



دانشکده مهندسی برق و رباتیک
گروه مهندسی قدرت

عنوان:

جایابی بهینه ادوات کلیدزنی برای افزایش قابلیت اطمینان در شبکه های توزیع
فشار متوسط با تولید پراکنده

پژوهشگر:

آرش وحیدنیا

استاد راهنما:

دکتر مهدی بانژاد

اساتید مشاور:

دکتر سید حسین حسینی

دکتر مجید علومی بایگی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق - قدرت

اردیبهشت ۱۳۸۸

تقدیم به پدر و مادرم

که بی شک هر چه دارم از لطف و توجه آنان است.

با تشکر از زحمات بی دریغ استاد محترم و فرزانه ام:

جناب آقای دکتر مهدی بانژاد

چکیده:

قابلیت اطمینان یکی از مهمترین مسائل مورد بحث در سیستم قدرت و شبکه های توزیع می باشد و رسیدن به مقادیر بهتری از شاخص های قابلیت اطمینان مسئله بسیار مهمی برای مهندسين سیستم و شرکت های تأمین و توزیع کننده انرژی در جهت بالا بردن رضایت مشتریان و نیز سود شرکتهای می باشد. روشهای بسیاری برای بالابردن قابلیت اطمینان در سیستم های قدرت و نیز شبکه های توزیع وجود دارند که قرار دادن کلیدهای جدا کننده یا سکشنالایزر ها یکی از روشهای مؤثر در بهبود قابلیت اطمینان شبکه های توزیع می باشد. قرار دادن هرگونه کلید، سیستم حفاظتی و ادوات کنترل کننده مستلزم هزینه سرمایه گذاری اولیه می باشد و لذا مهمترین مسئله در قرار دادن این ادوات بر روی شبکه توزیع یافتن بهترین محل آنها است به نحوی که بالاترین قابلیت اطمینان برای سیستم به دست آید تا به این ترتیب بهترین بازگشت سرمایه را نیز برای شرکت های توزیع به ارمغان آورد. با توجه به افزایش روزافزون به کارگیری و استفاده از تولید پراکنده در شبکه های توزیع لازم است اثرات آن در تمامی آنالیزهای مرتبط با سیستم توزیع در نظر گرفته شوند. در این پروژه روشی مبتنی بر ترکیب تئوری گراف و الگوریتم ژنتیک بهینه شده برای حل مسئله جایابی کلید در شبکه های توزیع با در نظر گرفتن تولید پراکنده در شبکه ارائه شده است. با بهینه سازی شاخص های اقتصادی قابلیت اطمینان برای حالت های مختلف و تعداد کلید های متفاوت بهترین محل برای قرار دادن کلید در شبکه به دست آمده است. این روش بر روی چند سیستم نمونه با و بدون در نظر گرفتن تولید پراکنده شبیه سازی شده است و بهترین تعداد و محل های نصب کلید در این شبکه ها به دست آمده است. با مقایسه نتایج به دست آمده در حالت های مختلف، به وضوح اثرات وجود تولید پراکنده در نتایج شبیه سازی ها قابل مشاهده است.

واژه های کلیدی: قابلیت اطمینان، شبکه های توزیع، الگوریتم ژنتیک، تولید پراکنده

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....	۱
مقدمه.....	۲
فصل دوم: پایه های نظری و پیشینه پژوهش.....	۵
۱-۲- قابلیت اطمینان در شبکه های قدرت و ضرورت بررسی آن.....	۶
۲-۲- کاربرد های مختلف مطالعات قابلیت اطمینان.....	۸
۳-۲- آشنایی با تئوری قابلیت اطمینان و توابع ریاضی آن.....	۹
۴-۲- انواع سیستم های مورد مطالعه در قابلیت اطمینان.....	۱۲
۱-۴-۲- بررسی قابلیت اطمینان سیستم های سری.....	۱۴
۲-۴-۲- بررسی قابلیت اطمینان سیستم های موازی.....	۱۷
۵-۲- ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستم های مرکب.....	۱۹
۱-۵-۲- روشهای تحلیلی.....	۱۹
۱-۵-۲- روش مینیمال کات ست.....	۲۰
۲-۱-۵-۲- روش ماتریس اتصال.....	۲۲
۳-۱-۵-۲- روش تحلیل درختی خطا.....	۲۳
۴-۱-۵-۲- فرایندهای مارکوف.....	۲۳
۱-۴-۱-۵-۲- فرآیندهای مارکوف گسسته.....	۲۴
۲-۴-۱-۵-۲- فرآیندهای مارکوف پیوسته.....	۲۶
۲-۵-۲- روشهای شبیه سازی.....	۲۸
۶-۲- شبکه های توزیع و اجزای آن.....	۲۹
۱-۶-۲- سکشن فرعی.....	۲۹
۲-۶-۲- سکشن اصلی.....	۳۰
۳-۶-۲- فیدر عمومی.....	۳۰
۴-۶-۲- شبکه های توزیع شعاعی.....	۳۰
۵-۶-۲- شبکه های توزیع حلقوی.....	۳۲
۶-۶-۲- شبکه های توزیع غربالی.....	۳۴
۷-۲- شاخص های اصلی محاسبه قابلیت اطمینان شبکه های توزیع.....	۳۵
۸-۲- شاخص های تکمیلی محاسبه قابلیت اطمینان شبکه های توزیع.....	۳۵
۱-۸-۲- شاخصهای مرتبط با مصرف کنندگان.....	۳۵
۲-۸-۲- شاخصهای بار.....	۳۶
۳-۸-۲- شاخصهای اقتصادی قابلیت اطمینان سیستمهای توزیع.....	۳۶
۹-۲- بررسی تحقیقات انجام گرفته در زمینه جایابی کلید در شبکه های توزیع.....	۳۷
فصل سوم: روش های جایابی بهینه ادوات کلیدزنی در شبکه های توزیع.....	۴۲
۱-۳- جایابی بهینه ادوات کلیدزنی و حفاظتی.....	۴۳
۱-۱-۳- موقعیت بهینه یک سیکسونر.....	۴۴
۲-۳- برنامه ریزی شبکه های توزیع.....	۴۷

فهرست مطالب

۳-۳-جایابی بهینه سکسیونر و نقاط مانور در شبکه های توزیع دارای اتوماسیون.....	۵۰
۴-۳-جایابی بهینه کلید در شبکه های توزیع دارای اتوماسیون.....	۵۲
۵-۳-محاسبه هزینه زمان خاموشی.....	۵۳
۶-۳-جایابی بهینه کلید در شبکه های توزیع با تولید پراکنده.....	۵۶
۱-۶-۳-تئوری گراف.....	۵۷
۲-۶-۳-الگوریتم ژنتیک.....	۵۸
۱-۲-۶-۳-مفاهیم اولیه در الگوریتم ژنتیک.....	۶۱
۱-۱-۲-۶-۳-کد کردن.....	۶۱
۲-۱-۲-۶-۳-کروموزم.....	۶۱
۳-۱-۲-۶-۳-جمعیت.....	۶۲
۴-۱-۲-۶-۳-مقدار برازندگی.....	۶۲
۵-۱-۲-۶-۳-عملگر ترکیب (تقاطع).....	۶۲
۶-۱-۲-۶-۳-عملگر جهش.....	۶۳
۷-۱-۲-۶-۳-فرآیند انتخاب.....	۶۳
۲-۲-۶-۳-مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک.....	۶۴
۳-۲-۶-۳-مدل سازی مسئله با الگوریتم ژنتیک.....	۶۶
۴-۲-۶-۳-مدل سازی شبکه.....	۶۷
۵-۲-۶-۳-در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده.....	۶۸
۶-۲-۶-۳-الگوریتم کلی حل مسئله.....	۷۰
۷-۲-۶-۳-شرط همگرایی الگوریتم.....	۷۱
فصل چهارم: نتایج و بحث.....	۷۲
۱-۴-بررسی اجمالی روش حل و به دست آوردن نتایج.....	۷۳
۲-۴-اجرای روش ارائه شده بر روی شبکه اول.....	۷۴
۱-۲-۴-نتایج حالت اول بر روی شبکه نمونه اول - بدون منبع تولید پراکنده.....	۷۶
۲-۲-۴-نتایج حالت دوم بر روی شبکه نمونه اول - با یک منبع تولید پراکنده.....	۷۹
۳-۲-۴-نتایج حالت سوم بر روی شبکه نمونه اول - با دو منبع تولید پراکنده.....	۸۲
۳-۴-اجرای روش ارائه شده بر روی شبکه دوم.....	۸۵
۱-۳-۴-نتایج حالت اول بر روی شبکه نمونه دوم - بدون منبع تولید پراکنده.....	۸۷
۲-۳-۴-نتایج حالت دوم بر روی شبکه نمونه دوم - با یک منبع تولید پراکنده.....	۹۱
۳-۳-۴-نتایج حالت سوم بر روی شبکه نمونه دوم - با دو منبع تولید پراکنده.....	۹۴
۴-۴-اجرای روش ارائه شده بر روی شبکه سوم.....	۹۷
۱-۴-۴-نتایج حالت اول بر روی شبکه نمونه سوم - بدون منبع تولید پراکنده.....	۱۰۳
۲-۴-۴-نتایج حالت دوم بر روی شبکه نمونه سوم - با یک منبع تولید پراکنده.....	۱۰۶
۵-۴-نحوه رسیدن به جواب بهینه.....	۱۰۹
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....	۱۱۰
۱-۵-نتیجه گیری.....	۱۱۱

فهرست مطالب

۱۱۲.....	۲-۵- پیشنهادات.....
۱۱۳.....	مراجع:.....

فهرست شکل‌ها

۱۱	شکل (۱-۲): منحنی تغییرات نرخ خرابی قطعات الکتریکی نسبت به عمر مفید.....
۲۱	شکل (۲-۲): شبکه نمونه.....
۲۲	شکل (۳-۲): مدل مینیمال کات ست شبکه نمونه.....
۲۳	شکل (۴-۲): مدل ماتریس اتصال شبکه نمونه.....
۲۴	شکل (۵-۲): نمودار انتقال حالت‌های یک سیستم ساده.....
۳۰	شکل (۶-۲): دیاگرام توزیع کننده فرعی انرژی الکتریکی و اجزای آن.....
۳۰	شکل (۷-۲): دیاگرام سکشن اصلی در سیستم توزیع.....
۳۰	شکل (۸-۲): دیاگرام یک فیدر عمومی در سیستم توزیع.....
۳۱	شکل (۹-۲): شبکه شعاعی نمونه.....
۳۲	شکل (۱۰-۲): شبکه حلقوی باز نمونه.....
۳۳	شکل (۱۱-۲): شبکه حلقوی بسته نمونه.....
۳۴	شکل (۱۲-۲): شبکه غربالی نمونه.....
۴۶	شکل (۱-۳): شبکه نمونه برای جایابی بهینه سکسیونر.....
۵۴	شکل (۲-۳): موازنه میان هزینه و قابلیت اطمینان.....
۵۸	شکل (۳-۳): مدل سازی شبکه توزیع با استفاده از درخت پوشا.....
۶۱	شکل (۴-۳): مقایسه روشهای جستجوی یک و چند مسیری.....
۶۳	شکل (۵-۳): اجرای عملگرهای ترکیب یک نقطه‌ای روی دو کروموزم.....
۶۳	شکل (۶-۳): اجرای عملگر جهش روی یک کروموزم.....
۶۵	شکل (۷-۳): چرخه تکامل در الگوریتم ژنتیک.....
۶۷	شکل (۸-۳): مدل کروموزوم و عملگرهای ژنتیکی.....
۶۸	شکل (۹-۳): سکشن‌های به وجود آمده در یک شبکه نمونه.....
۷۰	شکل (۱۰-۳): فلوچارت کلی الگوریتم روش پیشنهادی.....
۷۴	شکل (۱-۴): شبکه نمونه ۱.....
۷۷	شکل (۲-۴): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید.....
۷۸	شکل (۳-۴): بهترین آرایش کلید در حالت ۱ بر روی شبکه ۱.....
۷۹	شکل (۴-۴): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید.....
۸۱	شکل (۵-۴): بهترین آرایش کلید در حالت ۲ بر روی شبکه ۱.....
۸۲	شکل (۶-۴): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید.....
۸۴	شکل (۷-۴): بهترین آرایش کلید در حالت ۳ بر روی شبکه ۱.....
۸۵	شکل (۸-۴): شبکه نمونه ۲.....
۸۸	شکل (۹-۴): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید.....
۹۰	شکل (۱۰-۴): بهترین آرایش کلید در حالت ۱ بر روی شبکه ۲.....
۹۲	شکل (۱۱-۴): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید.....
۹۳	شکل (۱۲-۴): بهترین آرایش کلید در حالت ۲ بر روی شبکه ۲.....
۹۵	شکل (۱۳-۴): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید.....
۹۶	شکل (۱۴-۴): بهترین آرایش کلید در حالت ۳ بر روی شبکه ۲.....

فهرست شکل‌ها

- شکل (۴-۱۵): شبکه نمونه ۳ ۹۷
- شکل (۴-۱۶): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید ۱۰۴
- شکل (۴-۱۷): بهترین آرایش کلید در حالت ۱ بر روی شبکه ۳ ۱۰۵
- شکل (۴-۱۸): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید ۱۰۷
- شکل (۴-۱۹): بهترین آرایش کلید در حالت ۲ بر روی شبکه ۳ ۱۰۸
- شکل (۴-۲۰): منحنی تغییرات تابع هدف در هر تکرار الگوریتم ژنتیک ۱۰۹

فهرست جداول

۲۱	جدول (۱-۲) : ترکیب های تشکیل دهنده مینیمال کات ست های شبکه نمونه.....
۲۵	جدول (۲-۲): احتمال اشغال هر یک از حالات ۱ و ۲ پس از هر فاصله زمانی.....
۴۷	جدول (۱-۳) : نتایج جایابی بهینه سکسیونر در شبکه نمونه.....
۵۵	جدول (۲-۳) : تابع خسارت مصرف کنندگان مختلف یک سیستم نمونه.....
۷۵	جدول (۱-۴) : مشخصات گره های شبکه نمونه ۱.....
۷۵	جدول (۲-۴) : مشخصات شاخه های شبکه نمونه ۱.....
۷۶	جدول (۳-۴) : نتایج حالت ۱ بر روی شبکه نمونه ۱.....
۷۹	جدول (۴-۴) : نتایج حالت ۲ بر روی شبکه نمونه ۱.....
۸۲	جدول (۵-۴) : نتایج حالت ۳ بر روی شبکه نمونه ۱.....
۸۵	جدول (۶-۴) : مشخصات گره های شبکه نمونه ۲.....
۸۶	جدول (۷-۴) : مشخصات شاخه های شبکه نمونه ۲.....
۸۸	جدول (۸-۴) : نتایج حالت ۱ بر روی شبکه نمونه ۲.....
۹۱	جدول (۹-۴) : نتایج حالت ۲ بر روی شبکه نمونه ۲.....
۹۴	جدول (۱۰-۴) : نتایج حالت ۳ بر روی شبکه نمونه ۲.....
۹۷	جدول (۱۱-۴) : مشخصات گره های شبکه نمونه ۳.....
۹۹	جدول (۱۲-۴) : مشخصات شاخه های شبکه نمونه ۳.....
۱۰۳	جدول (۱۳-۴) : نتایج حالت ۱ بر روی شبکه نمونه ۳.....
۱۰۶	جدول (۱۴-۴) : نتایج حالت ۲ بر روی شبکه نمونه ۳.....

فصل اول:

مقدمه

مقدمه

از ابتدای شروع کار در صنعت برق تداوم برق رسانی و سرویس دهی به مصرف کنندگان از اهمیت بالایی برخوردار بوده و تمامی دست اندرکاران این صنعت در تمام جهان پیوسته در جهت نیل به تامین برق مطمئن و پایدارتر نمودن شبکه برق رسانی کوشیده و سرمایه گذاری نموده اند. شرایط اقتصادی اجتماعی و سیاسی کنونی حاکم بر عملکرد سیستمهای قدرت نسبت به چند دهه پیش تغییرات قابل ملاحظه‌ای کرده است. در فواصل سالهای ۱۹۴۵ تا اواخر دهه ۶۰ طراحی نیروگاههای تولید انرژی و تجهیزات مربوط به آنها از پایداری نسبتاً زیادی برخوردار بوده است چرا که تقاضا برای مصرف انرژی الکتریکی پایین بوده و نیروگاههای تولید کننده انرژی الکتریکی براحتی جوابگوی تقاضای مصرف کنندگان بودند همچنین هزینه‌های مربوط به تولید و توزیع انرژی الکتریکی نسبتاً ثابت بود. در اواخر دهه ۸۰، تورم و افزایش سرسام‌آور در قیمت نفت باعث صعود ناگهانی هزینه‌های تولید گردیده و نیز افزایش تقاضا برای انرژی الکتریکی، پیش‌بینی آینده سیستم‌های قدرت را با مشکل مواجه کرده بود. از دیگر سو بروز مشکلات محیط‌زیستی نیز دست به دست هم دادند تا کشورهای مختلف به فکر استفاده از انرژیهای تجدید شونده بیفتند. در اندک زمانی استفاده از انرژیهای هسته‌ای، باد و انرژی خورشیدی برای تولید انرژی الکتریکی متداول گشت. ورود این نیروگاههای تولیدی به سیستم‌های قدرت این سیستم‌ها را از نظر قابلیت اطمینان^۱ و امنیت با مشکلات عدیده‌ای مواجه ساخت بنابراین ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت اهمیت ویژه‌ای پیدا کرد و امروزه نیز یکی از فاکتورهای مهم طراحی سیستم‌های قدرت قابلیت اطمینان این سیستم‌ها می‌باشد.

