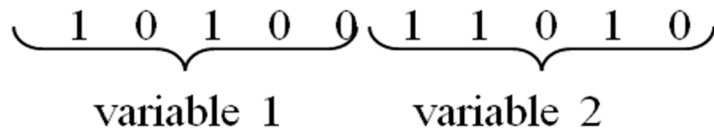
۳-۱-۲ - ساختار الگوریتم ژنتیک

همانطور که اشاره شد، عملکرد الگوریتم ژنتیک بر مبنای قوانین موجود در علم ژنتیک است. در این قسمت با برخی از مفاهیم تعاریف ژنتیک در حد نیاز آشنا شده و در قسمت‌های بعد به شیوه کارکرد عملگرهای مهم این الگوریتم که با هدف تولید فرزندان بهتر بر جمعیت یک نسل اعمال می‌شود، پرداخته

می‌شود.

۳-۱-۲-۱- افراد یا کروموزوم‌ها

هر کدام از افراد جمعیت که تقریبی از جواب نهایی مسئله می‌باشد به صورت رشته‌هایی از حروف یا ارقام کدگذاری می‌شوند. این رشته‌ها را کروموزوم می‌نامند. متداول‌ترین حالت نمایش با ارقام صفر و یک است. روش‌های دیگر مثل استفاده از اعداد حقیقی و اعداد صحیح نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر کروموزوم حاوی اطلاعاتی است که به تنهایی معنی خاصی ندارند و باید رمز گشایی شوند. عبارت دیگر باید از حالت کدگذاری خارج شده و به عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری معنی‌دار در مسئله استفاده شوند. باید توجه داشت که فرآیند جستجو بر روی اطلاعات کدگذاری شده انجام می‌گیرد. مگر در صورتی که از ژن‌هایی با مقادیر حقیقی استفاده شود. بعد از اینکه کروموزوم‌ها از حالت کدگذاری شده خارج شدند، می‌توان به کمک تابع هدف مسئله، آنها را مورد ارزیابی قرار داد. هر کروموزوم یک جواب کامل برای مسئله بهینه‌سازی است. پس از مشخص کردن تعداد متغیرهایی که برای حل مسئله مورد نیاز است باید تعداد بیت‌های مورد استفاده برای هر متغیر مشخص شود. مجموع این تعداد بیت‌ها طول کروموزوم را مشخص می‌کند. انتخاب تعداد بیت‌ها بسته به دقت مورد انتظار متغیر مورد نظر صورت می‌گیرد. هرچه تعداد بیت‌های انتخاب شده برای نمایش یک متغیر بیشتر باشد، فضای حالت موجود در محدوده مجاز متغیر با دقت بیشتری جستجو می‌شود. از طرفی تعداد بیت‌های زیاد موجب کاهش سرعت همگرایی مسئله می‌شود. شکل (۳-۱) چگونگی نمایش یک کروموزوم با بیت‌های ۰ و ۱ را نشان می‌دهد. این کروموزوم مربوط به یک مسئله دو متغیره است که برای نمایش هر متغیر آن از ۵ بیت استفاده شده است [۴۶].



شکل (۱-۳): چگونگی نمایش یک کروموزوم [۴۶]

۳-۱-۲-۲- جمعیت^۱

الگوریتم ژنتیک بر روی مجموعه‌ای از جواب‌ها که جمعیت نامیده می‌شوند کار می‌کند. افراد یک جمعیت رشته‌هایی از اعداد هستند که کروموزوم نامیده می‌شوند و حاوی اطلاعات کد شده پارامترهای تصمیم‌گیری (متغیرهای مسئله) می‌باشند. الگوریتم ژنتیک از چند مسیر به سمت یافتن پاسخ بهینه مسئله حرکت می‌کند. هر چه تعداد جمعیت بیشتر باشد مسئله از مسیرهای بیشتری به سمت جواب حرکت می‌کند. تعداد جمعیت با توجه به گستردگی مسئله انتخاب می‌شود. تعداد جمعیت در بیشتر الگوریتم‌های ژنتیک ثابت است. ولی در خلال حل مسئله کروموزوم‌های قوی‌تر که تقریباً بهتری از پاسخ مسئله هستند بیش از بقیه تکثیر می‌شوند.

بعد از تصمیم‌گیری در مورد شیوه کدگذاری کروموزوم‌ها، جمعیت اولیه ایجاد می‌شود. جمعیت اولیه معادل مقادیر اولیه‌ای برای پاسخ مسئله است که معمولاً با انتخاب تصادفی کروموزوم‌ها در محدوده مجاز صورت می‌گیرد. باید دقت کرد که در کروموزوم‌ها می‌تواند هم متغیرهای گسسته و هم پیوسته وجود داشته باشد. در هنگام اعمال عملگرها، در صورت نیاز باید قیودی برای متغیرهای گسسته در نظر گرفت و در نهایت مقدار آنها را به مقادیر مجاز تبدیل کرد. بعنوان مثال اگر برای نمایش هر کروموزوم از اعداد ۰ و ۱ استفاده شود، جمعیت اولیه شامل ماتریسی از اعداد ۰ و ۱ خواهد بود که هر سطر آن یک کروموزوم از کل جمعیت را نشان می‌دهد. در شکل (۲-۳) ماتریسی با چهار سطر که نشان دهنده ۴ کروموزوم و پنج ستون که نشان دهنده ۵ بیتی بودن هر کروموزوم است نشان داده شده است.

^۱ Population

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

شکل (۳-۲): نمایش یک جمعیت اولیه شامل ۴ کروموزوم که هر کدام دارای ۵ ژن می باشد [۴۶]

۳-۱-۲-۳- نمایش و کدگذاری^۱ کروموزومها

تا کنون در حل مسائل بهینه‌سازی روش‌های مختلفی برای نمایش پارامترها و اطلاعات مسئله (کروموزومها) به کار برده شده است که انتخاب هر کدام از این روش‌ها باید با توجه به نوع مسئله و فضای جستجوی مورد نیاز برای حل مسئله بهینه‌سازی صورت گیرد. به طور مثال می‌توان سیستم کدگذاری به صورت رشته‌ای، آرایه‌ای، لیست یا درختی صورت گیرد که در این میان کدگذاری رشته‌ای به دلیل قابلیت ایجاد تنوع کروموزوم‌های بیشتر در فضای کمتر بیش از سایر روش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمول ترین روش نمایش کروموزومها در الگوریتم ژنتیک، سیستم کدگذاری مبنای دو^۲ است. در این شیوه هر متغیر تصمیم‌گیری به صورت دودویی (بیت‌های ۰ و ۱) در آمده و سپس با کنار هم قرار گرفتن این متغیرها، کروموزوم ایجاد می‌شود. سیستم‌های کدگذاری دیگری نیز وجود دارد که می‌توان از آنها در مسائل خاص استفاده کرد. برخی از این سیستم‌ها عبارتند از: کدگذاری مبنای هشت^۳، کدگذاری جایگشتی^۴، سیستم کدگذاری مقدار^۵، سیستم کدگذاری درختی^۶[۴۶].

۳-۱-۲-۴- رمز گشایی^۷ کروموزومها

هر کروموزوم حاوی اطلاعاتی از متغیرهای تصمیم‌گیری مسئله است که با اعداد ۰ و ۱ کدگذاری شده‌اند. علت کدگذاری این است که اعمال عملگرهای ژنتیکی بر روی کدهای ۰ و ۱ بسیار ساده تر و

1 -Encoding
2 - Binary Encoding
3 - Octan Encoding
4 - Permutation Encoding
5 - Value Encoding
6 - Tree Encodin
7 - Decoding

کارآمد تر است. اما برای ارزیابی پاسخ‌های بدست آمده در نهایت باید از مقادیر استاندارد هر متغیر تصمیم گیری استفاده شود. به همین دلیل کروموزوم های کدگذاری شده باید دوباره به فضای استاندارد باز گردانده شوند و اطلاعات آنها رمز گشایی شود. برای رمز گشایی ابتدا هر یک از کروموزوم‌ها شکسته شده و بیت‌های مربوط به هر متغیر جدا می‌شود. سپس این بیت‌ها از فضای دودویی 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 (کران) بالای محدوده مجاز متغیر

L : حد (کران) 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 ساده ترین 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 [۳۵].

۳-۱-۲-۵- رمز گشایی^۱ و قیود مسئله

نکته مهمی که در هنگام رمز گشایی باید به آن دقت کرد طبیعت مسئله و قیود آن است. بعد از

^۱ Detection

اعمال عملگرهای ژنتیک به کروموزوم‌ها، جواب‌های جدیدی بدست می‌آید که ممکن است در قیده‌های مسئله صادق نباشد. این حالت در بسیاری مسائل دارای قید به وقوع می‌پیوندد. ساده‌ترین راه حل استفاده از تابع جریمه در تابع هدف است. با این شیوه شایستگی جواب‌های خارج از قید به شدت کم می‌شود. در نتیجه فرآیند انتخاب به سمت کروموزوم‌هایی که در قید صادق هستند گرایش پیدا می‌کند. هرچه میزان جریمه بیشتر باشد الگوریتم با سرعت بیشتری همگرا می‌شود. در بعضی مسائل ممکن است کروموزوم ایجاد شده اصلاً جواب مسئله نباشد. در این حالت چون تابع هدف کروموزوم بدون جواب است تابع جریمه کاربردی ندارد. برای رفع این مشکل می‌توان این نوع کروموزوم‌ها را قبل از رفتن به مرحله بعد ترمیم کرد. در هر مسئله با توجه به طبیعت آن از روش‌های ترمیم مختلف استفاده می‌شود.

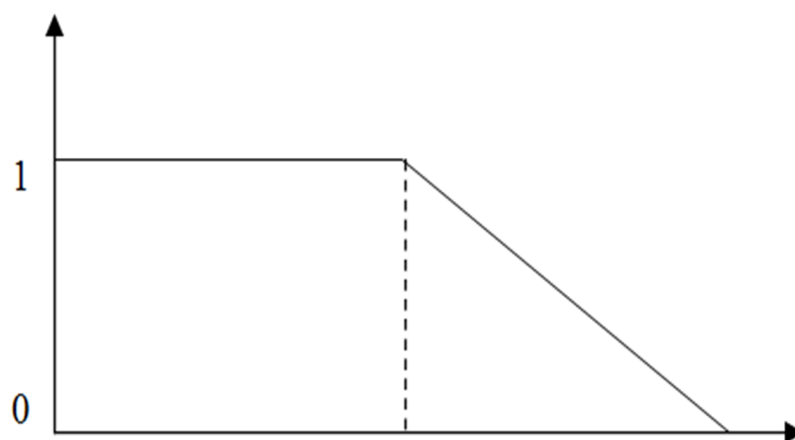
۳-۱-۲-۶- تابع هدف و ارزیابی شایستگی کروموزوم‌ها

این مرحله یکی از مهم‌ترین مراحل الگوریتم می‌باشد و برای هر مسئله به صورت جداگانه تعریف می‌شود. ارزیابی شایستگی کروموزوم‌ها به منظور جداسازی کروموزوم‌هایی است که به مسئله را به هدف نزدیک تر می‌کنند. تابع هدف بیانگر هدف و خواسته ما از طرح مسئله است. بعبارت دیگر تابعی است که سعی در بهینه‌سازی آن داریم. تابع هدف شاخصی است که نحوه عملکرد افراد در فضای مسئله می‌باشد. مثلاً در این تحقیق هدف نهایی کمینه‌سازی تابع هزینه‌ای است که در بخش ۶-۲ معرفی شده است. این تابع با یک نگاهت به تابع شایستگی مربوط می‌شود. نگاهت ذکر شده با توجه به شرایط و خواست مسئله متفاوت خواهد بود. به عنوان مثال اگر هدف مسئله کمینه‌سازی یک تابع باشد، می‌توان تابع شایستگی را متناسب به عکس مقدار تابع مورد نظر تعریف کرد و برای ارزیابی شایستگی هر کروموزوم از آن استفاده کرد. در این حالت هر چه پاسخ مسئله کوچک تر باشد شایستگی کروموزوم مولد آن بیشتر خواهد بود. اگر هدف بیشینه‌سازی یک تابع باشد می‌توان مستقیماً از خود تابع برای تعیین شایستگی هر کروموزوم

بهره برد. همچنین برای سنجش شایستگی هر کروموزوم می‌توان از منطق فازی استفاده کرد. برای این منظور توابع عضویتی با برد ۰ و ۱ تعریف می‌شود. ویژگی اصلی این توابع این است که هر عدد در مجموعه اعداد حقیقی را با عددی در بازه $[0,1]$ می‌نگارد. محور افقی مقدار کمیتی است که سعی در بهینه کردن آن داریم و به عددی در بازه $[0,1]$ نگاشته می‌شود. شکل (۳-۳) یک تابع عضویت ذوزنقه‌ای را نشان می‌دهد.

۳-۱-۲-۷- انتخاب^۱

مرحله انتخاب معمولاً عملی است که بر روی جمعیت هر نسل اعمال می‌شود. در این روش یک سری کروموزوم از میان جمعیت به عنوان والد انتخاب شده که در نهایت با عمل همبندی منجر به تولید



شکل (۳-۳): یک تابع عضویت ذوزنقه‌ای

فرزندان جدید می‌شوند. بر اساس نظریه حیات بهترین‌ها باید بهترین موارد انتخاب شوند تا نسل بعد از نسل موجود بهتر باشد. روش‌های انتخاب مختلفی در الگوریتم ژنتیک برای انتخاب کروموزوم‌ها وجود دارد که هدف اصلی در همه آنها انتخاب بهترین رشته‌ها از جمعیت فعلی و تولید کپی‌هایی از آنها و قرار دادن

^۱ - Selection

آن‌ها در مکانی به نام حوضچه تولید مثل^۱ است. این روش‌ها عمدتاً بر اساس یک فرآیند احتمالی انتخاب کروموزوم‌ها را انجام می‌دهند.

- روش چرخ گردان^۲

روش چرخ گردان یکی از روش‌های متداول در انتخاب یک رشته است. این روش مبتنی بر نوعی احتمال از تابع شایستگی کار می‌کند. در این روش کروموزوم‌ها به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند اما منطق انتخاب به گونه‌ای است که کروموزوم‌های بهتر دارای احتمال انتخاب بیشتری باشند. برای این منظور با توجه به شایستگی هر کروموزوم که از مراحل قبل بدست آمده به هر کدام از آن‌ها احتمالی را نسبت داده می‌شود. بدین ترتیب هر کروموزوم که شایستگی بیشتری در مراحل قبل بدست آورده باشد، احتمال انتخاب شدن بیشتری دارد. یک روش اختصاص این احتمال‌ها می‌تواند این گونه باشد که شایستگی مربوط به هر کروموزوم به مجموع شایستگی‌های تمام کروموزوم‌ها تقسیم شده و بدین ترتیب عددی به عنوان احتمال انتخاب به آن کروموزوم اختصاص می‌یابد. بنابر این کروموزوم λ_m در جمعیت، با احتمالی متناسب با F_i (تابع شایستگی آن) انتخاب می‌شود. احتمال انتخاب کروموزوم λ_m به صورت زیر بدست می‌آید:

$$P_i = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^n F_j} \quad (2-3)$$

F_i : شایستگی کروموزوم i

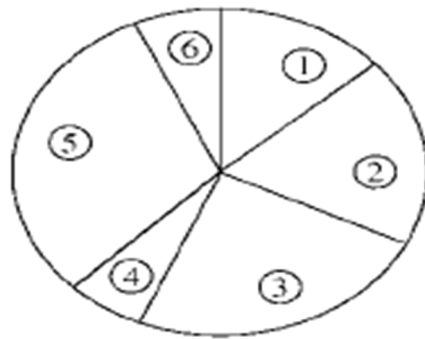
P_i : احتمال انتخاب کروموزوم i

روش‌های دیگری نیز در این زمینه وجود دارد که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

روش بولتزمن^۳، روش رقابتی^۴، روش رتبه بندی^۵.

¹ - Mating Pool
² - Roulette Wheel
³ - Boltzman
⁴ - Tournament
⁵ - Rank

شکل (۳-۴) نمای مفهومی از یک چرخ گردان را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود هر قسمت متناسب با احتمال انتخاب یک کروموزوم است. هر بار به صورت تصادفی یکی از این فواصل را انتخاب شده و بدین ترتیب کروموزوم مربوط به آن قسمت انتخاب می‌شود. این عمل در هر نسل به تعداد جمعیت اولیه تکرار می‌شود. همچنین انتخاب می‌تواند تنها از بین جمعیت آخرین نسل و یا از بین جمعیت دو نسل آخر صورت گیرد.



شکل (۳-۴): نمایی از یک چرخ گردان

۳-۱-۲-۸- همبری^۱

پس از اینکه مرحله انتخاب تمام شد، جمعیتی از بهترین‌ها به وجود می‌آید. در حقیقت طی عمل انتخاب مجموعه‌ای از بهترین رشته‌ها انتخاب می‌شود اما رشته جدیدی به وجود نمی‌آید. عمل همبری یک عملگر ترکیبی است که شامل سه مرحله است:

یک جفت از رشته‌های انتخابی را به صورت تصادفی انتخاب می‌کند.

محلّی برای عمل همبری به صورت تصادفی در طول رشته انتخاب می‌شود.

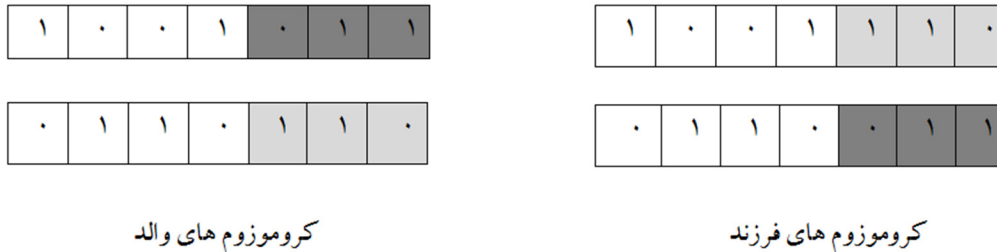
مقدار دو رشته با توجه به محل ادغام جابه جا می‌شود.

این روش را اصطلاحاً همبری تک نقطه‌ای^۲ می‌نامند. طی این فرآیند از هر جفت کروموزوم یک

^۱ - Cross Over

^۲ - Single Point Cross Over

جفت کروموزوم جدید به عنوان فرزند ایجاد می‌شود که احتمالاً تقریب بهتری از پاسخ مسئله هستند. شکل زیر چگونگی فرآیند همبری تک نقطه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۵): نمایش فرآیند همبری تک نقطه‌ای

همانطور که در شکل (۳-۵) دیده می‌شود کروموزوم‌های سمت راست از کروموزوم‌های سمت چپ به وجود آمده‌اند، بدین ترتیب کروموزوم‌های سمت چپ را والد و کروموزوم‌های سمت راست را فرزند می‌نامند. در این گونه همبری یک نقطه به عنوان نقطه شکست انتخاب می‌شود. نوع دیگر همبری، روش همبری دو نقطه‌ای^۱ است، بدین مفهوم که دو نقطه به عنوان نقطه شکست در نظر گرفته می‌شود و بیت-های کروموزوم‌ها در طرفین آن دونقطه با یکدیگر تعویض می‌شوند.

روش‌های دیگری برای همبری وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از :

روش همبری چند نقطه‌ای^۲، همبری یکنواخت^۳.

۳-۱-۲-۹- جهش^۴

پس از همبری، نسل جدیدی از کروموزوم‌ها ایجاد می‌شود که دارای خصوصیات بهتری نسبت به نسل قبل هستند. اما اگر روند الگوریتم به همین شکل ادامه پیدا کند پس از چند تکرار تمامی جمعیت دارای خصوصیات یکسان می‌شوند و در این حالت الگوریتم دچار همگرایی زودرس می‌شود. این مسئله به منزله آن است که فضای جستجو محدود به کروموزوم‌های قوی تر می‌شود. برای جلوگیری از این اتفاق از

^۱ - TwoPoint Cross Over
^۲ -Multi Point Cross Over
^۳ - Uniform Cross Over
^۴ - Mutation

جهش در نسل جدید استفاده می‌شود. عمل جهش به این ترتیب است که به صورت تصادفی درصد مشخصی از بیت‌های موجود دچار تغییر می‌شوند. مثلاً در کروموزوم‌های باینری، بیت ۰ به ۱ و بیت ۱ به ۰ تبدیل می‌شود. بیت‌های یک رشته به صورت مستقل جهش می‌یابند. به این معنی که جهش یک بیت بر روی احتمال سایر بیت‌ها تأثیر نمی‌گذارد. عمل جهش موجب می‌شود برخی کروموزوم‌ها بر خلاف سیر تکامل جمعیت حرکت کنند. این امر موجب گسترده‌گی فضای جستجو می‌شود و از یکنواخت شدن تمامی کروموزوم‌ها جلوگیری می‌کند. هر کروموزوم در صورت قوی بودن می‌تواند یک نقطه شروع برای نسل‌های بعد باشد.

در این مرحله برای جهش معلولاً از خاصیت عملگر منطقی XOR استفاده می‌شود. عملکرد این عملگر در شرایط مختلف را به صورت زیر است.

$$1 \text{ XOR } 0 = 1$$

$$0 \text{ XOR } 0 = 0$$

$$1 \text{ XOR } 1 = 0$$

از این خاصیت می‌توان برای صفر کردن برخی یک‌های ماتریس جمعیت اولیه یا به عکس استفاده کرد. برای این کار کافی است ماتریس حاوی جمعیت را با ماتریسی هم اندازه XOR کرد. تمامی درایه‌های این ماتریس هم اندازه برابر ۰ است به جز بیت‌هایی که باید جهش پیدا کنند که این بیت‌ها برابر ۱ هستند.

۳-۱-۲-۱۰- اعمال قیود در مسائل بهینه‌سازی

الگوریتم‌های تکاملی دارای انعطاف زیادی هستند و اعمال قیود در این گونه الگوریتم‌ها به صورت غیر مستقیم صورت می‌گیرد. روش‌های اعمال قید به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند :

- جریمه‌ای^۱:

در این روش با اضافه کردن تابع جریمه به تابع هدف مسئله از حالت مقید به حالت بدون قید تبدیل می‌شود. در این روش به کروموزوم‌های غیر مجاز اجازه داده می‌شود در مرحله انتخاب شرکت کنند و در صورت انتخاب اطلاعات ژنتیکی آنها مورد استفاده قرار گیرد. هر جریمه اعمال شده باید در جهت برقراری قیود باشد به گونه‌ای که هر چه تخطی از قیود بیشتر باشد جریمه بیشتری به کروموزوم تعلق گیرد. جریمه موجود معمولاً بر روی تابع شایستگی کروموزوم اعمال شده و شایستگی آن را کاهش می‌دهد.

- ترمیمی^۲:

در این روش کروموزوم‌های غیر مجاز طی فرآیندی به یک کروموزوم مجاز تبدیل می‌شوند.

- حذفی^۳:

در این روش تمامی کروموزوم‌هایی که در قیود صدق نمی‌کنند به کلی حذف می‌شوند. در الگوریتم‌های تکاملی هر گونه فشار به الگوریتم موجب از دست رفتن کارایی الگوریتم می‌شود. از این رو در بیشتر مسائل از روش جریمه‌ای برای برقراری قیود استفاده می‌شود. زیرا در این روش الگوریتم به صورت هوشمند به سمت پاسخ‌های صحیح حرکت می‌کند در حالیکه در سایر روش‌ها یک مرحله (ترمیم یا حذف) به الگوریتم اضافه می‌شود که موجب فشار به الگوریتم می‌شود [۴۵].

۳-۱-۲-۱۱- دستور خاتمه الگوریتم

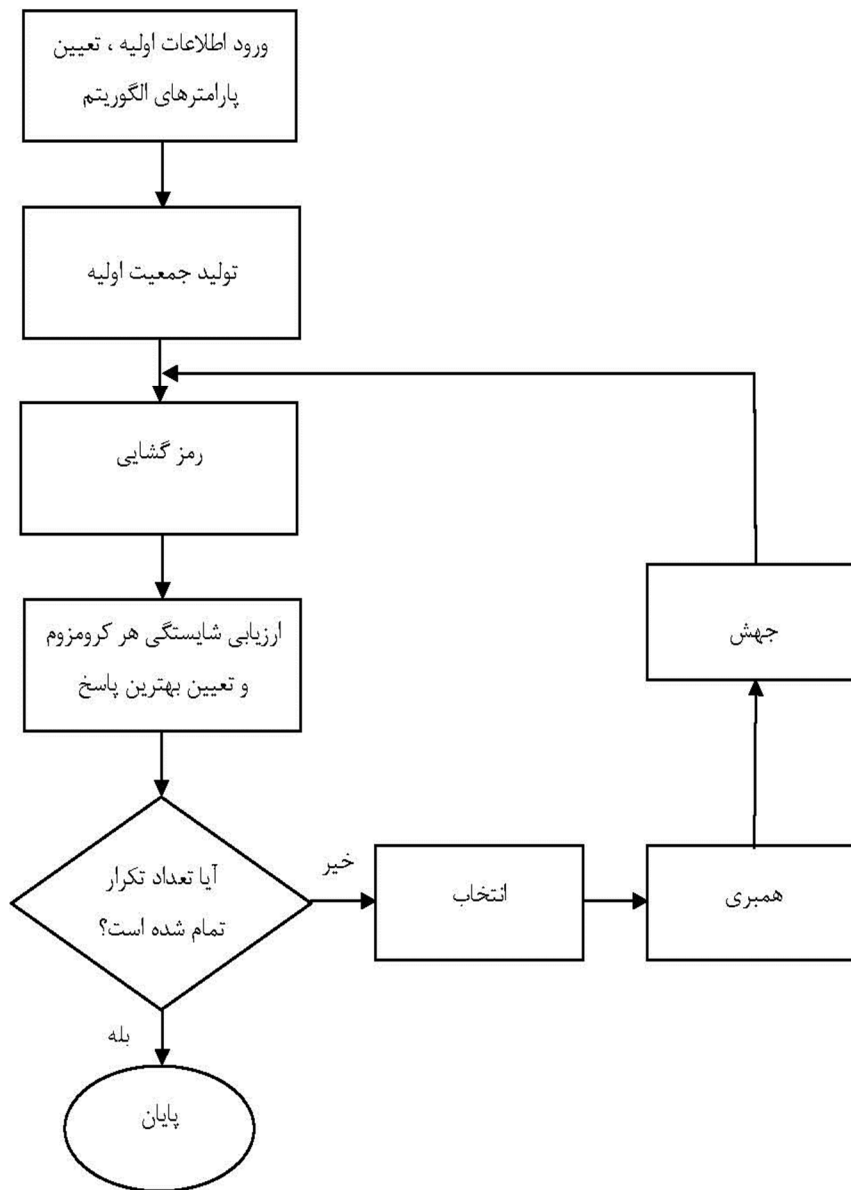
از آنجا که الگوریتم ژنتیک یک روش جستجوی تصادفی است، ارائه فرمول خاصی برای پایان آن مشکل است. یک روش که در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است، متوقف کردن فرآیند پس از تولید تعداد مشخصی نسل است. با اجرای الگوریتم در هر نسل بهترین پاسخ موجود شناسایی می‌شود. در

¹ Fine

² Restorative

³ Omissive

صورت یافتن پاسخی بهتر در خلال اجرای الگوریتم، پاسخ مربوطه اصلاح می‌شود. در روشی دیگر می‌توان بعد از اتمام تکرار الگوریتم تا تعداد نسل مشخص شده، کیفیت پاسخ‌های نهایی بررسی کرد و در صورت مناسب نبودن پاسخ‌ها، الگوریتم تا تعداد نسل مشخص دیگری ادامه پیدا می‌کند. شکل (۳-۶) فلوجارت الگوریتم ژنتیک معمولی را نشان می‌دهد [۳۵].



شکل (۳-۶): فلوجارت الگوریتم ژنتیک در حالت کلی [۴۶]

۳-۲- الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه^۱

۳-۲-۱- مقدمه

الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه، یک روش بهینه‌سازی فراکاوشی است که از تکامل میمیتیکی^۲ یک گروه از قورباغه‌ها، زمانی که دنبال مکانی با حداکثر میزان غذای در دسترس می‌گردند، تقلید می‌کند. در الگوریتم‌های فراکاوشی تابع هدف دارای روند آگاهانه است و فضای تصمیم به صورت هوشمندانه بررسی می‌شود. در این الگوریتم‌ها تابع هدف برای مجموعه (ترکیبی) از متغیرهای تصمیم محاسبه می‌شود و از مقادیر تابع هدف به ازای ترکیب‌های مختلف، جهت رسیدن به بهترین حالت استفاده می‌شود.

۳-۲-۲- تاریخچه الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه

یوسف و لنسی^۳ (۲۰۰۰) برای اولین بار از این الگوریتم جهت تعیین قطر بهینه لوله‌ها در طراحی و توسعه شبکه توزیع آب شهری استفاده کردند و سپس مدل کامپیوتری SFLANET را بر اساس این الگوریتم ارائه دادند. در این مدل از ابزار شبیه‌سازی EPANET، به صورت ترکیب با مدل بهینه‌سازی الگوریتم SFLA استفاده شده است. نتایج حاصل با نتایج روش‌های مختلف (بهینه‌سازی خطی، الگوریتم ژنتیک، نورد شبیه‌سازی شده و غیره) مقایسه شده و نشان می‌دهد که سرعت همگرایی و عملکرد این الگوریتم نسبت به سایر روش‌ها بهتر بوده است. البلتاگی^۴ (۲۰۰۵) این الگوریتم را با سایر الگوریتم‌های تکاملی و فراکاوشی (الگوریتم ژنتیک، محاسبات تکاملی، الگوریتم هوش تجمعی (الگوریتم جامعه پرندگان) و غیره) مقایسه کرد و کدهایی برای آن نوشت و روش‌هایی برای تعیین مقادیر بهینه پارامترهای

¹ Suffled Frog Leaping Algorithm

² Memetic

³ Eussuff And Lansey

⁴ Elbeltagi

آن و تحلیل حساسیت آن‌ها ارائه کرد. 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 [۳۶].

۳-۲-۳- اصول الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه

الگوریتم SFLA هر دو عنصر استراتژی قطعیت و تصادفی را در یافتن جواب بهینه دارا می‌باشد. استراتژی قطعیت به الگوریتم اجازه می‌دهد تا از اطلاعات سطحی جواب به صورت مؤثر در جهت هدایت جستجوی اکتشافی مانند PSO استفاده نماید. عناصر تصادفی انعطاف و قدرت الگوی جستجو را در روش پیشنهادی تضمین می‌نماید.