یکی از اهداف مهم مدیران هر سیستم تهیه محصولات و ارائه خدمات با کیفیت مناسب و با کمترین هزینه به مصرف کنندگان می‌باشد. این هدف نیز در سیستم قدرت همواره یکی از اهداف بزرگ مدیران این سیستم بوده است. بررسی قابلیت اطمینان نقش مهمی را در رسیدن به این هدف

^۱ Reliability

بزرگ ایفا می‌کند، بطوریکه در جهان امروز یکی از مهمترین فعالیتهای طراحی و بهره‌برداری از سیستمهای قدرت شناخت قابلیت اطمینان و بررسی سطح آن در سیستم می‌باشد. بررسی قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع به عنوان آخرین زیر سیستم در سیستم قدرت که وظیفه نهایی سیستم را که همان توزیع انرژی به مشترکین را ایفا می‌کنند دارای اهمیت و جایگاه بسیار مهمی می‌باشد. از ویژگیهای عمده شبکه توزیع که اهمیت بحثهای قابلیت اطمینان را در این بخش نشان می‌دهد عبارتند از:

- گستردگی و پیچیدگی شبکه‌های توزیع
- اهمیت بار در شبکه‌های توزیع
- مصرف کنندگان فراوان
- تاثیرات اجتماعی

بنابراین ارزیابی قابلیت اطمینان و روشهای مناسب جهت افزایش شاخص‌های آن در بهبود بهره‌وری سیستم بسیار مفید می‌باشد.

با توجه به اهمیت قابلیت اطمینان در شبکه‌های قدرت رسیدن به مقادیر بهتری از شاخص‌های قابلیت اطمینان مسئله بسیار مهمی برای مهندسين سیستم و شرکت‌های تأمین و توزیع کننده انرژی در جهت بالا بردن رضایت مشترکین و نیز سود شرکتها می‌باشد. روشهای بسیاری برای بالا بردن قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت و نیز شبکه‌های توزیع وجود دارند که قرار دادن کلیدهای جدا کننده^۱ یا سکشنالایزرها^۲ یکی از روشهای مؤثر در بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع می‌باشد. قرار دادن هرگونه کلید، سیستم حفاظتی و ادوات کنترل کننده مستلزم هزینه سرمایه گذاری اولیه می‌باشد و لذا مهمترین مسئله در قرار دادن این ادوات بر روی شبکه توزیع تعیین بهترین محل برای آنها می‌باشد به نحوی که بالاترین قابلیت اطمینان برای سیستم به دست آید تا به این ترتیب بهترین بازگشت سرمایه را نیز برای شرکت‌های توزیع در پی داشته باشد. افزایش

¹ Circuit Breaker

² Sectionalizer

روزافزون نصب و به کارگیری سیستم های تولید پراکنده^۱ نیز ضرورت توجه به وجود این عناصر را در تمامی بررسی ها ، آنالیزها و طراحی های سیستم توزیع موجب می گردد.

با توجه به ماهیت و ساختار شبکه های توزیع، استفاده از ادوات کلیدزنی برای محدود سازی ناحیه خاموشی و کاهش مشترکین تاثیرپذیر از خطا امری اجتناب ناپذیر است. تعیین بهترین آرایش و ترکیب برای این تجهیزات می تواند به بهبود قابلیت اطمینان و افزایش رضایت مندی مشترکین کمک کند. مکانیابی کلیدها به عنوان یکی از ادوات، برای ارتقاء قابلیت اطمینان و کاهش تعداد و مدت تداوم خاموشی در سیستم صورت می پذیرد. علاوه بر این در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده در حل مسئله موجب واقعی تر شدن مسئله و نیز بهتر شدن بیشتر شاخص های قابلیت اطمینان می شود.

موضوعات مختلف مطرح شده در این تحقیق، به صورت طبقه بندی شده در فصل های بعدی بیان گردیده اند. در فصل دوم به پایه های نظری بحث قابلیت اطمینان و نیز جایابی کلید در شبکه های توزیع و اثرات آن در بهبود قابلیت اطمینان شبکه های توزیع پرداخته شده است. بررسی تحقیقات انجام گرفته در جهت بهبود قابلیت اطمینان با جاگذاری کلید در شبکه های توزیع از دیگر موارد مطرح شده در فصل دوم می باشد. روشهای حل مسئله جایابی ادوات کلید زنی در شبکه های توزیع در فصل سوم مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند. علاوه بر این در فصل سوم روش ها و الگوریتم های به کار رفته در این پایان نامه برای جایابی بهینه کلید در شبکه های توزیع در حضور منابع تولید پراکنده بیان شده اند. در فصل چهارم نیز نتایج حاصل از شبیه سازی روش پیشنهادی بر روی چند شبکه نمونه ارائه شده است و اثرات وجود منابع تولید پراکنده در جواب بهینه نهایی مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند. نتیجه گیری کلی و نیز پیشنهادات برای طرح های تحقیقی آینده نیز در فصل پنجم ارائه گردیده اند.

^۱ Distributed Generation (DG)

فصل دوم:

پایه‌های نظری و پیشینه پژوهش

۱-۲- قابلیت اطمینان در شبکه‌های قدرت و ضرورت بررسی آن

مهمترین وظیفه شبکه‌های الکتریکی، تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز مشترکین به شکلی اقتصادی با امنیت بالا و کیفیت مناسب می‌باشد. در جوامع کنونی بواسطه الگوهای اجتماعی موجود، این انتظار بوجود آمده است که انرژی الکتریکی بطور پیوسته در دسترس باشد، ولی این امر بدلیل قرار گرفتن شبکه برق در معرض خرابیهای تصادفی امکان پذیر نمی‌باشد، هر چند احتمال قطع برق می‌تواند با افزایش سرمایه گذاری در مرحله برنامه ریزی و بهره برداری کاهش یابد. با این تفاسیر پارامترهای قابلیت اطمینان و شاخص‌های اقتصادی در تقابل یکدیگر بوده و اتخاذ تصمیمات مدیریتی در برنامه ریزی و بهره برداری به منظور تعیین نقطه بهینه هر یک از عوامل اقتصادی و قابلیت اطمینان بیش از پیش احساس می‌شود. نقطه ضعف اساسی روشهای فوق این بود که به طبیعت احتمالی و آماری رفتار سیستم، تقاضای مصرف کننده و خرابی اجزای سیستم قدرت پاسخ نمی‌دادند. نیاز به ارزیابی روشهای احتمالی رفتار سیستم در سال ۱۹۳۰ تشخیص داده شد که دلایل اصلی عدم استفاده زودتر از این روشها را می‌توان فقدان اطلاعات، محدودیت منابع محاسباتی و فقدان تکنیکهای واقعی قابلیت اطمینان دانست که هیچکدام از این دلایل امروزه در اغلب مراکز تولید و بهره برداری از سیستم‌های قدرت وجود ندارند، زیرا امکانات محاسباتی با کامپیوتر، ایجاد پایگاه اطلاعاتی در مورد قابلیت اطمینان شبکه برق و تکنیکهای ارزیابی به نحوه چشمگیری توسعه و بهبود یافته‌اند. علاقمندی به کاربرد روشهای احتمالی برای ارزیابی الگوی توسعه ظرفیت شبکه در حدود سال ۱۹۴۳ آشکار شد. بدنبال آن اولین مجموعه مقالات مهم در سال ۱۹۴۷ انتشار یافت که بعضی از مفاهیم اساسی که روشهای مدرن کنونی بر مبنای آنها هستند را ارائه نموده بودند. اندکی پس از آن در سال ۱۹۴۸ اولین کمیته فرعی AIEE در بحث کاربرد روشهای احتمالی سازماندهی شد. این کمیته فرعی که تحت سرپرستی کالابرس^۱ اداره می‌شد، در سال ۱۹۴۹ مقاله مهمی ارائه نمود که

^۱ Calabrese

مشمول بر تعاریف جامعی از طبقه بندیهای انجام شده در رابطه با از مدار خارج شدن تصادفی تجهیزات و همچنین اطلاعات آماری مربوط به متوسط این خروجی‌ها بود.

در سال ۱۹۴۷ روشهایی ابداع گردید که با تغییراتی هم اینک بعنوان روش قطع بار^۱ و روش توالی و تناوب خروجی‌ها^۲ شناخته می‌شود. روش قطع بار گاهی بعنوان روش کالابرس معرفی می‌شود. تا سال ۱۹۵۴ اغلب مطالعات آماری یا بطور دستی و یا با استفاده از ماشین حسابهای معمولی انجام می‌شد. اما در این سال مزایای مربوط به استفاده از کامپیوتر برای ارزیابی اقتصادی افزایش تعداد واحدها در مطالعات توسعه واحدهای سیستم مورد استفاده قرار گرفت. در سال ۱۹۵۸ علاوه بر توسعه و اصلاح روشهای قبلی، روش بسیار پیشرفته تری برای این مباحث ارائه شد که مبتنی بر تئوری بازی^۳ بود. این تکنیک‌ها بعداً به عنوان روشهای شبیه سازی شناخته شدند. گزارشها نشان می‌دادند که استفاده کنندگان اولیه روش مونت کارلو^۴ بتدریج محاسبات شبیه به روش قطع بار را به جای تکنیک بازی جایگزین می‌نمایند. در سال ۱۹۶۱ روشهای گزارش دهی و تکنیکهای تجزیه و تحلیل داده های مربوط به خروجی اضطراری با استفاده از کامپیوتر متداول گردید. روش ابتدایی محاسبه شاخصهای توالی و تناوب خروجی در ارزیابی قابلیت اطمینان ظرفیت تولیدی، اخیراً با ظهور یک رابطه بازگشتی بهبود یافته است. تکنیک فوق کاملاً کلیت دارد و تقریباً در تمام زمینه های قابلیت اطمینان می‌تواند به کار گرفته شود.

یک بررسی اجمالی از قابلیت اطمینان نشان می‌دهد که روش احتمالی قطع بار با استفاده از منحنی تغییرات روزانه پیک بار، بیش از سایر روشها مقبولیت یافته است و به همین دلیل از هر روش دیگری بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. از سوی دیگر امکان اطلاع از توالی و تناوب وجود دارد، اهمیت فیزیکی خاصی به روش می‌دهد که در سایر روشها موجود نیست. معزها این روش در خصوص منظور داشتن آثار مرتبط با مشخصه های بار، عدم قطعیت در برآورد بار و جنبه هایی از

¹ Loss of Load Approach

² Frequency and Duration of Outages Approach

³ Game Theory

⁴ Monte Carlo

قابلیت اطمینان تاسیسات متعدد برق که به یکدیگر متصل شده اند، قابلیت انعطاف ناچیزی دارد و لذا روش شبیه سازی تمام ابعاد شبکه را می تواند در بررسی های خود ملحوظ نماید. لکن این روش ممکن است نتایج بسیار بهتر و دقیقتر از آنچه که در عمل مورد نیاز است را ارائه نماید که این موضوع تا حدی از مطلوبیت آن کاسته است [۱] و [۲].

۲-۲- کاربرد های مختلف مطالعات قابلیت اطمینان

کاربردهای مختلف مطالعات قابلیت اطمینان بقرار زیر است:

- تعیین ظرفیت ذخیره مورد نیاز
- تعیین ظرفیت مناسب واحدهای جدید الاحداث
- در مدار قرار دادن واحدهای بخاری
- مناسب سازی هزینه تولید
- بررسی آرایش مختلف تجهیزات تولید
- موازنه بین احداث خطوط انتقال و احداث ظرفیتهای تولید
- شناسایی نقاط ضعف شبکه
- برنامه ریزی تعمیرات
- بررسی اتصال با شبکه های برق مجاور
- موازنه بین کاهش ولتاژ، کاهش فرکانس، تعیین حداکثر اضافه بار خطوط و پستها در خاموشی های اضطراری

بطور کلی قابلیت اطمینان در شبکه های الکتریکی به دو بخش کلی تقسیم می شود که

عبارتند از کفایت^۱ و امنیت^۲.

¹ Adequacy
² Security

کفایت عبارت است از وجود تجهیزات کافی در سیستم به منظور آنکه بتوان نیازهای مصرف کنندگان را برآورد نمود که مشتمل بر تجهیزات تولید، انتقال و توزیع می باشد. بنابراین کفایت در شرایط ایستای سیستم می باشد.

امنیت عبارت است از توانایی سیستم برای پاسخ به اغتشاشات دینامیکی و گذرا که در آن واقع می شوند. بنابراین امنیت سیستم را به نوساناتی که سیستم تحت تاثیر آنها قرار می گیرد، بیان می کند.

۲-۳- آشنایی با تئوری قابلیت اطمینان و توابع ریاضی آن

موضوع مطالعات قابلیت اطمینان، یافتن این احتمال است که وسیله یا سیستمی وظیفه خود را در یک مدت زمان معین بصورت مطلوب انجام دهد. علاوه بر احتمال بروز خطا و یا عدم بروز آن، شاخص های دیگری مانند تعداد خطاها در واحد زمان مورد توجه می باشد. در این مطالعات در اغلب موارد، زمان متغیر مستقل می باشد.

اگر در زمان $t=0$ وسیله یا سیستم تحت مطالعه در حال کار باشد، احتمال خراب بودن آن در $t=0$ برابر صفر و احتمال سالم بودن آن یک خواهد بود. با گذشت زمان $t \rightarrow \infty$ احتمال خراب شدن سیستم افزایش یافته و به سمت یک و احتمال سالم بودن آن کاهش یافته و به سمت صفر میل خواهد کرد. این مشخصه برای کسانی که با توابع احتمالی آشنایی دارند، تابع تجمعی احتمال^۱ را در ذهن تداعی می کند.

تابعی که احتمال خراب شدن سیستم را بر حسب زمان بیان می کند متناظر با تابع احتمال تجمعی خرابی است. این تابع که معمولاً با $Q(t)$ نشان داده می شود، احتمال خراب شدن سیستم را تا زمان t بیان می کند و به تابع توزیع تجمعی خرابی و یا ساده تر، تابع تجمعی خرابی موسوم است. مکمل این تابع را تابع بقاء و یا قابلیت اطمینان سیستم $R(t)$ می نامند که این تابع احتمال سالم ماندن سیستم تا زمان t را بیان می کند.

^۱ Cumulative Distribution Function (CDF)

با مشتق‌گیری از تابع انباشته خرابی، تابع چگالی خرابی $f(t)$ حاصل خواهد شد و داریم:

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (1-2)$$

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2-2)$$

$$R(t) = 1 - Q(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (3-2)$$

در مطالعات قابلیت اطمینان، نرخ خرابی یا $\lambda(t)$ از اهمیت خاصی برخوردار بوده و به شکل زیر

تعریف می‌شود:

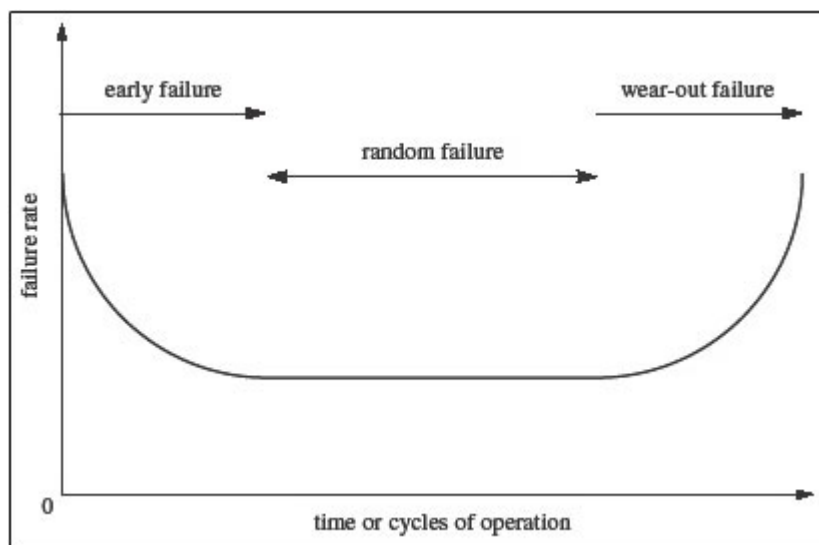
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{dR(t)}{R(t).dt} \quad (4-2)$$

بنابراین با استفاده از روابط فوق و ساده‌سازی آنها رابطه کلی زیر را داریم:

$$R(T) = e^{-\int_0^T \lambda(t) dt} \quad (5-2)$$

تغییرات نرخ خرابی نسبت به زمان قطعات الکتریکی $\lambda(t)$ دارای یک منحنی مطابق شکل

(1-2) می‌باشد که به سه ناحیه تقسیم شده است.



شکل (1-2): منحنی تغییرات نرخ خرابی قطعات الکتریکی نسبت به عمر مفید

ناحیه اول را «پریود رفع اشکال یا رفع نقص» می‌نامند در این ناحیه نرخ خرابی یک تابع کاهشی نسبت به طول عمر وسیله است خطاهایی که در این پریود رخ می‌دهد ناشی از طراحی و ساخت نادرست قطعه است.

ناحیه دوم را «پریود عمر مفید یا حالت عملکرد نرمال» می‌نامند در این ناحیه بروز خطا کاملاً تصادفی است و نرخ خرابی نسبت به زمان تقریباً مقدار ثابتی دارد ناحیه سوم را «پریود کهنگی یا فرسودگی» می‌نامند در این ناحیه به علت فرسودگی سیستم نرخ خرابی به شدت افزایش می‌یابد که در این حالت باید سیستم فرسوده را با یک سیستم نو تعویض نمود.

با توجه به اینکه ناحیه مورد بحث در بررسی قابلیت اطمینان پریود عمر مفید وسیله است لذا می‌توان در این ناحیه $\lambda(t)$ را ثابت فرض کرد.

در این صورت روابط فوق به شکل زیر ساده خواهند شد:

$$\lambda(t) = \lambda \quad \text{و} \quad R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{و} \quad Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad \text{و} \quad f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (۶-۲)$$

ثابت بودن $\lambda(t)$ متناظر با این است که تابع چگالی خرابی از توزیع نمایی تبعیت کند که این امر در اغلب سیستم‌های مهندسی و در زمان عمر مفید آنها صادق است و به این دلیل توزیع نمایی در مطالعات قابلیت اطمینان از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. ویژگی مهم توزیع نمایی آن است که احتمال خرابی سیستمی که از توزیع نمایی تبعیت می‌کند در یک محدوده زمانی مشخص در آینده به مدت زمانی که سیستم در گذشته در حال کار بوده بستگی نداشته و صرفاً تابعی از محدوده زمانی مورد مطالعه می‌باشد. به عنوان مثال می‌گوییم که یک ترانسفورماتور توزیع که در عمر مفید خود قرار دارد (λ ثابت و تبعیت از توزیع نمایی)، تا زمانی که کار می‌کند و صرفنظر از اینکه چه مدت در حال کار بوده است، در هر ماه (محدوده زمانی مشخص در آینده را یک ماه در نظر گرفته ایم) ۱٪ احتمال خرابی دارد حال اگر محدوده زمانی مورد نظر را از یک ماه به سه ماه تغییر دهیم، احتمال خرابی تغییر خواهد کرد و افزایش می‌یابد [۳]-[۵].

چون در عمل توابع قابلیت اطمینان برای سیستم‌ها از راه جمع آوری اطلاعات در مدت زمان کافی و یا از راه آزمایش روی تعداد زیادی سیستم‌های مشابه بدست می‌آید، مناسب است حالت ناپیوسته این توابع نیز توضیح داده شود. در این صورت اگر N_o سیستم مشابه تحت یک آزمایش نمونه قرار گرفته باشند و از آن تعداد، $N_s(t)$ تعداد سیستم‌های سالم تا زمان t و $N_f(t)$ تعداد سیستم‌های خراب تا زمان t باشد، خواهیم داشت:

$$N_s(t) + N_f(t) = N_o \quad (7-2)$$

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N_o} \quad \text{و} \quad Q(t) = \frac{N_f(t)}{N_o} \quad (8-2)$$

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{1}{N_o} \cdot \frac{dN_f(t)}{dt} \quad (9-2)$$

$$\lambda(t) = \frac{dN_f(t)}{dt} \cdot \frac{1}{N_s(t)} \quad (10-2)$$

۴-۲- انواع سیستم‌های مورد مطالعه در قابلیت اطمینان

سیستم، وسیله یا دستگاهی است که برای انجام کاری ساخته شده است. در تئوری قابلیت اطمینان، سیستم‌های مورد مطالعه را از لحاظ ماهیت سیستم می‌توان به دو دسته تقسیم نمود:

الف- سیستم قابل تعمیر^۱:

این نوع سیستم پس از هر بار خرابی تعمیر شده و مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرد مانند کلید و ترانسفورماتور.

ب- سیستم غیر قابل تعمیر^۲:

این نوع سیستم فقط یک بار قابل استفاده است و پس از خرابی حتماً باید تعویض شود. مانند لامپ‌های رشته‌ای و فیوزهای توزیع.

¹ Repairable

² Unrepairable

در تئوری قابلیت اطمینان، سیستم‌های مورد مطالعه را از لحاظ چگونگی انجام وظیفه می‌توان

به دو دسته تقسیم نمود:

الف- سیستم سری:

سیستمی است که کارکرد صحیح سیستم منوط به کارکرد صحیح تمام اجزاء سیستم می‌باشد.

ب- سیستم موازی:

سیستمی است که خرابی همه اجزاء باعث خرابی آن می‌گردد.

در سیستم‌های غیر قابل تعمیر، $\frac{1}{\lambda}$ متوسط طول عمر سیستم است و در سیستم‌های قابل

تعمیر $\frac{1}{\lambda}$ متوسط زمان تا خرابی سیستم است که آنرا با m یا $MTTF$ نشان می‌دهند. در

سیستم‌های قابل تعمیر متوسط زمان تا تعمیر را با r یا $MTTR$ نشان می‌دهند و خواهیم داشت:

$$MTTR = r = \frac{1}{\mu} \quad (11-2)$$

که μ نرخ تعمیرات نام دارد. بنابراین متوسط زمان بین دو خرابی را می‌توان به صورت زیر

تعریف کرد:

$$MTBF = MTTF + MTTR = T = m + r = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu} \quad (12-2)$$

دسترس پذیری¹ سیستم به صورت زیر تعریف می‌شود:

«دسترس پذیری سیستم عبارت است از احتمال اینکه سیستم در هر لحظه از زمان سالم باشد وقتی

که تحت شرایط معینی کار می‌کند». دسترس پذیری را با A و عدم دسترسی را با U نشان می‌دهند

و برای آنها روابط زیر را داریم:

$$A = \frac{m}{T} = \frac{m}{m+r} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (13-2)$$

$$U = \frac{r}{T} = \frac{r}{m+r} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (14-2)$$

¹ Availability

پس شاخصهای اصلی قابلیت اطمینان U, r, λ هستند که به شاخصهای اجزاء یا نقاط در سیستم‌ها معروف هستند.

۲-۴-۱- بررسی قابلیت اطمینان سیستم‌های سری

در یک سیستم سری که از دو جزء تشکیل یافته است، هر دو جزء باید کار خود را درست انجام دهند تا سیستم سالم باشد. با فرض اینکه خراب شدن هر جزء مستقل از وضعیت جزء دیگر اتفاق افتد، خواهیم داشت:

$$R_S = R_A \cdot R_B \quad (15-2)$$

$$Q_S = 1 - R_A \cdot R_B = 1 - (1 - Q_A)(1 - Q_B) = Q_A + Q_B - Q_A \cdot Q_B \quad (16-2)$$

در یک سیستم سری اگر احتمال خرابی هر یک از اجزاء از توزیع نمایی تبعیت کند در آن صورت احتمال خرابی سیستم نیز از توزیع نمایی تبعیت خواهد کرد:

$$R_S(t) = e^{-\lambda_A t} \cdot e^{-\lambda_B t} = e^{-(\lambda_A + \lambda_B)t} \quad (17-2)$$

یعنی احتمال خرابی سیستم سری را می‌توان با یک جزء معادل که دارای نرخ خرابی برابر با مجموع خرابی اجزاء است، معادل سازی نمود یعنی نرخ خرابی معادل سیستم سری عبارت است از:

$$\lambda_{eq} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (18-2)$$

این رابطه بیانگر آن است که با اضافه شدن بر تعداد اجزاء در یک سیستم سری، قابلیت اطمینان آن بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (حتی اگر هر یک از اجزاء به تنهایی دارای قابلیت اطمینان بالایی باشند) به عنوان مثال یک سیستم سری از ۱۰ جزء مشابه تشکیل شده است، قابلیت اطمینان این سیستم را اگر هر جزء قابلیت اطمینان معادل ۰/۹۵ داشته باشد برابر خواهد بود با:

$$R_S = R_1 \cdot R_2 \dots R_{10} = 0.95^{10} = 0.5978$$

این مثال با تمام سادگی مفهوم بسیار مهمی را در قابلیت اطمینان سیستم‌های سری نشان می‌دهد. حتی اگر هر یک از اجزاء به تنهایی دارای قابلیت اطمینان خوبی باشند، یک سیستم سری که

تعداد زیادی جزء دارد دارای قابلیت اطمینان مناسبی نخواهد بود. بنابراین شرط سالم بودن یک سیستم سری با n جزء اینست که تمامی n جزء آن سالم باشند [۵]-[۶].

اگر هر عنصر i سیستم سری دارای قابلیت اطمینان R_i ، نرخ خرابی λ_i متوسط زمان خرابی r_i و دسترس پذیری A_i باشد قابلیت اطمینان کل سیستم از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (19-2)$$

اگر عناصر سیستم مستقل از زمان باشند:

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i \quad (20-2)$$

از آنجا که $0 \leq R_i \leq 1$ می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش تعداد عناصر سیستم سری قابلیت اطمینان آن کاهش می‌یابد و داریم:

$$R_s \leq \min\{R_i, i = 1, 2, \dots, n\} \quad (21-2)$$

برای بدست آوردن نرخ خرابی و متوسط زمان خرابی (زمان تعمیر برای سیستمهای قابل تعمیر) در یک سیستم سری ابتدا سیستمی را با ۲ عنصر در نظر می‌گیریم. دسترس پذیری این سیستم از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$A_s = A_1 \cdot A_2 \quad (22-2)$$

که A_1 و A_2 به ترتیب دسترس پذیری عناصر ۱ و ۲ از سیستم هستند.

$$A_1 = \frac{m_1}{m_1 + r_1} \quad (23-2)$$

$$A_2 = \frac{m_2}{m_2 + r_2} \quad (24-2)$$

با استفاده از روابط (۲۲-۲) تا (۲۴-۲) می‌توان نوشت:

$$A_s = \frac{m_1 m_2}{(m_1 + r_1)(m_2 + r_2)} = \frac{m_s}{m_s + r_s} \quad (25-2)$$

فرکانس خطای^۱ سیستم برابر است با فرکانس خطای عنصر ۱ در حالیکه عنصر ۲ سالم است به علاوه فرکانس خطای عنصر ۲ در حالیکه عنصر ۱ سالم است.

$$f_s = f_1 A_2 + f_2 A_1 \quad (26-2)$$

با توجه به روابط قبلی داریم:

$$f_1 = \frac{1}{m_1 + r_1} \quad (27-2)$$

$$f_2 = \frac{1}{m_2 + r_2} \quad (28-2)$$

$$f_s = \frac{m_2}{(m_1 + r_1)(m_2 + r_2)} + \frac{m_1}{(m_2 + r_2)(m_1 + r_1)} \quad (29-2)$$

از طرفی با توجه به رابطه (۲۵-۲) داریم:

$$A_s = m_s \cdot f_s \quad (30-2)$$

با استفاده از روابط (۲۲-۲) و (۲۹-۲) نتیجه می‌شود:

$$m_s = \frac{1}{\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}} \quad (31-2)$$

$$\Rightarrow \lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (32-2)$$

همچنین می‌توان نوشت:

$$r_2 = \frac{\lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2 + \lambda_1 r_1 \lambda_2 r_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad (33-2)$$

با توجه به اینکه $\lambda_1 r_1 \lambda_2 r_2$ از نظر عددی بسیار کوچک است با تقریب بسیار خوبی رابطه زیر را داریم:

$$r_s = \frac{\lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2}{\lambda_s} \quad (34-2)$$

عدم دسترس پذیری نیز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$U_s = r_1 \lambda_1 + r_2 \lambda_2 \quad (35-2)$$

^۱ Failure Frequency

با تعمیم روابط (۲-۳۳) تا (۲-۳۵) برای یک سیستم n عنصری سری می‌توان روابط زیر را

نتیجه گرفت:

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (۲-۳۶)$$

$$U_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i \quad (۲-۳۷)$$

$$r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} \quad (۲-۳۸)$$

۲-۴-۲- بررسی قابلیت اطمینان سیستم‌های موازی

یک سیستم n عنصری را موازی گویند هرگاه خراب شدن تمام عناصر باعث خرابی سیستم شود یعنی شرط سالم بودن یک سیستم موازی این است که حداقل یکی از عناصر آن سالم باشد. به عبارت دیگر در یک سیستم موازی در صورت خراب شدن یکی از اجزا از مدار به علت بروز عیب دیگر اجزاء سیستم وظیفه عضو معیوب را انجام می‌دهند به عنوان مثال دو ترانسفورماتور موازی که هر کدام با نصف ظرفیت کار می‌کنند و بار الکتریکی مورد نیاز یک منطقه را فراهم می‌کنند در صورت بروز عیب در یکی از آنها انرژی مورد نیاز مصرف کنندگان از طریق ترانسفورماتور دیگر تامین می‌شود. طبق تعریف فوق عدم قابلیت اطمینان یک سیستم موازی از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$Q_p(t) = \prod_{i=1}^n Q_i \quad (۲-۳۹)$$

که Q_i عدم قابلیت اطمینان عنصر i ام است.

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (۲-۴۰)$$

که در آن R_i قابلیت اطمینان عنصر i ام است

برای بدست آوردن شاخصهای قابلیت اطمینان یک سیستم موازی ابتدا یک سیستم موازی

شامل دو عنصر را در نظر می‌گیریم. عدم قابلیت دسترسی سیستم از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$U_p = U_1 \cdot U_2 \quad (۲-۴۱)$$

که U_1 و U_2 به ترتیب عدم دسترس پذیری عناصر ۱ و ۲ هستند.

$$U_1 = \frac{r_1}{m_1 + r_1} \quad (42-2)$$

$$U_2 = \frac{r_2}{m_2 + r_2} \quad (43-2)$$

با استفاده از روابط فوق می‌توان نوشت:

$$U_p = \frac{r_1 r_2}{(m_1 + r_1)(m_2 + r_2)} \quad (44-2)$$

فرکانس خطای سیستم برابر است با فرکانس خطای عنصر ۱ در صورتی که عنصر ۲ خراب

است به علاوه فرکانس خطای سیستم ۲ در صورتی که سیستم ۱ خراب است یعنی:

$$f_p = f_2 \cdot U_2 + f_1 \cdot U_1 \quad (45-2)$$

$$f_1 = \frac{1}{m_1 + r_1} \quad (46-2)$$

$$f_2 = \frac{1}{m_2 + r_2} \quad (47-2)$$

با استفاده از روابط بالا می‌توان نوشت:

$$f_p = \frac{r_2}{(m_1 + r_1)(m_2 + r_2)} + \frac{r_1}{(m_1 + r_1)(m_2 + r_2)} \quad (48-2)$$

$$U_p = r_p \lambda_p \quad (49-2)$$

بنابراین نتیجه می‌شود که:

$$r_p = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \quad (50-2)$$

$$m_p = \frac{1 + \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2}{\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)} \quad (51-2)$$

اگر $\lambda_1 r_2 \leq 1, \lambda_1 r_1 \leq 1$ در این صورت:

$$m_p = \frac{1}{\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)} \quad (52-2)$$

$$\lambda_p = \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2) \quad (۵۳-۲)$$

۲-۵- ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستم‌های مرکب

اکثر سیستم‌ها دارای ساختار پیچیده می‌باشند. در این موارد مدل نمودن و کاربرد تکنیک‌های ارزیابی جهت تعیین قابلیت اطمینان لازم و ضروری است. تکنیک‌های مورد استفاده در ارزیابی قابلیت سستم‌های پیچیده مانند سیستم‌های قدرت را می‌توان به دو دسته مهم زیر تقسیم‌بندی کرد:

- روشهای تحلیلی
- روشهای شبیه‌سازی

۲-۵-۱- روشهای تحلیلی

روشهای تحلیلی سیستم مورد مطالعه را به وسیله روابط ریاضی مدل می‌کنند و با استفاده از راه‌حلهای تحلیل صرف، قابلیت اطمینان آن را ارزیابی می‌کنند. روابط ریاضی واقعی توصیف‌کننده سیستم ممکن است بسیار پیچیده باشند و در سیستم‌های بزرگ نیازمند تخمین‌های اولیه هستند. بنابراین از روشهای تخمینی می‌توان برای ساده کردن این روابط استفاده کرد.

روشهای تحلیلی معمولاً برای ارزیابی مقادیر میانگین شاخصهای قابلیت اطمینان نقاط بار و سیستم به کار می‌روند مقادیر میانگین بسیار کاربردی و مفیدند و شاخصهای اصلی کفایت سیستم در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع هستند ولی مقادیر میانگین، اطلاعاتی در مورد تغییرات شاخصها ارائه نمی‌کنند به همین دلیل از توزیع‌های احتمال استفاده می‌شود. توزیع‌های احتمال تغییر شاخصها را به خوبی نشان داده و اطلاعات مهمی از پیامدهای تأثیرگذار و مهم که به صورت مکرر در سیستم اتفاق می‌افتند فراهم می‌کنند. اگر فقط از مقادیر میانگین استفاده شود این پیامدها ممکن است نادیده گرفته شوند همچنین توزیعهای احتمال شاخصهای قابلیت اطمینان می‌توانند در

تحلیل‌های هزینه-ارزش^۱ قابلیت اطمینان برای مصرف‌کننده‌های صنعتی دارای فرآیندهای حساس و بحرانی یا مصرف‌کنندگان تجاری دارای توابع هزینه غیر خطی بسیار مهم باشد [۷]-[۹].

از روشهای تحلیلی مورد استفاده برای ارزیابی قابلیت سیستمهای توزیع به موارد زیر می‌توان

اشاره کرد: [۱۰]-[۱۳]

الف) روش مینیمال کات ست^۲

ب) روش ماتریس اتصال^۳

ج) روش تحلیل درختی خطا^۴

د) روش زنجیره‌های مارکوف^۵

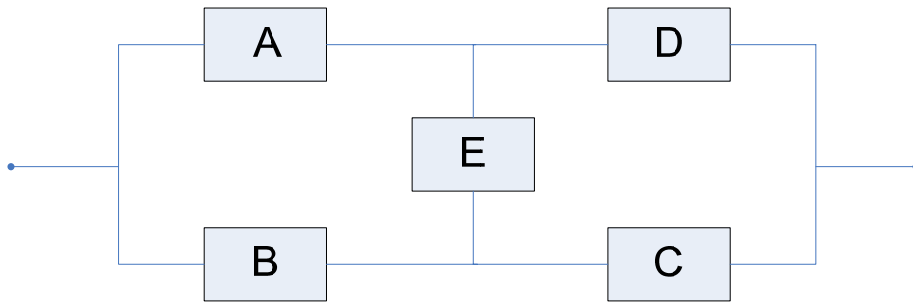
۲-۵-۱-۱- روش مینیمال کات ست

یکی از روشهای بسیار مفید و قوی در بکارگیری و حل و ارزیابی شبکه‌های پیچیده و بدست آوردن قابلیت اطمینان آنها، روش مینیمال کات ست می‌باشد کات ست‌ها بطور مستقیم به مدهای خرابی سیستم ارتباط داده می‌شوند و بنابر این راههایی که بطور مستقل باعث بروز خطا در سیستم می‌شوند را تعیین می‌نمایند.

"کات ست شامل ترکیب با ترکیب‌هایی است که هر گاه خطا بر روی آنها اتفاق افتد منجر به از کار افتادن سیستم می‌گردد."

شکل (۲-۲) را به عنوان شبکه نمونه در نظر بگیرید. در جدول (۱-۲) ترکیب‌های تشکیل دهنده مینیمال کات ست‌های شبکه نمونه آورده شده است.