در الگوریتم SFLA هر قورباغه به عنوان ترکیبی از متغیرهای تصمیم در نظر گرفته می‌شود و دسته‌ای از قورباغه‌ها، یک جمعیت را تشکیل می‌دهند که در جهت رسیدن به هدف خاص 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. در طی فرآیند نیل به جواب بهینه، جمعیت به تعدادی زیر مجموعه تقسیم می‌شود. تأثیر گذاری و تأثیر پذیری قورباغه‌ها از هم در هر زیر مجموعه باعث اصلاح متغیرهای تصمیم می‌شوند. بعد از تعداد مشخصی تکامل، طی فرآیند ترکیب شدن زیرمجموعه‌ها 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 [۳۷].

۳-۲-۴- ساختار الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه

عناصر جستجوی محلی و تبادل اطلاعات سراسری^۱ در الگوریتم SFLA لحاظ شده‌اند. یک جمعیت از جواب‌های ممکن، تعریف شده با یک مجموعه از قورباغه‌های مجازی، که به زیر مجموعه‌هایی

^۱ Global

به نام میمپلکس^۱ها تقسیم شده‌اند، در SFLA در نظر گرفته شده است. هر قورباغه تصمیمی را دارد که از عقاید سایر قورباغه‌ها در طول هر میمپلکس، تأثیر می‌پذیرد. این تصمیمات می‌تواند از طریق یک فرآیند تکامل میمیک‌ها نمو پیدا کند. یک روش شبیه به PSO در SFLA جهت انجام جستجوی محلی مستقل همزمان، در هر میمپلکس مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه به انتخاب بهترین میمپلکس، از آنجا که تمایل قورباغه‌ها حول قورباغه‌ی خاصی که ممکن است بهینه محلی^۲ باشد، متمرکز می‌شود، لذا همیشه مطلوب نیست که از بهترین قورباغه استفاده شود. بنابراین یک زیرمجموعه‌ای از میمپلکس‌ها که سابمیمپلکس^۳ نامیده می‌شود در نظر گرفته می‌شود. دادن ضرایب کوچکتر به قورباغه‌هایی که ارزش اجرایی کمتری دارند و ضرایب بزرگتر به قورباغه‌هایی که ارزش اجرایی بالاتری دارند، استراتژی انتخاب سابمیمپلکس‌ها را تشکیل می‌دهد. یک توزیع احتمال مثلثی، یعنی $P_k = 2(n+1-k)/n(n+1)$, $k=1, \dots, n$ جهت تعیین ضرایب، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به گونه‌ای که قورباغه با بدترین عملکرد 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 عملکرد بالاترین احتمال یعنی $P_1 = 2/(n+1)$ را داراست [۳۷]. در اینجا جهت تشکیل بردار سابمیمپلکس، q قورباغه منفرد از n قورباغه موجود در میمپلکس انتخاب شده است. همچنین پس از تعداد مشخصی مراحل تکامل میمپلکس‌ها و سابمیمپلکس‌ها (یعنی تکرارهای جستجوی محلی)، قورباغه‌های مجازی جهت تضمین جستجوی سراسری، به شیوه‌ای شبیه به آنچه که در الگوریتم تکامل مجموعه مختلط^۴ مورد استفاده قرار می‌گیرد، بازترکیب شده و به میمپلکس‌های جدیدی تصدیق می‌شوند. علاوه بر این اگر جستجوی محلی نتواند جواب‌های بهتر را پیدا کند، قورباغه‌های مجازی تصادفی جهت فراهم کردن فرصت برای نسل تصادفی از اطلاعات بهبود یافته، ایجاد شده و جایگزین می‌شوند. جستجوی محلی و فرآیند ترکیب تا زمانی که

¹ Memplex

² Local Optimum

³ Submemplex

⁴ Shuffled Complex Evolution Algorithm

معیارهای مشخص همگرایی برآورده نشوند ادامه پیدا می کند [۳۸].

فلوچارت روش SFLA در شکل (۷-۳) نمایش داده شده است. فرآیند مربوط به بلوک جستجوی

محلی موجود در این فلوچارت در شکل (۸-۳) نمایش داده شده است. در این شکل:

X_g : قورباغه با بهترین شایستگی کل جمعیت

X_b : قورباغه با بهترین شایستگی در میمپلکس

X_w : قورباغه با بدترین شایستگی در میمپلکس

قاعده جهش قورباغه مورد استفاده در این الگوریتم، فضای جستجوی محلی را بسط می دهد،

آنگونه که در شکل (۹-۳) نمایش داده شده است. این قاعده جهش قورباغه به صورت زیر بیان می شود:

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

$$D = r \cdot c(X_b - X_w) + W \quad (۴-۳)$$

$$W = [r_1 \cdot w_{1,max}, r_2 \cdot w_{2,max}, \dots, r_s \cdot w_{s,max}]^T \quad (۵-۳)$$

که:

r: عددی تصادفی بین ۰ و ۱

c: عددی ثابت در رنج ۱ تا ۲

r_i (۱ ≤ i ≤ S): اعداد تصادفی بین ۰ تا ۱

$w_{i,max}$ (۱ ≤ i ≤ S): حداکثر حرکت و نفوذ مجاز در فضای جستجوی i بعدی

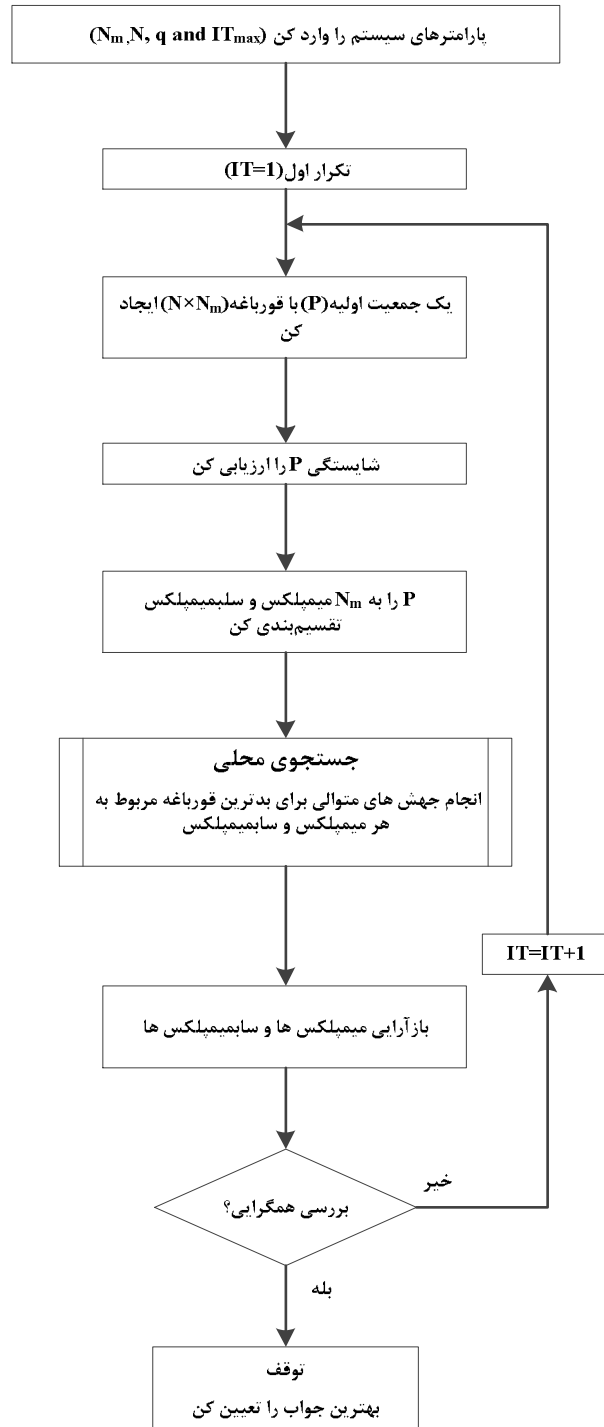
D_{max} : حداکثر مسافت مجاز پرش

بر اساس این قاعده جهش، بدترین قورباغه می تواند به سمت بهترین قورباغه جهش کند. با تکرار

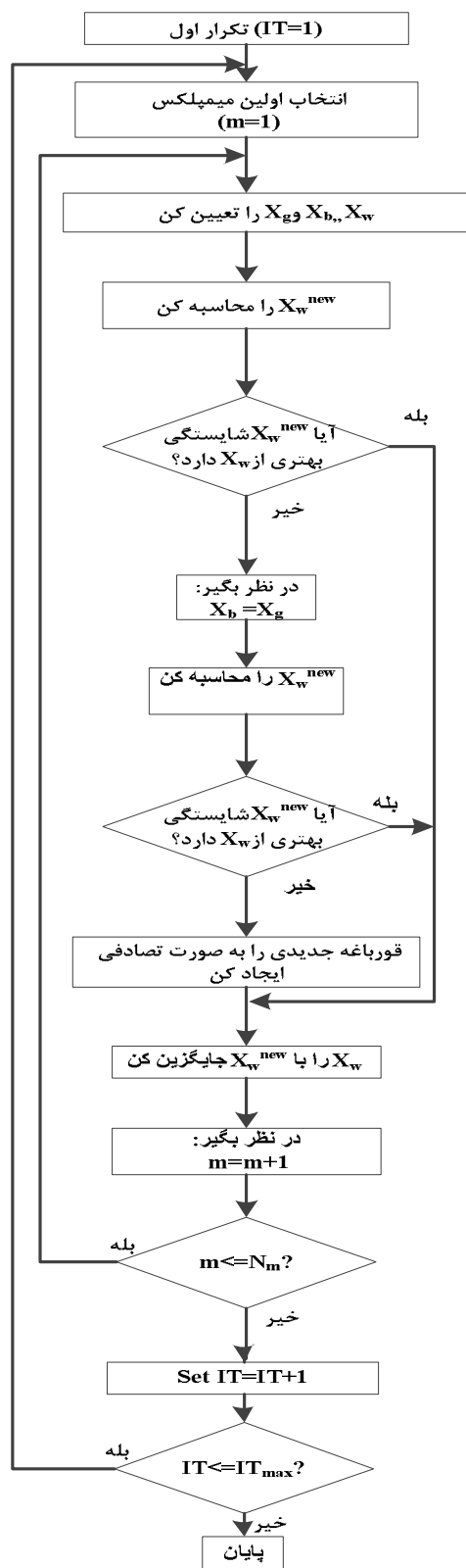
این روند به تدریج متوسط شایستگی جمعیت قورباغه‌ها در طی مراحل تکامل افزایش می یابد تا به مقدار

مشخصی همگرا می‌شود. با توجه به این روند، X_g و X_b در هر تکرار تغییر کرده و افزایش می‌یابند تا به

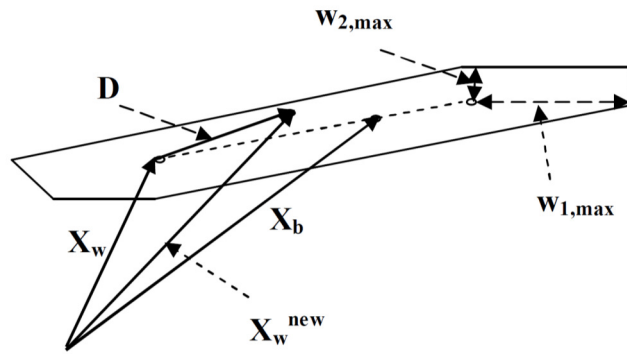
جواب مطلوب همگرا شوند [۳۶-۳۸].



شکل (۷-۳): فلوچارت الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه [۳۸]



شکل (۳-۸): فلوچارت جستجوی محلی با استفاده از قاعده جهش قورباغه [۳۸]



شکل (۳-۹): قاعده جهش قورباغه [۳۸]

فصل چهارم :

ارائه روش پیشنهادی در جایابی بهینه کلیدها در

سیستم‌های اتوماسیون توزیع فاقد DG

۴-۱- مقدمه

قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی، از جمله موارد مهمی است که توجه بسیاری از شرکت‌های ارائه دهنده سرویس در بخش توزیع را به خود جلب کرده است. از این رو، سیستم‌های اتوماسیون توزیع^۱ (DAS)، جهت بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان^۲، در شبکه‌های توزیع اهمیت زیادی یافته است. امروزه همزمان با گسترش و توسعه صنایع و افزایش روزافزون مصرف برق در بارهای مسکونی، تجاری و صنعتی، هزینه خطا (CIC)^۳ برای انواع مختلف مشتری افزایش یافته است. لذا قطع برق برای این گونه مشترکین جریمه‌های سنگینی را متوجه شرکت‌های ارائه دهنده سرویس می‌نماید. از این رو سیستم‌های DAS، جهت ردیابی سریع خطا و بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم، با استفاده از جایگزین کردن کلیدهای دستی با کلیدهای اتوماتیک، در شبکه‌های توزیع، اهمیت یافته است [۱-۵].

شکل (۴-۱) قسمتی از یک شبکه‌ی DAS را به همراه واحدهای آن نمایش می‌دهد.

همانگونه که از این شکل پیداست، اطلاعات شبکه توسط واحدهای RTU^۴ به کنترلرهای محلی ارسال و در آنجا توسط واحدهای HMI^۵ مانیتورینگ می‌شوند. همچنین کنترلرهای محلی قادرند به کلیدهای اتوماتیک موجود در شبکه، فرمان باز و بست صادر کنند. این واحدها توسط شبکه‌ی اتترنت^۶ به هم متصل شده‌اند. تمام پروسه‌ی فوق در واحد DSO^۷، تحت نظارت اپراتور قرار می‌گیرد [۳].

از آن جایی که وقوع خطا در هر شاخه، نیازمند خروج آن شاخه و بارهای متصل به آن، از سرویس می‌باشد، لذا محل قرار گرفتن کلیدها در شاخه‌ها، بر میزان باری که در معرض خطا قرار می

¹ Distribution Automation System

² Reliability Indices

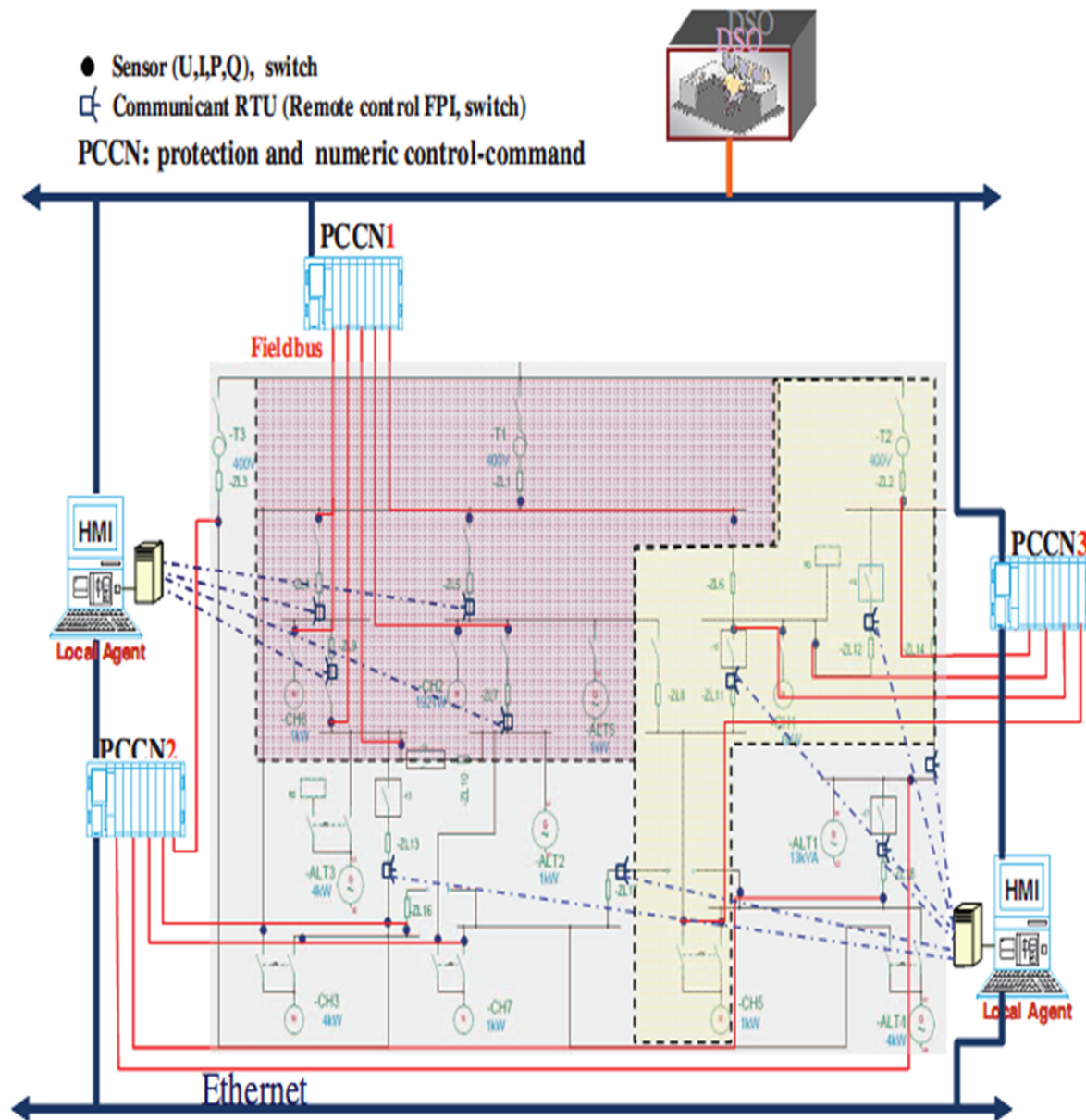
³ Customer Interruption Cost

⁴ Remote Terminal Unit

⁵ Human Monitoring Interface

⁶ Ethernet

⁷ Data Substation Organization



شکل (۴-۱): نمونه‌ای از یک سیستم DAS [۳]

گیرد و در نتیجه هزینه کلی وقفه مشترکین، تأثیر مستقیم می‌گذارد تعداد و محل نصب کلیدهای دستی و اتوماتیک در سیستم‌های DAS، پارامترهایی هستند که اگر به درستی انتخاب نشوند ممکن است سبب افزایش هزینه‌ها در بلند مدت شوند .

در این فصل روابطی دقیق جهت برآورد هزینه وقفه مشترکین، با در نظر گرفتن کلیه حالات خطا در شاخه‌های مختلف و نرخ خطای متفاوت برای هر شاخه، در ماه، روز و ساعت‌های مختلف، ارائه شده

است و تابع سود در بلند مدت محاسبه شده است. همچنین کلیه هزینه‌ها در طول چرخه‌ی عمر کلیدها محاسبه شده و با استفاده از بازگشت هزینه در اقتصاد مهندسی به سال اول بازگشت داده شده‌اند. همچنین از یک روش دقیق نردبانی جهت تعیین باس بارهای از دست رفته، کلیدهایی که باید قطع شوند و زمان وقوع خطا در هر حالت، استفاده شده است. جهت تعیین هزینه هر باس بار، بر حسب اهمیت آن، از نمودارهای هزینه-زمان خاص آن بار استفاده شده است. همچنین در این پروژه با توجه به هزینه‌ی بالای خرید و نگهداری کلیدهای اتوماتیک، تعداد کلیدهای دستی و اتوماتیک متغیری در نظر گرفته شده است که با توجه به هزینه‌ی کلی وقفه مشترکین، باید محاسبه شود. برای بهینه‌سازی مسئله از الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزار بهینه‌سازی استفاده شده است. کارآیی روش پیشنهادی از طریق انجام آزمایش روی یک نمونه گسترده، برگرفته از شبکه واقعی، نشان داده شده است.

طرح نظری مسئله در بخش ۴-۲ ارائه شده است. روابط و فلوچارت مربوط به محاسبه تابع هدف، در بخش ۴-۳ آورده شده است. در بخش ۴-۴ روش پیشنهادی جهت تعیین باس بارهای در معرض خطا و زمان وقوع خطا ارائه شده است. در بخش ۴-۵، روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک به مسئله جایابی بهینه کلیدها در سیستم‌های اتوماسیون توزیع اعمال شده است. کارآیی روش پیشنهادی با مطالعه‌ی موردی روش، روی شبکه استاندارد ۱۲۳ باس بار IEEE، در بخش ۴-۶ مورد بررسی قرار گرفته است. بخش ۴-۷ نیز به تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی اختصاص دارد.

۴-۲- طرح مسئله

مسئله مورد بررسی تعیین تعداد و محل بهینه کلیدهای دستی و اتوماتیک با هدف کاهش هزینه‌های وقفه مشترکین و بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان شبکه می‌باشد. به عبارت دیگر متغیر مورد نظر تعداد و محل نصب کلیدهای دستی و اتوماتیک جهت تجدید ساختار شبکه توزیع و تبدیل آن به سیستم DAS با هدف کاهش CIC می‌باشد.

جهت افزایش دقت محاسبات به هر کدام از بارهای تجاری و صنعتی بر حسب اهمیت آن‌ها یک مشخصه^۱ sic تعلق می‌گیرد [۳۹]. از آن جا که سرمایه‌گذاری خرید کلیدها در طول چرخه‌ی عمر آن‌ها می‌باشد، لذا در این مسئله کلیه هزینه‌های سالیانه مانند هزینه وقفه مشترکین، هزینه نگهداری کلیدها و غیره با استفاده از مباحث اقتصاد مهندسی با در نظر گرفتن نرخ افزایشی^۲ هزینه و نرخ تورم^۳، در چرخه عمر کلیدها محاسبه و با استفاده از نرخ بازگشتی^۴ به سال اول بازگشت داده شده‌اند [۴۰]. جهت محاسبه‌ی هزینه در چرخه عمر کلیدها، از هزینه سالیانه، از رابطه (۱-۴) استفاده می‌شود.

$$C_t = f_{cr}(C_a) = \sum_{i=1}^{LC} \left(C_a \times \left[\frac{1+R_g}{1+R_r+R_i+R_r \times R_i} \right]^{i-1} \right) \quad (1-4)$$

که:

C_a : هزینه سالیانه (بر حسب دلار)؛

C_t : هزینه کلی محاسبه شده در چرخه عمر کلیدها برگشت داده شده به سال اول (بر حسب دلار)؛

f_{cr} : تابع مورد استفاده جهت محاسبه C_a از C_t ؛

LC : چرخه عمر کلیدها؛

R_g : نرخ افزایشی هزینه؛

R_r : نرخ بازگشتی هزینه؛

R_i : نرخ تورم.

۴-۳- توصیف و فرمول بندی تابع هدف

آنگونه که در بخش قبل ذکر شده است، پارامتر CIC جهت ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم

¹ Standard Industrial Classification

² Increasing Rate

³ Inflation Rate

⁴ Return Rate

انتخاب شده است. جهت محاسبه CIC، تعداد و مشخصات مشترکین در معرض خطا و همچنین زمان وقوع خطا مورد نیاز می‌باشد. در این پروژه انواع مختلف مشترکین مسکونی، تجاری و صنعتی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. علاوه بر این یک دسته از بارهای کلیدی با سطح اولویت خدماتی بالا در نظر گرفته شده‌اند. همچنین جهت افزایش دقت روش، یک مشخصه SIC مشخص به هر کدام از مشترکین تجاری و صنعتی بر حسب اهمیت آن‌ها اختصاص داده شده است. تابع هدف^۱ برای هر ساختار پیشنهادی در این مسئله، آنگونه که در رابطه (۲-۴) نمایش داده شده است، میزان صرفه‌جویی اقتصادی در مجموع هزینه‌های وقفه مشترکین و سرمایه‌گذاری کلیدها^۲ مربوط به آن ساختار، به صورت درصدی از مجموع هزینه‌های ساختار اولیه می‌باشد.

$$Max \quad \mu = \frac{SIIC_{in} - SIC}{SIIC_{in}} \quad (2-4)$$

که:

μ : مقدار تابع هدف کلی؛

$SIIC$: مجموع هزینه‌های وقفه مشترکین و سرمایه‌گذاری کلیدها مربوط به هر ساختار قابل

محاسبه از رابطه (۳-۴) (بر حسب \$)؛

$SIIC_{in}$: مقدار $SIIC$ برای ساختار اولیه (بر حسب \$)؛

$$SIIC = CIC + SPMC \quad (3-4)$$

که:

$SPMC$: هزینه سرمایه‌گذاری (خرید و نگهداری) کلیدهای^۳ دستی و اتوماتیک قابل محاسبه از

رابطه (۴-۴) (بر حسب \$)؛

¹ Objective Function

² Sum Of Interruption & Investment Costs

³ Switches Maintenance & Purchasing Costs

$$SPMC = (SN_{ma} - SN_{ma}^{in}) \times SPC_{ma} + SN_{au} \times SPC_{au} + f_{cr} (SN_{ma} \times SMC_{ma} + SN_{au} \times SMC_{au}) \quad (4-4)$$

که:

SN_{ma} : تعداد کلیدهای دستی؛

SN_{ma}^{in} : مقدار SN_{ma} برای ساختار اولیه؛

SN_{au} : تعداد کلیدهای اتوماتیک؛

SPC_{ma} : هزینه خرید کلیدهای دستی؛

SPC_{au} : هزینه خرید کلیدهای اتوماتیک؛

SMC_{ma} : هزینه نگهداری کلیدهای دستی؛

SMC_{au} : هزینه نگهداری کلیدهای اتوماتیک؛

مقدار متغیرهای SPC_{ma} ، SPC_{au} ، SMC_{ma} و SMC_{au} از جدول (۴-۱) قابل محاسبه می‌باشد.

جدول (۴-۱): مقدار هزینه‌های خرید و نگهداری کلیدهای دستی و اتوماتیک [۶]

هزینه	هزینه خرید (\$)	هزینه نگهداری (\$)
کلید دستی	۵۸۱	۵۰
کلید اتوماتیک	۹۰۷۱	۵۰۰

CIC در رابطه (۴-۳) با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$CIC = f_{cr} \left(\sum_{b=1}^{N_b} \lambda_b \cdot l_b \sum_{m=1}^{12} P_m \sum_{d=1}^7 P_d \sum_{h=1}^{24} P_h \right. \\ \left. \times \left[\begin{array}{l} RESL_{bmdh} \cdot f_{res}(\gamma_b) + \sum_{s=1}^{NC_{sic}} (COML_{bmdh}^s \cdot f_{com}^s(\gamma_b)) + \\ \sum_{s=1}^{NI_{sic}} (INDL_{bmdh}^s \cdot f_{ind}^s(\gamma_b)) + KEYL_{bmdh} \cdot f_{key}(\gamma_b) \end{array} \right] \right) \quad (5-4)$$

که:

b : شماره شاخه محل وقوع خطا

λ_b : نرخ سالیانه خطا در شاخه b (بر حسب تعداد خطا/کیلومتر-سال) قابل دریافت از پایگاه

داده‌ای سیستم مدیریت وقفه (OMS^1)؛

l_b : طول شاخه b (بر حسب کیلومتر) قابل دریافت از پایگاه داده‌ای OMS ؛

P_m : نرخ وقوع خطا در ماه m ام سال قابل دریافت از پایگاه داده‌ای OMS ؛

P_d : نرخ وقوع خطا در روز d ام هفته قابل دریافت از پایگاه داده‌ای OMS ؛

P_h : نرخ وقوع خطا در ساعت h ام شبانه روز قابل دریافت از پایگاه داده‌ای OMS ؛

NC_{sic} : تعداد مشترکین تجاری با SIC متفاوت قابل دریافت از سیستم اطلاعات مشتری (CIS^2)؛

NI_{sic} : تعداد مشترکین صنعتی با SIC متفاوت قابل دریافت از CIS ؛

f_{res} : تابع هزینه خطا مربوط به بارهای مسکونی³ (بر حسب دلار/کیلووات) قابل دریافت از CIS ؛

f_{com} : تابع هزینه خطا مربوط به بارهای تجاری⁴ (بر حسب دلار/کیلووات) قابل دریافت از CIS ؛

f_{ind} : تابع هزینه خطا مربوط به بارهای صنعتی⁵ (بر حسب دلار/کیلووات) قابل دریافت از CIS ؛

¹Outage Management System

²Customer Information System

³Residential

⁴Commercial

⁵Industrial

f_{key} : تابع هزینه خطا مربوط به بارهای کلیدی^۱ (بر حسب دلار/کیلووات) قابل دریافت از CIS؛

γ_b : دوره‌ی زمانی وقوع خطا به علت وقوع خطا در شاخه b قابل محاسبه با استفاده از روش ارائه

شده در بخش ۴-۴؛

$RESL_{bmdh}$: میزان بار مسکونی از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در ساعت h ام از روز

d ام از ماه m ام (بر حسب کیلووات)، قابل محاسبه از رابطه (۴-۶)؛

$COML_{bmdh}^S$: میزان بار تجاری با SIC مشخص از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در

ساعت h ام از روز d ام از ماه m ام (بر حسب کیلووات)، قابل محاسبه از رابطه (۴-۷)؛

$INDL_{bmdh}^S$: میزان بار صنعتی با SIC مشخص از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در

ساعت h ام از روز d ام از ماه m ام (بر حسب کیلووات)، قابل محاسبه از رابطه (۴-۸)؛

$KEYL_{bmdh}$: میزان بار کلیدی از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در ساعت h ام از روز

d ام از ماه m ام (بر حسب کیلووات)، قابل محاسبه از رابطه (۴-۹)؛

$$RESL_{bmdh} = W_m \cdot WR_d \cdot WR_h \cdot RESL_b \quad (۴-۶)$$

$$COML_{bmdh}^S = W_m \cdot WC_d \cdot WC_h \cdot COML_b^S \quad (۴-۷)$$

$$INDL_{bmdh}^S = W_m \cdot WIK_d \cdot WIK_h \cdot INDL_b^S \quad (۴-۸)$$

$$KEYL_{bmdh} = W_m \cdot WIK_d \cdot WIK_h \cdot KEYL_b \quad (۴-۹)$$

که:

W_m : نرخ بارگذاری در ماه m مربوط به انواع مختلف مشترکین مسکونی، تجاری، صنعتی و کلیدی

قابل دریافت از CIS؛

WR_d : نرخ بارگذاری در روز d مربوط به مشترکین مسکونی، قابل دریافت از CIS؛

^۱ Key

WC

d : نرخ بارگذاری در روز d مربوط به مشترکین تجاری با SIC مختلف، قابل دریافت از CIS؛