^۱ Cost - Worth
^۲ Minimal Cut Set
^۳ Connection Matrix
^۴ Fault Trees Analysis
^۵ Markov Chain



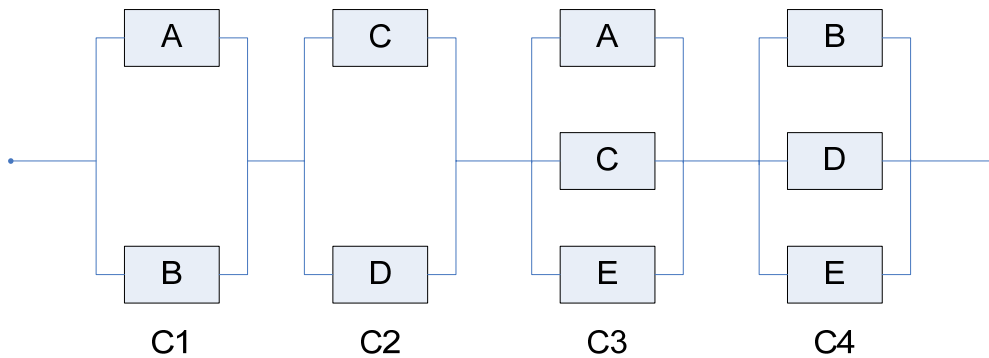
شکل (۲-۲): شبکه نمونه

جدول (۱-۲): ترکیب‌های تشکیل دهنده مینیمال کات ست‌های شبکه نمونه

ترکیب‌های تشکیل دهنده مینیمال کات ستها	ردیف
AB	۱
CD	۲
AEC	۳
BED	۴

در این روش جهت تعیین قابلیت اطمینان سیستم، مینیمال کات ست‌ها باید باهم ترکیب شوند. از تعریف مینیمال کات ست‌ها مشخص می‌شود که بایستی حداقل تمام اجزاء یک ترکیب از ترکیب‌های، یک مینیمال کات ست دچار خطا شوند تا خطا در سیستم اتفاق بیفتد. پس اجزای این ترکیب‌ها باید بصورت موازی باهم قرار گیرند. بعلاوه هنگامی در سیستم خطا بروز می‌کند که یک مینیمال کات ست دچار خطا شود. پس همه مینیمال کات ست‌ها باید طوری سری باهم قرار گیرند. با توجه به مطالب گفته شده، مدل مینیمال کات ست شکل (۲-۲) بصورت شکل (۳-۲) می‌باشد. جهت بررسی قابلیت اطمینان با توجه به شکل (۳-۲) داریم:

$$Q_{sys} = Q_A Q_B + Q_C Q_D + Q_A Q_C Q_E + Q_B Q_D Q_E - Q_A Q_B Q_C Q_D - Q_A Q_B Q_C Q_E - Q_A Q_B Q_D Q_E - Q_A Q_C Q_D Q_E - Q_B Q_C Q_D Q_E - 2Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E \quad (۵۴-۲)$$



شکل (۲-۳): مدل مینیمال کات ست شبکه نمونه

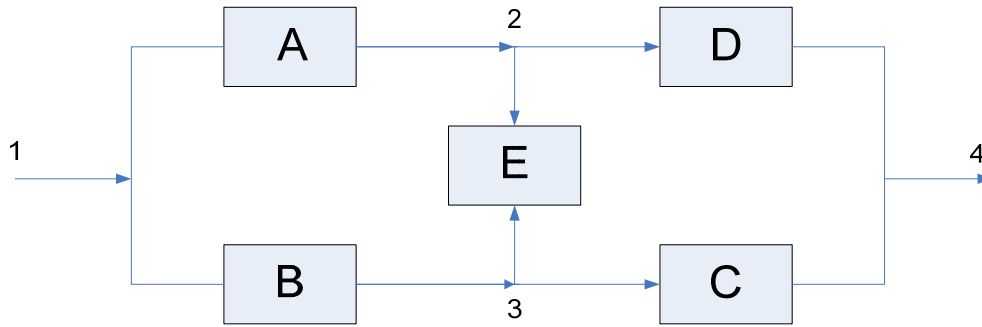
۲-۵-۱-۲- روش ماتریس اتصال

در این روش از روی شبکه یا دیاگرام قابلیت اطمینان سیستم یک ماتریس اتصال ساخته می‌شود که معرف ترکیباتی است که به گره‌های شبکه متصل‌اند. به عنوان مثال شبکه نمونه شکل (۲-۲) را در نظر می‌گیریم و با شماره گذاری گره‌های آن بصورت شکل (۲-۴)، ماتریس اتصال با توجه به تعداد گره‌های مذکور بصورت زیر ساخته می‌شوند:

- ارتباط هر گره با خودش یک منظور می‌گردد (قطر اصلی).
- ارتباط هر گره با گره دیگر در صورتی که جهت فلش فرضی در جهت فلش ارتباط دهنده دو گره مورد نظر باشد آن عنصر از ماتریس برابر عدد یک منظور می‌گردد و اگر جهت فلش فرضی در جهت عکس فلش ارتباط دهنده دو گره مورد نظر باشد، صفر منظور می‌گردد.
- ارتباط هر گره با گره دیگر اگر عنصر دو طرفه باشد، ارتباط از دو طرف برقرار است. لذا عناصر ماتریس از دو طرف در ماتریس منظور می‌گردد

شکل (۲-۴)، شبکه نمونه شکل (۲-۲) را که گره‌های آن به روش ماتریس اتصال شماره

گذاری شده است نشان می‌دهد.



شکل (۲-۴): مدل ماتریس اتصال شبکه نمونه

با توجه به توضیحات فوق ماتریس اتصال شبکه نمونه بصورت زیر می باشد:

$$\begin{bmatrix} 1 & A & B & 0 \\ 0 & 1 & E & D \\ 0 & E & 1 & C \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

۲-۵-۱-۳- روش تحلیل درختی خطا

این روش یک نمایش مصور از همه پیشامدهایی است که در یک سیستم اتفاق می افتد. این درخت از یک تنه شروع و با افزایش ترکیب شاخه های آن که احتمالات این ترکیب می باشد، افزایش می یابد. این روش برای همه سیستم هایی که دارای ترکیبات با عملکرد پیوسته یا مدارات دیجیتال و یا ترکیب آماده به کار^۱ مورد استفاده قرار می گیرد.

۲-۵-۱-۴- فرایندهای مارکوف

روشهای تحلیلی ارزیابی قابلیت اطمینان که در بخشهای قبل به آنها اشاره شد عموماً توانایی اعمال کردن تعمیرات دوره‌ای یا دیگر پیچیدگیهای سیستم‌ها را در بررسی قابلیت اطمینان ندارند و به همین دلیل باید به روشهای دیگر متوسل شد. یکی از روشهای تحلیلی که در طول چند دهه گذشته مورد توجه زیادی قرار گرفته و توانسته است محدودیتهای فوق را تا حد زیادی مرتفع نماید روش زنجیره‌های مارکوف می‌باشد [۱۳].

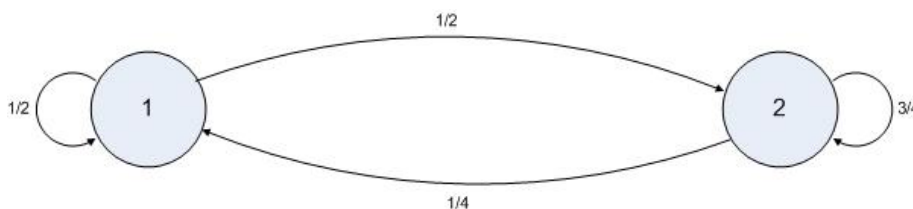
^۱ Stand by

زنجیره‌های مارکوف در سال ۱۹۶۰ برای ارزیابی قابلیت اطمینان به کار گرفته شد و امروزه نیز یکی از متداولترین روشها می‌باشد. این روش می‌تواند در سیستمهای تصادفی گسسته یا پیوسته نسبت به زمان یا مکان مورد استفاده قرار گیرد. در حالت خاص ارزیابی قابلیت اطمینان به عنوان یک پارامتر فقط گسسته در نظر گرفته می‌شود ولی زمان می‌تواند به دو صورت پیوسته یا گسسته مورد بررسی قرار گیرد. مشخصه فرآیند مارکوف این است که بدون حافظه است یعنی حالت‌های آینده سیستم به گذشته سیستم هیچگونه وابستگی ندارد و فقط به زمان حال سیستم بستگی دارد. اگر احتمال انتقال حالت ثابت باشد فرآیند مارکوف ثابت یا پایا نامیده می‌شود. در صورتی که احتمال انتقال حالت تابعی از زمان یا تعدادی از پله‌های گسسته باشد فرآیند مارکوف ثابت نیست و اصطلاحاً فرآیند غیر مارکوفی نامیده می‌شود. به طور کلی این فرآیند به دو دسته اصلی زیر تقسیم می‌شود:

- فرآیندهای مارکوف گسسته
- فرآیندهای مارکوف پیوسته

۲-۵-۱-۴-۱- فرآیندهای مارکوف گسسته

مفهوم اصلی مدل کردن مارکوف را با در نظر گرفتن یک سیستم ساده که در شکل (۲-۵) نشان داده شده است می‌توان توصیف نمود. این سیستم در دو حالت ۱ و ۲ عمل می‌کند. احتمال باقی ماندن در هر حالت و ترک هر حالت یا انتقال از یک حالت به حالت دیگر در یک دوره زمانی در شکل (۲-۵) نشان داده شده است.



شکل(۲-۵): نمودار انتقال حالت‌های یک سیستم ساده

با فرض اینکه سیستم ابتدا در حالت ۱ قرار دارد و با در نظر گرفتن فاصله زمانی اول این سیستم با احتمال ۰/۵ در حالت ۱ باقی می‌ماند و با احتمال ۰/۵ می‌تواند به حالت ۲ منتقل شود در

فاصله زمانی دوم سیستم با احتمال $0/75$ در حالت ۲ باقی می‌ماند و با احتمال $0/25$ به حالت ۱ منتقل می‌شود ضمن اینکه احتمال ترک حالت ۱ و یا ماندن در حالت ۱ نیز $0/5$ است. احتمال اشغال هر یک از حالات پس از تعداد محدودی فاصله زمانی در جدول (۲-۲) آورده شده است.

جدول (۲-۲): احتمال اشغال هر یک از حالات ۱ و ۲ پس از هر فاصله زمانی

زمان	احتمال ماندن در حالت ۱	احتمال ماندن در حالت ۲
۱	$0/5$	$0/5$
۲	$0/375$	$0/625$
۳	$0/3437$	$0/6563$
۴	$0/333$	$0/666$

بنابراین در دراز مدت سیستم با احتمال $0/666$ در حالت ۲ و با احتمال $0/334$ در حالت ۱ به کار خود ادامه می‌دهد.

انتقال از یک حالت به حالت دیگر در یک فاصله زمانی می‌تواند با ماتریس P به صورت زیر

توصیف شود:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1/4 & 3/4 \end{bmatrix} \quad (55-2)$$

که P_{ij} احتمال انتقال از حالت i به حالت j است.

بعد از دو فاصله زمانی ماتریس انتقال به صورت زیر در می‌آید:

$$P^2 = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3/8 & 5/8 \\ 5/6 & 11/16 \end{bmatrix} \quad (56-2)$$

اگر فرض کنیم که سیستم ابتدا در حالت ۱ باشد، در اینصورت:

$$P(0) = [1 \quad 0] \quad (57-2)$$

بدیهی است که پس از n فاصله زمانی:

$$P(n) = P(0)P^n \quad (58-2)$$

بردار احتمال حدی α را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\alpha = [P_1 \quad P_2] \quad (59-2)$$

که

$$\alpha P = \alpha \quad (60-2)$$

یعنی

$$[P_1 \quad P_2]P^2 = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = [P_1 \quad P_2] \quad (61-2)$$

با جایگذاری در روابط بالا و ساده سازی آنها و توجه به اینکه مجموع احتمالات حالات مختلف

واحد است ، داریم :

$$P_1 = 0.333 \quad \text{و} \quad P_2 = 0.666$$

۲-۵-۱-۴-۲- فرآیندهای مارکوف پیوسته

مسائل قابلیت اطمینان ، معمولاً در سیستمهایی که نسبت به مکان گسسته و نسبت به زمان پیوسته هستند ، مورد توجه قرار می‌گیرند. اگر یک سیستم یا یک قطعه دارای تابع چگالی احتمال خرابی نمایی باشد ، در این صورت احتمال خرابی آن در یک فاصله زمانی ثابت است. از آنجا که سیستم قدرت ، یک سیستم قابل تعمیر می باشد ، برای توصیف فرایند مارکوف پیوسته یک قطعه قابل تعمیر را که نرخ های خرابی و تعمیر آن به صورت توزیع نمایی است ، در نظر می‌گیریم و تعریف می‌کنیم:

$P_0(t)$: احتمال اینکه قطعه در زمان t عملکرد صحیح داشته باشد.

$P_1(t)$: احتمال اینکه قطعه در زمان t معیوب باشد.

λ : نرخ خراب شدن

μ : نرخ تعمیر

فاصله زمانی dt را به گونه ای انتخاب می کنیم که احتمال اینکه دو یا چند اتفاق در این

فاصله زمانی رخ دهد، ناچیز باشد، بنابراین:

$$P_0(t + dt) = P_0(t)(1 - \lambda dt) + P_1(t)(\mu dt) \quad (62-2)$$

$$P_1(t + dt) = P_1(t)(1 - \lambda dt) + P_0(t)(\lambda dt) \quad (63-2)$$

برای معادلات بالا داریم:

$$\frac{P_0(t + dt) - P_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \quad (64-2)$$

بنابراین اگر $dt \rightarrow 0$

$$P_0'(t) = \lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \quad (65-2)$$

به صورت مشابه برای معادله (63-2) داریم:

$$P_1'(t) = \lambda P_0(t) - \mu P_1(t) \quad (66-2)$$

معادلات (65-2) و (66-2) به فرم ماتریسی زیر قابل بیانند:

$$\begin{bmatrix} P_0'(t) & P_1'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_0(t) & P_1(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu \end{bmatrix} \quad (67-2)$$

معادلات (67-2) معادلات دیفرانسیلی خطی هستند که با حل آنها به روابط زیر می رسیم:

$$P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{e^{-(\lambda + \mu)t}}{\lambda + \mu} [\lambda P_0(0) - \mu P_1(0)] \quad (68-2)$$

$$P_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} + \frac{e^{-(\lambda + \mu)t}}{\lambda + \mu} [\mu P_1(0) - \lambda P_0(0)] \quad (69-2)$$

اگر فرض کنیم که سیستم در وضعیت اولیه در حالت عملکرد صحیح قرار داشته باشد،

یعنی $P_1(0) = 0$ و $P_0(0) = 1$ آنگاه روابط زیر را خواهیم داشت:

$$P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda e^{-(\lambda + \mu)t}}{\lambda + \mu} \quad (70-2)$$

$$P_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda e^{-(\lambda + \mu)t}}{\lambda + \mu} \quad (71-2)$$

اگر $t \rightarrow \infty$ آنگاه احتمالات حدی زیر را خواهیم داشت:

$$P_0 = P_0(\infty) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{m}{m+r} \quad (72-2)$$

$$P_1 = P_1(\infty) = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} = \frac{r}{m+r} \quad (73-2)$$

آن گونه که می توان از این روابط مشاهده نمود، به طور کلی در سیستمهای پیچیده تر بدست آوردن عبارات وابسته به زمان مشکل تر می گردد.

۲-۵-۲- روشهای شبیه سازی

در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم هایی که زیاد بزرگ نیستند و وضعیت های پیچیده و مختلف سیستم مورد ملاحظه قرار نمی گیرند و همچنین احتمال خرابی اجزا سیستم بسیار کوچک است ، استفاده از روش های تحلیلی بسیار کار آمد و مفید است و خطای محاسبات نیز بسیار کوچک است. ولی در سیستم هایی که وضعیت های مختلف آن سیستمها باید مورد ملاحظه قرار گیرند و همچنین تعداد اتفاقاتی که در سیستم رخ می دهند زیاد است، روشهای شبیه سازی بر روش های تحلیلی برتری دارند. یکی از روش های بسیار متداول شبیه سازی ، روش شبیه سازی مونت کارلو می باشد [۱۴]-[۱۸].

الگوی رفتاری n سیستم یکسان در حالت واقعی از جهات گوناگونی نظیر تعداد خرابی ها ، زمان تا خرابی و زمان های مرمت و بازیابی کاملاً متفاوت است. دلیل آن ماهیت تصادفی این پارامترهاست. شبیه سازی زمانی متوالی فرایندها می تواند برای پیش بینی رفتار واقعی الگوها در زمان شبیه سازی مورد استفاده قرار گیرد تا توزیع های احتمال پارامترهای مختلف قابلیت اطمینان بدست آید و مقادیر میانگین این پارامترها تخمین زده و محاسبه شود.

در شبیه سازی ترتیب زمانی مونت کارلو یک تاریخچه مصنوعی که زمان های عملکرد صحیح و غلط اجزا سیستم را نشان دهد ، با استفاده از تولید کننده های اعداد تصادفی و توزیع های احتمال پارامترهای خرابی و بازیابی هر جزء تولید می شود. سپس سیکل های عملکرد - بازیابی سیستم از

تاریخچه های تولید شده قطعات ، با استفاده از روابط بین حالات قطعه و سیستم بدست می آید و شاخص های قابلیت اطمینان و توزیع های احتمال آنها از تاریخچه مصنوعی سیستم بدست می آید.

۲-۶- شبکه های توزیع و اجزای آن

شبکه‌های قدرت به طور کلی از سه بخش تولید، انتقال و توزیع تشکیل یافته‌اند که هر کدام از این بخش‌ها وظیفه مشخصی در سیستم قدرت دارند. وظیفه سیستم توزیع قرار دادن انرژی الکتریکی در اختیار مصرف‌کنندگان می‌باشد که با توجه به شرایط جغرافیایی و نوع بار مصرفی از انواع شبکه های توزیع با سطح ولتاژهای مختلف برای تامین نیازهای مشترکین استفاده می‌گردد. شبکه های توزیع الکتریکی از نظر سطح ولتاژ به شبکه فشار متوسط و فشار ضعیف تقسیم می‌شوند. در ایران شبکه های فشار ضعیف با ولتاژ ۳۸۰ ولت و شبکه فشار متوسط با ولتاژ عادی ۳۳، ۲۰، ۱۱ کیلوولت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شبکه های توزیع فشار متوسط شامل سه نوع اساسی می‌باشد:

- سیستم های شعاعی، شامل سیستم های شعاعی ساده و از دو سو تغذیه

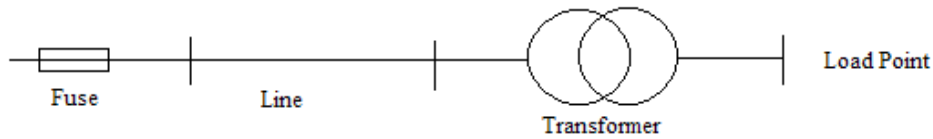
- سیستم های حلقوی، شامل حلقوی باز و حلقوی بسته

- سیستم های غربالی (شبکه ای)، ترکیبی از سیستم حلقوی و سیستم شعاعی

استفاده از روشهای تحلیلی برای ارزیابی قابلیت اطمینان کل سیستم توزیع به علت پیچیدگی سیستم و محدوده وسیع عملکرد اجزا بسیار مشکل است. بنابراین روشهای عمومی تر که به ساده سازی بیشتر شبکه بیانجامد ، کاربردی ترند. در این روشها ابتدا شبکه توزیع به قسمتهای عمومی تر و ساده تر تبدیل می‌شود ، تا مراحل محاسبه قابلیت اطمینان ساده تر شود [۱۹].