WIK_d : نرخ بارگذاری در روز d مربوط به مشترکین کلیدی و صنعتی با SIC متفاوت، قابل

دریافت از CIS؛

WR_h : نرخ بارگذاری در ساعت h مربوط به مشترکین مسکونی، قابل دریافت از CIS؛

WC_h : نرخ بارگذاری در ساعت h مربوط به مشترکین تجاری با SIC مختلف، قابل دریافت از

CIS؛

WIK_h : نرخ بارگذاری در ساعت h مربوط به مشترکین کلیدی و صنعتی با SIC متفاوت، قابل

دریافت از CIS؛

$RESL_b$: میزان نامی بار مسکونی از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در ساعت h ام از

روز d ام از ماه m ام (بر حسب کیلووات)، قابل محاسبه از روش ارائه شده در بخش ۴-۴؛

$COML_b^S$: میزان نامی بار تجاری با SIC مشخص از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و

در ساعت h ام از روز d ام از ماه m ام (بر حسب کیلووات)، قابل محاسبه از روش ارائه شده در بخش ۴-۴؛

$INDL_b^S$: میزان نامی بار صنعتی با SIC مشخص از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در

ساعت h ام از روز d ام از ماه m ام (بر حسب کیلووات)، قابل محاسبه از روش ارائه شده در بخش ۴-۴؛

$KEYL_b$: میزان نامی بار کلیدی از دست رفته در اثر وقوع خطا در شاخه b و در ساعت h ام از روز

d ام از ماه m ام (بر حسب کیلووات)، قابل محاسبه از روش ارائه شده در بخش ۴-۴؛

در روش پیشنهادی، نقشه چگونگی اتصال بار به ترانسفورماتور از پایگاه داده‌ای OMS دریافت

شده است. مصرف انرژی هر مشتری از پایگاه داده‌ای CIS دریافت شده است. علاوه بر این الگوی بار روزانه

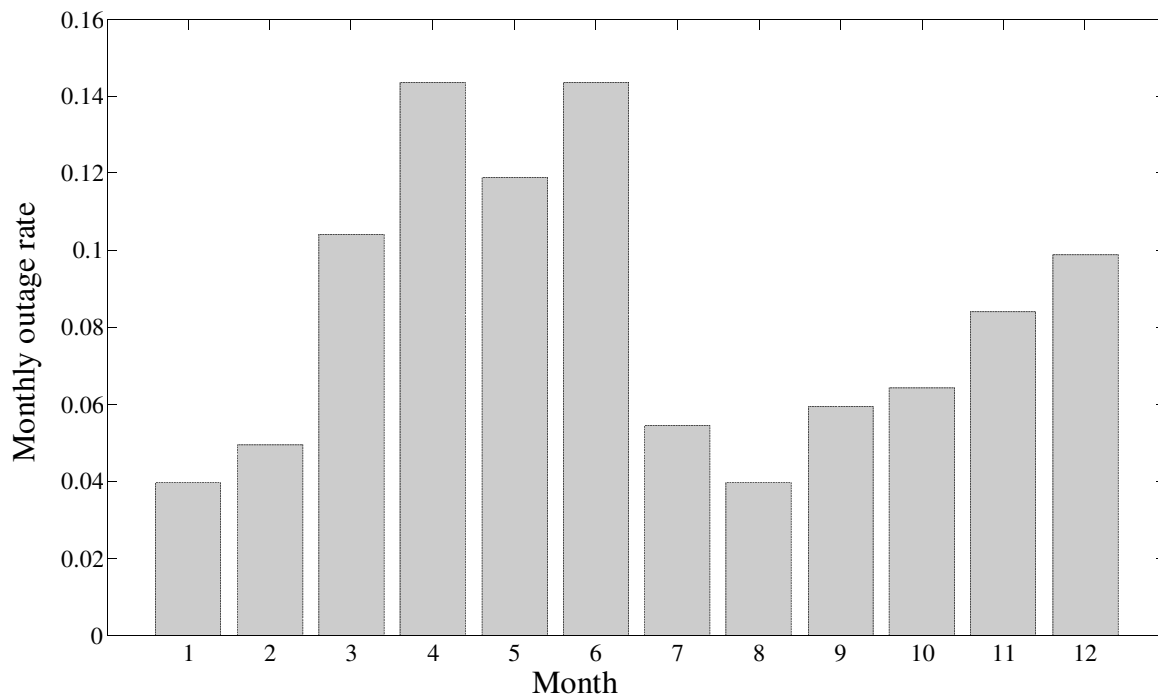
مربوط به انواع مختلف مشترکین با یک مطالعه نمونه برداری بار به دست آمده است. مشخه‌های توان

مرتبط با همه‌ی انواع مشتری جهت محاسبه بارگذاری ساعتی، روزانه و ماهانه برای هر منطقه سرویس

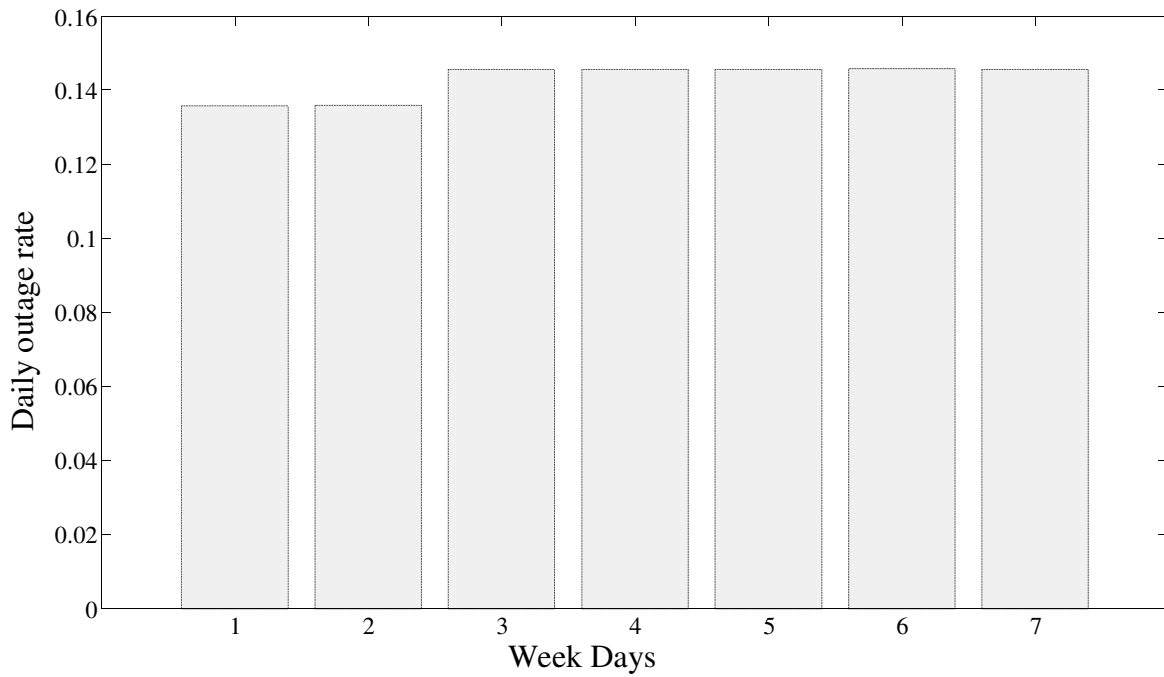
جمع آوری شده است [۶].

در این پروژه P_m ، P_d و P_h ، به ترتیب از شکل‌های (۲-۴)، (۳-۴) و (۴-۴) برای ۱۲ ماه سال، ۷ روز هفته و ۲۴ ساعت شبانه روز محاسبه شده‌اند [۳۹].

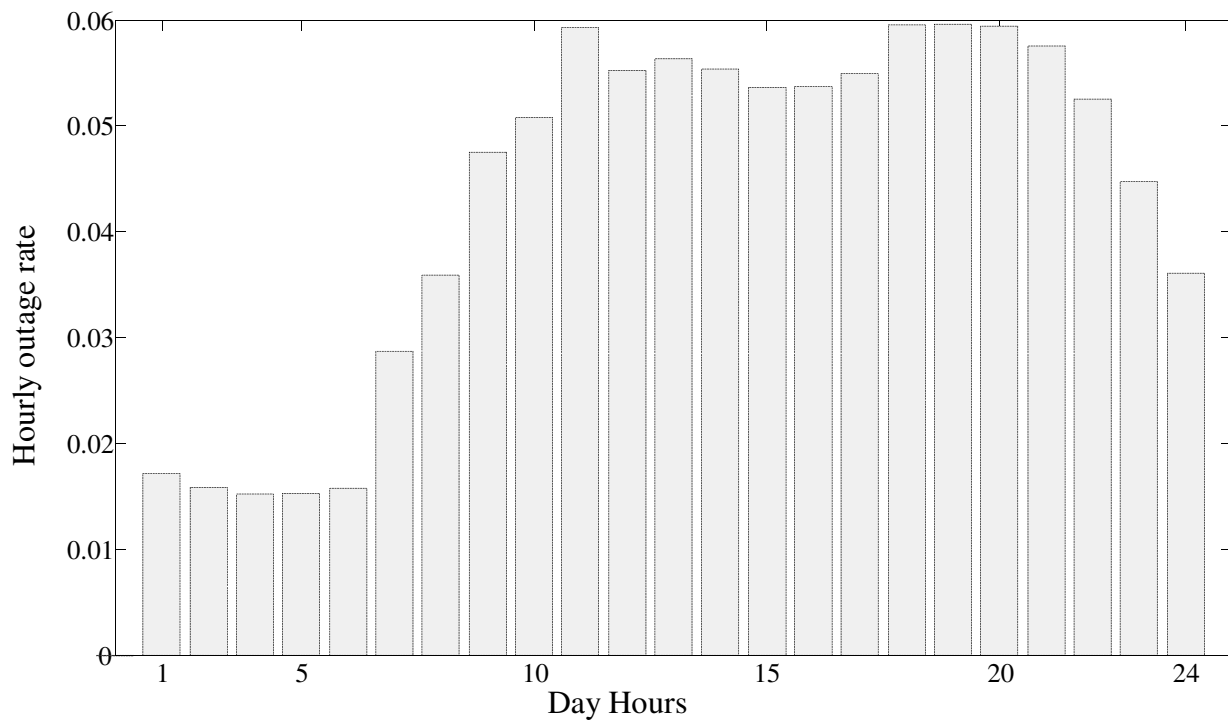
همچنین در این پروژه از شکل (۵-۴) جهت محاسبه ضریب W_m برای انواع مختلف بارهای مسکونی، تجاری، صنعتی و کلیدی استفاده شده است. علاوه بر این، ضرایب WR_d ، WC_d و WIK_d ، از مشخصه بار-روز هفته مربوط به بارهای مسکونی، تجاری، صنعتی و کلیدی، که به ترتیب در شکل‌های (۶-۴)، (۷-۴) و (۸-۴) آمده است، محاسبه می‌شوند. مشخصه بار-ساعت شبانه روز مربوط به بارهای مسکونی، تجاری، صنعتی و کلیدی، که در شکل (۹-۴) آمده است نیز جهت محاسبه ضرایب WR_h ، WC_h و WIK_h ، مورد استفاده قرار گرفته است.



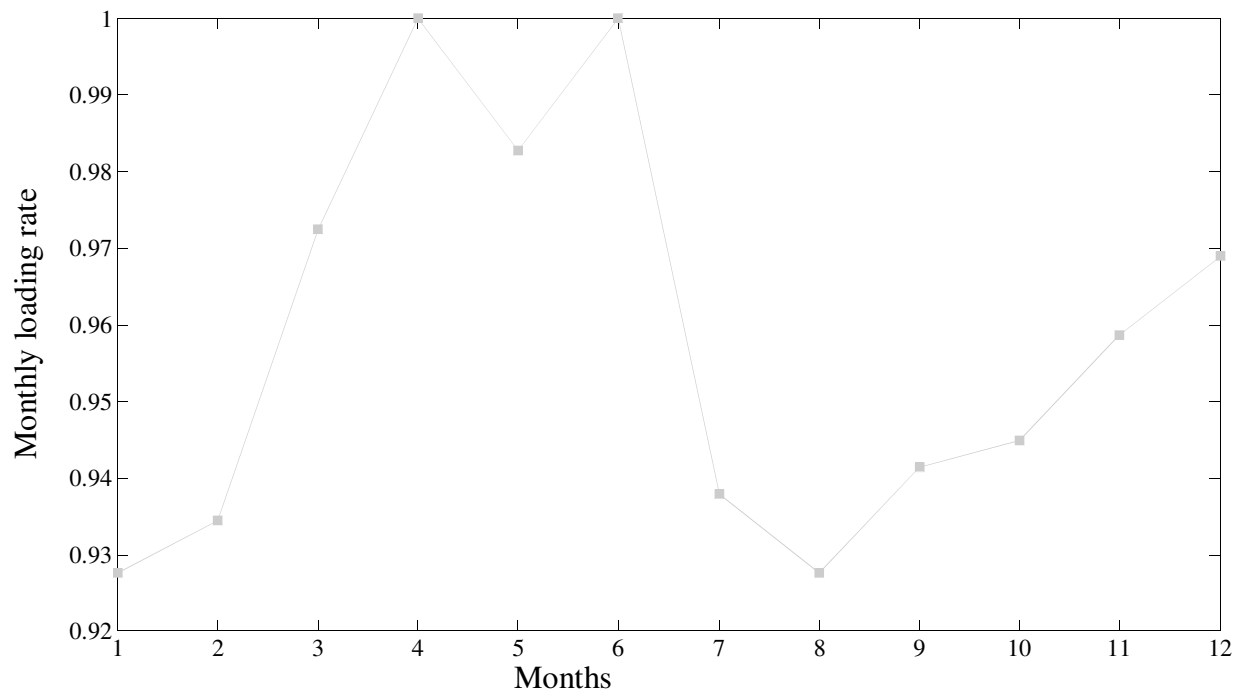
شکل (۲-۴): نرخ خطای ماهیانه در طول سال [۳۹]



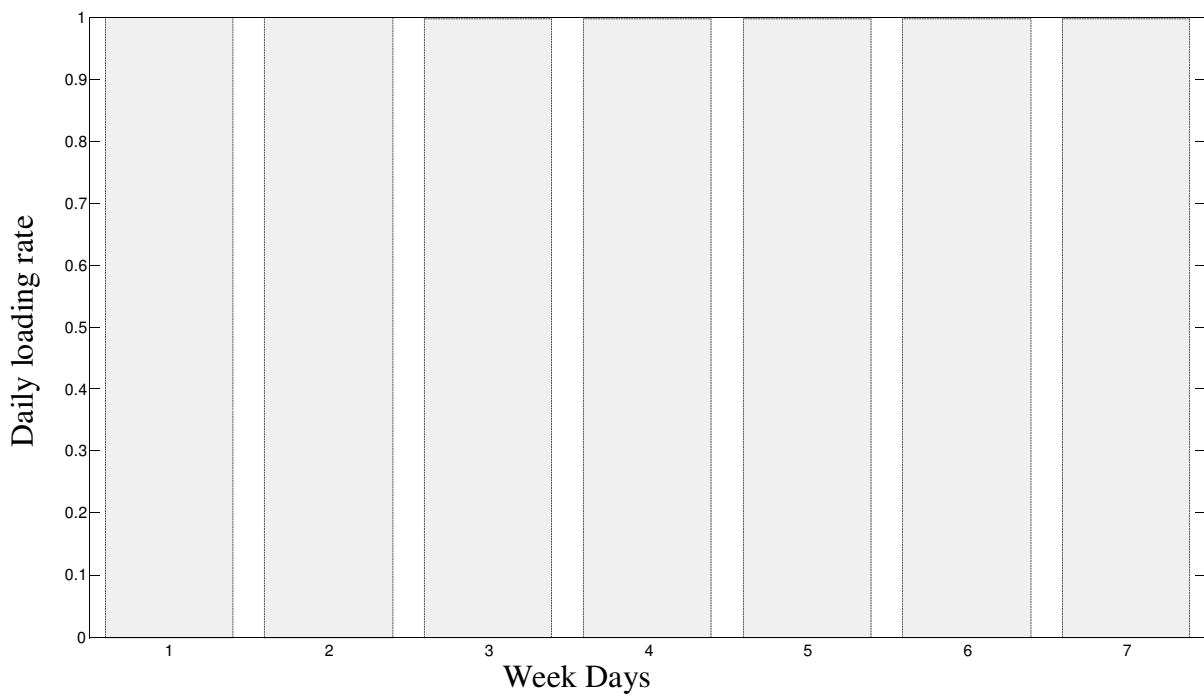
شکل (۴-۳): نرخ خطای روزانه در طول هفته [۳۹]



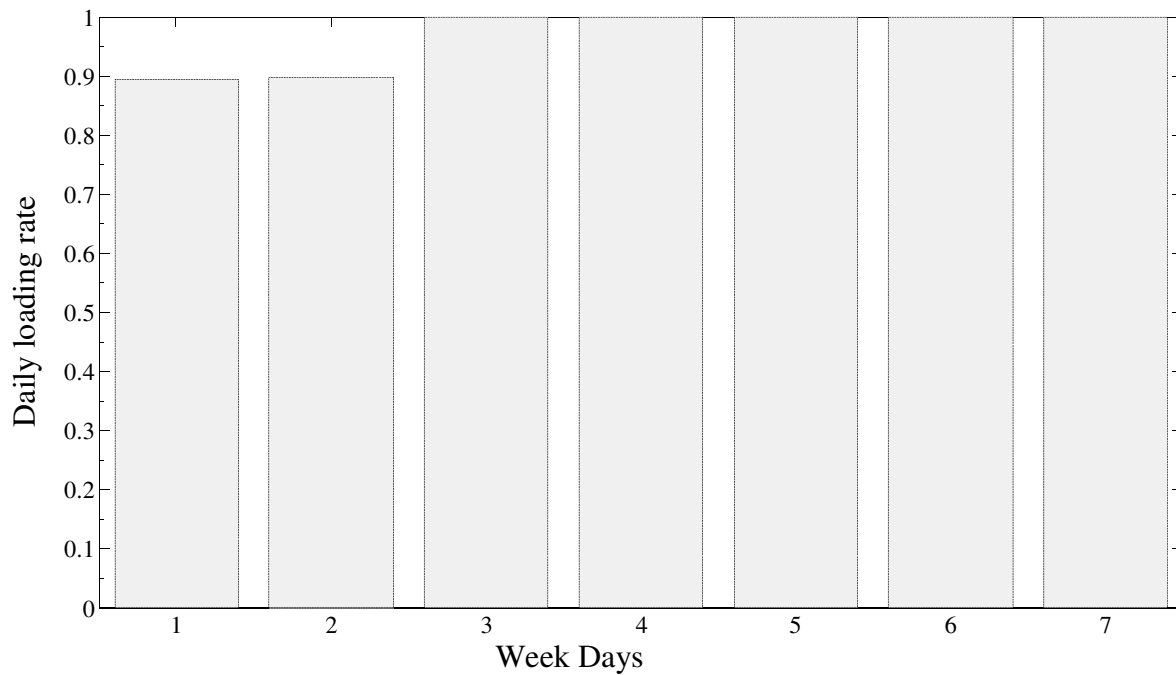
شکل (۴-۴): نرخ خطای ساعتی در طول شبانه روز [۳۹]



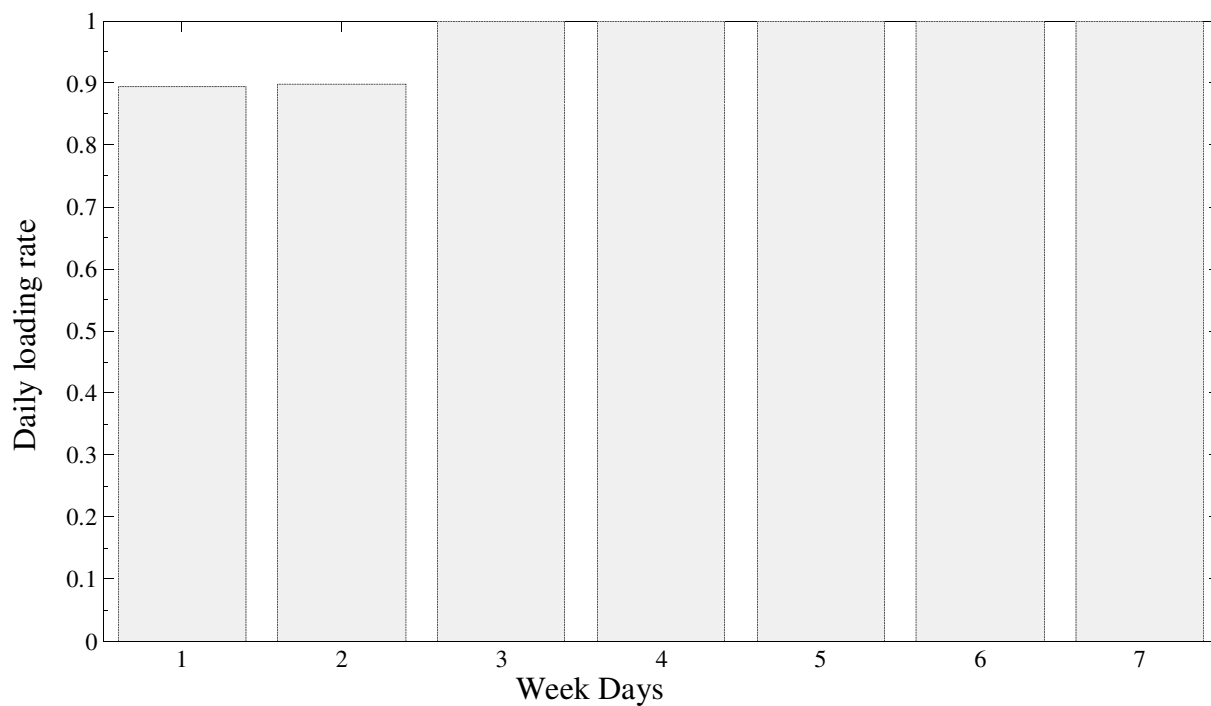
شکل (۴-۵): نرخ بارگذاری ماهیانه مربوط به انواع مختلف مشترکین مسکونی، تجاری، صنعتی و کلیدی [۳۹]



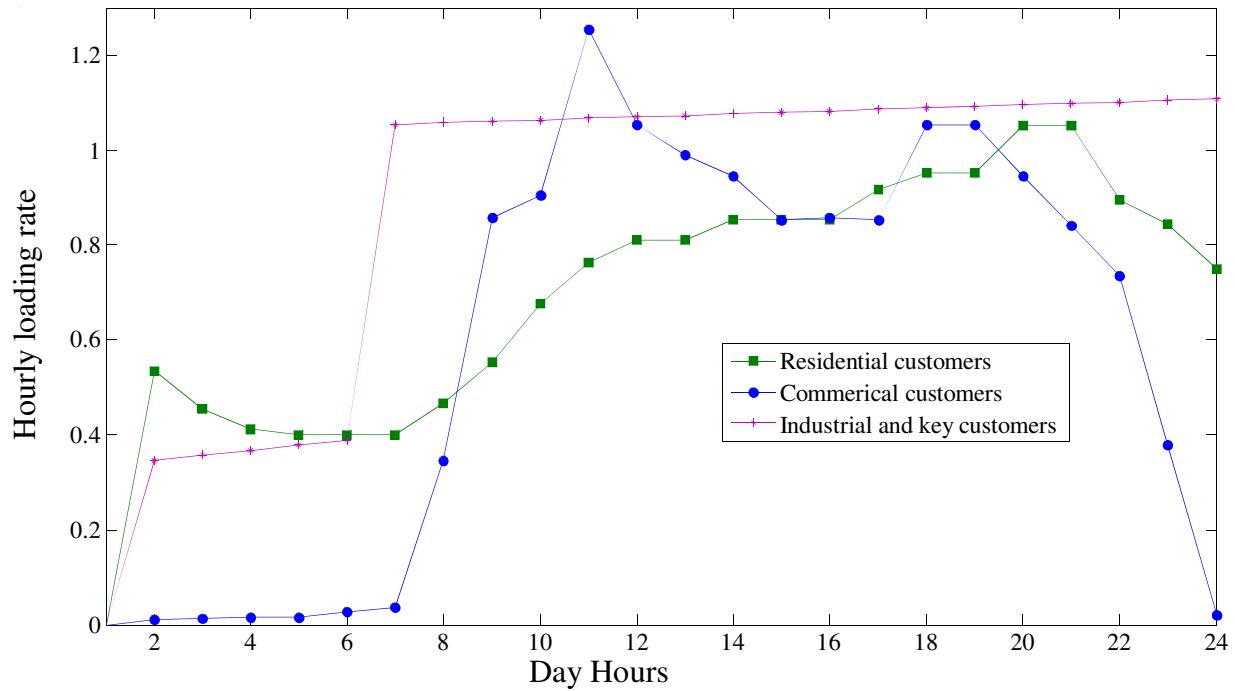
شکل (۴-۶): نرخ بارگذاری روزانه مربوط به مشترکین مسکونی [۳۹]



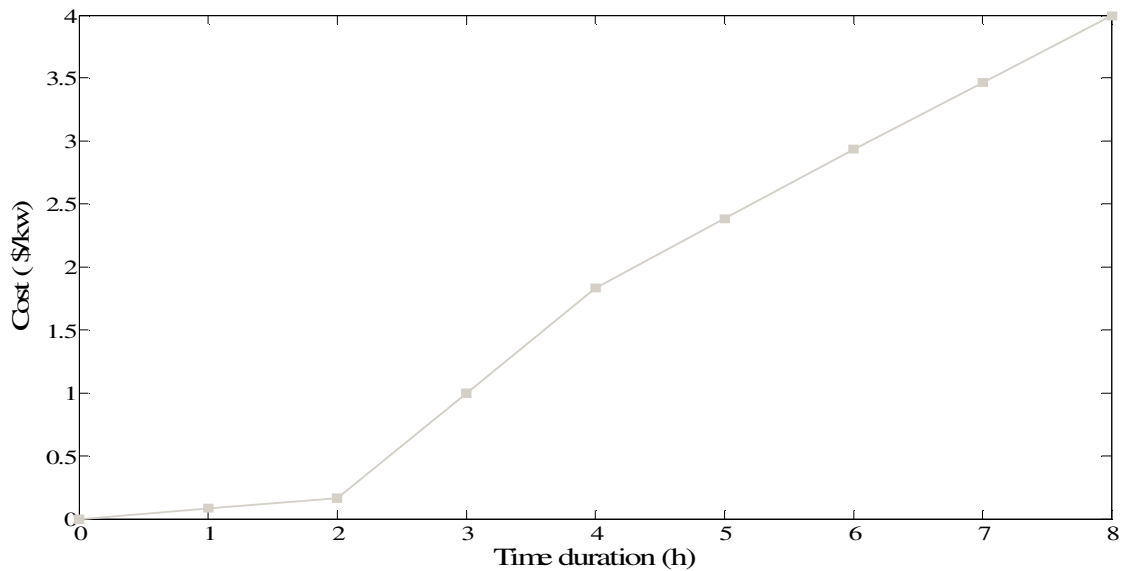
شکل (۷-۴): نرخ بارگذاری روزانه مربوط به انواع مختلف مشترکین تجاری [۳۹]



شکل (۸-۴): نرخ بارگذاری روزانه مربوط به انواع مختلف مشترکین صنعتی و کلیدی [۳۹]



شکل (۴-۹): نرخ بارگذاری ساعتی مربوط به انواع مختلف مشترکین مسکونی، تجاری، صنعتی و کلیدی [۳۹]
 در این پروژه از شکل (۴-۱۰) به عنوان تابع f_{res} برای بارهای مسکونی استفاده شده است.



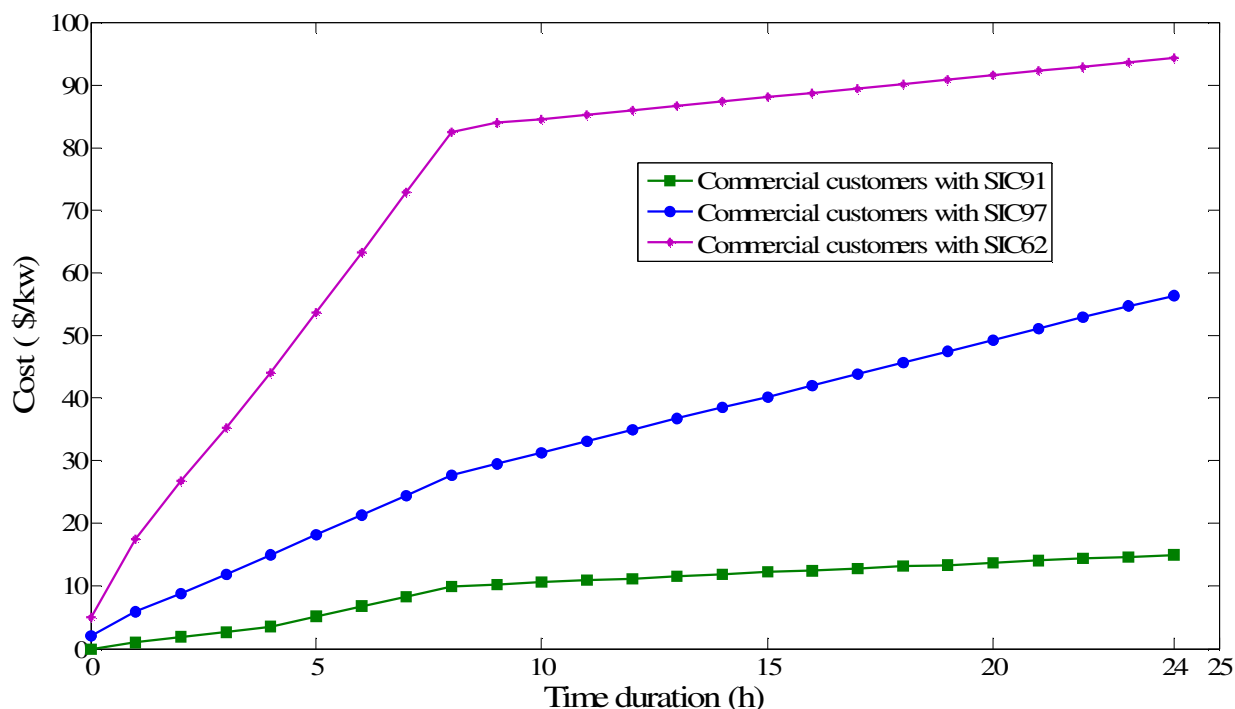
شکل (۴-۱۰): تابع هزینه مربوط به مشترکین مسکونی [۳۹]

همچنین از مشخصه‌های هزینه-زمان موجود در شکل‌های (۴-۱۱) و (۴-۱۲) به ترتیب، به عنوان توابع f_{com} و f_{ind} برای انواع مختلف بارهای تجاری و صنعتی با SIC مشخص استفاده شده است. همانگونه که از این شکل‌ها پیداست، هر دسته از بارهای تجاری و صنعتی بسته به اهمیتشان دارای نمودارهای هزینه-زمان مختص خود می‌باشند.

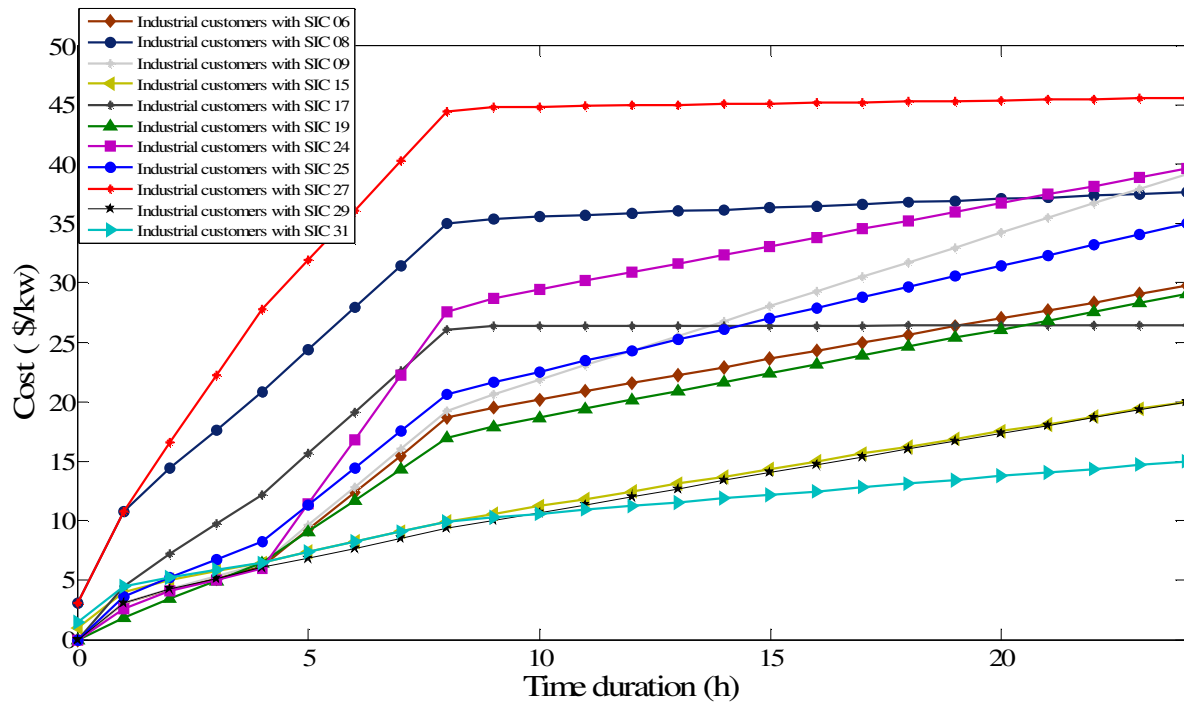
نهایتاً، مشخصه هزینه-زمان موجود در شکل (۴-۱۳) به عنوان تابع f_{key} در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته است [۳۹].

آنگونه که انتظار می‌رفت و از شکل (۴-۱۳) پیداست، هزینه خطا بر حسب زمان وقوع خطا برای مشترکین کلیدی نسبت به سایر انواع مشتری بسیار بالاست.

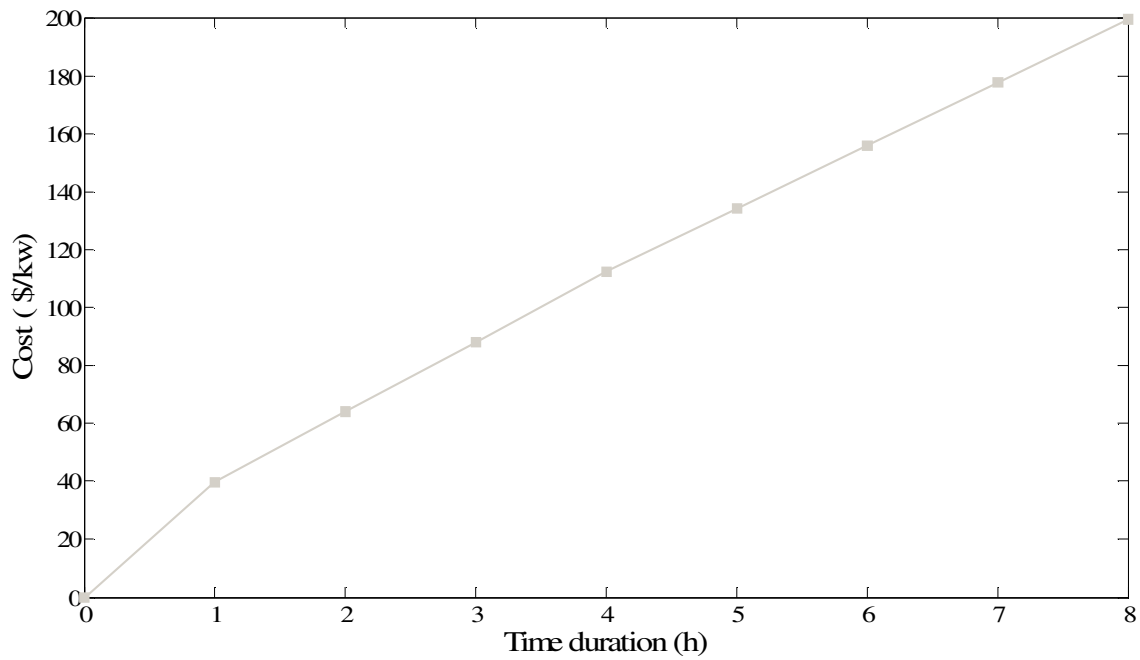
فلوچارت روش پیشنهادی جهت محاسبه تابع هدف در شکل (۴-۱۴) نمایش داده شده است.



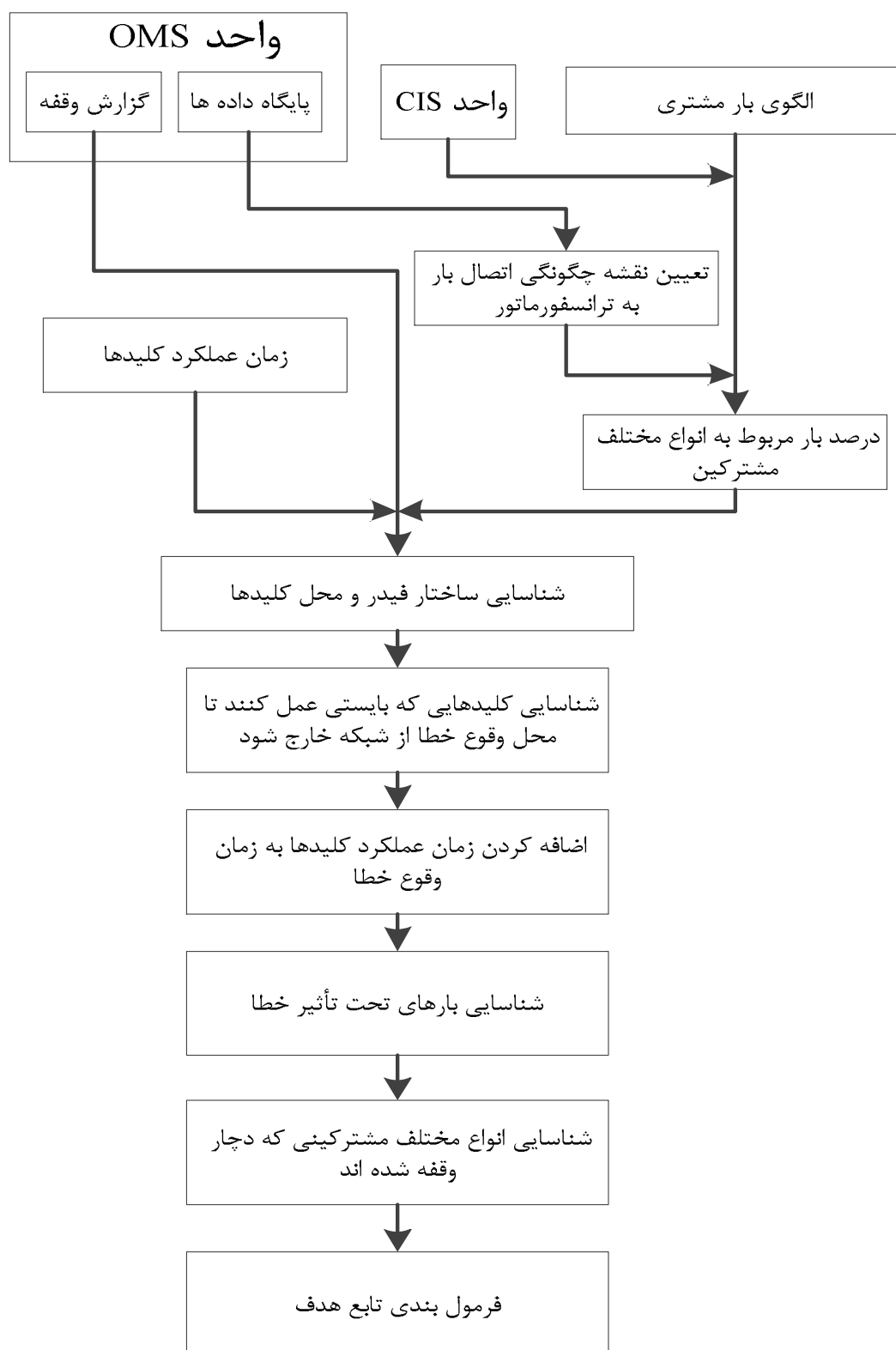
شکل (۴-۱۱): تابع هزینه مربوط به انواع مختلف مشترکین تجاری با SIC مشخص [۳۹]



شکل (۴-۱۲): تابع هزینه مربوط به انواع مختلف مشترکین صنعتی با SIC مشخص [۳۹]



شکل (۴-۱۳): تابع هزینه مربوط به مشترکین کلیدی [۳۹]



شکل (۴-۱۴): فلوچارت روش پیشنهادی جهت فرمول بندی تابع هدف

آنگونه که از این شکل پیداست، در ابتدا اطلاعات مربوط به خطا از واحد گزارش خطا OMS دریافت می‌شود. سپس اطلاعات بارها مانند الگوی بار مشترکین، نقشه چگونگی اتصال بار به ترانسفورماتور، نرخ بارگذاری انواع مختلف مشترکین از پایگاه داده‌ای واحد OMS و همچنین واحد CIS دریافت می‌شود. بلوک‌های بعدی در این شکل جهت محاسبه γ_b ، $RESL_b$ ، $COML_b^S$ ، $INDL_b^S$ و $KEYL_b$ ارائه شده‌اند که در بخش ۴-۴ به تفصیل شرح داده شده است. نهایتاً، بلوک انتهایی با توجه به پارامترهای محاسبه شده به فرمول بندی تابع هدف می‌پردازد.

۴-۴- تعیین باس بارهای در معرض خطا و دوره‌ی زمانی وقوع خطا

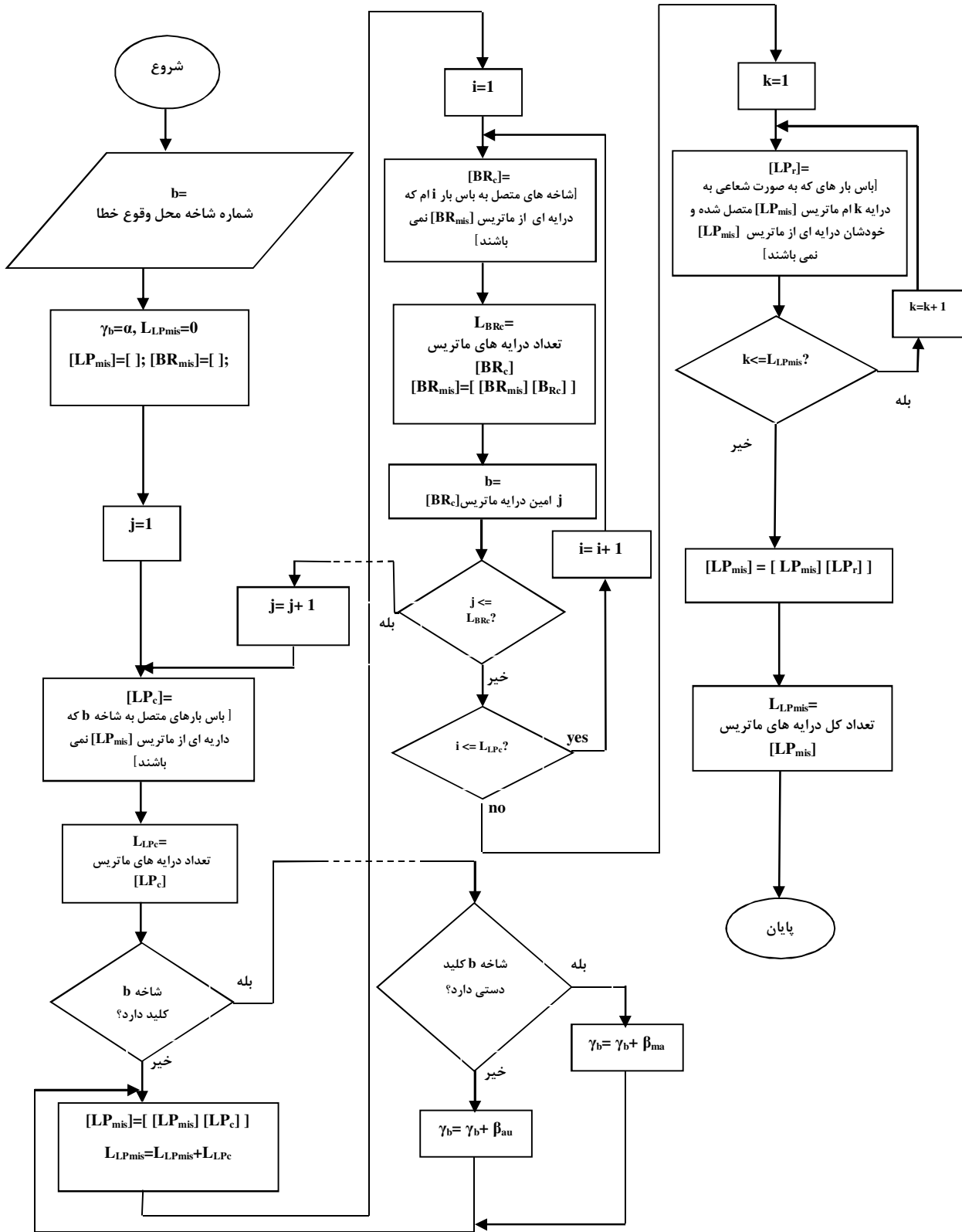
در این مقاله، جهت افزایش کارایی روش، کلیه خطاهای رخ داده در سیستم از نوع اتصال کوتاه فرض شده اند، لذا باید نقطه‌ی وقوع خطا شناسایی و از شبکه خارج شود. تعداد کلیدهایی که باید سویچ کنند، زمان مورد نیاز جهت رفع خطا و بارهای که در این مدت از سرویس خارج می‌شوند، پارامترهای مهمی هستند که جهت محاسبه CIC، باید محاسبه شوند. در این روش با توجه به اطلاعاتی که از واحد OMS دریافت می‌شود محل وقوع خطا شناسایی شده و سپس به صورت نردبانی باس بارها، شاخه‌ها و کلیدهای متصل به نقطه وقوع خطا را شناسایی کرده و از این طریق پارامترهای لازم را محاسبه می‌کند. این مراحل تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که نقطه وقوع خطا از شبکه خارج شود. به علت کلیت این روش نردبانی، می‌توان آن را برای انواع مختلف فیدر چندسو تغذیه بکار برد. روش دقیق تر محاسبه γ_b ، $RESL_b$ ، $COML_b^S$ ، $INDL_b^S$ و $KEYL_b$ در فلوچارت شکل (۴-۱۵) نمایش داده شده است.

در این شکل:

α : زمان لازم جهت شناسایی و جداسازی نقطه خطا قابل دریافت از واحد OMS؛

β_{ma} : زمان لازم جهت عملکرد کلید دستی قابل دریافت از واحد OMS؛

β_{au} : زمان لازم جهت عملکرد کلید اتوماتیک قابل دریافت از واحد OMS؛



شکل (۴-۱۵): فلوچارت روش پیشنهادی جهت محاسبه باس بارهای از دست رفته و زمان وقفه

[LP_{mis}]: ماتریس مورد استفاده جهت ذخیره باس بارهای از دست رفته؛

[BR_{mis}]: ماتریس مورد استفاده جهت ذخیره شاخه‌های از دست رفته؛

L_{LPmis}: تعداد عناصر ماتریس [LP_{mis}];

به عبارت دیگر عناصر ماتریس [LP_{mis}], انواع مختلف مشترکین تحت تأثیر خطا می‌باشند، و

RESL_b^S, COML_b^S, INDL_b^S و KEYL_b با استفاده از این ماتریس محاسبه می‌شوند.

آنگونه که از شکل (۴-۱۵) پیداست، پس از وقوع خطا و دریافت اطلاعات مربوط به محل وقوع

خطا، نزدیک ترین کلیدها به محل وقوع خطا که با عملکرد آن‌ها، خطا از شبکه ایزوله شده و کمترین بار

از رفته را داریم، شناسایی شده و زمان عملکرد آن‌ها به زمان وقوع خطا اضافه می‌شود. در پایان، زمان

محاسبه شده در متغیر γ_b ، ذخیره می‌شود. همچنین با توجه به کلیدهایی که باید عمل کنند، مشترکین

از دست رفته شناسایی شده و در ماتریس [LP_{mis}] ذخیره می‌شوند.

در این پروژه، مقدار متغیر α در کلیه حالت‌های خطا برابر ۲۴۰ دقیقه در نظر گرفته شده است.

همچنین مقدار متغیر β مربوط به انواع مختلف کلیدها در جدول (۴-۲) نمایش داده شده است [۶].

جدول (۴-۲): زمان عملکرد کلیدهای دستی و اتوماتیک [۶]

نوع	وضعیت	زمان عملکرد (دقیقه)
کلید دستی	بالا دستی	۳۰
	پایین دستی	۶۰
کلید اتوماتیک	بالا دستی	۰/۳۳
	پایین دستی	۵

۴-۵- جایابی بهینه کلیدها در سیستم‌های اتوماسیون توزیع با

الگوریتم ژنتیک

در این پروژه جهت بهینه‌سازی مسئله از الگوریتم ژنتیک (GA^1) استفاده شده است. پارامترهای

الگوریتم در جدول (۳-۴) نمایش داده شده‌اند.

جدول (۳-۴) : پارامترهای GA

اندازه جمعیت (N)	۱۰۰
ضریب همبری (P_c)	۰/۹
ضریب جهش (P_m)	۰/۰۵
تعداد مراحل تکاملی (IT_{max})	۱۰۰

در این جدول:

N : تعداد کروموزوم‌های موجود در هر جمعیت؛

P_c : ضریب همبری^۲؛

P_m : ضریب جهش^۳؛

IT_{max} : تعداد تکرار مسئله؛

شکل ۴-۱۶، فرم کلی یک کروموزوم مورد استفاده در الگوریتم را نمایش می‌دهد. هر کروموزوم به

تعداد کل شاخه‌ها دارای ژن می‌باشد، که هر ژن مربوط به یک شاخه می‌باشد. هر ژن از دو بیت تشکیل

شده است. جدول ۴-۴ توصیف متناظر با هر ژن را در ساختار باینری نمایش می‌دهد.

¹ Genetic Algorithm

² Cross Over

³ Mutation

Br. No. (1) bit 1	Br. No. (1) bit 2	Br. No. (1) bit 1	Br. No. (1) bit 2	...	Br. No. (b) bit 1	Br. No. (b) bit 2	...	Br. No. (N _b) bit 1	Br. No. (N _b) bit 2
----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----	----------------------	----------------------	-----	------------------------------------	------------------------------------

شکل (۴-۱۶): شکل کلی کروموزوم مورد استفاده در الگوریتم

جدول (۴-۴): توصیف متناظر با هر ژن در ساختار باینری

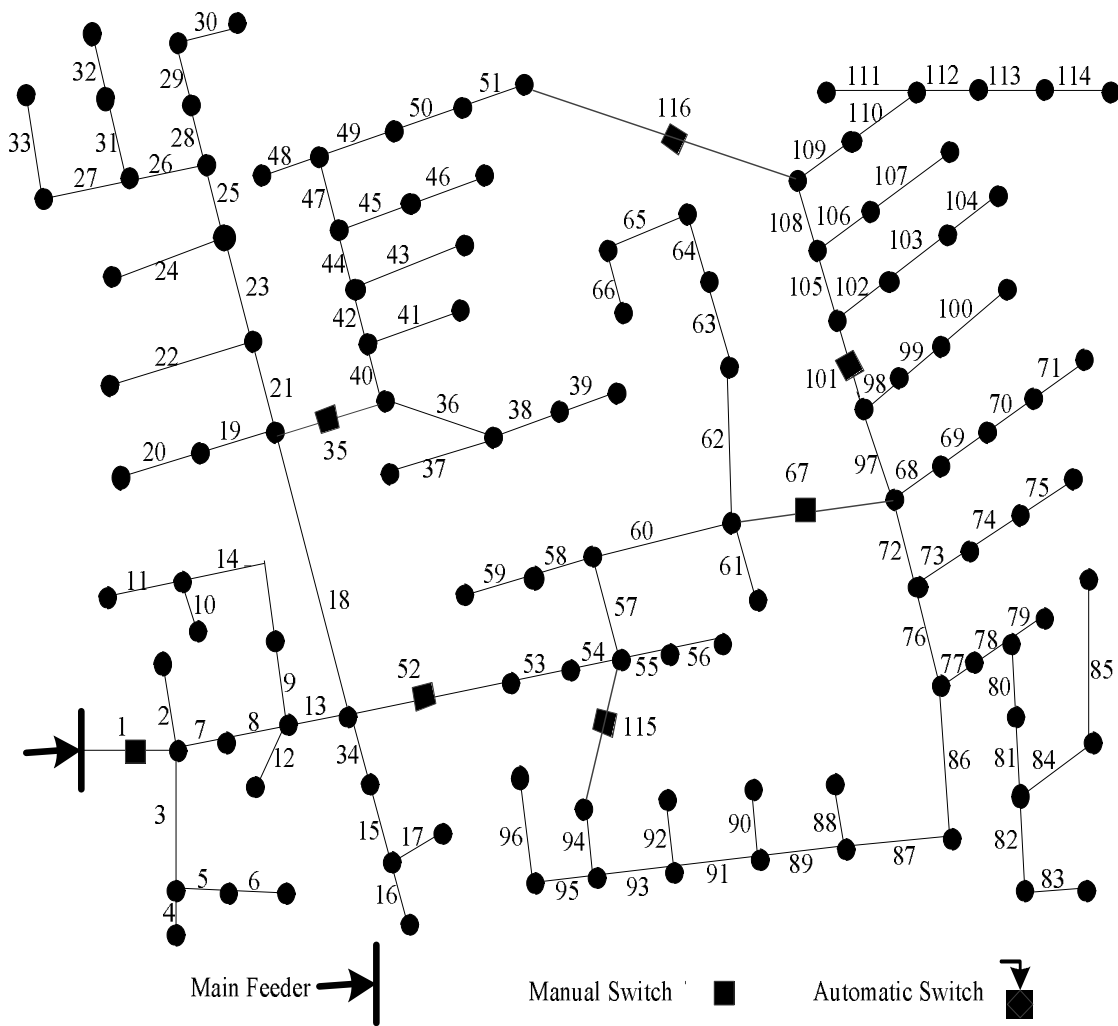
وضعیت شاخه از نظر کلیدها	بیت اول	بیت دوم
بدون کلید	۰	۰
درای کلید دستی	۰	۱
دارای کلید اتوماتیک	۱	۰

آنگونه که از این جدول پیداست، عدد صفر در حالت باینری جهت نمایش شاخه‌های بدون کلید استفاده می‌شود. در حالی که اعداد ۱ و ۲ در حالت باینری به ترتیب جهت نمایش شاخه‌های دارای کلید دستی و اتوماتیک استفاده می‌شوند. قابل ذکر است که از آنجا که وضعیت هر شاخه با دو بیت نمایش داده شده است، لذا در فرایند همبری و جهش باید دقت کرد که فرایند انجام شده روند تکاملی و همچنین تنوع الگوریتم را مختل نکند. برای این کار برنامه‌های نوشته شده باید بگونه‌ای تنظیم شود که به جای این که فرایندها میان بیت‌های مربوط به یک شاخه انجام شود، در مرز بین شاخه‌ها انجام شود.

۴-۶- شبيه سازى مسئله جايابى بهينه كليدها

۴-۶-۱- شبکه مورد بررسی

در این پروژه شبکه توزیع ۱۲۳ باس بار IEEE مورد بررسی قرار گرفته، که در شکل (۴-۱۷) نمایش داده شده است. کلیه اطلاعات مربوط به این شبکه در مرجع [۴۱]، موجود می‌باشد. همانگونه که از شکل (۴-۱۷) پیداست، شبکه مورد بررسی یک شبکه توزیع حلقوی می‌باشد که از یک نقطه به شبکه اصلی متصل شده است.



شکل (۴-۱۷): ساختار اولیه شبکه نمونه مورد بررسی [۴۱]

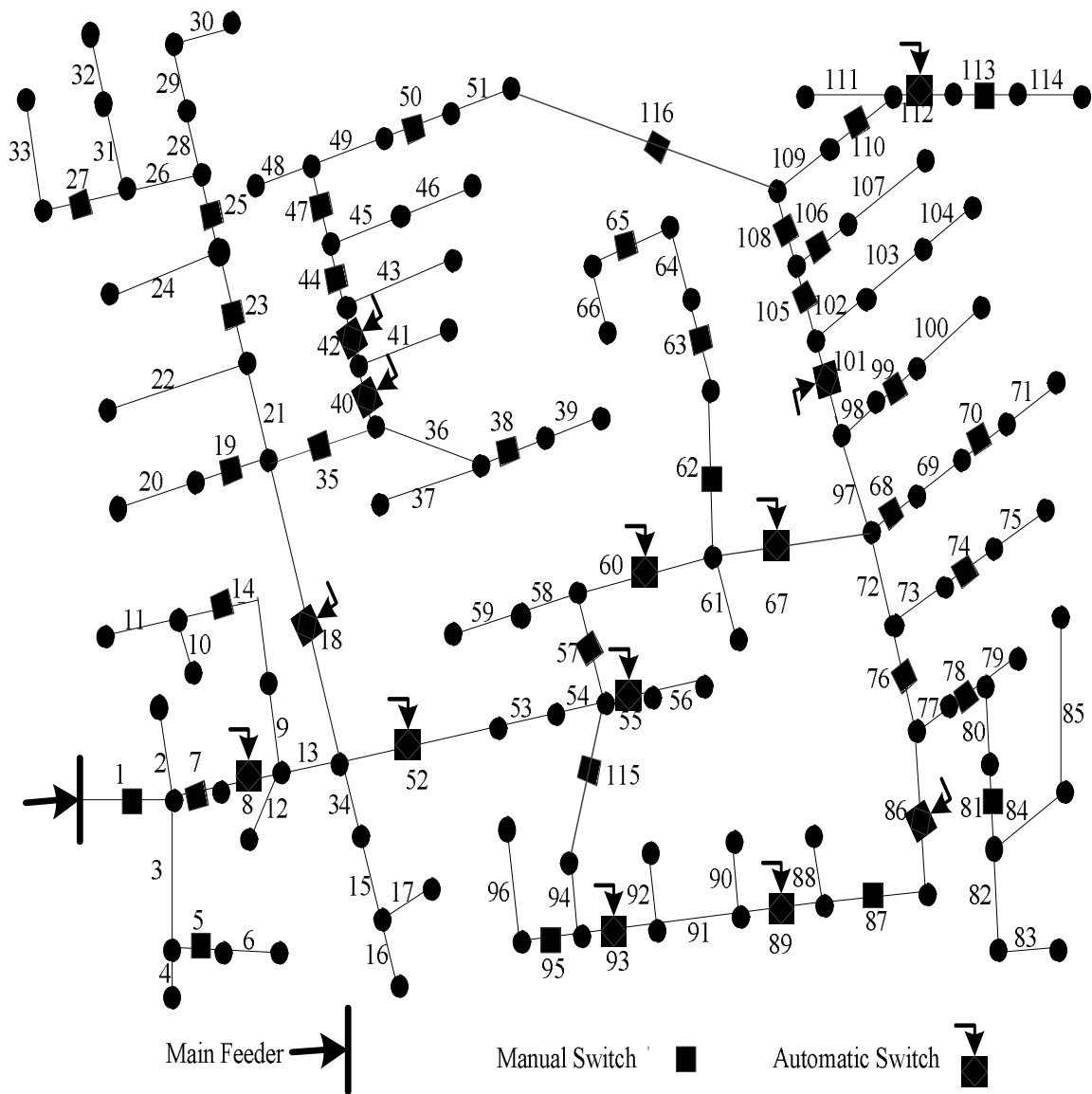
این شبکه ۸۵ نقطه بار را در سطح ولتاژ ۱۱ کیلو ولت و پایین تر تغذیه می‌کند. همچنین آنگونه که از شکل (۴-۱۷) مشخص است، این شبکه دارای ۱۱۶ شاخه با ۱ کلید پایین دستی و ۶ کلید بالا دستی می‌باشد، که کلیه آن‌ها به صورت دستی‌اند. میزان بار کلی شبکه برابر $76/663$ مگاوات می‌باشد. نمونه اطلاعات مربوط به نرخ خطا و طول شاخه‌های موجود در شبکه در پیوست ۱ آورده شده است. همچنین نمونه اطلاعات مربوط به انواع مختلف بار در باس بارهای شبکه در پیوست ۲ بیان شده است. پیوست ۳، نمونه اطلاعات مربوط به انواع مختلف بارهای تجاری با SIC مشخص را در باس بارهای شبکه نمایش می‌-

دهد. و نهایتاً، نمونه اطلاعات مربوط به انواع بارهای صنعتی با SIC مشخص در پیوست ۴ نمایش داده شده است.