۲-۶-۱- سکشن فرعی

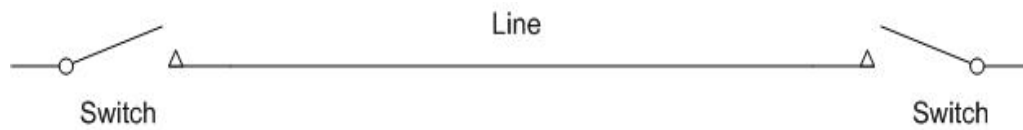
توزیع کننده های جانبی از قسمتهای مهم در یک سیستم توزیع هستند. توزیع کننده های جانبی مختلف بستگی به ساختار و مدلهای عملکرد آنها وجود دارد و عموماً می‌توانند به صورت شکل (۲-۶) نشان داده شوند ، که شامل اجزا پایه ، ترانسفورماتور ، خط انتقال و فیوز می‌باشند.



شکل (۲-۶): دیاگرام توزیع کننده فرعی انرژی الکتریکی و اجزای آن

۲-۶-۲- سکشن اصلی

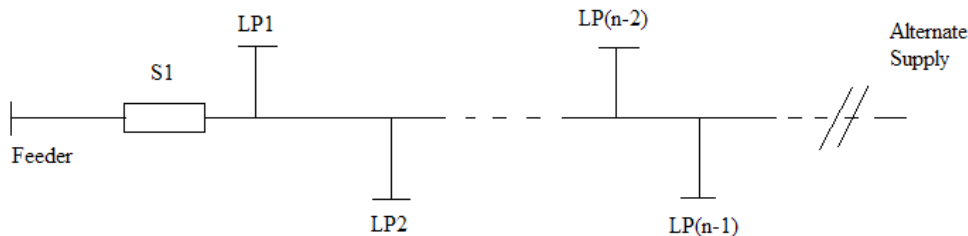
سکشن اصلی نشان داده شده در شکل (۲-۷) برای معرفی یک قسمت اصلی در یک فیدر اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک سکشن اصلی شامل کلیدهای جدا کننده و یک خط انتقال است.



شکل (۲-۷): دیاگرام سکشن اصلی در سیستم توزیع

۲-۶-۳- فیدر عمومی

یک فیدر عمومی یک سیستم توزیع کننده ساده شامل سکشن اصلی، سکشن فرعی، اجزا سری و نقاط بار می‌باشد که در شکل (۲-۸) نشان داده شده است.

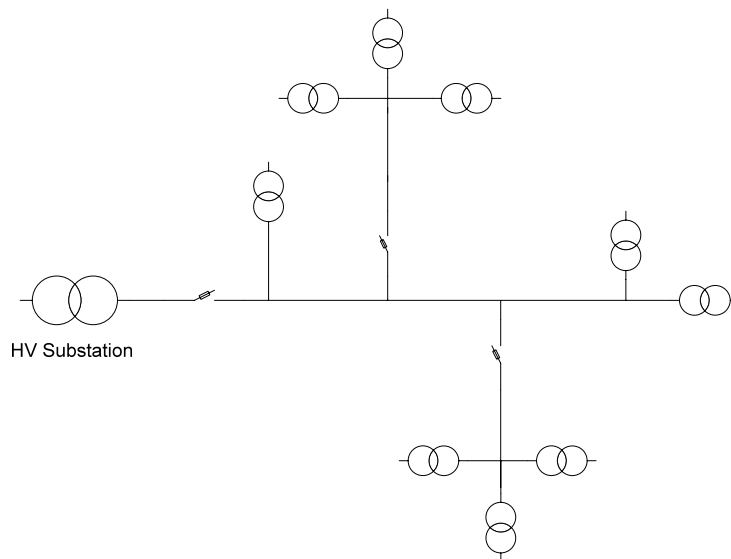


شکل (۲-۸): دیاگرام یک فیدر عمومی در سیستم توزیع

۲-۶-۴- شبکه‌های توزیع شعاعی

شبکه شعاعی ساده ترین و یکی از عمومی ترین نوع شبکه های توزیع فشار متوسط مورد استفاده می باشد که شامل خطوط حامل انرژی (فیدر) و ترانسفورماتورها بوده که به یک یا چند پست فوق توزیع متصل هستند. در شکل (۲-۹) شبکه شعاعی نمونه ای نشان داده شده است. معمولاً انشعابهای فرعی از طریق فیوز به مسیر اصلی فیدر فشار متوسط متصل می شود، بطوریکه یک اتصالی

در انشعابات فرعی در صورت وجود فیوز نمی‌تواند باعث قطع برق در سراسر فیدر شود. اگر فیوز از رفع اتصالی عاجز بماند یا اتصالی در مسیر اصلی توسعه یابد، کلید قدرت در محل پست فوق توزیع باز خواهد شد و سراسر فیدر را بی‌برق خواهد کرد. برای یافتن سریع محل عیب و کاهش مدت زمان قطعی فیدر، تجهیزاتی جهت جدا کردن مسیر اصلی، در چندین نقطه در نظر گرفته می‌شود، بطوریکه بتوان قسمت‌های سالم را هر چه سریع‌تر برق‌دار نمود.



شکل (۲-۹): شبکه شعاعی نمونه

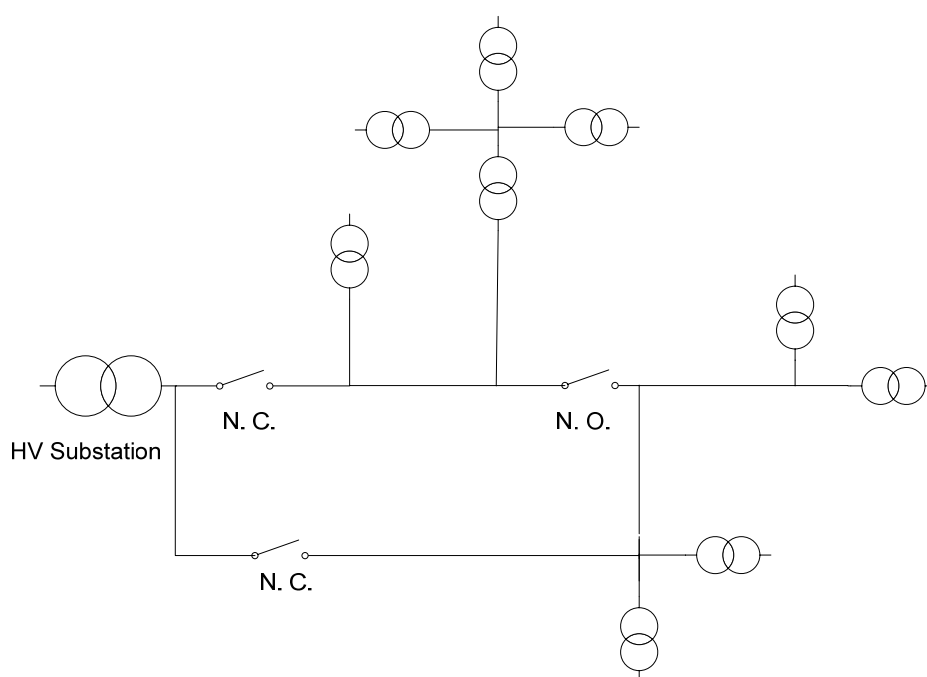
برای به حداکثر رساندن سرعت برق‌دار کردن مجدد، در هنگام طراحی شبکه‌های الکتریکی، ارتباط اضطراری (مانور) با سایر فیدرها در نظر گرفته می‌شود لذا برای جلوگیری از اضافه بار در فیدرها به هنگام مانور، در آنها ظرفیت ذخیره پیش‌بینی می‌شود.

شبکه‌های شعاعی، به لحاظ احداث ارزان و از نظر بهره‌برداری ساده هستند. ارزانی این شبکه‌ها به دلیل کم بودن تعداد تجهیزات از یکسو و پایین بودن نسبی توان اتصال کوتاه و در نتیجه ارزان تر بودن تجهیزات از سوی دیگر است. حفاظت این شبکه‌ها نیز آسان و کم‌هزینه می‌باشد در عین حال تلفات و افت ولتاژ این شبکه‌ها بالا بوده و معمولاً از ظرفیت ترانسفورماتورهای شبکه حداکثر استفاده ممکن به عمل نمی‌آید. همچنین با وقوع یک خطا، امکان سرویس دهی به تعداد قابل توجهی از مشترکین ممکن نخواهد بود و لذا قابلیت اطمینان این شبکه‌ها پایین است.

۲-۶-۵- شبکه‌های توزیع حلقوی

در این نوع شبکه امکان تغذیه از دو سو برای مصرف کننده‌های بحرانی (حساس) فراهم می‌شود. چنانچه تغذیه از یکسو دچار مشکل شود، تغذیه تمام بارهای متصل به فیدر از سوی دیگر انجام می‌گیرد؛ به شرطی که ظرفیت ذخیره کافی در هنگام طراحی فیدر، در نظر گرفته شود. این نوع سیستم امکان دارد در حالت عادی به صورت حلقوی باز یا حلقوی بسته عمل کند.

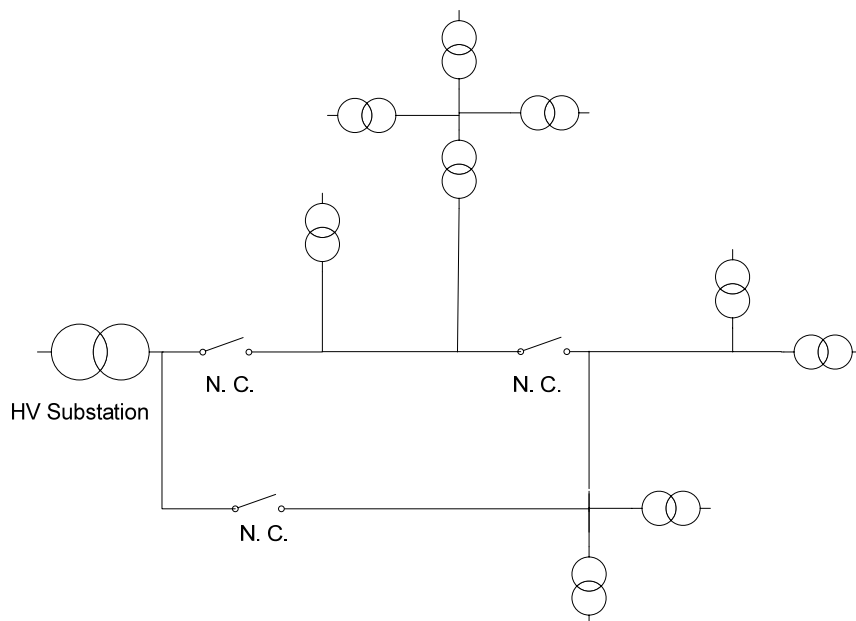
در سیستم حلقوی باز، بخش‌های متعدد فیدر از طریق وسایل جدا کننده (سکسیونر، کلید قدرت و غیره) به همدیگر متصل شده و بارهای مصرفی هم به بخش‌های فوق متصل شده‌اند و هر دو سر فیدر به منبع تغذیه متصل شده است. در یک نقطه از پیش تعیین شده، وسیله جدا کننده (سکسیونر، کلید قدرت و غیره) به صورت باز نصب می‌گردد. اساساً سیستم حلقوی باز از دو فیدر تشکیل می‌شود که انتهای آنها بوسیله سکسیونر و یا کلید قدرت از هم جدا شده و در موقع لزوم قابل اتصال هستند. به هنگام وقوع اتصالی، بخشی از فیدر فشار متوسط که اتصالی در آنجا رخ داده است، از دو طرف قطع می‌شود و تداوم سرویس دهی با قسمت سالم انجام می‌گیرد. شکل (۲-۱۰) یک شبکه حلقوی باز را به عنوان نمونه نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱۰): شبکه حلقوی باز نمونه

در مواردی که درجه بالاتری از قابلیت اطمینان مورد نظر است، فیدر بصورت حلقوی بسته مورد بهره برداری قرار می‌گیرد. در این حالت معمولاً تجهیزات جدا کننده و کلید قدرت بسیار گران قیمت می‌باشد در قسمت های مختلف فیدر، رله هایی جهت حفاظت فیدر نصب گردیده تا فقط با باز کردن کلیدهای قدرت واقع در دو طرف قسمت معیوب مانع از بی برق شدن سایر قسمت های سالم فیدر گردد. در بیشتر نمونه ها، کارکرد مناسب رله ها بوسیله سیم راهنما (پایلوت) صورت می‌گیرد که از کلید قدرتی به کلید قدرت دیگر کشیده می‌شود و اغلب نگهداری آن بسیار پرهزینه می‌باشد. در برخی از نمونه ها، این سیستم راهنما از طریق خطوط تلفن انجام وظیفه می‌نماید. به جهت پایین نگه داشتن هزینه ها، می‌توان فقط بین قسمت های معین حلقه تغذیه کننده، کلید قدرت نصب کرد و طبق معمول وسایل جداکننده ارزان قیمت بین قسمت های میانی نصب نمود. شکل (۱۱-۲) یک شبکه حلقوی بسته را به عنوان نمونه نشان می‌دهد.

هنگامی که اتصالی رخ می‌دهد پس از پایان یافتن محل اتصالی، وسایل جدا کننده در دو سر بخش اتصالی باز شده و بخش های سالم به وسیله بسته شدن کلیدهای قدرت مناسب دوباره برقرار می‌شوند.

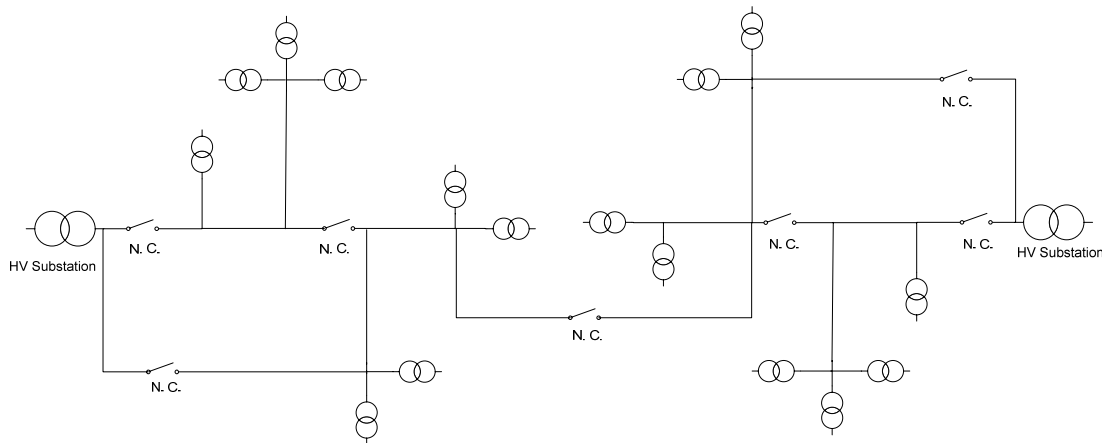


شکل (۱۱-۲): شبکه حلقوی بسته نمونه

۲-۶-۶- شبکه‌های توزیع غربالی

تغذیه شبکه می‌تواند از یک فیدر خروجی پست فوق توزیع و یا از چند پست فوق توزیع مجاور و یا تعدادی از فیدرهای خروجی یک پست فوق توزیع صورت گیرد. اگر چه مطالعات اقتصادی نشان می‌دهد که سیستم غربالی در بعضی شرایط ممکن است پرهزینه‌تر و پایدارتر از سیستم شعاعی باشد، در عمل تعداد کمی از شبکه‌های غربالی مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند و فقط چند مورد آنها مورد در سرویس دهی باقی مانده‌اند.

شبکه‌های غربالی بوسیله چندین ترانسفورماتور قدرت در سطح فوق توزیع تغذیه می‌شود که این ترانسفورماتورها به نوبه خود از خطوط فوق توزیع و انتقال در ولتاژهای فشار قوی تغذیه می‌شود. شکل (۲-۱۲) یک شبکه فشار متوسط غربالی را به عنوان نمونه نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱۲): شبکه غربالی نمونه

یک کلید قدرت کنترل شده با رله‌های جریان معکوس و نصب مجدد خودکار، بین ترانسفورماتور قدرت فوق توزیع و شبکه غربالی نصب می‌شود و سیستم فشار متوسط شبکه‌ای را از جریان اتصالی تغذیه شده از ترانسفورماتور ناشی از وقوع اتصالی در خطوط فوق توزیع و انتقال محافظت می‌نماید. در این نوع سیستم می‌توان پست‌های معمولی و بخشی از فیدر فشار متوسط اصلی را حذف کرده و آنها را با تعداد زیادی از پست‌های کیوسکی جایگزین نمود که بطور استراتژیکی در سرتاسر شبکه قرار می‌گیرد. بدین وسیله امکان دستیابی به زمین اضافی و ضروری در

پست های معمولی را فراهم نموده . در نتیجه به دلیل ارتباط زیاد بین پست های توزیع، قابلیت اطمینان، تنظیم ولتاژ و میزان کاهش تلفات این نوع شبکه ها نسبت به انواع دیگر مناسب تر می باشد، ولی به دلیل نیاز به تجهیزات بیشتر و افزایش سطوح اتصال کوتاه، ایجاد آن نیز به مراتب هزینه بیشتری را بدنبال خواهد داشت.

۷-۲- شاخص های اصلی محاسبه قابلیت اطمینان شبکه های توزیع

شاخصهای U, r, λ که در بخش ۴-۲ به آن‌ها پرداخته شد به عنوان شاخصهای اصلی قابلیت اطمینان هستند و شاخصهای اجزاء یا نقاط بار در سیستمهای توزیع الکتریکی خوانده می شوند.

۸-۲- شاخص های تکمیلی محاسبه قابلیت اطمینان شبکه های توزیع

شاخصهای قابلیت اطمینان که به توصیف و شرح آنها پرداخته شد ، عموماً مربوط به عناصر سیستم و نهایتاً مربوط به نقاط بار سیستم می باشند. علاوه بر این شاخصها، شاخصهای دیگری برای ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستمهای توزیع مورد استفاده قرار می گیرند. این شاخص ها، ملاک و معیاری جهت سنجش وضعیت شبکه از دیدگاه تعداد و مدت خرابی و همچنین میزان خسارت وارده به شرکت های توزیع بواسطه خرابی ها بوده و ملاک و معیار اصلاح ساختار شبکه، بهبود این شاخص ها با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی می باشند [۲۲]-[۲۳].

۸-۲-۱- شاخصهای مرتبط با مصرف کنندگان

اگر λ_i نرخ خرابی و U_i دسترس ناپذیری و N_i تعداد مشترکین شین i ام باشند خواهیم داشت:

الف) شاخص فرکانس متوسط قطعی های سیستم^۱ (SAIFI):

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \cdot N_i}{\sum N_i} = \frac{(\text{تعداد قطعی}) \times (\text{تعداد مصرف کنندگان قطع شده})}{\text{کل تعداد مصرف کنندگان}} \quad (74-2)$$

ب) شاخص متوسط زمان قطعی های سیستم^۲ (SAIDI):

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} = \frac{(\text{تعداد مشترکین قطع شده}) \times (\text{زمان خاموشی})}{(\text{تعداد کل مصرف کنندگان})} \quad (75-2)$$

^۱ System Average Interruption Frequency Index

^۲ System Average Interruption Duration Index

ج) شاخص زمان متوسط قطعی های مصرف کنندگان ^۱ (CAIDI):

$$CAIDI = \frac{\sum U_i \cdot N_i}{\sum \lambda_i \cdot N_i} = \frac{\text{مجموع زمانهای قطع مشترکین}}{\text{تعداد کل قطعی های مصرف کنندگان}} \quad (76-2)$$

د) شاخص متوسط در دسترس بودن سیستم ^۲ (ASAI):

$$ASAI = \frac{\sum U_i \cdot 8760 - \sum U_i \cdot N_i}{\sum N_i \cdot 8760} = \frac{\text{تعداد ساعات در دسترس بودن برای مصرف کنندگان}}{\text{تعداد ساعات مورد نیاز مصرف کنندگان}} \quad (77-2)$$

و) شاخص متوسط در دسترس نبودن سیستم ^۳ (ASUI):

$$ASUI = 1 - ASAI \quad (78-2)$$

۲-۸-۲- شاخصهای بار

الف) کل انرژی تغذیه نشده توسط سیستم ^۴ (ENS):

$$ENS = \sum L_i \cdot U_i \quad (79-2)$$

ب) شاخص متوسط انرژی توزیع نشده سیستم ^۵ (AENS):

$$AENS = \frac{\sum L_i \cdot U_i}{\sum N_i} = \frac{\text{کل انرژی توزیع نشده}}{\text{تعداد کل مشترکین}} \quad (80-2)$$

۲-۸-۳- شاخصهای اقتصادی قابلیت اطمینان سیستمهای توزیع

الف) شاخص انرژی فراهم نشده ^۶ (EENS):

برای یک سیستم که دارای N نقطه بار می باشد و N_e وقفه را تجربه کند، شاخص انرژی

فراهم نشده از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$EENS = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_e} L_i U_j \quad (81-2)$$

¹ Customer Average Interruption Duration Index

² Average System Availability Index

³ Average System Unavailability Index

⁴ Energy Not Supplied

⁵ Average Energy Not Supplied

⁶ Expected Energy Not Supplied

ب) شاخص هزینه ی قطعی انرژی الکتریکی^۱ ($ECOST$):

با توجه به توابع خسارت مصرف کنندگان مختلف سیستم ($SCDF$)، می توان هزینه ی

قطعی هر کیلو وات انرژی در مصرف کننده برای هر پیشامد را تعیین کرد و خواهیم داشت:

$$c_{ij} = f(r_{ij}) \quad (91-2)$$

که $f(r_{ij})$ تابع $SCDF$ و r_{ij} زمان میانگین تعمیر و بازایی نقطه بار i ناشی از وقفه j می باشد.

بنابراین برای کل یک سیستم این شاخص از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$ECOST = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{Ne} c_{ij} L_i \lambda_{ij} \quad (92-2)$$

ج) نرخ برآورد انرژی قطع شده^۲ ($IEAR$):

نرخ برآورد انرژی قطع شده برای هر بخش از مصرف کنندگان را می توان از نسبت هزینه وقفه

انرژی به انرژی تغذیه نشده بدست آورد.

$$IEAR = \frac{ECOST}{EENS} = \frac{\sum_{i=1}^N L_i \sum_{j=1}^{Ne} c_{ij} \lambda_{ij}}{\sum_{i=1}^N L_i \sum_{j=1}^{Ne} r_{ij} \lambda_{ij}} \quad (93-2)$$

این شاخص یک فاکتور مهم و اساسی است که سرمایه های از دست رفته ی مصرف کنندگان را که

مربوط به هر واحد انرژی تغذیه نشده توسط شرکت برق است، نشان می دهد [۲۹] - [۳۴].

۹-۲- بررسی تحقیقات انجام گرفته در زمینه جایابی کلید در شبکه های توزیع

با توجه به سابقه بررسی قابلیت اطمینان در شبکه های توزیع تحقیقات بسیاری در زمینه

بهبود قابلیت اطمینان شبکه های توزیع انجام گرفته است. از آنجا که قرارداد کلید در سیستم های

توزیع نقش بسزایی در بهبود قابلیت اطمینان دارد جایابی بهینه ادوات کلیدزنی در شبکه های توزیع از

جمله مواردی است که تحقیقات صورت گرفته بر روی آن در مجلات علمی معتبر انعکاس یافته است.

روشهای مختلفی برای بهبود قابلیت اطمینان شبکه های توزیع با استفاده از قرار دادن کلید در این

¹ Expected Interruption Cost

² Interrupted Energy Assessment Rate

سیستمها ارائه شده است. به عنوان مثال در مرجع [۲۴] جایابی کلیدهای سکشنلایزر در یک فیدر توزیع از دیدگاه اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته است. مدل ارائه شده هزینه های تلفات انرژی و همچنین هزینه های مربوط به قرار دادن کلیدها در شبکه را شامل شده و حالتی که سکشنلایزرها خود قابلیت اطمینان ۱۰۰٪ ندارند نیز مورد بررسی قرار گرفته است. روش بهینه سازی به کار رفته روشی مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی ژنتیک می باشد که کارایی خود را با ارائه جواب های بهینه در مثال های بررسی شده نشان داده است.

در مرجع [۲۵] نیز همانند [۲۴] روشی برای جایابی بهینه کلیدهای سکشنلایزر در شبکه های توزیع شعاعی ارائه شده است با این تفاوت که در این تحقیق وجود منابع تغذیه دیگری علاوه بر تغذیه کننده اصلی در نظر گرفته شده است که به وسیله کلیدهای بین شبکه‌ای^۱ به شبکه اصلی متصل می-باشند و در حالت عادی این کلیدها باز بوده و تغذیه سیستم از طریق منبع اصلی صورت می‌گیرد. در این مرجع علاوه بر جایابی بهینه کلیدهای سکشنلایزر، جایابی بهینه کلیدهای بین شبکه‌ای نیز جزء اهداف تحقیق در جهت کاهش انرژی توزیع نشده می‌باشد. روش بهینه سازی به کار رفته نیز همانند [۲۴] روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک می‌باشد که نشانگر کاربرد فراوان الگوریتم ژنتیک در حل مسائل مرتبط با قابلیت اطمینان دارد.

علاوه بر الگوریتم ژنتیک روشهای دیگری نیز در جهت بهینه‌سازی مسئله جایابی کلید در شبکه های توزیع به کار رفته و در مقالات علمی معتبر انتشار یافته‌اند. در مرجع [۲۶] یک روش و فرمول‌بندی جدید برای حل مسئله جایابی بهینه کلیدهای سکشنلایزر در شبکه‌های توزیع با در نظر گرفتن هزینه های خروج از خط، تعمیرات و سرمایه‌گذاری اولیه ارائه شده است. برای بهینه سازی مسئله از روشی مبتنی بر الگوریتم گداختگی شبیه‌سازی شده^۲ در جهت یافتن بهترین تعداد کلید و نیز بهترین محل برای قراردادن کلیدهای سکشنلایزر در شبکه استفاده شده است. این تحقیق از دو شبکه نمونه جهت اجرای شبیه سازی استفاده نموده است که شبکه اول شبکه متصل به باس شماره

¹ Tie-Line

² Simulated Annealing

۶ شبکه تست روی بیلینتون و دیگری شبکه متصل به باس شماره ۴ این شبکه می باشد. نتایج به دست آمده نشان دهنده کارآمدی این روش در حل مسئله جایابی بهینه کلید در شبکه های توزیع بزرگ می باشد.

کلیدهای اتوماتیک که در سیستم های توزیع فشار متوسط با یافتن محل خطا قسمت معیوب شبکه را ایزوله می کنند تأثیر بسزایی در محدود کردن ناحیه خطا و به تبع آن کاهش میزان انرژی توزیع نشده سیستم دارند. کارایی بهینه این کلیدهای اتوماتیک زمانی میسر خواهد بود که محل قرار گرفتن آن ها در شبکه مناسب و بهینه باشد که موضوع هدف اصلی مرجع [۲۷] می باشد. برای حل مسئله بهینه سازی در این مرجع از ترکیب چند روش بهینه سازی استفاده شده است که بر پایه اصل بهینه بودن بلمان^۱ می باشند. در این روش تعداد و محل بهینه کلیدهای اتوماتیک در شبکه های توزیع شعاعی و حلقوی با استفاده از الگوریتم ارائه شده به دست می آید که نتایج شبیه سازی بر روی دو شبکه مختلف نیز ارائه شده است.

بررسی اقتصادی سیستم های اتوماسیون شبکه های توزیع از دیگر موارد مهم در بحث قابلیت اطمینان می باشد که مرجع [۲۸] به آن پرداخته است. در این مرجع روشی مبتنی بر الگوریتم ایمن^۲ برای جایابی بهینه کلید در شبکه های توزیع در راستای کاهش هزینه های خروج از خط و هزینه سرمایه گذاری اولیه برای قرارداد کلید در شبکه به کار رفته است. با استفاده از شاخص های قابلیت اطمینان در هر ناحیه ای که بین تعدادی کلید مرزی قرار گرفته اند، هزینه انرژی تغذیه نشده مورد انتظار و نیز هزینه خروج از خط مشترکین بر اساس نوع مصرف در هر کدام از ناحیه ها به دست می آید. این روش بر روی یک شبکه واقعی از شبکه توزیع کشور تایوان شبیه سازی شده و نتایج به دست آمده حاکی از کارآمدی این روش است.

یکی از مسائل مهم در بهینه سازی شبکه های توزیع رسیدن به قابلیت اطمینان بالا و به تبع آن کاهش هزینه های کلی سیستم می باشد. یافتن تعداد و محل بهینه کلیدهای اتوماتیک در شبکه های

¹ Bellmann's Optimality Principle

² Immune Algorithm

توزیع یکی از راههای بالا بردن قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد که مرجع [۲۹] به بررسی آن پرداخته است. در این مرجع روشی سه مرحله‌ای بر مبنای الگوریتم PSO^۱ جهت یافتن تعداد و محل بهینه کلید در شبکه‌های توزیع شعاعی ارائه شده است. نکته مهم در این تحقیق بررسی همزمان محل بهینه برای دو نوع کلید مختلف شامل کلیدهای مدار قطع کن و کلیدهای سکشنلایزر می‌باشد. جهت ارزیابی کارآمدی روش ارائه شده در این مرجع، این روش بر روی دو سیستم نمونه شبیه سازی شده که محل بهینه برای قراردادن کلیدها در این شبکه‌ها نیز ارائه شده‌اند.

تقاضای روز افزون برای کیفیت بهتر انرژی باعث بالارفتن اهمیت اتوماسیون شبکه و به تبع آن بیشتر شدن سرمایه‌گذاری بر روی کلیدهای اتوماتیک کنترل از راه دور شده است. به این ترتیب ایزوله کردن ناحیه خطا راحت‌تر شده و زمان بازآرایی سیستم کاهش می‌یابد که این مسئله باعث بهتر شدن کیفیت سرویس دهی سیستم می‌گردد. با توجه به هزینه بر بودن نصب ادوات کلیدزنی در شبکه‌های توزیع، یافتن تعداد و محل بهینه آنها امری ضروری می‌نماید که مرجع [۳۰] نیز به آن پرداخته است. با توجه به این که حل این مسئله بهینه‌سازی در شبکه‌های واقعی پیچیده می‌باشد، راه حل ارائه شده در این کار تحقیقی شامل دو مرحله می‌باشد که در مرحله اول فضای حالت به چند زیر مجموعه مجزا تقسیم می‌شود و در مرحله دوم بهینه‌سازی بر روی هر یک از فضاهای حالت کوچکتر انجام می‌پذیرد. روش پیشنهادی در این مرجع بر روی یک سیستم نمونه واقعی شبیه سازی شده و نتایج آن ارائه شده‌اند.

با توجه به کاربرد روزافزون منابع تولید پراکنده در سیستم‌های قدرت بررسی اثرات این منابع در تحلیل‌های مختلف سیستم قدرت از آن جمله مسائل مرتبط با قابلیت اطمینان سیستم امری اجتناب ناپذیر است که در مرجع [۳۱] تحلیل و بررسی این موضوع انجام گرفته است. در این مرجع برای بالا بردن قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع با تولید پراکنده، قرار دادن کلید جهت ایجاد ناحیه‌های جزیره‌ای بعد از وقوع خطا پیشنهاد شده است به نحوی که این جزایر توسط منبع

^۱ Particle Swarm Optimization

تغذیه اصلی و نیز منابع تولید پراکنده تغذیه می‌گردند. یک روش مبتنی بر تئوری گراف^۱ برای حل مسئله جایابی کلید در شبکه به کار رفته است که اهمیت مشترکین از نظر نوع مصرف نیز در این روش پیشنهادی در نظر گرفته شده است. روش ارائه شده بر روی یک شبکه نمونه ۳۹۴ باسه با در نظر گرفتن یک و چند منبع تولید پراکنده شبیه‌سازی شده و نتایج نشان می‌دهد که منابع تولید پراکنده توانایی تغذیه بخشی از بار سیستم را بعد از وقوع خطاهای احتمالی دارند.

در مراجع [۳۲]-[۳۵] نیز اثرات اتوماسیون شبکه‌های توزیع در بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع از دیدگاه‌های متفاوت و بر روی سیستم‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفته‌اند و نتایج آن‌ها نشان از اهمیت اتوماسیون شبکه‌های توزیع در کاهش انرژی توزیع نشده مورد انتظار و نیز بالابردن قابلیت اطمینان سیستم دارند.

^۱ Graph Theory

فصل سوم:

روش های جایابی بهینه ادوات کلیدزنی
در شبکه های توزیع

۳-۱- جایابی بهینه ادوات کلیدزنی و حفاظتی

با توجه به ماهیت و ساختار شبکه های توزیع، استفاده از ادوات کلیدزنی برای محدود سازی ناحیه خاموشی و کاهش مشترکین تأثیرپذیر از حوادث احتمالی اجتناب ناپذیر است. تعیین بهترین آرایش و ترکیب برای این تجهیزات می تواند به بهبود قابلیت اطمینان و افزایش رضایت مندی مشترکین کمک کند. مکان‌یابی کلیدها به عنوان یکی از ادوات در جهت بهبود قابلیت اطمینان و کاهش تعداد و مدت تداوم خاموشی در سیستم صورت می پذیرد. تجهیزات حفاظتی و ادوات کلیدزنی جهت حفاظت تجهیزات و ایزوله کردن تجهیزات معیوب یا خطادار، یا ایزوله کردن تجهیزات برای عملیات نگهداری، در شبکه قرار می گیرند. تعدادی از ادوات اصلی مورد استفاده در این بخش به شرح زیر می باشند:

- مدار شکن ها ورله ها
- سوئیچ های قطع کننده دستی، کنترل شونده از دور یا خودکار
- کلیدهای بازبست خودکار
- فیوزها

استفاده بهینه از تجهیزات حفاظتی و ادوات کلید زنی هنگامی حاصل می گردد که هماهنگی حفاظتی مناسب بوده و هزینه های کلی حداقل گردند. از این رو هماهنگی حفاظتی را می توان به عنوان یک قید فنی مبتنی بر خصوصیات خطا و پخش بار، در نظر گرفت. انواع تجهیزات مورد استفاده می تواند اثر مستقیمی بر روی تناوب و دوره زمانی خروج از خط های (خطاهای منجر به خاموشی) تجربه شده توسط مشترکین داشته باشد. بنابراین این دو جنبه به هم مربوط بوده و نتایج به دست آمده ترکیبی از آنها می باشند.

در هنگام ارزیابی گزینه های شبکه با تعداد و انواع متفاوت تجهیزات، لازم است که هزینه های مربوطه از جمله هزینه انرژی توزیع نشده، تعیین گردند. محاسبه و مقایسه هزینه ها و مزایای قابلیت اطمینان بدست آمده را تنها می توان از طریق استفاده از آنالیزهای کمی مناسب قابلیت اطمینان

انجام داد، انواع و موقعیت های بهینه تجهیزات را می توان یا با انجام آنالیزهای هزینه به سود و یا با استفاده از روش های بهینه سازی به دست آورد.

در هر آنالیز منفرد در ابتدا پیش از آنکه وسیله جدیدی به شبکه اضافه شود، هزینه های خروج از خط شبکه تعیین می گردند و سپس مطالعات در مورد هر وسیله ارائه شده برای نصب در موقعیت-های پیشنهادی مختلف تکرار می شود. سپس این گزینه ها از دیدگاه تفاوت ها در هزینه کلی مورد ارزیابی قرار می گیرند. این روش در صورتی مناسب است که قرار نباشد تجهیزات جدید زیادی اضافه شوند که این شرایط در هنگام بررسی شبکه های موجود برقرار می باشند. مهندس طراح می تواند انواع مختلف تجهیزات جدید که باید مورد استفاده قرار گیرند و همچنین موقعیت آنها را به طور مکاشفه ای انتخاب کند، و یا این که برپایه نتایج یک آنالیز قابلیت اطمینان انتخاب کند. آنالیزهای هزینه به سود را می توان یا به صورت دستی و یا به طور کارآمدتر با استفاده از برنامه محاسبه قابلیت اطمینان به دست آورد.