۴-۶-۲- نتایج حاصل از الگوریتم

شکل (۴-۱۸)، ساختار پیشنهاد شده توسط الگوریتم را برای شبکه مورد بررسی نمایش می‌دهد. تعداد و محل قرارگیری کلیدهای دستی و اتوماتیک به خوبی در این شکل نمایش داده شده‌اند. همچنین وضعیت کلیدهای دستی و اتوماتیک، در ساختار اولیه و ساختار محاسبه شده توسط الگوریتم پیشنهادی پس از صد تکرار، در جدول (۴-۵) نمایش داده شده است.

هزینه کلی وقفه مشترکین، هزینه سرمایه‌گذاری کلیدها، مجموع این هزینه‌ها و همچنین مقدار تابع هدف برای دو ساختار اولیه و پیشنهادی در جدول (۴-۶) مقایسه شده‌اند. همچنین نمودار میله‌ای مربوط به مقایسه این هزینه‌ها، در ساختار اولیه و پیشنهادی در شکل (۴-۱۹) نمایش داده شده است. آنگونه که از جدول (۴-۶) و شکل (۴-۱۹) مشخص است، با اضافه کردن کلیدهای اتوماتیک و جایابی بهینه آن‌ها به همراه تجدید ساختار شبکه با جا به جایی کلیدهای دستی موجود در شبکه، مقدار هزینه وقفه مشترکین به میزان ۱۶۲۸۸۰۲ دلار در ساختار پیشنهادی نسبت به ساختار اولیه کاهش داشته است، که معادل ۳۰/۹٪ هزینه اولیه است. در عوض به علت استفاده از کلیدهای اتوماتیک و هزینه بالای خرید و نگهداری این کلیدها میزان هزینه سرمایه‌گذاری کلیدها به میزان ۴۵۲۷۴۸ دلار در ساختار پیشنهادی نسبت به ساختار اولیه افزایش یافته است، که آنگونه که از نمودار میله‌ای شکل (۴-۱۹) مشخص است، این افزایش هزینه در مقابل کاهش هزینه CIC زیاد مؤثر واقع نمی‌شود.



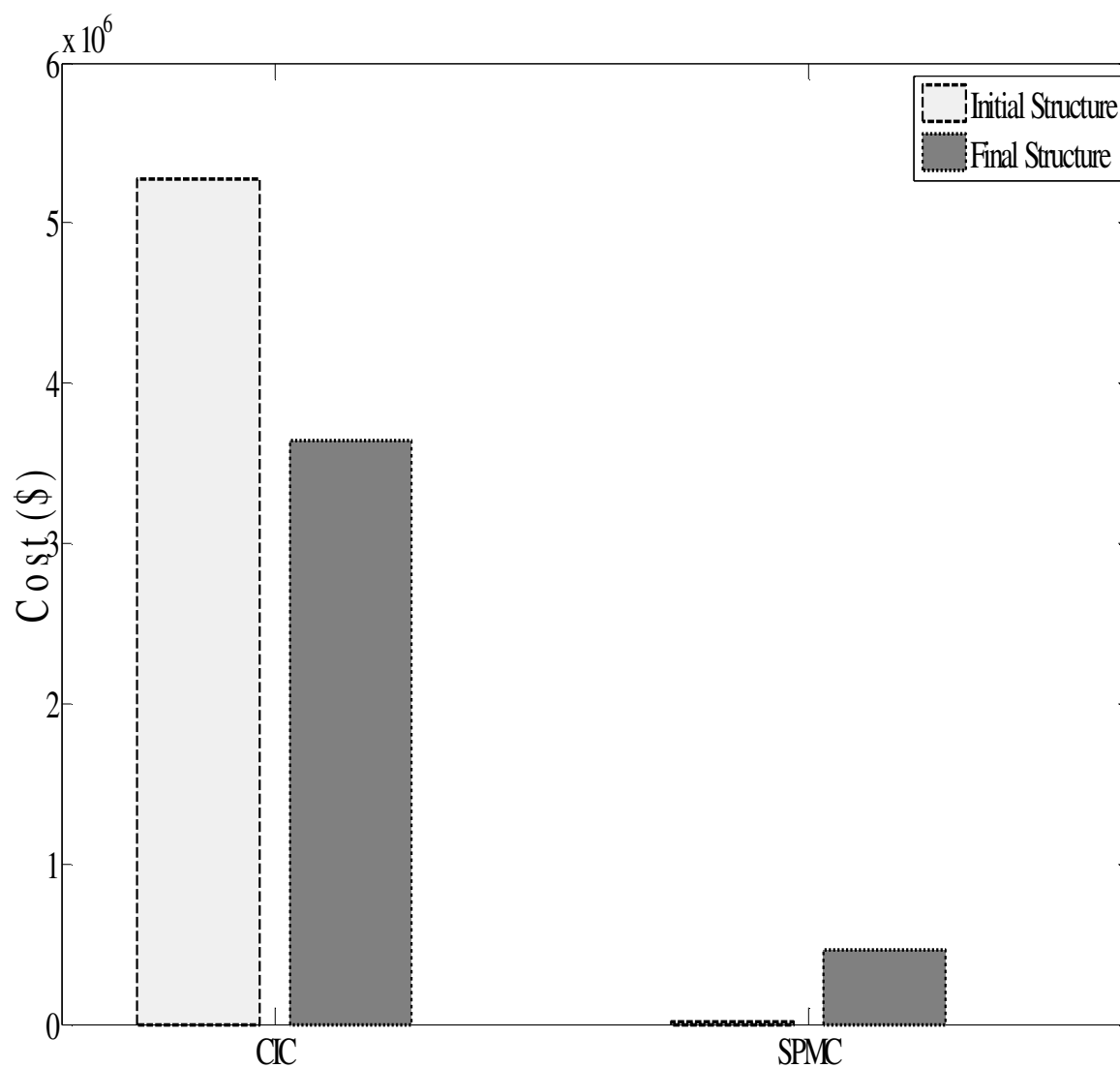
شکل (۴-۱۸): ساختار پیشنهادی برای شبکه نمونه مورد بررسی با استفاده از الگوریتم

جدول (۴-۵): مقایسه وضعیت کلیدها در ساختار اولیه و ساختار محاسبه شده از الگوریتم

ساختار	تعداد کلیدهای دستی	تعداد کلیدهای اتوماتیک	شاخه‌های دارای کلید دستی	شاخه‌های دارای کلید اتوماتیک
ساختار اولیه	۷	۰	۱، ۳۵، ۵۲، ۶۷، ۱۰۱ ۱۱۵ و ۱۱۶	-
ساختار پیشنهادی	۳۳	۱۳	۱، ۵، ۷، ۱۴، ۱۹، ۲۳، ۲۵، ۲۷، ۳۵، ۳۸، ۴۴، ۴۷، ۵۰، ۵۷، ۶۲، ۶۳، ۶۵، ۶۸، ۷۰، ۷۴، ۷۶، ۷۸، ۸۱، ۸۷، ۹۵، ۹۹، ۱۰۵، ۱۰۶، ۱۰۸، ۱۱۰، ۱۱۳، ۱۱۵ و ۱۱۶	۸، ۱۸، ۴۰، ۴۲، ۵۲، ۵۵، ۶۰، ۶۷، ۸۶، ۸۹، ۹۳ و ۱۰۱ و ۱۱۲

جدول (۴-۶): مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم در ساختار اولیه و ساختار پیشنهادی

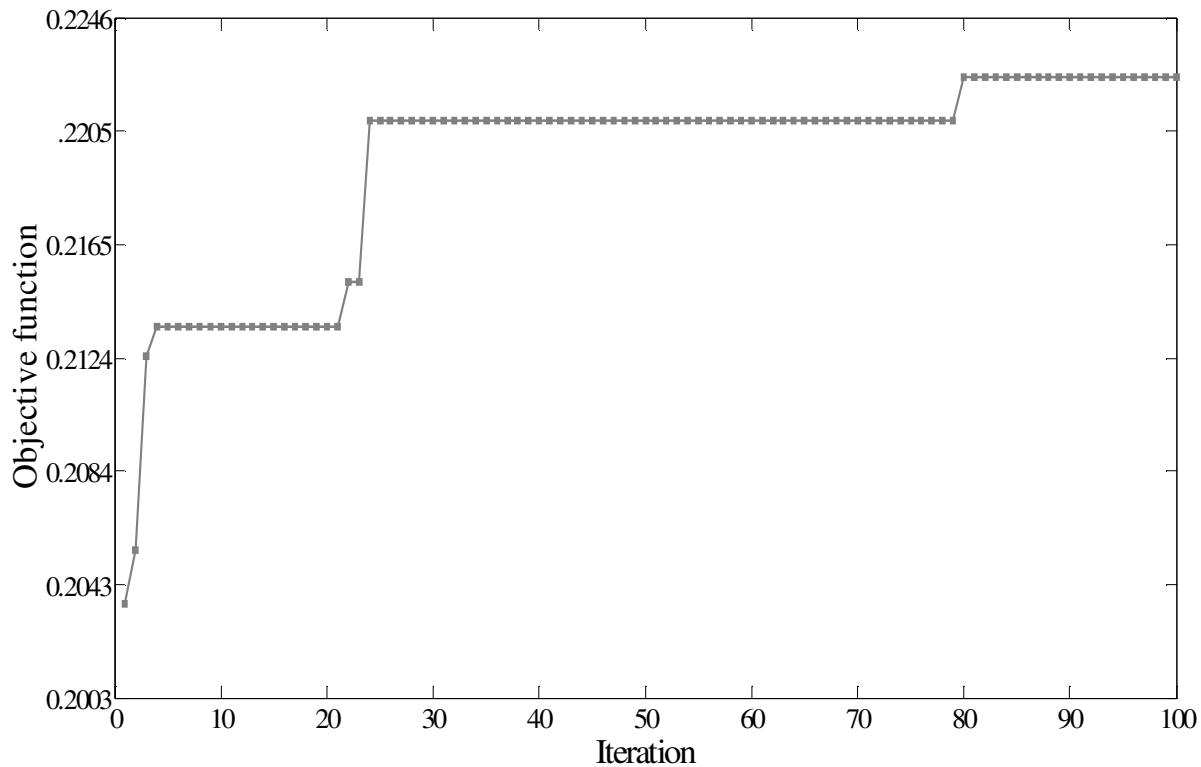
ساختار	تابع هدف μ	CIC (\$)	SPMC (\$)	SIIC (\$)
ساختار اولیه	۰	۵۲۷۱۰۲۶	۱۲۲۳۴	۵۲۸۳۲۶۰
ساختار پیشنهادی	۰/۲۲۲۶	۳۶۴۲۲۲۴	۴۶۴۹۸۲	۴۱۰۷۲۰۶



شکل (۴-۱۹) : نمودار میله‌ای مقایسه مجموع هزینه وقفه مشترکین و هزینه سرمایه‌گذاری کلیدها در ساختار اولیه و پیشنهادی

به گونه‌ای که مجموع کل هزینه‌ها به میزان ۱۱۷۶۰۵۴ دلار کاهش داشته است، که معادل ۲۲/۲۶ درصد هزینه اولیه می‌باشد.

شکل (۴-۲۰) حداکثر شایستگی کل نسل‌ها را، در طول ۱۰۰ تکرار الگوریتم ژنتیک نمایش می‌دهد. آن گونه که از این شکل پیداست الگوریتم در تکرار هشتماد همگرا می‌شود.



شکل (۴-۲۰): نمودار حداکثر شایستگی بر حسب تعداد تکرار الگوریتم

۴-۷- تحلیل نتایج

امروزه اتوماسیون سیستم‌های توزیع جهت بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم، پیشرفت روزافزونی یافته است. با بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم، هزینه وقفه مشترکین کاهش یافته و در نتیجه سبب صرفه‌جویی قابل توجه در مجموع هزینه‌های نگهداری شبکه توزیع خواهد شد. در این فصل روابطی جهت محاسبه تابع هدف جهت بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم در هر ساختار شبکه ارائه شده است و از روش الگوریتم ژنتیک نیز جهت بهینه‌سازی مسئله استفاده شده است. می‌توان نتیجه گرفت که با صرف هزینه ناچیز جهت تجدید ساختار شبکه اولیه، می‌توان به یک صرفه‌جویی هزینه کاملاً چشمگیر دست یافت. قابل ذکر است که روش ارائه شده در این مقاله می‌تواند به عنوان روشی مناسب در طراحی شبکه‌های توزیع جدید در اختیار مهندسين طراح قرار گیرد. آن‌ها قادر خواهند بود که

تعداد کلیدهای دستی و اتوماتیک لازم جهت اتوماسیون شبکه را تعیین نمایند و به جایابی مناسب آنها در نقشه پیش رو مبادرت ورزند.

فصل پنجم :

ارائه روش پیشنهادی در جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید

پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع با استفاده

از ترکیب فازی توابع هدف چند گانه

۵-۱- مقدمه

فراهم کردن سطح بالاتر قابلیت اطمینان منجر به افزایش هزینه‌های مالی و عملکردی خواهد شد. دو جنبه انرژی الکتریکی کم هزینه و دست یافتن به سطوح بالای قابلیت اطمینان اغلب در تضاد با یکدیگر قرار دارند. بنابراین فراهم کردن انرژی الکتریکی برای مشترکین با یک تعادلی بین عوامل مؤثر، از قبیل هزینه، پشتیبانی تولید و قابلیت اطمینان با یافتن بهترین جواب تابع شایستگی مسئله امکان پذیر است [۶، ۲۱-۲۲]. استفاده از عملگر خودکار شناسایی، جداسازی و ترمیم خط^۱، می‌تواند به طور مؤثری توابع سنتی SCADA و همچنین زمان وقوع خطا سرویس را کاهش دهد [۶ و ۲۷]. در ترمیم خطا هدف اصلی بازگردان حداکثر بارهای ممکن و حداقل کردن بارهای خارج از سرویس می‌باشد. جهت کاهش زمان وقفه، کلیدهای اتوماتیک قابل کنترل از راه دور مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۸].

از سوی دیگر، به علت تمایل فزاینده و همچنین نیاز به استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر به همراه ملاحظات محیطی، بازار انرژی اضطراری و انگیزه‌های اقتصادی دولت برای انرژی تجدید پذیر در اکثر کشورها، نفوذ رو به رشد واحدهای تولید پراکنده (DG^2)، به خصوص در شبکه‌های توزیع قابل انتظار می‌باشد [۲۹]. شرایط ولتاژ و گردش توان در شبکه‌های قدرت تحت تأثیر DGهای مورد استفاده در شبکه می‌باشد. بسته به شرایط عملکردی سیستم‌های قدرت و مشخصه‌های DG، این تأثیرات می‌توانند مثبت و یا منفی باشند. تأثیرات مثبت، پشتیبانی ولتاژ، کاهش تلفات، آزاد کردن ظرفیت توزیع و انتقال و بهبود کیفیت توان شبکه را در بر می‌گیرد. فواید حضور DG در شبکه‌های قدرت تنها به موارد فوق که DG می‌تواند برای مشترکین تجاری و مسکونی فراهم کند، محدود نمی‌شود بلکه، علاوه بر آن‌ها قابلیت اطمینان اضافی است که می‌تواند برای کل بازار برق ارائه کند [۲۲ و ۳۰]. این بدان معنی است که واحدهای DG می‌توانند برای شرکت‌های ارائه دهنده سرویس و همچنین مشترکین، امکان بهبود پیوستگی تأمین بار را

¹ Fault Detection Isolation and Restoration

² Distributed Generator

فصل پنجم - ارائه روش پیشنهادی در جایی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع با استفاده از ترکیب فازی توابع هدف چندگانه

پس از وقوع خطا در یک خط فیدر اصلی و یا در یک ایستگاه اصلی فراهم کنند. از جنبه منفی قضیه، زمانی که یک خطا در شبکه توزیع اتفاق می‌افتد و واحدهای DG، با تولید اضافی روی فیدر، بخشی از بار از دست رفته را تغذیه می‌کنند ممکن است که پدیده جزیره شدن (Islanding) رخ دهد. به هر حال، به منظور ایجاد جزیره‌های خود تغذیه در شبکه پس از وقوع خطا، هماهنگی قابل ملاحظه‌ای میان واحدهای DG و تجهیزات حفاظتی شبکه مورد نیاز می‌باشد. نهایتاً، یکپارچه سازی DGها از هر دو جنبه قابلیت اطمینان و امنیت سیستم موفقیت آمیز خواهد بود، اگر یک تحلیل گسترده طراحی سیستم صورت گیرد. باید توجه شود که کلیدهای خط یک نقش اساسی را در بهبود قابلیت اطمینان سیستم بازی می‌کنند [۳۱-۳۲].

با توجه به مطالب ذکر شده، انتخاب تعداد و محل مناسب کلیدهای دستی و اتوماتیک خط و همچنین اندازه و محل مناسب واحدهای DG، فاکتورهای مهم در طراحی شبکه‌های توزیع می‌باشند. آنگونه که از بخش ۲-۴ مشخص است، در اکثر مراجع مرتبط جایی کلیدها و منابع DG به صورت جداگانه بهینه شده است. این بدان معنی است که، جایی کلیدهای زمانی که واحدهای DG محل مشخصی در شبکه دارند انجام گرفته است و یا اینکه، جایی واحدهای DG زمانی که کلیدها محل مشخصی در شبکه دارند، صورت گرفته است.

مسئله مورد نظر و فرمول بندی آن در بخش ۵-۲ آورده شده است. بخش ۵-۳ به تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع در حضور واحدهای DG اختصاص دارد. در بخش ۵-۴ شبیه سازی مسئله با استفاده از روش SFLA برای شبکه نمونه مورد بررسی انجام شده است. نتایج حاصل از شبیه سازی در بخش ۵-۵ نمایش داده شده است. در بخش ۵-۶ الگوریتم ژنتیک به مسئله اعمال شده است و نتایج حاصل و روند همگرایی دو الگوریتم در این بخش با هم مقایسه شده‌اند. نهایتاً تحلیل نتایج حاصل در بخش ۵-۷ صورت گرفته است.

۵-۲- طرح مسئله

با توجه به آنچه در بخش ۵-۱ ذکر شده است، بهبود قابلیت اطمینان سیستم یک تابع هدف مشترک در هر دو جایابی بهینه کلیدهای خط و منابع DG می‌باشد. از این رو در این پروژه، روشی بر مبنای فرمول بندی چند هدفه جهت تعیین همزمان تعداد و محل کلیدهای دستی و اتوماتیک و همچنین اندازه و محل واحدهای DG در سیستم‌های DAS ارائه شده است. چهار تابع هدف در روش پیشنهادی وجود دارد که باید همزمان بهینه شوند. تابع هدف اصلی بهبود قابلیت اطمینان سیستم با کاهش شاخص CIC^1 مشترکین می‌باشد. تابع هدف دوم کاهش هزینه‌های خرید و نگهداری کلیدهای (SPMC) خط را شامل می‌شود. تابع هدف سوم و چهارم در مسئله جایابی واحدهای DG، به ترتیب کاهش تلفات توان اکتیو^۳ و بهبود پروفیل ولتاژ^۴ شبکه می‌باشد. این روش همچنین ملاحظات عملی از قبیل اعمال محدودیت‌هایی روی واحدهای DG و بازآرایی ریکلوزرهای متصل به آن‌ها در طول ترمیم سرویس بعد از وقوع خطا را شامل می‌شود. یک الگوریتم اصلاح شده ترکیبی جهش قورباغه^۵ (SFLA) در روش پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته است.

جهت اثبات کارایی الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم ژنتیک (GA)^۶ نیز به مسئله اعمال شده است و سپس نتایج حاصل از دو الگوریتم با هم مقایسه شده‌اند. در بخش شبیه سازی یک شبکه توزیع ۹۵ شینه جهت بررسی اعتبار روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است.

۵-۲-۱- فرمول بندی مسئله

یک مدل برنامه نویسی ریاضی شامل دو تابع هدف مغایر و دو تابع هدف موافق جهت فورمل

¹ Customer Interruption Cost

² Switches Purchasing and Maintenance Cost

³ Active Power Losses

⁴ Voltage Profile

⁵ Shuffled Frog Leaping Algorithm

⁶ Genetic Algorithm

بندی مسئله جایابی کلیدها و واحدهای DG در روش پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته است. توابع هدف مغایر بهبود قابلیت اطمینان سیستم و کمینه کردن هزینه کلیدهای خط می‌باشند. توابع هدف موافق کمینه کردن تلفات توان اکتیو و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه می‌باشند. شاخص‌های مختلف قابلیت اطمینان سیستم می‌تواند جهت فرمول بندی اولیت تابع هدف مسئله مورد استفاده قرار گیرد. در این پروژه شاخص CIC جهت برآورد قابلیت اطمینان سیستم انتخاب شده است. شاخص SPMC جهت فرمول بندی تابع هدف دوم مورد استفاده قرار گرفته است. تابع هدف سوم با استفاده از تلفات کلی توان اکتیو (P_{loss}) فرمول بندی شده است، که برابر مجموع تلفات توان اکتیو کلیه شاخه‌های شبکه می‌باشد. شاخص میانگین انحراف ولتاژ باس بارهای شبکه از ولتاژ نامی فیدر¹ (dv_m) جهت فرمول بندی آخرین تابع هدف مسئله انتخاب شده است. در این مسئله فرض شده است که مجموع ظرفیت واحدهای DG (P_{dg})، که می‌توانند به شبکه توزیع متصل شوند محدود است. ولی باید توجه شود که اندازه واحدهای DG متصل به یک باس بار می‌تواند از ۰ تا P_{dg} متغیر باشد.

۵-۲-۲- ترکیب فازی توابع هدف چندگانه

چندین تابع هدف در مسائل بهینه‌سازی وجود دارد که به علت مغایرت ذاتی بین این توابع، نمی‌توانند به صورت همزمان بهینه شوند. این موضوع به مفهوم مسئله بهینه‌سازی چند هدفه (MOP^2) منجر می‌شود [۴۲]. در این مسئله، یک روند بهینه‌سازی فازی برای اداره کردن توابع هدف چندگانه مورد استفاده قرار گرفته است. اجزای توابع هدف با استفاده از توابع عضویت مناسب، به یک حوزه‌ی فازی انتقال داده شده‌اند. توابع عضویت درجه رضایت مندی توابع هدف را نمایش می‌دهند. مقدار بالاتر تابع عضویت به مفهوم رضایت مندی بیشتر از جواب مسئله می‌باشد. شکل تابع عضویت به طبیعت تابع هدف مربوطه بستگی دارد و توسط اپراتور انتخاب می‌شود [۴۳]. پس از انتقال توابع هدف توصیف شده به

¹ Nominal

² Multi-objective Optimization Problem

فصل پنجم - ارائه روش پیشنهادی در جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع با استفاده از ترکیب فازی توابع هدف چندگانه

حوزه‌ی فازی، تابع هدف کلی که رضایت مندی سراسری طرح را نشان می‌دهد از رابطه‌ی (۱-۵) محاسبه می‌شود.

$$\text{Max } \mu = k_1 \times \mu_{CIC} + k_2 \times \mu_{SMPC} + k_3 \times \mu_{Ploss} + k_4 \times \mu_{dv} \quad (1-5)$$

که:

μ : تابع هدف کلی؛

μ_{CIC} : مقدار تابع عضویت مربوط به کاهش شاخص CIC مشترکین؛

μ_{SPMC} : مقدار تابع عضویت مربوط به کاهش هزینه SPMC کلیدها؛

μ_{Ploss} : مقدار تابع عضویت مربوط به کاهش P_{loss} ؛

μ_{dv} : مقدار تابع عضویت مربوط به کاهش dv_m ؛

k_1 ، k_2 ، k_3 و k_4 : ضرایب وزنی غیر منفی هستند که شرط $k_1+k_2+k_3+k_4=1$ را برآورده

می‌سازند؛

بسته به هدف مورد نظر، روند بهینه‌سازی به راحتی می‌تواند با تغییر مقادیر ضرایب وزنی وفق

پیدا کند. این یک مشخصه‌ی جالب برای فرمول بندی چند هدفه می‌باشد. در حوزه‌ی غیر فازی، اگر تابع

هدف ارضا شده باشد و یا نقض شده باشد به ترتیب مفهوم مقادیر عضویت ۱ و ۰ را می‌رساند. برعکس،

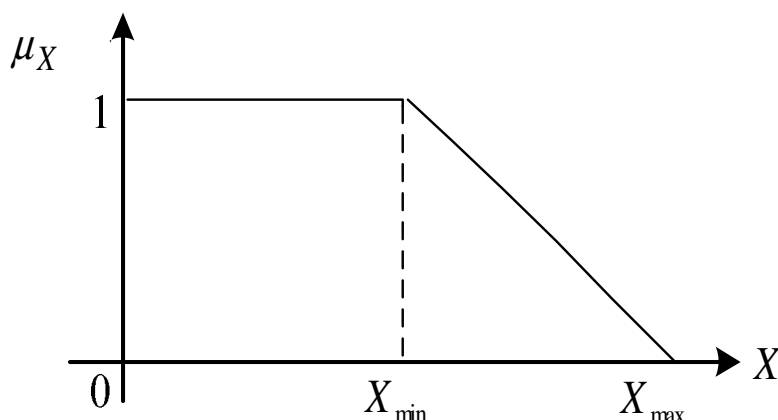
مقادیر عضویت مجموعه فازی، می‌تواند بین ۰ و ۱ تغییر کند. مقادیر محدوده پایینی و بالایی، همراه با

یک تابع پیوسته و کاهشی به صورت یکنواخت و با شیب تند، برای توابع هدف مختلف یک تابع عضویت را

ایجاد می‌کند. یک تابع عضویت معمول آنگونه که در شکل (۱-۵) نمایش داده شده است، برای همه‌ی

توابع هدف موجود در این مسئله، مورد استفاده قرار گرفته است. این تابع به صورت رابطه ریاضی در

معادله (۲-۵) آورده شده است.



شکل (۱-۵): تابع عضویت مورد استفاده برای توابع هدف موجود در مسئله

$$\mu_X = \begin{cases} 1 & X < X_{\min} \\ \frac{X_{\max} - X}{X_{\max} - X_{\min}} & X_{\min} \leq X < X_{\max} \\ 0 & X_{\max} < X \end{cases} \quad (۲-۵)$$

شاخص X در این شکل و معادله می‌تواند با شاخص‌های CIC ، $SPMC$ ، P_{loss} و d_v جایگزین

گردد. در بخش‌های بعدی تابع عضویت مورد استفاده برای چهار تابع هدف مسئله جایابی کلیدها و واحدهای تولید پراکنده به تفصیل شرح داده شده است.

۵-۲-۳- تابع هدف مربوط به بهبود قابلیت اطمینان سیستم

بهبود قابلیت اطمینان سیستم و یا دست یافتن به حداقل شاخص CIC ، هدف اصلی این تابع

عضویت می‌باشد. بنابراین یک ساختار از کلیدهای دستی و اتوماتیک با یک CIC کوچکتر، مقدار تابع

عضویت بزرگتری را دارا می‌باشد، آنگونه که در شکل (۱-۵) و معادله (۲-۵) با جایگزینی X با CIC نشان

داده شده است. در این صورت، CIC_{\min} حداقل مقدار CIC می‌باشد که مربوط به ساختاری با کلیدهای

اتوماتیک در کلیه شاخه‌های شبکه و نصب واحدهای DG در بهترین محل‌های ممکن می‌باشد؛ CIC_{\max}

حداکثر مقدار CIC می‌باشد که مربوط به ساختار اولیه بدون واحدهای DG می‌باشد. این نکته قابل توجه

است که تعیین این پارامترها توسط اپراتور، می‌تواند تحت تأثیر سایر معیارهای تصمیم‌گیری قرار گیرد. شکل (۵-۱) نشان می‌دهد که اگر مقدار CIC ، از مقدار CIC_{min} کوچکتر باشد، آنگاه مقدار تابع عضویت حداکثر است. همزمان با بیشتر شدن مقدار کلی CIC نسبت به CIC_{min} ، مقدار رضایت مندی از تابع هدف کاهش خواهد یافت. این کاهش تا زمانی که مقدار کلی CIC به یک مقدار حداکثر از پیش تعیین شده (CIC_{max})، می‌رسد، ادامه پیدا خواهد کرد. اگر مقدار CIC برابر و یا بزرگتر از CIC_{max} بشود، مقدار تابع عضویت در یک مقدار حداقل ثابت خواهد ماند [۳۱].

کارایی تجهیزات حفاظتی می‌تواند با ورود واحدهای تولید پراکنده کاهش یابد. آنگونه که در بخش ۵-۱ ذکر شده است، برای مشترکینی که در طول وقفه می‌خواهند در وضعیت جزیره شدن (*Islanding*) کار کنند، جنبه‌های فنی مهمی از جمله قابلیت فراهم کردن سرویس کمکی مستقل و ملاحظات امنیتی به گونه‌ای که در طول زمان خطا، هیچ توانی به شبکه تزریق نشود، باید لحاظ شود [۴۴]. در عمل فرض شده است که واحدهای DG قابلیت تغذیه بار را در وضعیت جزیره شدن دارا می‌باشند، تنها یک دوره‌ی زمانی جهت سنکرون سازی واحدهای DG پس از اتصال مجدد آن‌ها به شبکه در نظر گرفته می‌شود. روش به کار گرفته شده جهت محاسبه CIC در حضور واحدهای DG در بخش ۵-۳ شرح داده شده است.

۵-۲-۴- تابع هدف مربوط به حداقل کردن هزینه سرمایه‌گذاری کلیدهای

خط

مقدار بالاتری از تابع عضویت زمانی حاصل می‌شود که تعداد کلیدهای دستی و اتوماتیک جدید نصب شده در شبکه کمتر باشد و برعکس. تابع عضویت انتخاب شده جهت حداقل کردن هزینه سرمایه‌گذاری کلیدهای خط، همچنین در شکل (۵-۱) نمایش داده شده است. معادله مرتبط دقیقاً شبیه معادله (۵-۲) می‌باشد با این تفاوت که شاخص X با شاخص $SPMC$ جایگزین می‌گردد.