در هنگام طراحی شبکه های جدید و یا در هنگام اضافه شدن مقدار زیادی از تجهیزات جدید، اغلب مفیدتر است که روش هایی مورد استفاده قرار گیرند که به وسیله آنها با محاسبه ساده تر تعداد موقعیت های تجهیزات جدید فراهم باشد. پس از آن ممکن است که روش های مبتنی بر ساده سازی برخی از اجزاء شبکه مورد استفاده قرار گیرند. تقریب هایی را می توان برای مدل سازی ریاضی و بهینه سازی در نظر گرفت، به عنوان مثال می توان نرخ خطا در واحد طول خط را ثابت در نظر گرفت. پس از محاسبه تقریبی تعداد تجهیزات مورد نیاز، مهندس برنامه ریز می تواند هر کدام از تجهیزات را در موقعیت مناسب در شبکه قرار دهد. پس از آن می توان مطالعه را با انجام آنالیز هزینه به سود برای هر تجهیز تصحیح کرده و موقعیت آن را بهینه نمود.

۳-۱-۱- موقعیت بهینه یک سیکسونر

موقعیت بهینه یک سیکسیونر نصب شده بر روی گره توسط مقایسه سود آن، در اثر کاهش هزینه های خروج از خط در موقعیت های ممکن مختلف تعیین می شود. اساس این روش آن است

که این وسیله جدید مشترکین بالا دست موقعیت خود یعنی نزدیک تر به منبع، را از خطاهای پایین دست حفاظت می کند. از این رو مکان یابی به عنوان تابعی از ظرفیت ترانسفورماتورهای بالادست و طول خط پایین دست انجام می پذیرد.

بدون وجود یک سوئیچ در مدار فیدر، یک خطا در هر کجای فیدر موجب قطع برق رسانی به تمامی مشترکین تغذیه شده از آن فیدر به مدتی برابر با زمان تعمیر می گردد. پس از اضافه کردن یک سکسیونر، بروز خطا در موقعیت پایین دست تنها موجب از دست رفتن برق رسانی به مشترکین بالا دست به مدت زمان لازم جهت بستن مجدد سکسیونر محدود می گردد. در صورتی که فرض شود:

- ریسک خرابی متناسب با طول خط است
- هزینه های خروج از خط متناسب با انرژی تامین نشده می باشند
- رشد بار در تمامی نقاط بار برابر است
- مقادیر متوسط مورد استفاده قرار می گیرند

صرفه جویی در هزینه های کلی را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$C_i = KP_i f_i l_i t c_n - C_a \quad (1-3)$$

که در این رابطه:

C_i : کل صرفه جویی در هزینه ها در صورت نصب یک سکسیونر جدید در موقعیت i

K : ضریبی که لازم است که هزینه های خروج از خط سال اول در آن ضرب شود تا هزینه ها

در کل دوره بازنگری به دست آید

P_i : دیمانند بالادست i

f_i : نرخ خرابی در طول خط

l_i : طول خط پایین دست

t : اختلاف میان زمان تعمیر و زمان کلیدزنی

c_n : پارامتر هزینه برون رفت انرژی تامین شده

C_a : هزینه های یک سکسیونر با در نظر گرفتن هزینه های نگهداری

به عنوان مثال در یک سیستم نمونه، موقعیت های ممکن برای نصب یک سکسیونر، موقعیت های ۱ تا ۹ می باشند. مقدار کل مقادیر نامی روی پلاک ترانسفورماتورهای توزیع و طول خطوط در هر بخش نیز در شکل نشان داده شده اند. داده های مورد استفاده جهت حل رابطه (۳-۱) در این مثال، به شرح زیر می باشند:

$$K = 10$$

۲۵٪ برابر مقادیر نامی بر روی پلاک ترانسفورماتور = دیمانند متوسط

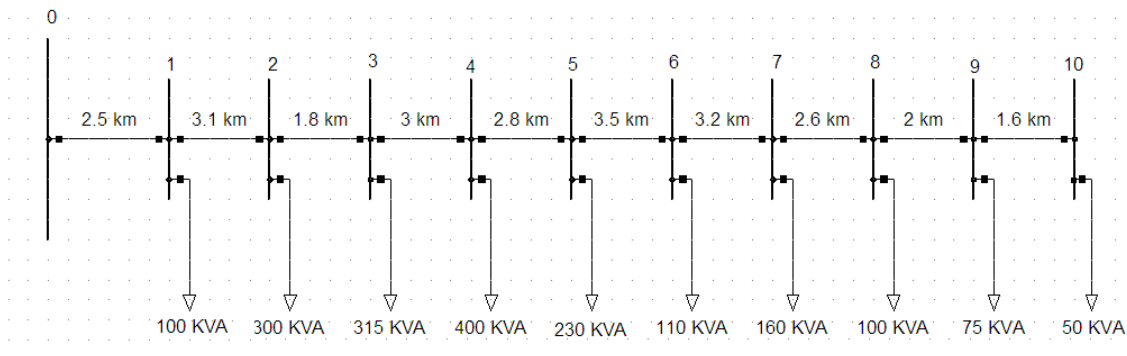
$$f_i = 0.125 \text{ failure} / (\text{Km} \cdot \text{year})$$

$$t = 2 \text{ hrs}$$

$$c_n = 0.5$$

$$C_a = 3750 \$$$

این نوع مطالعه به مقادیر مورد استفاده در رابطه (۳-۱)، مطابق شکل (۳-۱) حساس می باشد. در این شکل مقدار c_n انرژی تامین نشده تغییر می یابد. در صورتی که c_n دوبرابر مقداری که در این مثال مورد استفاده قرار گرفته و نتایج آن در جدول (۳-۱) بیان شده است در نظر گرفته شود، احتمال توجیه پذیر بودن سکسیونرهای بیشتر بالا خواهد بود. در این جدول C_i هزینه کلی بعد از قرار دادن کلید را بیان می کند که می تواند مثبت یا منفی باشد.



شکل (۳-۱): شبکه نمونه برای جایابی بهینه سکسیونر

فصل سوم - روش های جایابی بهینه ادوات کلیدزنی در شبکه های توزیع

جدول (۳-۱): نتایج جایابی بهینه سکسیونر در شبکه نمونه

موقعیت سکسیونر	بار شبکه بالادست (KVA)	طول شبکه پایین دست (km)	$KVA \times km$	C_i (\$)
۱	۱۰۰	۲۳/۶	۲۳۶۰	-۳۰۱۰
۲	۴۰۰	۲۰/۵	۸۲۰۰	-۱۱۹۰
۳	۷۱۵	۱۸/۷	۱۳۳۷۰	۴۳۰
۴	۱۱۱۵	۱۵/۷	۱۷۵۰۵	۱۷۲۰
۵	۱۳۴۵	۱۲/۹	۱۷۳۵۰	۱۶۷۰
۶	۱۴۵۵	۹/۴	۱۳۶۷۷	۵۲۰
۷	۱۶۱۵	۶/۲	۱۰۰۱۳	-۶۲۰
۸	۱۷۱۵	۳/۶	۷۱۷۴	-۱۸۲۰
۹	۱۷۹۰	۱/۶	۲۸۶۴	-۲۸۵۰

موقعیت بهینه تجهیزات دیگر، به عنوان مثال سکسیونرهای کنترل شده از دور و مدار شکن ها، را می توان با روشی مشابه آنچه که در مورد مثال بالا مورد استفاده قرار گرفت، محاسبه کرد. در هر یک از حالات لازم است که هزینه های سالانه متناسب زمان خروج از خط و نرخ خروج از خط و تلفات سیستم در نظر گرفته شوند، تا کل هزینه ها به دست آیند.

علاوه بر موقعیت و نوع تجهیزات جدید که باید نصب شوند، لازم است که زمان بندی این عمل نیز بهینه گردد در صورتی که بتوان فرض کرد که صرفه جویی حاصل از تجهیزات جدید در آینده کاهش نخواهند یافت، زمان بهینه نصب هنگامی است که صرفه جویی های سالانه برابر یا بزرگ تر از هزینه های سالانه تجهیزات جدید باشد.

۳-۲- برنامه ریزی شبکه های توزیع

علاوه بر برنامه های محاسبات شبکه، یک سیستم نوین اطلاعاتی شبکه اغلب شامل برنامه های نرم افزاری جهت برنامه ریزی شبکه توزیع نیز می باشد. برای این منظور ممکن است که برنامه های

طراحی ساده مورد استفاده گیرند که وظیفه اصلی این برنامه ها محاسبه هزینه ها و چک کردن قیود فنی می باشد. طراحی طرح های امکان پذیر مختلف و مقایسه هزینه های آنها توسط برنامه ریز انجام می شود. با این وجود جهت کاهش زمان مورد نیاز جهت برنامه ریزی و تهیه طرح های بهینه از نظر اقتصادی، مدل های بهینه سازی کارآمدتری مورد نیاز می باشند.

در طی سه دهه اخیر چند مدل برنامه ریزی برای سیستم های توزیع ارائه شده اند. تعداد بسیار کمی از آنها در امر برنامه ریزی عملی با موفقیت به کار گرفته شده اند، که این موضوع به خوبی پیچیدگی امر برنامه ریزی و طراحی که شرکت های توزیع برق با آن مواجه می باشند را نشان می دهد. عمل برنامه ریزی شبکه را می توان به صورت یک مسئله بهینه سازی فرمول بندی کرد. در این مسئله هدف حداقل سازی هزینه بوده، در حالی که قیود فنی برآورده شوند. تابع هدف نه تنها شامل هزینه های سرمایه گذاری می باشد، بلکه معمولاً شامل موارد زیر نیز می باشد:

- هزینه های تلفات

- هزینه های خاموشی

- هزینه های بهره برداری و عملیات تعمیر و نگهداری

قسمتی از قیود همیشه به ساختار شبکه ارتباط دارند به عنوان مثال:

- اتصال تمامی بارها باید برقرار باشند.

- شبکه باید شعاعی باشد.

همچنین لازم است که قیودی جهت تایید این امر که راه حل به کار گرفته شده موارد زیر را

برآورده می کند، در نظر گرفته شوند:

- قوانین ایمنی

- ظرفیت های حرارتی اجزای شبکه

- محدوده های افت ولتاژ

مدل برنامه ریزی در شبکه های توزیع با توجه به استاتیک و دینامیک بودن بار به چهار گروه

زیر تقسیم می شود:

- برنامه ریزی برای بار استاتیک در زیر سیستم
- برنامه ریزی برای بار استاتیک در کل سیستم
- برنامه ریزی برای بار دینامیک در زیر سیستم
- برنامه ریزی برای بار دینامیک در کل سیستم

در مدل های بار استاتیک (برنامه ریزی تک مرحله ای) رشد بارها در نظر گرفته نمی شوند، در حالی که در مدل های دینامیک بار، بارها متغیر با زمان بوده و فرآیند در چند مرحله بازبینی می شود. در مدل های زیر سیستمی تنها بخشی از سیستم توزیع در نظر گرفته می شود (معمولاً یا فیدرها یا پست ها) در روش کل سیستم تمامی سیستم در نظر گرفته می شود، یعنی پست ها و فیدرها. یک مدل دقیق ریاضی برای مسئله برنامه ریزی ممکن است منجر به یک مدل به شدت پیچیده گردد و از این رو معمولاً تقریب هایی مورد استفاده واقع می شوند. متداول ترین تقریب ها مربوط به تعیین تابع هزینه می باشند، که هزینه های کلی یک جزء از سیستم را به صورت تابعی از توان عبوری از آن بیان می کند. شکل دقیق تابع هزینه غیر خطی می باشد ولی می توان آن را با یک خط مستقیم تقریب زد. این امر امکان استفاده از روش های برنامه ریزی خطی کارا را فراهم می آورد.

نظریه گراف برای مدل سازی مسائل برنامه ریزی شبکه های توزیع بسیار کارآمد می باشد. برای حل مسئله حداقل کردن هزینه، الگوریتم های برنامه ریزی مختلفی در دسترس می باشند. در صورت در نظر گرفتن هزینه های ثابت، مدل مورد استفاده به صورت مسئله شبکه ای با نرخ فروش ثابت بوده، که برای حل آن می توان از الگوریتم شاخه و کران بهره گرفت. جهت حل مسئله برنامه ریزی، مدل های غیر خطی نیز ارائه شده اند. این مدل نتایج دقیق تری را به دست آورده، ولی زمان محاسباتی آنها طولانی تر می باشد. معمولاً روش های جستجوی متداول برای یافتن پاسخ بهینه به کار گرفته می شوند، استفاده از الگوریتم ژنتیک نیز یکی از روش های مفید در حل مسئله می باشد.

مدل های ارائه شده در بالا، جهت امور برنامه ریزی استاتیک تدوین شده اند. در برنامه ریزی دینامیک لازم است که زمان بندی سرمایه گذاری های شبکه تعیین گردد. برای برنامه ریزی دینامیک می توان از روش معروف به شبه دینامیک استفاده کرد. در روش شبه دینامیک یک مدل برنامه ریزی استاتیک برای هر مرحله (سال) از دوره برنامه ریزی مورد استفاده قرار می گیرد. نتایج را می توان با انتخاب امکانات قابل قبول جدید در یک فرایند بهینه سازی استاتیک جداگانه ارتقاء داد که در آن بارهای سال آخر دوره برنامه ریزی استفاده می شود.

با این وجود، روش شبه دینامیک توالی سرمایه گذاری ها در گزینه های مختلف را در نظر نمی گیرد. سرمایه گذاری های زنجیره ای که تمامی دوره برنامه ریزی را در بر می گیرند، را می توان با استفاده از برنامه ریزی دینامیک بهینه سازی کرد. روش برنامه ریزی دینامیک به طور کارآمدی مسائل فرمول بندی شده به صورت فرآیند های تصمیم گیری چند مرحله ای را حل می کند. ایده اصلی در این جا استفاده از بازگشت می باشد. راه حل بهینه را می توان با استفاده از یک فرمول بازگشتی برای هر مرحله از فرآیند تصمیم گیری به دست آورد. هنگامی که هر تصمیم گیری به طور جداگانه، به جای مقایسه با تمامی راه کارهای تصمیم گیری ممکن، مطالعه می گردد، تعداد مقایسه ها به طور قابل توجهی کاهش می یابد. در مدل های برنامه ریزی دینامیک، تخمین خوب از رشد بار آینده ضروری می باشد. هر چند که همواره عدم اطمینان نسبتاً بزرگی در مورد پیش بینی بار بلند مدت وجود دارد. اثر این عدم اطمینان را می توان با مدل سازی بار به صورت زنجیره مارکوف در نظر گرفت، که مدل برنامه ریزی دینامیک حاصل شده یک فرآیند تصمیم گیری زمان گسسته مارکوف خواهد بود، که می توان آن را با استفاده از برنامه ریزی دینامیک اتفاقی حل کرد.

۳-۳- جایابی بهینه سکسیونر و نقاط مانور در شبکه های توزیع دارای اتوماسیون

یکی از موارد موثر در کاهش انرژی تغذیه نشده تعیین محل مناسب ایزولاتورها و پیش بینی امکان مانور در شبکه جهت سرویس دهی مجدد در اثر رخ دادن حوادث و اتصالاتی ها می باشد که در ادامه چگونگی فرمول بندی این مسائل ارائه شده است.

در مساله ی تعیین سکسیونرها و نقاط مانور برای اتوماسیون در شبکه های توزیع هزینه های زیر دخیل هستند:

الف) خسارت های ناشی از خاموشی ها

ب) هزینه های مرتبط با مجهز نمودن کلیدها و سکسیونرها به قابلیت کنترل از راه دور شامل قیمت و هزینه ی نصب

ج) هزینه ی سالیانه نگهداری و بهره برداری تجهیزات

هدف طرح، کمینه سازی مجموعه این هزینه ها است. البته باید توجه داشت که برخی از این هزینه ها (مورد ب) به صورت سرمایه گذاری اولیه اند، ولی موارد (الف و ج) به صورت هزینه های جاری اند و در جمع کردن این دو دسته در قالب یک تابع هزینه ی واحد بایست با استفاده از پارامترهای اقتصاد مهندسی تمام هزینه ها به یک قالب (ارزش کنونی) تبدیل شوند. بنابر این تابع هزینه ی مساله به صورت زیر خواهد بود:

$$\min CF = \sum_{i=1}^{ny} P_w^t \cdot OC + \left(\sum_{i=1}^n DS_i + \sum_{j=1}^m DT_j \right) \times AC + \sum_{i=1}^{ny} P_w^t \cdot MC \quad (2-3)$$

$$\text{while: } P_w = \frac{1 + Infr}{1 + Intr}$$

که در آن:

CF : مقدار کل تابع هزینه

OC : خسارت ناشی از خاموشی ها

DS_i : متغیر تصمیم مربوط به نصب یا عدم نصب تجهیزات اتوماسیون در سیکسونر i

(۱): سکسیونر اتوماتیک شده است، ۰: سکسیونر اتوماتیک نشده است).

n : تعداد سکسیونرهای موجود در فیدر

DT_j : متغیر تصمیم مربوط به نصب یا عدم نصب تجهیزات اتوماسیون در کلید نقطه مانور j

(۱): نقطه مانور اتوماتیک شده است. ۰: نقطه مانور اتوماتیک نشده است).

AC : هزینه ی تجهیز نمودن یک سکسیونر یا نقطه ی مانور به قابلیت کنترل از راه دور

m : تعداد نقاط مانور موجود در فیدر

MC : هزینه های نگهداری و بهره برداری از تجهیزات

P_w : ضریب اقتصادی جهت تبدیل هزینه های جاری دوره ی مطالعه به ارزش کنونی

$Infr$: نرخ تورم سالیانه

$Intr$: نرخ بهره سالیانه

ny : دوره ی مطالعه برحسب سال

همان طور که ملاحظه می گردد در تبدیل هزینه های جاری در دوره ی مطالعه به ارزش کنونی با استفاده از راه دو پارامتر اقتصادی نرخ تورم و نرخ بهره عمل شده است. در بهینه سازی مدل مذکور در واقع ترکیبی از اتوماسیون سکسیونرها و نقاط مانور بهینه خواهد بود که تابع هزینه ی فوق الذکر را کمینه می کند. این ترکیب اقتصادی ترین راهکار بهبود قابلیت اطمینان با اتوماسیون سکسیونرها و احداث نقاط مانور در شبکه را ارائه خواهد داد.