در این معادله $SPMC_{min}$ ، حداقل مقدار شاخص $SPMC$ می‌باشد که مربوط به ساختار اولیه شبکه می‌باشد. در عوض، $SPMC_{max}$ ، حداکثر مقدار شاخص $SPMC$ می‌باشد که مربوط به ساختاری از شبکه با کلیدهای اتوماتیک در کل شاخه‌های آن می‌باشد. باید توجه داشت که تعیین این پارامترها توسط اپراتور می‌تواند تحت تأثیر سایر معیارهای تصمیم‌گیری قرار گیرد. از آنجایی که جهت جلوگیری از پدیده جزیره شدن (Islanding) نیاز به قطع کامل واحدهای DG از شبکه و اتصال مجدد آن‌ها برای سنکرون شدن با شبکه توزیع می‌باشد، لذا در این مسئله فرض شده است که حداقل یک قطعه حفاظتی در شاخه متصل به باس بار حاوی DG وجود دارد، که جهت قطع و سنکرون کردن واحد DG با شبکه عمل می‌کند.

مفاهیم نظری مربوط به اقتصاد مهندسی و محاسبه هزینه خالص فعلی در بخش ۲-۲ به تفصیل شرح داده شده است. در این فصل از رابطه‌ی (۱-۴) جهت محاسبه هزینه خالص فعلی از هزینه کل در طول چرخه‌ی عمر کلیدها استفاده می‌شود. شاخص $SPMC$ نیز از رابطه (۴-۴) قابل محاسبه می‌باشد. سایر توضیحات لازم در این زمینه در بخش ۳-۴ ارائه شده است.

۵-۲-۵- تابع هدف مربوط به حداقل کردن تلفات توان اکتیو

هدف اصلی از تابع عضویت انتخاب شده، کاهش تلفات کل توان اکتیو (P_{loss}) می‌باشد. هرگونه رفتار غیر خطی تابع هدف (حتی وقتی که متغیرهای جدید پیشنهادی معرفی شده اند) می‌تواند به سادگی با بررسی تلفات توان اکتیو حذف شود. تابع عضویت انتخاب شده برای کمینه کردن تلفات توان اکتیو همچنین در شکل (۱-۵) نمایش داده شده و به صورت ریاضی در معادله (۲-۵) با جایگزینی X با P_{loss} ارائه شده است. که $P_{loss_{min}}$ ، حداقل مقدار P_{loss} می‌باشد که برابر $0/01$ پریونیت در نظر گرفته شده است. $P_{loss_{max}}$ ، حداکثر مقدار P_{loss} می‌باشد که مربوط به ساختار اولیه بدون هیچ گونه واحد DG می‌باشد. باید توجه کرد که تعیین این پارامترها توسط اپراتور همچنین می‌تواند تحت تأثیر سایر معیارهای

تصمیم‌گیری قرار گیرد.

آنگونه که در بخش‌های قبل ذکر شده است، P_{loss} برابر مجموع تلفات توان اکتیو شاخه‌های شبکه می‌باشد و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{N_b} \left(r(i) I_L(i)^2 \right) \quad (3-5)$$

که N_b ، تعداد کل شاخه‌های شبکه، $r(i)$ و $I_L(i)$ به ترتیب مقاومت و جریان شاخه i ام را نشان می‌دهد.

جهت محاسبه دقیق ولتاژ باس بارها و جریان شاخه‌های شبکه از روش پخش بار پیشرو-پسرو استفاده می‌شود. این روش پخش بار و اعمال آن به شبکه توزیع حلقوی در بخش ۲-۳ به تفصیل ارائه شده است.

در واحدهای DG با اندازه‌های کوچک و متوسط اکثراً ژنراتورهای آسنکرون استفاده می‌شود. از آنجایی که این ژنراتورها قادر به فراهم کردن توان راکتیو نمی‌باشند، لذا اتصال یک واحد DG به یک باس بار شبکه با اضافه کردن مقدار توان اکتیو نامی آن به توان اکتیو آن باس بار بررسی می‌شود [۴۴].

۵-۲-۶- تابع هدف مربوط به بهبود پروفیل ولتاژ

بهبود پروفیل ولتاژ یا کاهش متوسط انحراف ولتاژ باس بارهای شبکه از ولتاژ نامی فیدر (dv_m)، هدف اصلی این تابع عضویت می‌باشد. یک مقدار تابع عضویت بالاتر زمانی به دست می‌آید که اندازه ولتاژ باس بارها به اندازه ولتاژ نامی فیدر نزدیک تر باشند و برعکس. از همان تابع عضویت شکل (۵-۱) به عنوان تابع عضویت انتخاب شده جهت بهبود پروفیل ولتاژ استفاده می‌شود، و رابطه‌ی ریاضی آن دقیقاً شبیه به همان معادله (۵-۲) می‌باشد با این تفاوت که شاخص X باید با شاخص dv_m جایگزین شود. در این صورت dv_{min} و dv_{max} به ترتیب حداقل و حداکثر مقدار شاخص dv_m می‌باشند که برابر $0/0001$ و

۰/۰۵ پریونیت در نظر گرفته می‌شوند. باید توجه کرد که تعیین این پارامترها توسط اپراتور نیز می‌تواند تحت تأثیر سایر معیارهای تصمیم‌گیری قرار گیرد. dv_m از رابطه‌ی (۴-۵) محاسبه می‌شود.

$$dv_m = \frac{1}{N_{bus}} \sum_{i=1}^{N_{bus}} |v_i - v_i^*| \quad (۴-۵)$$

که N_{bus} برابر تعداد کل باس بارهای شبکه، v_i برابر اندازه ولتاژ باس i ام و v_i^* برابر اندازه ولتاژ نامی باس i ام می‌باشد که معمولاً برابر ۱ p.u در نظر گرفته می‌شود.

۵-۲-۷- محدودیت‌های روش پیشنهادی

محدودیت‌های ولتاژ و جریان مطابق معادلات زیر در نظر گرفته شده است:

$$V_{i,\min} < V_i < V_{i,\max} \quad i = 1, 2, \dots, N_{bus} \quad (۵-۵)$$

$$I_L(i) \leq I_{L,\max}(i) \quad i = 1, 2, \dots, N_b \quad (۶-۵)$$

که $V_{i,\min}$ و $V_{i,\max}$ اندازه حداکثر و حداقل ولتاژ قابل قبول باس i ام می‌باشد؛ $I_{L,\max}(i)$ نیز حداکثر جریان قابل تحمل شاخه i ام می‌باشد.

۵-۳- تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌های اتوماسیون توزیع در

حضور واحدهای DG

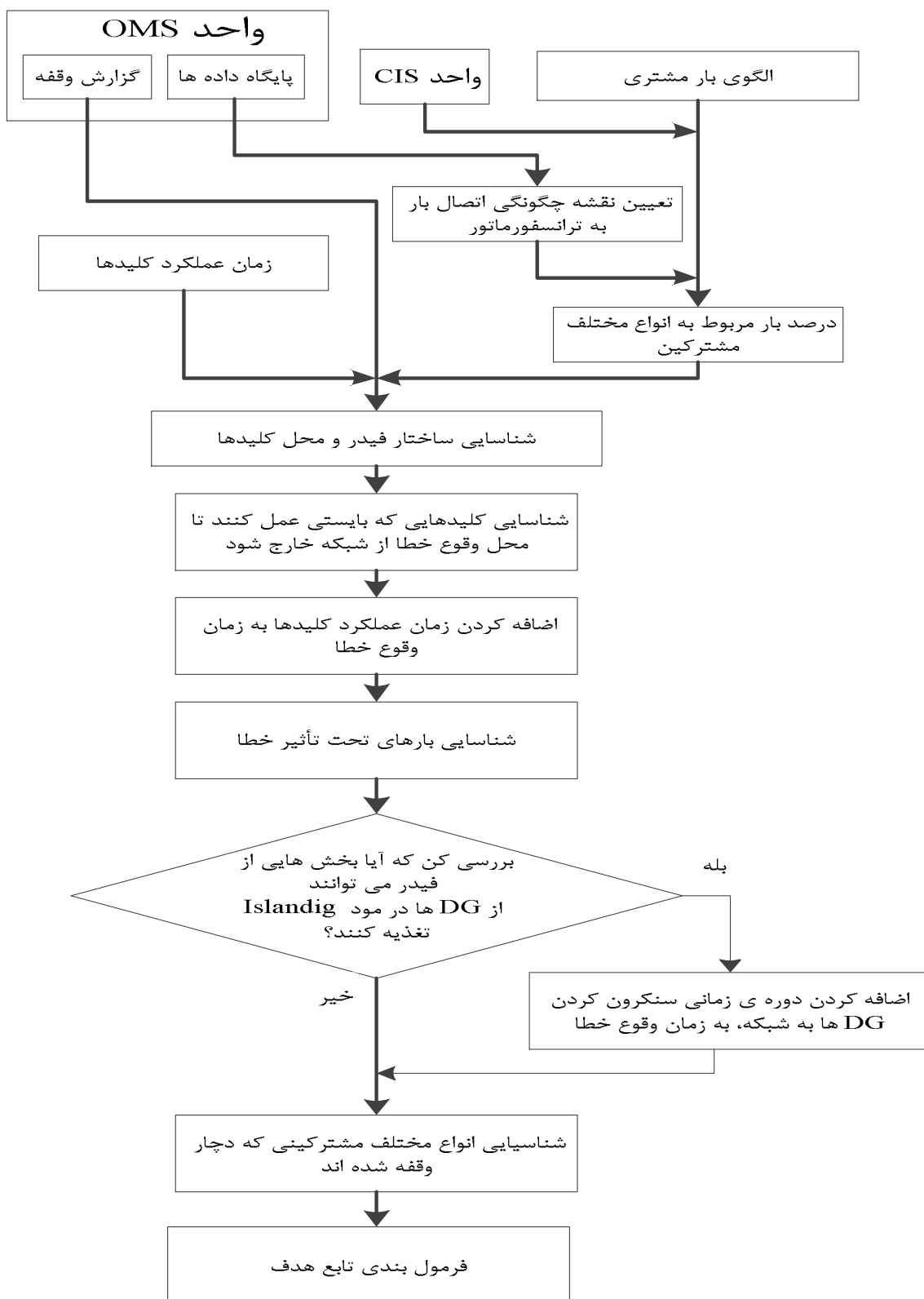
اصول نظری مربوط به مفاهیم و شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت در بخش ۲-۱ به تفصیل شرح داده شده است. در این فصل از شاخص CIC جهت تحلیل قابلیت اطمینان سیستم استفاده شده است. روش محاسبه CIC در حضور واحدهای DG دقیقاً همان روشی است که با استفاده از روابط (۴-۵) تا (۴-۹) در بخش ۳-۴ ارائه شده است، تنها تفاوت در محاسبه زمان وقوع خطا (γ_b) و بار مربوط به مشترکین مختلف از دست رفته ($RESL_b$, $COML_b^S$, $INDL_b^S$ و $KEYL_b$) می‌باشد. فلوجارت شکل‌های

(۴-۱۴) و (۴-۱۵) با در نظر گرفتن واحدهای DG به ترتیب به صورت فلوچارت شکل‌های (۵-۲) و (۵-۳) تغییر می‌کنند. توضیحات لازم مربوط به این فلوچارت‌ها در بخش‌های ۴-۳ و ۴-۴ به تفصیل شرح داده شده است. تفاوت‌های موجود به این صورت است که پس از وقوع خطا و شناسایی کلیدهایی که باید جهت ترمیم خطا عمل کنند، بخش‌هایی از فیدر که بی برق می‌شوند شناسایی شده و امکان تغذیه این بخش‌ها توسط واحدهای DG مورد بررسی قرار می‌گیرد. در صورت وجود چنین امکانی، این بارها به اندازه ظرفیت واحد DG شناسایی شده و از لیست باس بارهای از دست رفته خارج می‌شوند، اما زمان لازم جهت قطع و سنکرون کردن مجدد واحد DG از شبکه (β_{dg}) به زمان وقوع خطا (γ/b) اضافه می‌شود، آنگونه که از فلوچارت شکل (۵-۳) مشخص است. قابل ذکر است که β_{dg} در این پروژه برابر ۹۰ دقیقه در نظر گرفته شده است.

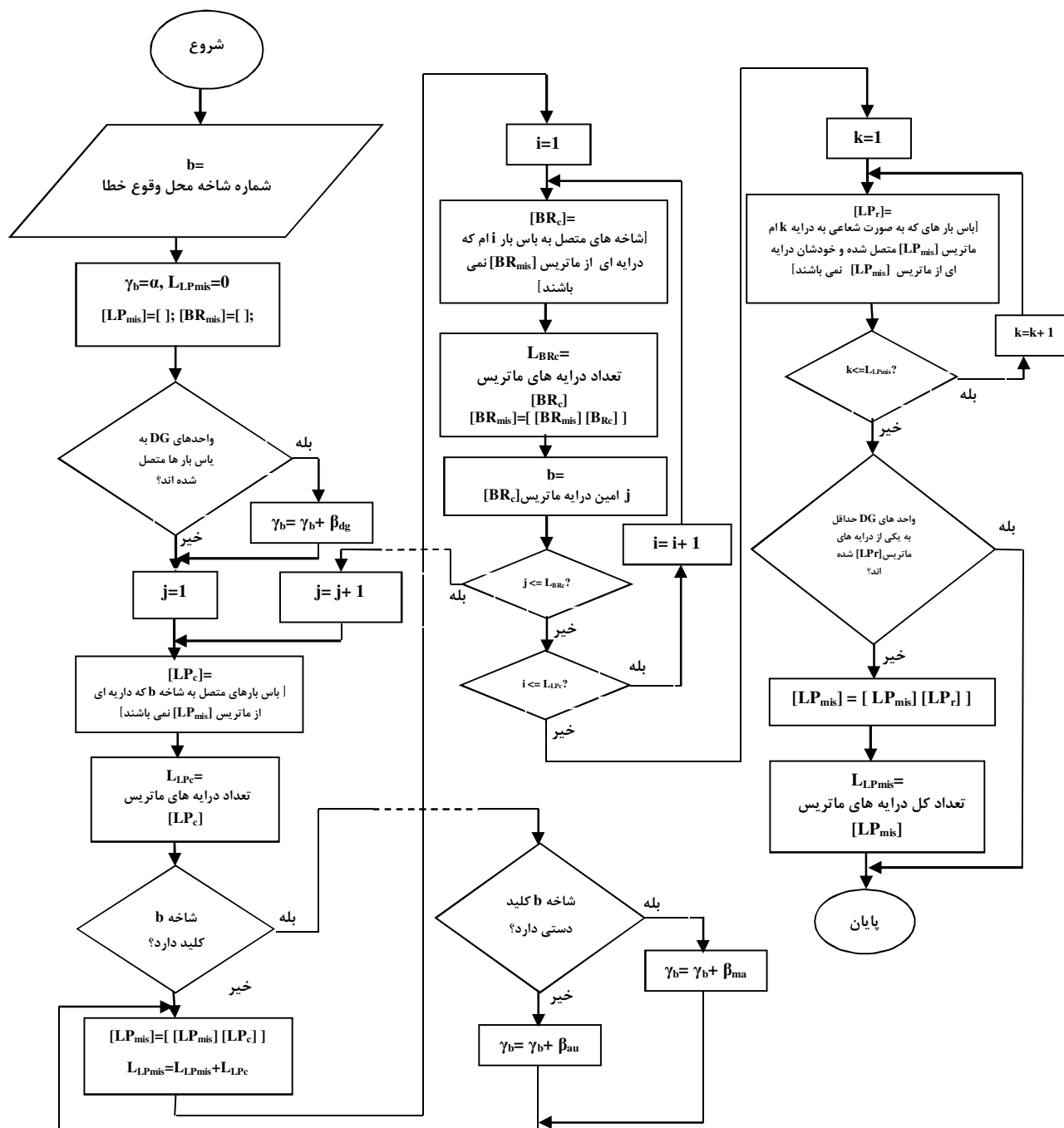
۵-۴- شبیه سازی مسئله جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید

پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع

در این پروژه یک روش اصلاح شده SFLA جهت پیدا کردن جواب بهینه مسئله جایابی بهینه کلیدهای خط و واحدهای DG در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار گرفته است. روش بهینه‌سازی ارائه شده از یک روش جستجو بر اساس یک نوع قاعده جهش قورباغه، برای جستجوی محلی و از یک قاعده ترکیبی بیولوژیکی برای تبادل سراسری اطلاعات استفاده می‌کند. به منظور بهبود جستجوی محلی SFLA، یک نوع خاص قاعده جهش قورباغه در این پروژه ارائه شده است. گسترش جهت و طول هر پرش قورباغه با تقلید کردن از افکار و تردیدهای رفتاری قورباغه، مبنای این قاعده‌ی جهش قورباغه را تشکیل می‌دهد. این اصلاحات از همگرایی زودرس جلوگیری کرده و عملکرد SFLA را با



شکل (۵-۲): فلوچارت روش پیشنهادی جهت فرمول بندی تابع هدف در حضور واحدهای DG



شکل (۵-۳): فلوجارت روش پیشنهادی جهت محاسبه باس بارهای از دست رفته و زمان وقوع خطا در حضور واحدهای DG

وسعت دادن به جستجوی محلی بهبود می‌بخشد. در این بخش ابتدا شبکه مورد بررسی شرح داده می‌شود

و سپس روش اصلاح شده SFLA به مسئله جایابی کلیدها و واحدهای DG اعمال می‌شود.

۵-۴-۱- روش اصلاح شده SFLA

الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه (SFLA) به صورت مفصل در بخش ۳-۲ شرح داده شده است. نوع SFLA به کار گرفته شده در این پروژه نیز از اصول کلی ارائه شده در بخش ۳-۲ تبعیت می‌کند. اما در این روش اصلاح شده از SFLA، جهت یافتن سریعتر جواب مسئله و همچنین همگرایی سریعتر برای هر میمپلکس انتخاب شده یک سابمیمپلکس متشکل از تعدادی از قورباغه‌های موجود در میمپلکس در نظر گرفته می‌شود و مراحل تکامل میمپلکس‌ها عیناً برای سابمیمپلکس‌ها تکرار می‌شود. در نتیجه این روند قورباغه‌های انتخاب شده در سابمیمپلکس‌ها جهش کرده و در میمپلکس اصلی جایگزین می‌شوند. این موضوع روند حرکت میمپلکس‌ها را به سمت میمپلکس بهینه دارای بهترین قورباغه تسریع می‌بخشد. لذا تفاوت اصلی در نوع جستجوی محلی مربوط به یکی از بلوک‌های فلوجارت شکل (۳-۸) می‌باشد. روش اصلاح شده SFLA در فلوجارت شکل (۵-۴-الف) نمایش داده شده است. شکل (۵-۴-ب) فلوجارت روش جستجوی محلی مربوط به یکی از بلوک‌های فلوجارت شکل (۵-۴-الف) را نمایش می‌دهد.

قاعده جهش قورباغه مورد استفاده در این الگوریتم در شکل (۵-۵) نمایش داده شده است و از همان روابط (۳-۳) تا (۵-۳) تبعیت می‌کند که در زیر مجدداً تکرار شده اند:

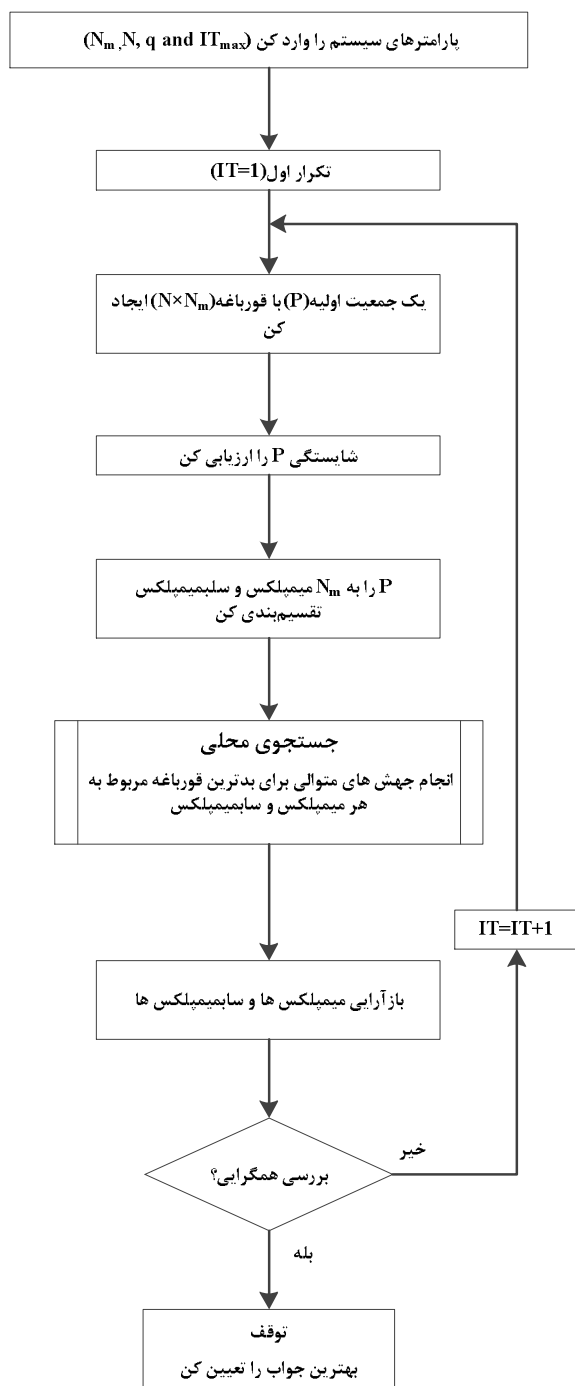
$$X_w^{new} = \begin{cases} X_w + D & \|D\| \leq D_{\max} \\ X_w + \frac{D}{\sqrt{D^T D}} D_{\max} & \|D\| \geq D_{\max} \end{cases} \quad (7-5)$$

$$D = r \cdot c(X_b - X_w) + W \quad (8-5)$$

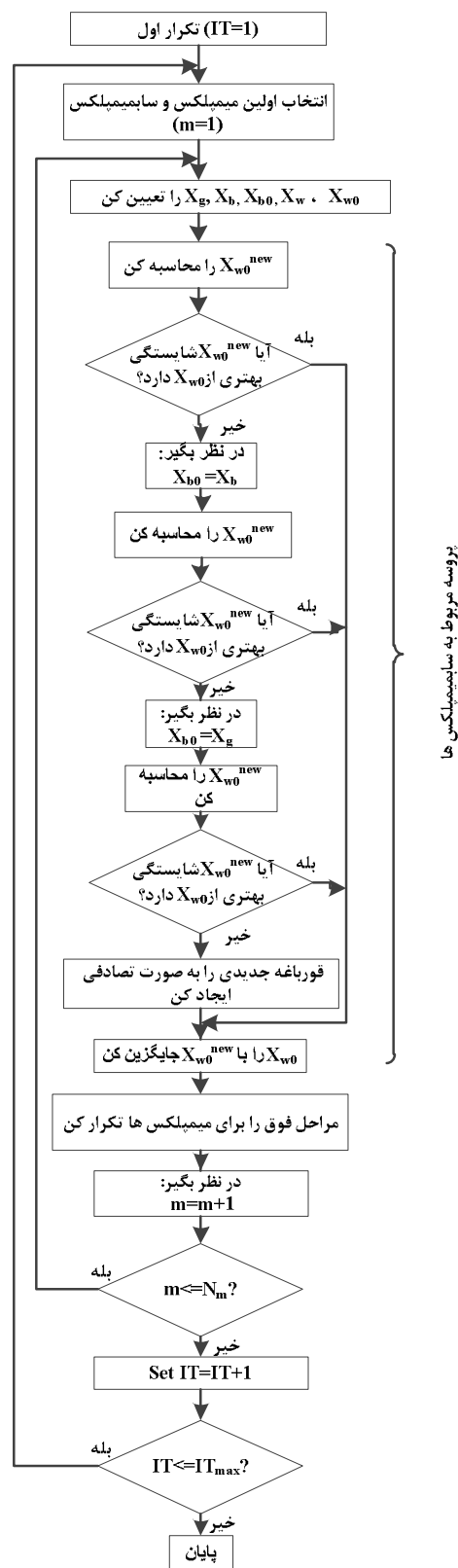
$$W = [r_1 \cdot w_{1,\max}, r_2 \cdot w_{2,\max}, \dots, r_s \cdot w_{s,\max}]^T \quad (9-5)$$

که:

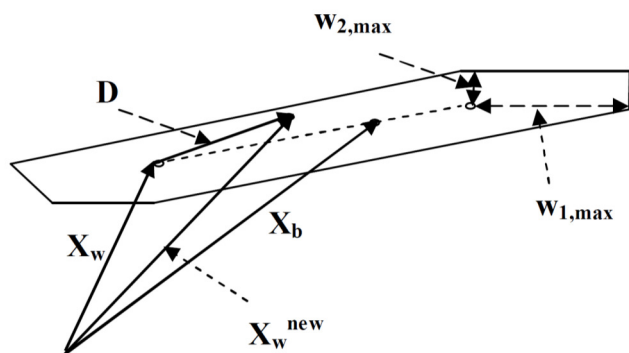
الف



ب



شکل (۴-۵) (الف) فلوجارت روش اصلاح شده SFLA، (ب) جستجوی محلی با استفاده از قاعده جهش قورباغه



شکل (۵-۵): قاعده جهش قورباغه [۳۸]

r : عددی تصادفی بین ۰ و ۱

C : عددی ثابت در رنج ۱ تا ۲

r_i : اعداد تصادفی بین ۱- تا ۱ ($1 \leq i \leq S$)

$w_{i,max}$ ($1 \leq i \leq S$): حداکثر حرکت و نفوذ مجاز در فضای جستجوی i بعدی

D_{max} : حداکثر مسافت مجاز پرش

۵-۴-۲- اعمال SFLA به مسئله جایابی کلیدها و منابع DG

هدف این مسئله تعیین تعداد و محل بهینه کلیدهای دستی و اتوماتیک و همچنین اندازه و محل بهینه واحدهای DG در سیستم‌های DAS، می‌باشد. توابع هدف در بخش ۵-۲ توصیف شده‌اند. متغیرهای فوق با هم ترکیب شده و در قالب یک کدگذاری ترکیبی صحیح در ساختار هر قورباغه نمایش داده شده‌اند. ساختار داده‌ای قورباغه‌ها آنگونه که در شکل (۶-۵) نمایش داده شده است، قابل تجسم است.

Br. No. (1)	Br. No. (2)	Br. No. (N_b)	B. No. (1)	B. No. (2)	B. No. (N_{bus})
-------------	-------------	------	-------------------	------------	------------	------	----------------------

شکل (۶-۵): ساختار داده‌ای قورباغه‌ها

در این شکل، $Br.No(i)$ ، تعداد و نوع کلیدهای دستی و اتوماتیک قرار گرفته در شاخه i ام شبکه را نمایش می‌دهد؛ در حالی که $B.No(j)$ تعداد واحدهای DG متصل به باس بار j ام را نمایش می‌دهد.

فصل پنجم - ارائه روش پیشنهادی در جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع با استفاده از ترکیب فازی توابع هدف چندگانه

ساختار صحیح و توصیف متناظر با هر قورباغه در جدول (۵-۱) نمایش داده شده است.

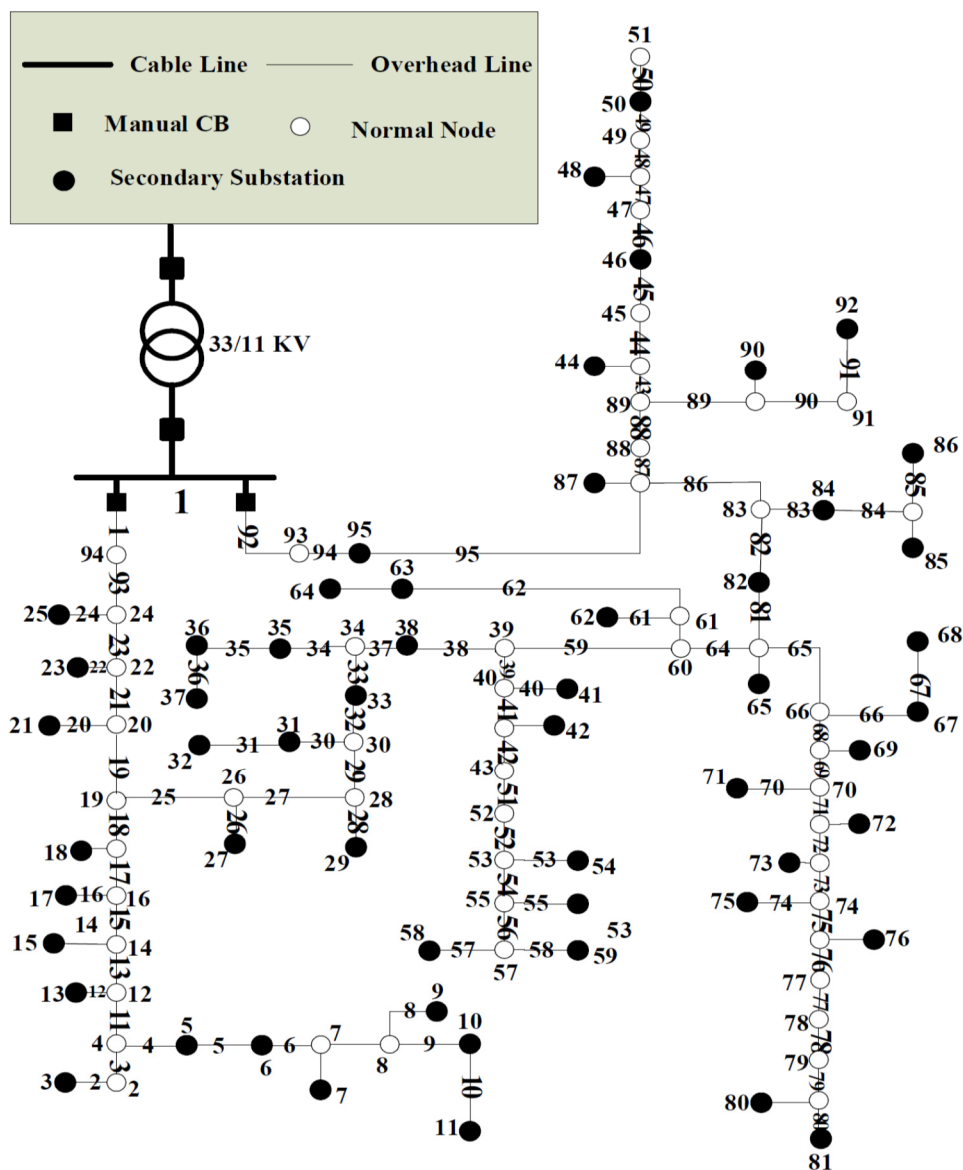
جدول (۵-۱): ساختار صحیح و توصیف متناظر با هر قورباغه

بخش اول		بخش دوم	
توصیف	Br.No(i)	توصیف	B.No(j)
بدون کلید	۰	بدون واحد DG	۰
		دارای ۱ واحد DG	۱
دارای کلید دستی	۱	دارای ۲ واحد DG	۲
		دارای ۳ واحد DG	۳
دارای کلید اتوماتیک	۲	دارای ۴ واحد DG	۴
		دارای ۵ واحد DG	۵

باید توجه کرد از آنجایی که SFLA در این پروژه، برای متغیرهای گسسته مورد استفاده قرار گرفته است، لذا جهت تعیین محل جدید قورباغه‌ها، یک عملگر Round به معادله‌ی (۵-۷) اعمال می‌شود.

۵-۴-۳- شبکه مورد بررسی

جهت اثبات کارایی روش پیشنهادی، آن را به یک شبکه ۱۱KV شهری از نوع حلقوی اعمال می‌کنیم و سپس نتایج را تحلیل کرده و مورد بحث قرار می‌دهیم. شبکه توزیع مورد مطالعه در شکل (۵-۵) نمایش داده شده است، که یک شبکه توزیع نوعی شامل ۹۵ باس بار و ۹۵ شاخه می‌باشد. آنگونه که از شکل (۵-۷) مشخص است، سمت ۳۳ KV ایستگاه ترانسفورماتوری ۳۳/۱۱ KV به شبکه اصلی متصل شده است. باس بارها با یک شبکه حلقوی به هم متصل شده‌اند تا فیدر توزیع را در سطح ولتاژ ۱۱ KV تغذیه کنند [۴۵]. بار کل شبکه ۶۲/۱۸۱۸ MW با ضریب توان ۰/۹ می‌باشد. کلیه خطوط شبکه از نوع خطوط هوایی با مقاومت و امپدانس مشخص در نظر گرفته شده‌اند. همچنین در ساختار اولیه، تنها دو



شکل (۵-۷): ساختار اولیه شبکه توزیع حلقوی ۱۱ KV مورد بررسی

کلید دستی به صورت بریکر در شاخه‌های ۱ و ۹۲ که متصل به پست مرجع می‌باشند، موجود است، و هیچگونه کلید اتوماتیک و همچنین واحد DG، در این ساختار وجود ندارد. نمونه اطلاعات مربوط به نرخ خطا و طول شاخه‌های مختلف شبکه شکل (۵-۷) در پیوست ۵ موجود می‌باشد. نمونه اطلاعات مربوط به انواع مختلف بار در باس بارهای شبکه در پیوست ۶ ارائه شده است. همچنین نمونه اطلاعات مربوط به

فصل پنجم - ارائه روش پیشنهادی در جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع با استفاده از ترکیب فازی توابع هدف چندگانه

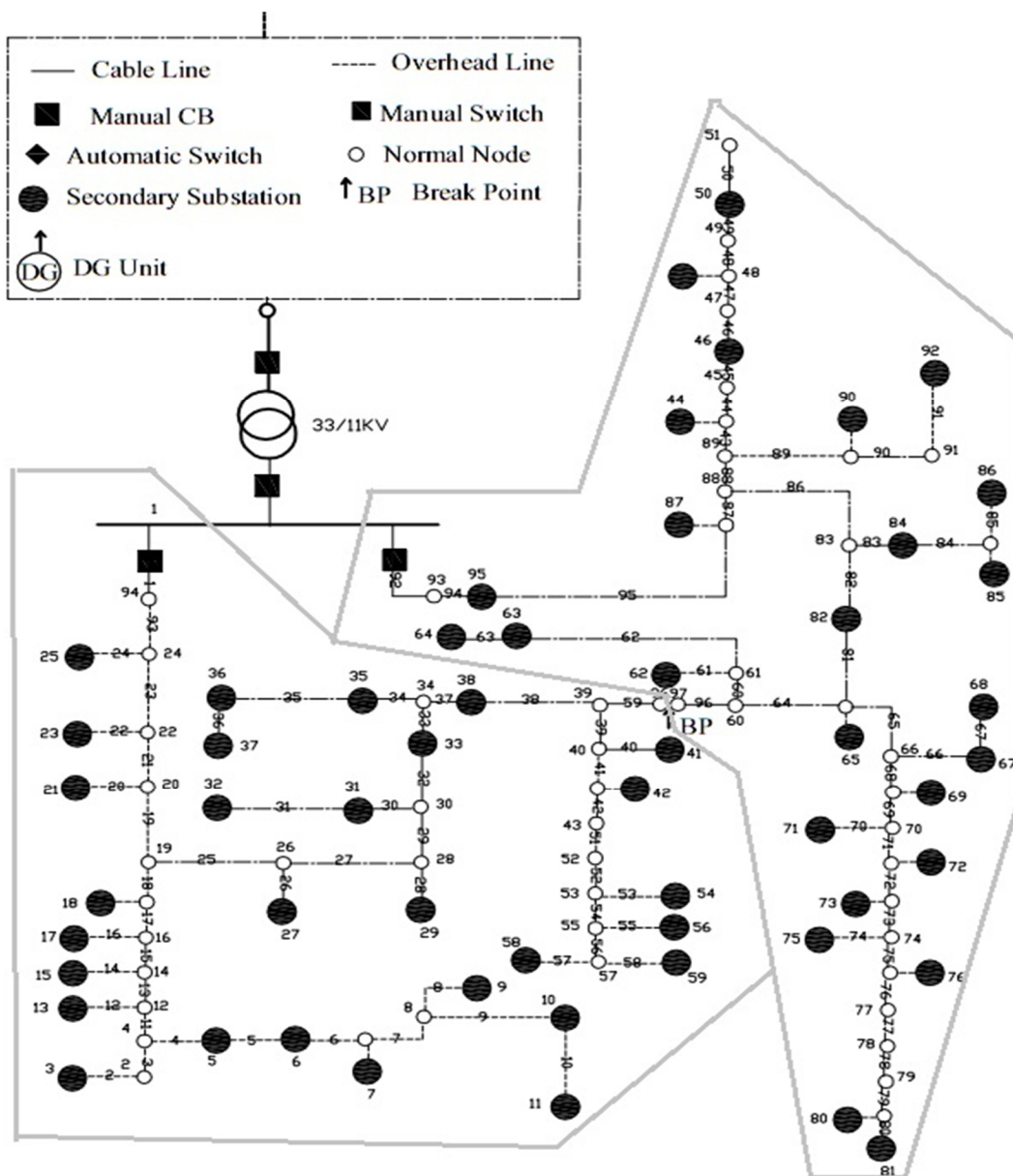
بارهای تجاری و صنعتی با SIC متفاوت در باس بارهای شبکه به ترتیب در پیوست‌های ۷ و ۸ نمایش داده شده است. نهایتاً نمونه اطلاعات مربوط به توان اکتیو و راکتیو بار در باس بارهای شبکه در پیوست ۹ موجود می‌باشد.

۵-۵ - نتایج حاصل از الگوریتم

در این مسئله فرض شده است که ۵ واحد DG با ظرفیت تولید ۴ MW جهت جایابی موجود می‌باشد ($P_{dg} = 20 MW$). در تحلیل مسئله، جهت حل آنالیز پخش بار شبکه حلقوی مورد مطالعه یک نقطه شکست روی شاخه ۵۹ انتخاب شده است. و شبکه از این نقطه شکسته شده است. در نتیجه شبکه حلقوی به دو شبکه شعاعی تقسیم شده است، آنگونه که در شکل (۵-۸) نمایش داده شده است. روش فازی چند هدفه SFLA پیشنهادی، جهت جایابی کلیدهای دستی و اتوماتیک و همچنین ۵ واحد DG مورد استفاده قرار گرفته است. قابل توجه است که عملکرد هر الگوریتمی به انتخاب پارامترهای کنترلی آن وابسته می‌باشد. ترکیب نهایی پارامترهای SFLA که بهترین جواب را برای شبکه نمونه ارائه می‌کند در جدول (۲-۵) نمایش داده شده است.

جدول (۲-۵): پارامترهای SFLA 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})	۴۰
r	۰/۸۵
C	۱/۸
D_{max}	۴



شکل (۸-۵): با انتخاب یک نقطه شکست در شاخه‌ی ۵۹ شبکه حلقوی به دو شبکه شعاعی تقسیم شده است

همچنین مقدار انتخاب شده ضرایب k_1, k_2, k_3 و k_4 (مربوط به تابع هدف معادله (۵-۱)) در جدول (۵-۳) نمایش داده شده است. قابل ذکر است که انتخاب این ضرایب با استفاده از روش سعی و خطا و به گونه‌ای انتخاب شده است که توابع هدف از سهم تقریباً مساوی در تابع هدف نهایی برخوردار باشند، اما اپراتور می‌تواند بسته به میزان اهمیتی که هر کدام از توابع هدف برای وی دارد این مقادیر را

فصل پنجم - ارائه روش پیشنهادی در جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع با استفاده از ترکیب فازی توابع هدف چندگانه

تغییر دهد.

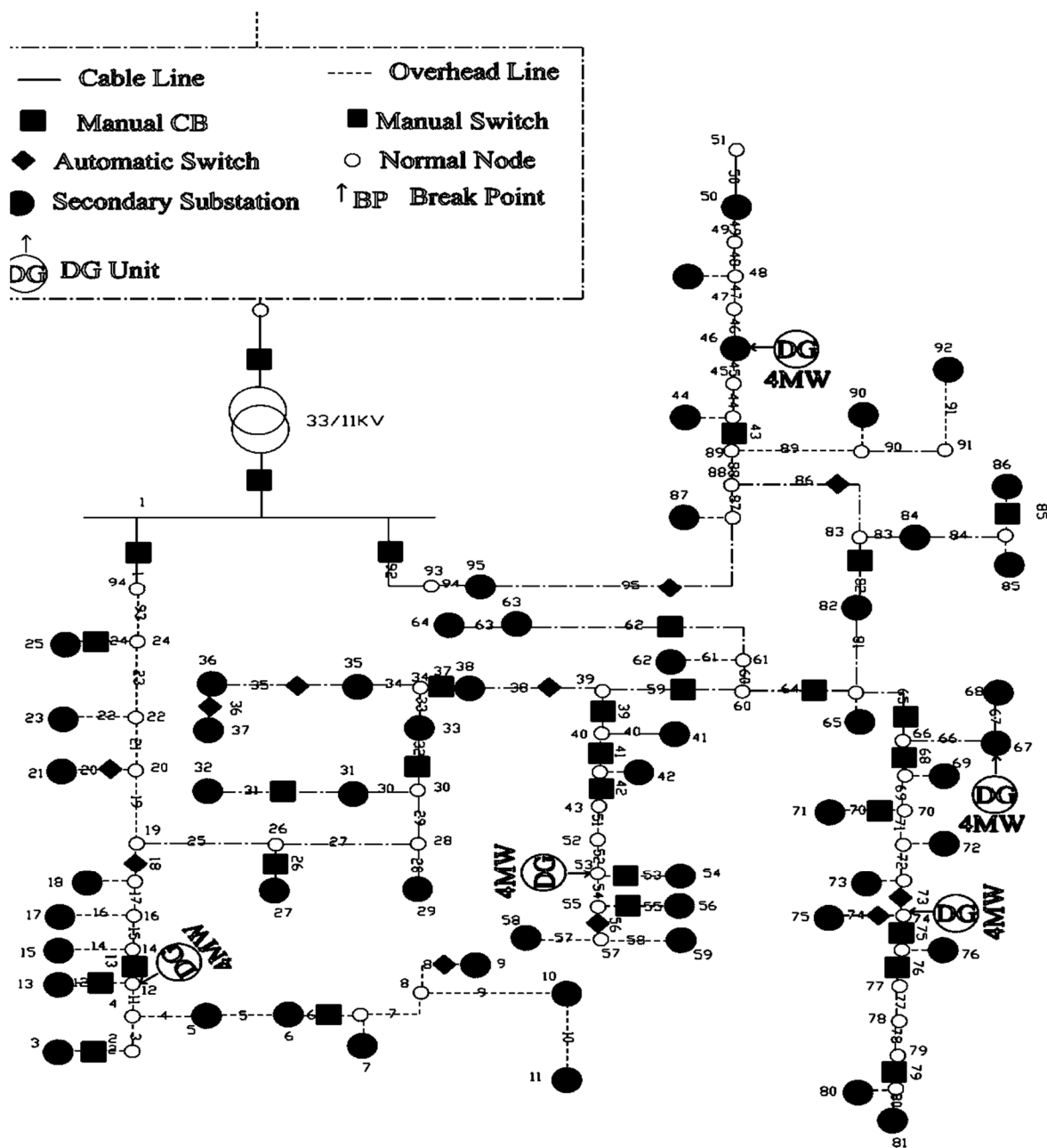
ساختار پیشنهادی روش SFLA مورد استفاده در این مسئله در شکل (۵-۹) نمایش داده شده است. تعداد و محل کلیدهای دستی و اتوماتیک و همچنین محل و اندازه واحدهای DG برای ساختار پیشنهادی به خوبی در این شکل مشخص می‌باشد و همچنین در جدول (۵-۴) نمایش داده شده است. همچنین در این جدول تعداد کلیدها و ظرفیت واحدهای DG بین ساختار اولیه و ساختار پیشنهادی برای شبکه نمونه، مقایسه شده‌اند. مقدار تابع عضویت همه توابع هدف (μ_{CIC} , μ_{Ploss} , μ_{dv} , μ_{SPMC})، اندازه تابع هدف کلی (μ)، هزینه وقفه مشترکین (CIC)، هزینه سرمایه‌گذاری کلیدها ($SPMC$)، تلفات توان اکتیو و راکتیو (Q_{loss} و P_{loss}) و همچنین میانگین انحراف ولتاژ باس بارهای شبکه از ولتاژ نامی فیدر (dv_m) در

جدول (۵-۳): مقدار ضرایب وزنی توابع هدف

k_1	۰/۱۵
k_2	۰/۲۸
k_3	۰/۲۲
k_4	۰/۳۵

جدول (۵-۴): مقایسه ساختار اولیه و ساختار پیشنهادی الگوریتم از نظر وضعیت کلیدها و واحدهای DG

ساختار	ظرفیت واحدهای DG (MW)	تعداد کلیدهای دستی	تعداد کلیدهای اتوماتیک	شاخه‌های دارای کلید دستی	شاخه‌های دارای کلید اتوماتیک	باس بارهای دارای واحد DG	ظرفیت واحد DG (MW)
ساختار اولیه	۰	۲	۰	۱ و ۹۲	-	-	-
ساختار پیشنهادی	۲۰	۲۸	۱۱	۱, ۲, ۶, ۱۲, ۱۳, ۲۴, ۲۶, ۳۱, ۳۲, ۳۷, ۳۹, ۴۱, ۴۲, ۴۳, ۴۴, ۴۵, ۴۶, ۴۷, ۴۸, ۴۹, ۵۰, ۵۱, ۵۲, ۵۳, ۵۴, ۵۵, ۵۶, ۵۷, ۵۸, ۵۹, ۶۰, ۶۱, ۶۲, ۶۳, ۶۴, ۶۵, ۶۶, ۶۷, ۶۸, ۶۹, ۷۰, ۷۱, ۷۲, ۷۳, ۷۴, ۷۵, ۷۶, ۷۷, ۷۸, ۷۹, ۸۰, ۸۱, ۸۲, ۸۳, ۸۴, ۸۵, ۸۶, ۸۷, ۸۸, ۸۹, ۹۰, ۹۱, ۹۲	۸, ۱۸, ۲۰, ۳۵, ۳۶, ۳۸, ۳۹, ۴۰, ۴۱, ۴۲, ۴۳, ۴۴, ۴۵, ۴۶, ۴۷, ۴۸, ۴۹, ۵۰, ۵۱, ۵۲, ۵۳, ۵۴, ۵۵, ۵۶, ۵۷, ۵۸, ۵۹, ۶۰, ۶۱, ۶۲, ۶۳, ۶۴, ۶۵, ۶۶, ۶۷, ۶۸, ۶۹, ۷۰, ۷۱, ۷۲, ۷۳, ۷۴, ۷۵, ۷۶, ۷۷, ۷۸, ۷۹, ۸۰, ۸۱, ۸۲, ۸۳, ۸۴, ۸۵, ۸۶, ۸۷, ۸۸, ۸۹, ۹۰, ۹۱, ۹۲	۱۲	۴
						۴۶	۴
						۵۳	۴
						۶۷	۴
						۷۴	۴



شکل (۵-۹): ساختار پیشنهادی روش SFLA برای شبکه ۱۱ KV

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

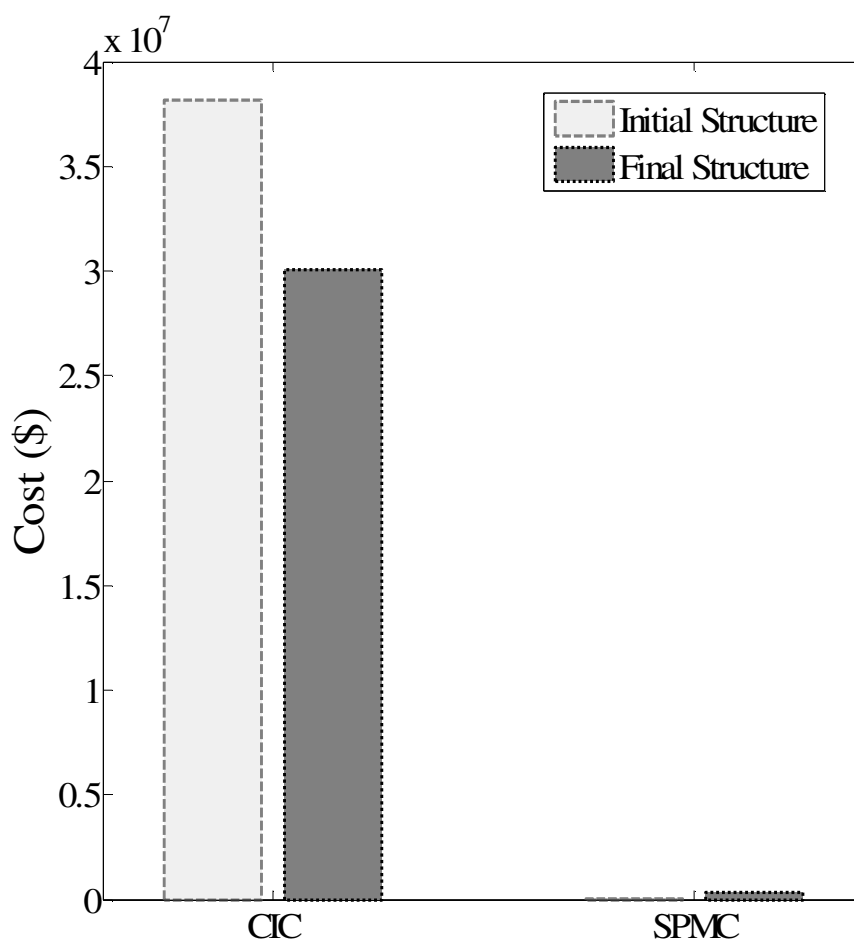
نمودار میله‌ای مربوط به مقایسه CIC و SPMC در ساختار اولیه و پیشنهادی در شکل (۵-۱۰) نمایش

داده شده است.

فصل پنجم - ارائه روش پیشنهادی در جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع با استفاده از ترکیب فازی توابع هدف چندگانه

جدول (۵-۵): نتایج شبیه سازی قبل و بعد از اعمال روش پیشنهادی برای شبکه KV ۱۱ نمونه

ساختار	μ_{CIC}	μ_{SPMC}	μ_{Ploss}	μ_{dv}	μ	CIC (\$)	SPMC (\$)	Active losses (MW)	Reactive losses (MW)	dv_m (p.u)
ساختار اولیه	۰/۰۰۰۱۰۶	۱	۰/۰۰۰۲۰۱	۰/۹۲۸۱	۰/۶۰۴۸۹	۳۸۱۶۷۰۰۰	۴۱۵۰	۵/۶۸۶۵۱	۳/۶۴۹۹	۰/۰۳۷۱۵۶
ساختار پیشنهادی	۰/۷۰۶۳	۰/۸۰۱۲	۰/۳۷۶۴	۰/۹۷۵۳	۰/۷۵۴۴۴	۳۰۱۱۲۲۳۶	۳۱۷۱۴۸	۳/۷۶۰۴۳	۰/۷۴۸۱۵	۰/۰۲۵۴۹۹



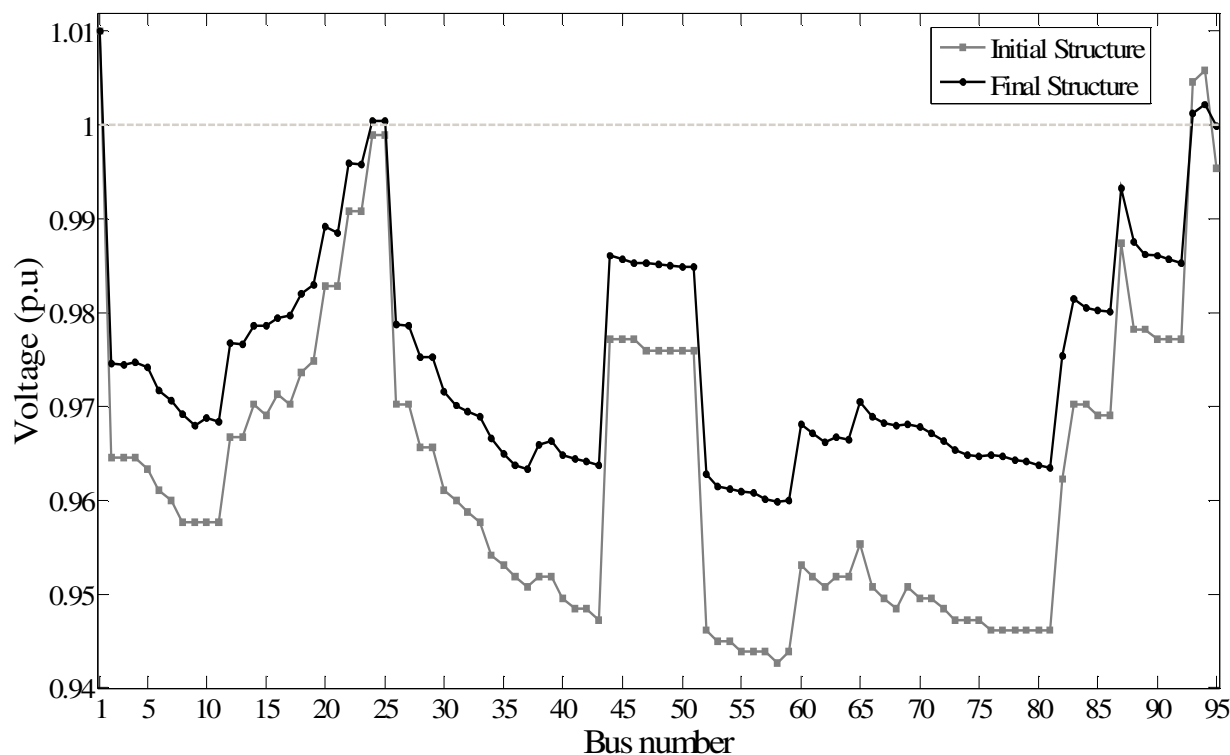
شکل (۵-۱۰): مقایسه هزینه‌های SPMC و CIC در ساختار اولیه و پیشنهادی

از جدول (۵-۵) و شکل (۵-۱۰) می‌توان دریافت که اگر از ساختار پیشنهادی برای سیستم نمونه

استفاده شود، به علت افزایش قابلیت اطمینان سیستم با جایابی پیشنهاد شده برای کلیدهای خط و

فصل پنجم - ارائه روش پیشنهادی در جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع با استفاده از ترکیب فازی توابع هدف چندگانه

واحدهای DG، میزان شاخص CIC به اندازه ۸۰۵۴۷۶۴ دلار کاهش خواهد یافت که چیزی معادل ۲۱/۱٪ می‌باشد. این در حالی است که شاخص SPMC به علت افزایش تعداد کلیدهای دستی و اتوماتیک در شبکه به اندازه ۳۱۳۰۰۰ دلار افزایش داشته است. جدول (۵-۵) همچنین کاهش قابل ملاحظه در مقادیر P_{loss} و Q_{loss} پس از اعمال جایابی بهینه DG در شبکه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین قابل مشاهده است که مقدار شاخص dv_m با جایابی بهینه واحدهای DG به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. مقدار پریونیت ولتاژ باس بارهای شبکه قبل و بعد از اعمال روش پیشنهادی در شکل (۵-۱۱) نمایش داده شده است. مقدار مبنای ولتاژ برای شبکه مورد مطالعه برابر ۱۱ KV در نظر گرفته شده است. اندازه ولتاژ نامی فیدر در شبکه مورد مطالعه (V^*)، برابر ۱ p.u می‌باشد و توسط خطوط بریده شده در شکل (۵-۱۱) مشخص شده است. از این شکل مشخص است که پس از اعمال جایابی DG ها به شبکه مورد مطالعه، اندازه ولتاژ باس بارهای شبکه به اندازه ولتاژ نامی نزدیک تر شده‌اند.



شکل (۵-۱۱): ولتاژ باس بارهای شبکه قبل و بعد از اعمال روش پیشنهادی

۵-۶- اعمال GA به مسئله و مقایسه روند تکاملی دو الگوریتم

جهت اثبات کارایی الگوریتم پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک (GA) [۴۶]، نیز جهت حل مسئله اعمال شده است و سپس نتایج مقایسه شده و مورد بحث قرار گرفته‌اند. مفاهیم و ساختار الگوریتم GA در بخش ۳-۱ به تفصیل شرح داده شده‌اند. جهت اعمال الگوریتم ژنتیک به مسئله جایابی همزمان کلیدها و منابع DG از ساختار باینری شکل (۵-۶) برای هر کروموزوم و با همان توصیف متناظر جدول (۵-۱) استفاده شده است. در کاربرد GA، پارامترهای آن مطابق جدول (۵-۶) انتخاب شده‌اند. در این جدول N_p ، تعداد کروموزوم‌های موجود در هر جمعیت، P_c ، نرخ همبری، P_m ، نرخ جهش و IT_{max} ، تعداد مراحل تکاملی الگوریتم می‌باشد.

جدول (۵-۶): پارامترهای GA اعمال شده به مسئله

اندازه جمعیت (N)	۱۰۰
ضریب همبری (P_c)	۰/۹
ضریب جهش (P_m)	۰/۰۵
تعداد مراحل تکاملی (IT_{max})	۴۰

با پارامترهای انتخاب شده، نتایج حاصل از اعمال الگوریتم GA به مسئله دقیقاً شبیه آن چیزی است که از اعمال الگوریتم SFLA به مسئله به دست آمده است و در شکل‌های (۵-۹)، (۵-۱۰) و (۵-۱۱) و همچنین جدول‌های (۵-۴) و (۵-۵) نمایش داده شده است. اما تفاوت اساسی در همگرایی سریعتر و زمان و حافظه مورد استفاده کامپیوتری کوتاهتر الگوریتم SFLA نسبت به GA می‌باشد. مقایسه بالاترین مقدار و مقدار متوسط تابع هدف کلی و همچنین روند همگرایی الگوریتم‌های SFLA و GA با توجه به پارامترهای انتخاب شده برای آن‌ها در طول ۴۰ تکرار الگوریتم، در جدول (۵-۷) نمایش داده شده است.

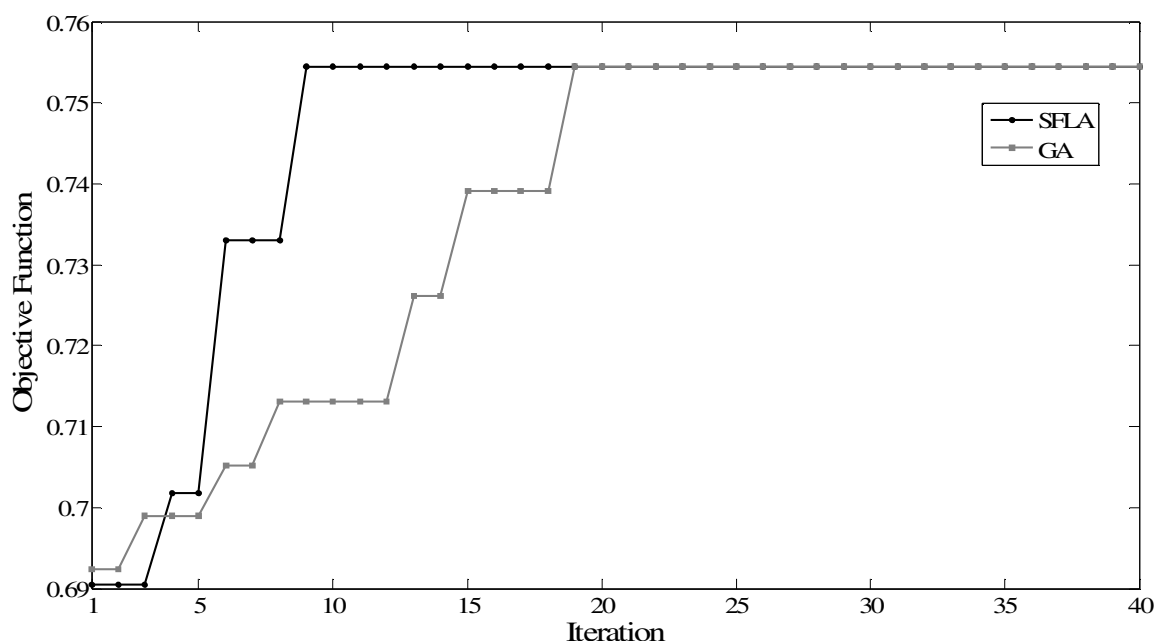
فصل پنجم- ارائه روش پیشنهادی در جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون
توزیع با استفاده از ترکیب فازی توابع هدف چندگانه

جدول (۷-۵): مقایسه نحوه‌ی همگرایی GA و SFLA با توجه به پارامترهای کنترلی آن‌ها

روش بهینه سازی	پارامترهای الگوریتم		مقدار متوسط تابع هدف	بهترین مقدار تابع هدف	تعداد تکرار برای همگرایی الگوریتم
SFLA	N_m	۲۰	۰/۷۴۵۴	۰/۷۵۴۴۴	۹
	N	۵			
	q	۳			
	IT_{max}	۴۰			
	r	۰/۸۵			
	C	۱/۸			
GA	N_p	۱۰۰	۰/۷۳۶۵۹	۰/۷۵۴۴۴	۱۹
	P_c	۰/۹			
	P_m	۰/۰۵			
	IT_{max}	۴۰			

از مقایسه نتایج جدول (۷-۵) می‌توان نتیجه گرفت که مقدار متوسط تابع هدف کلی مسئله در طول ۴۰ تکرار الگوریتم SFLA بزرگتر از مقدار متناظر آن برای الگوریتم GA می‌باشد. این موضوع شانس بالاتر رسیدن به مقدار بهینه را برای الگوریتم SFLA نسبت به GA نشان می‌دهد. شکل (۵-۱۲) مقایسه رفتار همگرایی بین روش‌های GA و SFLA را در طول ۴۰ تکرار برای شبکه مورد مطالعه نمایش می‌دهد. آنگونه که از این شکل مشخص است روش پیشنهادی مبتنی بر SFLA در نسل نهم همگرا می‌شود، در حالی که ۱۹ نسل جهت همگرایی روش مبتنی بر GA مورد نیاز می‌باشد.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که قابلیت بالای روش SFLA در بهینه‌سازی مسئله، در مقایسه با الگوریتم GA، راه مؤثرتری را جهت حل مسئله بهینه‌سازی گسسته این پروژه ارائه می‌کند. در حقیقت در روش SFLA جمعیت مجموعه‌ای از قورباغه‌های (جواب‌های ممکن) دست یافتنی به بهینگی می‌باشد که عاملی اساسی در رسیدن به همگرایی سریع در بهینه‌سازی سراسری می‌باشد.



شکل (۵-۱۲): مقایسه روند همگرایی الگوریتم SFLA و GA در طول ۴۰ تکرار الگوریتم

اما در مورد GA، به علت عملگرهای همبری و جهش کروموزوم‌های مورد بررسی در هر تکرار از اندازه جمعیت اولیه بیشتر است. بنابراین حافظه و نیاز محاسباتی کمتری در هر تکرار در روش SFLA، در مقایسه با روش GA مورد نیاز می‌باشد. اعتبار این موارد با نتایج حاصل از شبیه سازی این پروژه، اثبات شده است.

۵-۷- تحلیل نتایج

این فصل یک مدل فازی چند هدفه را جهت بهینه‌سازی تعداد و محل کلیدهای خط و همچنین اندازه و محل واحدهای DG در سیستم‌های اتوماسیون توزیع ارائه می‌کند. توابع هدف بهبود قابلیت اطمینان سیستم ضمن کاهش شاخص CIC، کاهش هزینه کلیدهای خط (SPMC) و همچنین بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات توان شبکه می‌باشند. یک روش اصلاح شده الگوریتم SFLA جهت تعیین جواب بهینه برای انواع مختلف سیستم‌های توزیع به کار گرفته شده است. جهت اثبات کارایی روش پیشنهادی، یک شبکه توزیع ۱۱ KV شهری به عنوان شبکه نمونه انتخاب شده است. نتایج شبیه سازی

فصل پنجم - ارائه روش پیشنهادی در جایابی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم‌های اتوماسیون توزیع با استفاده از ترکیب فازی توابع هدف چندگانه

نشان می‌دهد که مقدار شاخص CIC همزمان با افزایش قابلیت اطمینان سیستم در ساختار پیشنهادی نسبت به ساختار فعلی شبکه به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا می‌کند. این در حالی است که شاخص SPMC به علت افزایش تعداد کلیدهای دستی و اتوماتیک به صورت جزئی افزایش یافته است. علاوه بر این پس از جایابی واحدهای DG، تلفات توان شبکه به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است و پروفیل ولتاژ فیدر بهبود یافته است. جهت اثبات کارایی روش SFLA پیشنهادی، روش GA نیز جهت حل مسئله اعمال شده است و نتایج مقایسه شده‌اند. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که روش SFLA پیشنهادی عملکرد همگرایی نسبتاً بهتری را نمایش می‌دهد.

فصل ششم:

نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری

با پیشرفت روزافزون صنایع و افزایش هزینه‌های قطع سرویس برای مشترکین، بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم، اهمیت زیادی یافته است. سیستم‌های DAS، ضمن ردیابی سریع خطا و کاهش زمان وقفه مشترکین با استفاده از کلیدهای اتوماتیک، جهت بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان سیستم در شبکه توزیع، اهمیت زیادی یافته‌اند. اما با توجه به هزینه نسبتاً بالای خرید و نگهداری این کلیدها، تعیین تعداد و محل نصب این کلیدها، با هدف دست یافتن به حداکثر صرفه‌جویی اقتصادی در طول چرخه عمر کلیدها، پارامترهای مهمی هستند که باید محاسبه شوند.

از طرفی امروزه با توجه به نیاز روزافزون بشر به انرژی و پیشرفت‌های جدیدی که در زمینه منابع DG داشته‌ایم، شاهد رشد استفاده از این منابع بوده‌ایم. واحدهای DG با توجه به هزینه کمتر نصب و راه‌اندازی و همچنین قابلیت اطمینان بالایی که این واحدها برای مشترکین خود فراهم می‌کنند، جهت توسعه‌ی شبکه به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعیین اندازه و محل مناسب این واحدها به گونه‌ای که حداکثر پروفیل ولتاژ و حداقل تلفات را در شبکه داشته باشیم، نیز از پارامترهای مهمی هستند که باید محاسبه شوند. از طرفی DG ها معمولاً تأثیرات مثبتی روی قابلیت اطمینان دارند به گونه‌ای که وجود یک واحد DG در یک شین در سیستم‌های DAS، احتمال قطع سرویس مشترکین متصل به آن شین را در اثر وقوع خطا کاهش می‌دهد.

موارد فوق نشان می‌دهد که پارامترهای مربوط به کلیدهای دستی و اتوماتیک و همچنین واحدهای DG، پارامترهای مرتبطی هستند که بر توابع هدف همدیگر تأثیر می‌گذارند.

در فصل چهارم تحقیق حاضر ابتدا روابطی جهت محاسبه شاخص CIC کلی مشترکین با در نظر گرفتن نرخ خطای متفاوت برای هر شاخه و همچنین نرخ بارگذاری متفاوت ساعتی، روزانه و ماهیانه برای بارهای سیستم ارائه شده است، همچنین از یک نوع روش نردبانی خاص جهت محاسبه بارهای بی برق

شده و همچنین زمان وقفه مشترکین استفاده شده است.

در این فصل، شبکه استاندارد ۱۲۳ باس بار IEEE، جهت جابجایی بهینه کلیدهای دستی و اتوماتیک در سیستم‌های فاقد DG، مورد مطالعه قرار گرفته است. در این شبکه حدود ۷ کلید دستی وجود دارد و از هیچ گونه کلید اتوماتیکی استفاده نشده است. در این مسئله همچنین تعداد کلیدها پارامتری متغیر در نظر گرفته شده است و از الگوریتم GA جهت شبیه سازی مسئله استفاده شده است. تابع هدف در این مورد کاهش مجموع هزینه CIC و SPMC نسبت به ساختار اولیه می‌باشد.

نتایج شبیه سازی مربوط به شبکه‌ی نمونه در این فصل نشان می‌دهد که با افزایش تعداد کلیدهای دستی به ۳۳ عدد و همچنین اضافه کردن ۱۳ عدد کلید اتوماتیک به شبکه‌ی نمونه و جابجایی بهینه آن‌ها، مقدار شاخص CIC به میزان ۱۶۲۸۸۰۲ دلار در ساختار پیشنهادی نسبت به ساختار اولیه کاهش داشته است، که معادل ۳۰/۹ درصد هزینه اولیه است. در عوض به علت استفاده از کلیدهای اتوماتیک و هزینه بالای خرید و نگهداری این کلیدها میزان هزینه سرمایه گذاری کلیدها به میزان ۴۵۲۷۴۸ دلار در ساختار پیشنهادی نسبت به ساختار اولیه افزایش یافته است، که این افزایش هزینه در مقابل کاهش قابل ملاحظه هزینه CIC زیاد مؤثر واقع نمی‌شود. به گونه‌ای که مجموع کل هزینه‌ها به میزان ۱۱۷۶۰۵۴ دلار کاهش داشته است، که معادل ۲۲/۲۶ درصد هزینه اولیه می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که با تعیین تعداد و محل مناسب کلیدهای دستی و اتوماتیک در سیستم‌های DAS فاقد DG، بهبود قابل ملاحظه‌ای را در قابلیت اطمینان سیستم، ضمن کاهش قابل ملاحظه شاخص CIC شاهد خواهیم بود. اگرچه شاخص SPMC با افزایش تعداد کلیدهای دستی و اتوماتیک، افزایش جزئی خواهد داشت، اما در مجموع هزینه‌های شبکه توزیع به شدت کاهش می‌یابد.

در فصل پنجم تحقیق حاضر، یک روش اصلاح شده الگوریتم SFLA جهت جابجایی همزمان کلیدهای خط و همچنین واحدهای DG در سیستم‌های DAS با استفاده از ترکیب فازی توابع هدف

چندگانه مورد استفاده قرار گرفته است. در این قسمت همچنین تعداد کلیدها و اندازه واحدهای DG تعیین شده‌اند. در این قسمت از چهار تابع هدف بهبود قابلیت اطمینان سیستم، کاهش هزینه سرمایه‌گذاری کلیدها، کاهش تلفات توان اکتیو و همچنین بهبود پروفیل ولتاژ شبکه استفاده شده است. در این فصل همچنین نحوه محاسبه شاخص CIC با در نظر گرفتن واحدهای DG ارائه شده است. در این فصل فرض شده است که تعداد مشخصی واحد DG با ظرفیت معین جهت جابجایی در دسترس می‌باشد. یک شبکه توزیع حلقوی دارای ۹۵ باس بار جهت اثبات کارایی روش پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته است. در این شبکه تنها از دو کلید دستی استفاده شده است و هیچگونه کلید اتوماتیک و یا واحد DG وجود ندارد. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می‌دهد که با افزایش تعداد کلیدهای دستی به ۲۸ عدد و همچنین اضافه کردن ۱۱ عدد کلید اتوماتیک و ۵ واحد DG ۲۰ مگاواتی به شبکه و جابجایی بهینه‌ی آن‌ها، به علت افزایش قابلیت اطمینان سیستم با جابجایی پیشنهاد شده برای کلیدهای خط و واحدهای DG، میزان شاخص CIC به اندازه ۸۰۵۴۷۶۴ دلار کاهش یافته است، که چیزی معادل ۲۱/۱٪ می‌باشد. این در حالی است که شاخص SPMC به علت افزایش تعداد کلیدهای دستی و اتوماتیک در شبکه به اندازه ۳۱۳۰۰۰ دلار افزایش داشته است. نتایج حاصل همچنین کاهش قابل ملاحظه در مقادیر Q_{loss} و P_{loss} پس از اعمال جابجایی بهینه DG در شبکه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین قابل مشاهده است که مقدار شاخص dv_m با جابجایی بهینه واحدهای DG به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است.

لذا می‌توان نتیجه گرفت که جابجایی همزمان کلیدها و واحدهای DG و همچنین ایجاد هماهنگی بین آن‌ها در سیستم‌های DAS، سبب کاهش قابل توجهی در شاخص CIC کلی مشترکین می‌شود. ضمن اینکه با اعمال واحدهای DG تلفات اکتیو و راکتیو سیستم به شدت کاهش و پروفیل ولتاژ شبکه به صورت قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌یابد. در این فصل همچنین الگوریتم GA به مسئله اعمال شده است و نتایج حاصل مورد بحث قرار گرفته و با روش SFLA مقایسه شده‌اند. مقایسه نتایج از همگرایی سریعتر و

همچنین سرعت بیشتر و حجم حافظه کمتر مورد نیاز در روش SFLA نسبت به روش GA خبر می‌دهد.

۶-۲- پیشنهادات:

در این قسمت با توجه به گستردگی موضوع تحقیق و اهمیت آن در صنعت برق پیشنهاداتی برای تحقیقات جدید در این زمینه ارائه شده است:

۱. در این تحقیق تعداد واحدهای DG ثابت در نظر گرفته شده است. می‌توان تعداد واحدهای DG را به عنوان یک متغیر جدید تعریف نمود و آن‌ها را از نظر هزینه نیز بررسی نموده و هزینه آن‌ها را با هزینه خرید و نگهداری کلیدها در قالب هزینه سرمایه گذاری در نظر گرفت.

۲. در این تحقیق اندازه توان DG تزریقی مورد نیاز شبکه از پیش تعیین شده در نظر گرفته شده است و اپراتور با توجه به این مقدار میزان توان اکتیو هر واحد را مشخص می‌کند. می‌توان اندازه واحدهای DG را به عنوان یک متغیر جدید با همان توابع هدف موجود به مسئله اضافه کرد، اما با توجه به اینکه اندازه واحدهای DG در بازار مقادیر مشخصی است، لذا در این صورت ممکن است که در تعیین تعداد و اندازه واحدهای مورد نیاز با مشکل مواجه شد.

۳. می‌توان توابع هدف دیگر مانند کیفیت توان، وضعیت هارمونیک‌های ولتاژ باس بارها و امثال این‌ها که وابسته به محل واحدهای DG می‌باشند را، با توابع عضویت مشخص جهت افزایش دقت پروژه به مسئله اعمال کرد.

۴. می‌توان یک تابع هدف تحت عنوان تعادل توان حین عملکرد جزیره شدن^۱ را جهت جابجایی کلیدها و واحدهای DG به مسئله اعمال کرد، که هدف آن تعیین محل بهینه

¹ Islanding

کلیدها و واحدهای DG به گونه‌ای است که حین خطا بهترین نوع جزیره‌های خود تغذیه در سیستم ایجاد شود. این مسئله نیاز به بررسی کامل عملکرد جزیره شدن DG ها، بررسی توزیع توان در شبکه‌های قدرت و همچنین انواع روش‌های پخش بار در سیستم‌های قدرت دارد در این صورت می‌توان خطا را در کلیه شاخه‌های شبکه مورد بررسی قرار داده و یک ضریب مشخص متناسب با نرخ خطا در آن شاخه را به هر حالت خطا اختصاص داد.

۵. می‌توان روش‌های دیگر بهینه‌سازی مانند PSO، ACO و مانند این‌ها را به مسئله جایابی همزمان کلیدها و واحدهای DG اعمال نمود و نتایج و روند همگرایی آن‌ها را با هم مقایسه نمود.

پیوست‌ها

پیوست‌ها:

پیوست ۱: نمونه اطلاعات مربوط به نرخ خطا و طول شاخه‌های مختلف شبکه ۱۰۳ باسه

Branch Number (b)	λ_b (failure/km-year)	l_b (km)
1	0.15	1.04
2	0.1	0.03
3	0.1	1
4	0.075	1.11
5	0.05	1.1
6	0.05	0.9
7	0.075	1.3
8	0.1	0.99
9	0.1	1
10	0.025	0.988
11	0.05	2
12	0.075	1.4

پیوست ۲: نمونه اطلاعات مربوط به انواع مختلف بار در باس بارهای شبکه ۱۰۳ باسه

Load Point	Total Loads(KW)	Residential Loads(KW)	Commercial Loads(KW)	Industrial Loads(KW)	Key Loads(KW)
1	710	480	230	0	0
2	505	505	0	0	0
3	710	480	230	0	0
4	835	835	0	0	0
5	497	497	0	0	0
6	645	622	23	0	0
7	626	626	0	0	0
8	400	0	0	400	0
9	669	0	69	600	0
10	613	413	0	200	0
11	42	42	0	0	0
12	23	0	23	0	0

پیوست ۳: نمونه اطلاعات مربوط به بارهای تجاری با SIC متفاوت در باس بارهای شبکه ۱۰۳ باسه

Load Point	Commercial Loads (kw) SIC-62	Commercial Loads (kw) SIC-91	Commercial Loads (kw) SIC-97
1	100	100	30
2	0	0	0
3	50	50	130

پیوست‌ها

4	0	0	0
5	0	0	0
6	23	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	50	19
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	23

پیوست ۴: نمونه اطلاعات مربوط به بارهای صنعتی با SIC متفاوت در باس بارهای شبکه ۱۰۳ باسه

Load Point	industrial Loads (kw) SIC-06	industrial Loads (kw) SIC-08	industrial Loads (kw) SIC-09	industrial Loads (kw) SIC-15	industrial Loads (kw) SIC-17	industrial Loads (kw) SIC-19	industrial Loads (kw) SIC-24	industrial Loads (kw) SIC-25	industrial Loads (kw) SIC-27	industrial Loads (kw) SIC-29	industrial Loads (kw) SIC-31
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	200	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0
9	100	100	0	0	0	200	0	0	100	100	0
10	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

پیوست ۵: نمونه اطلاعات مربوط به نرخ خطا و طول شاخه‌های مختلف شبکه ۹۵ باسه

Branch Number (b)	λ_b (failure/km-year)	l_b (km)
1	0.075	1
2	0.15	1.5
3	0.1	2
4	0.025	2
5	0.1	1
6	0.075	1
7	0.075	0.9
8	0.05	2.5
9	0.05	2.5
10	0.025	1.5
11	0.15	2
12	0.075	0.5

پیوست‌ها

پیوست ۶: نمونه اطلاعات مربوط به انواع مختلف بار در باس بارهای شبکه ۹۵ باسه

Load Point	Total Loads(KW)	Residential Loads(KW)	Commercial Loads(KW)	Industrial Loads(KW)	Key Loads(KW)
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	240	240	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	240	240	0	0	0
6	350	350	0	0	0
7	2280	280	600	900	500
8	0	0	0	0	0
9	3000	500	500	2000	0
10	580	0	580	0	0
11	1060	560	0	500	0
12	0	0	0	0	0

پیوست ۷: نمونه اطلاعات مربوط به بارهای تجاری با SIC متفاوت در باس بارهای شبکه ۹۵ باسه

Load Point	Commercial Loads (kw) SIC-62	Commercial Loads (kw) SIC-91	Commercial Loads (kw) SIC-97
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	200	100	300
8	0	0	0
9	200	300	0
10	280	100	200
11	0	0	0
12	0	0	0

پیوست ۸: نمونه اطلاعات مربوط به بارهای صنعتی با SIC متفاوت در باس بارهای شبکه ۹۵ باسه

Load Point	industrial Loads (kw) SIC-06	industrial Loads (kw) SIC-08	industrial Loads (kw) SIC-09	industrial Loads (kw) SIC-15	industrial Loads (kw) SIC-17	industrial Loads (kw) SIC-19	industrial Loads (kw) SIC-24	industrial Loads (kw) SIC-25	industrial Loads (kw) SIC-27	industrial Loads (kw) SIC-29	industrial Loads (kw) SIC-31
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	300	0	300	300	0	0

پیوست‌ها

8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	300	0	0	1000	0	0	0	700	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	200	100	200	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

پیوست ۹: نمونه اطلاعات مربوط به توان اکتیو و راکتیو بار در باس بارهای شبکه ۹۵ باسه

Load Point	Active Loads (kw)	Reactive Loads (kvar)
1	0	0
2	0	0
3	240	110
4	0	0
5	240	110
6	350	170
7	2280	1105
8	0	0
9	3000	1450
10	580	280
11	1060	515
12	0	0

مراجع:

- [1] David G.Hart, David Uy, James Northcote-Green, Carl Laplace, And Damir Novosel, Automated solutions for distribution feeders, **Computer Applications in Power, IEEE**, 13 (October). (2000) 25–30.
- [2] Rabie Belkacemi, And Ali Feliachi, An immune system approach for power system automation and self healing, in: **Power Systems Conference and Exposition** , 2009, pp. 1-7
- [3] L Le-Thanah, B.Raison, S.Bacha and F.Blache, Test bench for self-healing functionalities applied on distribution network with distributed generators, in: **IEEE Bucharest Power Tech Conference**, (July), 2009, Romania, pp. 1-6
- [4] Lampropoulos, I.; Vanalme, G.M.A.; Kling, W.L, A methodology for modeling the behavior of electricity prosumers within the smart grid,in: **Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, 2010**, pp. 1-8
- [5] Bennett, C.; Highfill, D., Networking AMI Smart Meters, in: **Energy 2030 Conference**, (November), 2008, Atlanta, pp.1
- [6] Chao-Shun Chen, Chia-Hung Lin, Hui-Je Chuang, Chung-Sheng Li, Ming-Yuang Hung and Chia-Wen Hunang, Optimal placement of line switches for distribution automation system using immune algorithm, *IEEE Transaction on power System*, 21 (August(3)). (2006) 1209–1217.
- [7] R. E. Brown, L. A. Freeman, Analyzing the reliability impact of distributed generation, in: **IEEE Power Engineering Society Summer Meeting**, vol (2), (July), 2001, pp. 1013 -1018
- [8] W. El-Khattam, M. M. A. Salama, "Distributed generation technologies, definitions and benefits", **Electric Power Systems Research**, 71, 2004, pp 119-128.
- [9] Arthur D.Little White Paper“Reliability and Distributed Generation”,2001
- [10] R. Billinton, Predicting Bulk electricity system reliability Performance Indices Using SequentialMonte Carlo Simulation, *IEEE Transaction on Power Delivery*, 21, (April), 2006, 909-917.
- [11] Billinton R, Allen R, Reliability Evaluation of Power System" Longman, 1984.
- [12] Billinton, R., and Allan, R.N., Power system reliability in perspective, **Electronics & Power**, 30, 1984, 231-236
- [13] Bakkiyaraj, R.A.; Kumarappan, N., Evaluation of composite reliability indices based on non-sequential Monte Carlo simulation and particle swarm optimization, in: **IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2010**, pp. 1-5
- [14] Dalloz, G., Analysis of service interruptions at the MW and LV customer level, **Revenue. General.Electric**, 81, 1972, 537-543.
- [15] Ekwue, A. O., Economics and reliability of supply of developing power systems, Generation, **Transmission and Distribution, IEE Proceedings**, 133, 1986, 373-376
- [16] Billinton, R., Bibliography on the application of probability methods in power system reliability evaluation”, **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, 1972, 649-660
- [17] Fabres, J., and Bonnardot, A., The cost of electricity not supplied in electrical networks, **Electric Revenue**, 19, 1971, 737-739

- [18] Kolbaek Jensen, K., Quality of supply, Evaluation of the costs of non-distributed energy, in: **7th International Conference on Electricity Distribution, 1983**, Liege, pp 16-22.
- [19] Kogin, H. J., Roos, E., and Wellssow, W. H., Application of reliability calculation methods to planning of high voltage networks, **IEE Conference on Reliability of power supply systems, 1983**, 64-68.
- [20] R.Niemi, P.D.Lund, Decentralized electricity system sizing and placement in distribution networks, **Applied Energy**, 87, (June), **2010**, 1865-1869.
- [21] Wiwat Tippachon, Dulpichet Rerkpreedapong, Multi-objective optimal placement of switches and protective devices in electric power distribution systems using ant colony optimization, **Electric Power Systems Research**, 79, (July), **2009** 1171-1178.
- [22] C.H.Ng, T.T.Lie, L.Goel, Impacts of distributed generation on system reliability in competitive electricity markets, In: **8th International Conference on Power Engineering**, (December), **2007**, Singapore, pp. 735-740.
- [23] Seong-II Lim, Seung-Jae Lee, Myeon-Song Choi, And Dong-Jin Lim, Service restoration methodology for multiple fault case in distribution systems, **IEEE Transaction on Power Systems**, 21, (November), **2006**, 1638-1644.
- [24] Fahim Teihooee Asr, And Ahad Kazemi, Determining optimal location of automated switches in distribution network, **IEEE Electrical power and energy conference**, **2008**, pp.1-6.
- [25] Billinton, R. and Jonnavithula, S., Optimal switching device placement in radial distribution system, **IEEE Transactions on Power delivery**, 11, **1996**, 1646-1651.
- [26] R. Abdelaziz, A. El-Habachi, Hierarchical Genetic Algorithm-Based Switching Device Placement in Distribution Systems, in: **Electrotechnical Conference**, (May), **2002**, Egypt, pp. 585-589.
- [27] Chin-Hsien WANG, Chan-Nan LU, Effects of distributed generations on the fault detection function of distribution automation systems, in: **20th International Conference on Electricity Distribution**, Prague, (June), **2009**, pp. 1-5.
- [28] K.Manjunath, M.R. Mohan, A new hybrid multi-objective quick service restoration technique for electric power distribution systems, **Electrical Power & Energy Systems**, 29, (January), **2009**, 51-64.
- [29] Stefania Conti, Sebastiano Nicotra, Procedures for fault location and isolation to solve protection selectivity problems in MV distribution networks with dispersed generation, **Electric Power Systems Research**, 79, (January), **2009**, 57-64.
- [30] Tuba Gozel, M.Hakan Hocaoglu, An analytical method for the sizing and siting of distributed generators in radial systems, **Electric Power Systems Research**, 79, (June), **2009**, 912-918.
- [31] Hamid Falaghi, Mahmood-Reza Haghifam, Chanan Singh, Ant colony optimization-based method for placement of sectionalizing switches in distribution networks using a fuzzy multi-objective approach, **IEEE Transaction on Power Delivery**, 24, (January), **2009**, 268 – 276.
- [32] D.H.Popovic, J.A.Greatbanks, M.Begovic, A.Pregelj, Placement of distributed generators and reclosers for distribution network security and reliability, **Electrical Power and Energy Systems**, 27, (June-July), **2005**, 398-408.
- [33] Chun-Lien Su, Jen-Ho Teng, Outage costs quantification for benefit–cost analysis of distribution automation systems, **Electrical Power and Energy Systems**, 29, (December), **2007**, 767-774.

- [34] 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**, 50, (August), **2009**, 2020-2028.
- [35] Randy L. Haupt, Sue.E Haupt, Practical Genetic Algorithms, John Willey &sons Press, **2004**.
- [36] 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**, 129, (March), **2003**, 210-225.
- [37] Muzaffer Eusuff, Kevin Lansey and Fayzul Pasha, Shuffled frog-leaping algorithm: a memetic meta-heuristic for discrete optimization, **Engineering Optimization**, 38, (March), **2009**, 129-154.
- [38] 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.
- [39] G. Tollefson, R. Billinton, G. Wacker, E. Chan, and J. Aweya, A canadian customer survey to assess power system reliability worth, **IEEE Transaction on Power System**, 9, (February), **1994**, 443 – 450.
- [40] Mohammad Mahdi oskonejad, Engineering economy or economical assessment of industrial projects, **publication center of industrial university of Amirkabir**; 7th edition, (summer), **1996**.
- [41] Mau Teng Au, And Jovica V.Milanovic, Establishing Harmonic Distribution Level of Distribution Network Based on Stochastic Aggregate Harmonic Load Models, **IEEE Transaction on power system**, 22, (April), **2007**.
- [42] Adel A.Abou El Ela, Shaimaa R.Spea, Optimal corrective actions for power systems using multi-objective genetic algorithms, **Electric Power Systems Research**, 79, (January), **2009**, 57-64.
- [43] Y.J.Lai and C.L.Hwang, Fuzzy multiple objective decision making: methods and applications, Berlin, Germany, **Springer-Verlag**, **1994**
- [44] G.Pepermans, J.Driesen, D.Haeseldonckx, R.Belmans, W.D'haeseleer, Distributed generation: definition, benefits and issues, **Energy Policy**, 33, (April), **2005**, 787-798.
- [45] H. Y. Li and B. Yunus, Assessment of switched communication network availability for state estimation of distribution networks with generation, **IEEE Transaction on Power delivery**, 22, (July), **2007**, 1424 – 1432.
- [46] D. E Goldberg, Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning, Reading, MA: **Addison**, (January), **1989**.
- [47] Witoon Prommee, Weerakorn Ongsakul, Optimal multi-distributed generation placement by adaptive weight particle swarm optimization, In: **International Conference on Control, Automation and Systems**, Korea, (October), **2008**, pp. 1663-1668.
- [48] Sudipta Ghosh, S.P.Ghoshal, Saradindu Ghosh, Optimal sizing and placement of distributed generation in a network system, **Electrical Power and Energy Systems**, 32, (October), **2010**, 849-856.
- [49] Allen J. Wood, Power generation, operation and control, A **Wiley-Interscience Publication**, John Wiley Sons, Inc, **1996**.

improvement in system reliability parameters, a substantial reduction of active power losses and a considerable voltage deviation reduction, by applying the proposed method to the case study. At the end, to demonstrate the efficiency of the proposed algorithm compared to the other existing optimization method, the GA is also applied to solve this problem and then the results are compared and discussed. The comparison results demonstrate a better and faster convergence manner for the modified SFLA than GA.

Keywords: Distribution Automation System, Distributed Generation, Frog Leaping Optimization, System Reliability, Sectionlizing switches, Multi-Objective optimization, Fuzzy Compound.

Abstract:

Reliability of electrical distribution networks is one of the vital issues that draws the attention of companies in distribution sector. The distribution automation systems (DAS) and distributed generators (DGs) are very important in distribution networks to improve reliability indices.

The current thesis consists of two essential parts. The first part is associated with the optimal placement of manual and automatic switches for DASs without DGs. In this part, the numbers of manual and automatic switches are also considered as the problem variables. The objective function in this part is to increase the economic savings amount by decreasing the sum of customer interruption costs (CIC) and switches purchasing and maintenance costs (SPMC). In this part, a method is developed which includes a set of detailed equation in order to estimate the index of CIC by considering all modes of fault in different branches with different fault rate for each branch and also various hourly, daily and monthly loading rates. In addition, the proposed algorithm employs an exact ladder method to determine the points of lost loads, the switches which must be switched and the fault time duration for each case. It is used the genetic algorithm (GA) as a tool to optimize the problem. The efficiency of offered method is shown by doing experiment in the extended sample network including 103 load points which is extracted from a real network.

The second part presents a modified shuffled frog leaping algorithm (SFLA) for simultaneity optimal placement of DGs and line switches in DASs. The size of DGs and also the number of manual and automatic switches are determined by this algorithm. In the proposed method, a fuzzy multi-objective approach is used to calculate the general objective function, and a fuzzy membership function is defined for each term in the objective function. The primary objective is reliability improvement by minimizing CIC. The second objective is to minimize SPMC. Other objectives are to minimize the active power losses and improving voltage profiles. This paper also develops a method for calculating CIC and SPMC indices in a distribution network by considering DGs. The performance of the proposed approach is assessed and illustrated by studying on a real 11-KV distribution network including 95 load points. The results show a significant



Shahrood University of Technology
Faculty of Electrical and Robotic Engineering
M.Sc. Thesis

**Optimal placement of switches and distributed
generation units in distribution automation systems using
fuzzy compound of genetic algorithm**

Iman Goroohi Sardou

Supervisor:

Dr. Mahdi Banejad

Advisor:

Dr. Ali Dastfan

2011