۳-۴- جایابی بهینه کلید در شبکه های توزیع دارای اتوماسیون

بازیابی مجدد سیستم عموماً با عملکرد دستی انجام می شود و توسعه سیستم اتوماتیک با استفاده از سوئیچ های سکشنلایزر در اتوماسیون فیدر توزیع انجام می پذیرد. این سوئیچ ها وسعت منطقه جدا شده در اثر وقفه (خطا) را وقتی که محل خطا کاملاً مشخص شده باشد، محدود می کنند. برای حالتی که سوئیچ های سکشنلایزر به طور همزمان در تمام گره ها نصب می شوند و سپس خطاها در هر شاخه در نظر گرفته می شود هزینه خروج (خاموشی) با استفاده از رابطه (۳-۳) محاسبه می شود:

$$C_{out} = \sum_{j=1}^{NB} C_{ne} \cdot NF_j \cdot LB_j \left(\sum_{i=1}^{N_{loc}} PT_{i_{loc}} + \sum_{i=0}^{N_{rep}} PT_{i_{rep}} \right) \quad (3-3)$$

که در آن:

C_{out} : هزینه خروج از خط

NB : تعداد شاخه ها در شبکه

NF_j : تعداد خطاها برای شاخه j

LB_j : طول شاخه j برحسب km

C_{ne} : هزینه انرژی توزیع نشده

N_{loc} : تعداد گره های ایزوله شده در طی محل یابی خطا

N_{rep} : تعداد گره های ایزوله شده در طی زمان تعمیر بخش دارای خطا

P_i : توان در گره i برحسب km

T_{loc} : مدت زمان محل یابی خطا

T_{rep} : مدت زمان تعمیر بخش دارای خطا

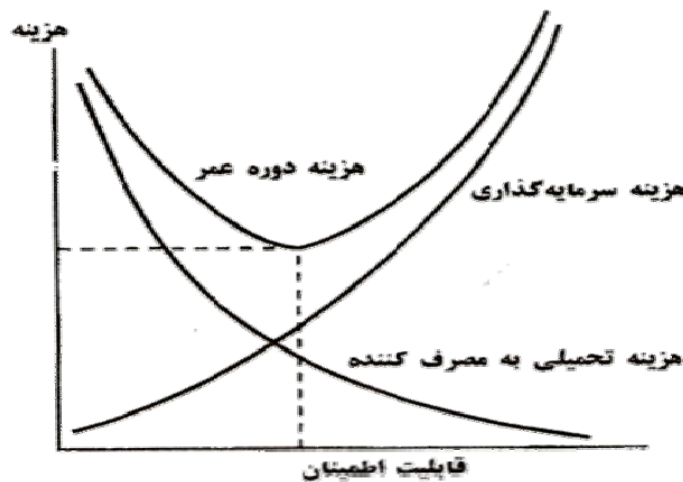
در حل مسئله ابتدا سوئیچ سکشنلایزر تنها در یک موقعیت دلخواه انتخاب شده قرار داده می شود. خطا در هر شاخه مورد بررسی واقع می شود و هزینه وقفه برای یک سوئیچ سکشنلایزر محاسبه می شود. این روند برای تمام گره های دلخواه مشخص شده باقی مانده تکرار می گردد و کمترین هزینه در اثر وقفه انتخاب می شود. در ادامه منافع حاصله با هزینه تجهیزات کلیدزنی مقایسه می شود و اگر بزرگتر بود محل بهینه برای سوئیچ دیگری را نیز می توانیم پیدا کنیم. به این ترتیب بعد از قرار دادن اولین سوئیچ سکشنلایزر در محل بهینه، دومین سوئیچ سکشنلایزر در یکی از موقعیت های انتخابی باقی مانده جایابی می شود و هزینه ناشی از وقفه محاسبه می گردد. این روند برای مراحل بالاتر تصمیم گیری تکرار می گردد

۳-۵- محاسبه هزینه زمان خاموشی

با وابستگی فزاینده جوامع امروزی به انرژی الکتریکی، لزوم دستیابی به سطح قابل قبولی از قابلیت اطمینان، کیفیت توان و ایمنی با قیمتی اقتصادی و برای مشترکین دارای اهمیت بیشتری می گردد. قیمتی که مشترکین به ازای انرژی الکتریکی می پردازند توسط هزینه های مربوط به بخش

های تولید، انتقال و توزیع تعیین می گردد. در مورد مشترکینی که سطح دیماندر انرژی بالایی دارند، تعرفه انرژی الکتریکی یک مولفه اساسی در هزینه های کلی آنها است، به گونه ای که این تعرفه در تصمیم گیری در مورد استفاده از انرژی الکتریکی و یا شکل دیگری از انرژی بسیار موثر می باشد.

در عمل تمامی مشترکین قابلیت اطمینان منبع تغذیه الکتریکی را برای خود امری با اهمیت بالا دانسته که بر جنبه های مختلف کاری، خانگی و اجتماعی زندگی آنها تاثیر گذار می باشد. هر چند مشترکین علاقمند به داشتن قابلیت اطمینان صد در صد از دریافت انرژی الکتریکی می باشند ولی شرکت های برق آگاه می باشند که از نظر فنی و اقتصادی دستیابی به چنین هدفی غیر ممکن است. مشترکین در مورد هرگونه زیان مالی و یا نآسودگی ناشی از قطعی برق حساس می باشند. اثرات قطعی برق بر روی گروه های مشترکین متفاوت است، مطالعات انجام گرفته نشان می دهد که هزینه قطعی برق برای مشترکین مختلف دارای محدوده وسیعی می باشد. به ازای قابلیت اطمینان صد در صد، میزان این هزینه ها برابر صفر خواهد بود. قابلیت اطمینان صد در صد از نظر اقتصادی غیر عملی می باشد بر این اساس برای این که حداقل هزینه کلی بر جامعه تحمیل گردد سطح قابلیت اطمینان سیستم تعیین می شود که این حالت در شکل (۲-۳) توسط نقطه مینیموم بر روی منحنی هزینه دوره عمر مشخص می شود:



شکل (۲-۳): موازنه میان هزینه و قابلیت اطمینان

فصل سوم - روش های جایابی بهینه ادوات کلیدزنی در شبکه های توزیع

مهمترین وظیفه شرکت های توزیع ارائه برق مطمئن و با کیفیت مناسب به مشترکین برق می باشد. قطعی برق یا کاهش کیفیت برق مصرف کنندگان سبب وارد آمدن خسارت به مشترکین می گردد. ارائه برق مطمئن و با کیفیت مناسب مهمترین وظیفه شرکت های برق منطقه ای و شرکت های توزیع می باشد. قطعیهای مکرر برق و وجود اعوجاجات در برق سبب وارد آمدن خسارت به مشترکین برق گردیده و هر قدر بارهای مصرف کننده حساستر باشند خسارت وارده بیشتر خواهد بود.

در این راستا برای جلوگیری از وارد آمدن خسارت به مشترکین، استانداردهای مختلفی تدوین گشته که در آنها حدود مجاز نوسان ولتاژ و هارمونیکها تعیین شده است، اما همواره فرض گردیده که تحت هیچ شرایطی برق مصرف کننده قطع نخواهد شد. قطع برق معضلی است که به هر تقدیر غیر قابل اجتناب بوده و به دلایل مختلف از جمله عدم وجود تولید به اندازه کافی، عدم وجود شبکه های انتقال و توزیع با ظرفیت مناسب، عدم وجود ظرفیتهای رزرو در شبکه و بالاخره حوادث غیر قابل اجتنابی نظیر طوفان، زلزله و جنگ اتفاق می افتد. جدول (۲-۳) یک نمونه از میزان خسارت به مشترکین را که مربوط به مصرف کنندگان شبکه توزیع کشور کانادا می باشد، نشان می دهد.

جدول (۲-۳): تابع خسارت مصرف کنندگان مختلف^۱ یک سیستم نمونه

مدت زمان خاموشی	هزینه خاموشی مشترکین ($\$/kW$)		
	بار خانگی	بار تجاری	بار صنعتی
۲ ثانیه	۰	۰/۲۳۲	۰/۷۸۲
۱ دقیقه	۰	۱/۶۳	۱/۸۷
۲۰ دقیقه	۰/۰۲۴۱	۴/۸۳	۲/۶۷
۱ ساعت	۰/۱۴۱	۱۳	۵/۶۵
۲ ساعت	۰/۷۵۶	۲۷/۳	۱۰
۴ ساعت	۱/۵۷	۶۵/۷	۲۰/۶
۸ ساعت	۳/۴۶	۱۰۶	۳۸/۱

^۱ Sector Customer Damage Function (SCDF)

۳-۶- جایابی بهینه کلید در شبکه های توزیع با تولید پراکنده

قرار دادن کلیدهای جدا کننده یا سکشنالایزر ها یکی از روشهای مؤثر در بهبود قابلیت اطمینان شبکه های توزیع می باشد. قرار دادن هرگونه کلید، سیستم حفاظتی و ادوات کنترل کننده مستلزم هزینه سرمایه گذاری اولیه می باشد و لذا مهمترین مسئله در قرار دادن این ادوات بر روی شبکه توزیع یافتن بهترین محل آنها است به نحوی که بالاترین قابلیت اطمینان برای سیستم به دست آید تا به این ترتیب بهترین بازگشت سرمایه را نیز برای شرکت های توزیع به ارمغان آورد. علاوه بر این افزایش روزافزون نصب و به کارگیری سیستم های تولید پراکنده ضرورت توجه به وجود این عناصر در تمامی بررسی ها، آنالیزها و طراحی های سیستم توزیع را موجب می گردد.

در این پروژه الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم بهینه سازی قدرتمند همراه با تئوری گراف به کار گرفته شده است که هدف از آن بالا بردن قابلیت اطمینان شبکه توزیع با هزینه قابل قبول است. برای حل مسئله باید تابع هزینه مناسب که شامل یکی از شاخص های قابلیت اطمینان نیز باشد انتخاب گردد. با توجه به ماهیت اقتصادی مسئله بهتر است از شاخص های اقتصادی قابلیت اطمینان استفاده کنیم که در روابط (۳-۴) و (۳-۵) بیان شده اند.

$$ECOST = \sum_{j=1}^{NC} \sum_{k=1}^{NL} L_{kj} \cdot C_{jk}(r_j) \cdot \lambda_j \quad \left(\frac{\$}{year} \right) \quad (4-3)$$

$$F = \frac{1}{ECOST} \quad (5-3)$$

پارامترهای استفاده شده در تابع بهینه سازی به صورت زیر تعریف می گردند :

NC : تعداد بخش^۱ ها (قسمت ها) در شبکه

NL : تعداد نقاط بار ایزوله شده در بخش j

L_{kj} : مقدار بار در نقطه بار k در بخش j

$C_{jk}(r_j)$: هزینه خروج از مدار بار k در بخش j در مدت زمان خطای r_j

^۱ Section

λ_j : احتمال خطای متوسط در بخش j

$ECOST$: تابع هزینه انرژی توزیع نشده مورد انتظار که بایستی حداقل شود.

F : تابع هدف به کار رفته در بهینه سازی

در روش ارائه شده، توابع هزینه و هدف برای هر حالت سیستم با تعداد مشخص کلید قابل نصب بر روی شبکه محاسبه می شوند و بهترین محل برای نصب کلیدها به دست می آیند. در ادامه به بررسی دقیق تر روش ارائه شده در این پروژه می پردازیم.

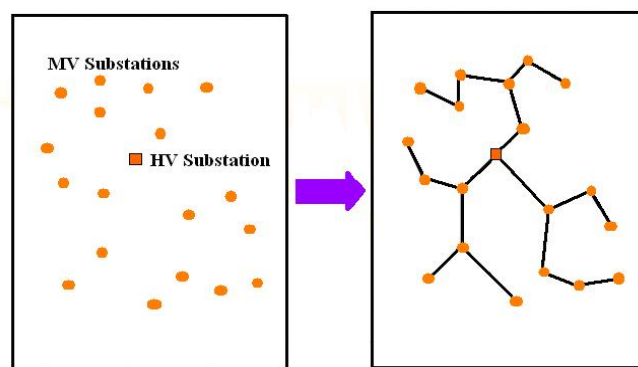
۳-۶-۱- تئوری گراف

این تئوری به عنوان یکی از شاخه های مهم علوم ریاضی در قرن نوزدهم میلادی معرفی گردید. یک گراف مجموعه ای از زوجهای مرتب شاخه ها و گرهها است که به صورت $G \equiv (V, E)$ تعریف می گردد و در آن V به معنی گره و E به معنی شاخه می باشد و در واقع گراف یک مدل دیاگرامی از سیستم است. در حالت کلی هر سیستمی که دارای یک رابطه باینری در بین اجزای خود باشد می تواند به صورت گراف تعریف گردد. به این ترتیب می توان شبکه های توزیع و اجزای آن را به صورت گراف تعریف نمود [۳۶]-[۳۸].

در این پروژه روش جست وجوی ردیفی^۱ مبتنی بر درخت پوشا^۲ در تئوری گراف در قسمتهای مختلف به کار رفته است. در شکل (۳-۳) یک نمونه از کاربرد درخت پوشا در مدل سازی شبکه توزیع نشان داده شده است. این تئوری در پیدا کردن شاخه های درخت ها و زیر درخت های به وجود آمده بر اثر قراردادن کلیدهای مختلف در شبکه کاربرد دارد و در هر تکرار از روش بهینه سازی ژنتیک این الگوریتم به کار می رود تا سرعت همگرایی و یافتن جواب بالاتر رود.

^۱ Breadth First Search

^۲ Spanning Tree



شکل (۳-۳): مدل سازی شبکه توزیع با استفاده از درخت پوشا

۳-۶-۲- الگوریتم ژنتیک

امروزه از روشهای ابتکاری^۱ برای حل مسایل مختلف بهینه سازی استفاده می‌شود. این روشها به روشهای هوشمند نیز معروفند. روشهای ابتکاری در یک زیر فضایی از فضای جستجو جوابی را برای مساله بدست می‌دهند و قادر هستند که پاسخ مناسب برای یک مساله خاص را در مدت زمان قابل قبول ارائه کنند اما نمی‌توان مطمئن شد که جواب بدست آمده یک نقطه بهینه کلی^۲ برای مساله باشد. مهمترین مزیت این الگوریتمها عدم نیاز آنها به شرایط کمکی نظیر وجود مشتق و شرایط مرزی می‌باشد و تنها معیار مورد استفاده آنها تابع هدف^۳ است و می‌توان آن را برای حل انواع مسائل غیر خطی و پیچیده و دارای نقاط ماکزیمم و مینیمم محلی اعمال کرد. چندین روش ابتکاری وجود دارد که از میان آنها می‌توان به روشهای جست و جوی تابو^۴، الگوریتم ژنتیک و شبکه های عصبی اشاره کرد. در میان روشهای فوق الگوریتم ژنتیک به دلایلی جای پای خود را در مباحث بهینه سازی محکم کرده است. الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش جستجوی موثر در بهینه‌سازی، اولین بار در سال ۱۹۷۵ توسط جوهان هالند^۵ در کتاب "تطبیق طبیعت و سیستم‌های مصنوعی"، معرفی گردید. سپس توسط او و همکارانش و همچنین دانشجویان او در دانشگاه میشیگان گسترش یافت. دلیل رشد سریع کاربردهای الگوریتم ژنتیک، سادگی شبیه‌سازی کامپیوتری، قدرت روش در جستجو و عدم

^۱ Heuristic

^۲ Global

^۳ Objective Function

^۴ Tabu Search

^۵ Johan Holland

وابستگی به شرایط محدود کننده در فضای جستجو (مانند پیوستگی، وجود مشتقات و غیره) می باشد [۳۹].

الگوریتمهای جستجوی تصادفی شهرت بیشتری از روشهای جستجوی شناخته شده ریاضی و یکایک شماری کسب نموده است. جستجوی تصادفی و طرحهای تصادفی که بهترینها را جستجو و ذخیره می نمایند از روشهای مناسب جستجوی نقطه بهینه می باشند. روشهای جستجوی تصادفی جدای از تکنیکهای انتخاب تصادفی هستند. به عنوان مثال الگوریتم ژنتیک یک مثال از فرآیند جستجویی است که از انتخاب تصادفی به عنوان وسیله ای برای بدست آوردن یک پاسخ مناسب در فضای کد شده استفاده می کند. وجود یک روش مؤثر و قوی در حل مسایل بهینه سازی که در محدوده وسیعی از مسائل مورد استفاده قرار گیرد، از نیازهای امروزی در بهینه سازی است. با توجه به دلایل ذیل می توان ادعا کرد که الگوریتم ژنتیک از روشهای قبلی بهینه سازی قویتر می باشد.

الگوریتم ژنتیک با اغلب روشهای بهینه سازی و جستجو در چهار مورد دارای اختلاف می باشد:

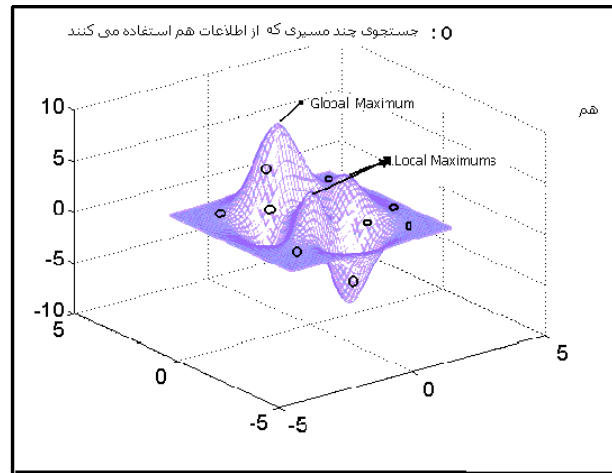
- ◆ الگوریتم ژنتیک با یک مجموعه از پارامترهای کد شده کار می کند.
- ◆ الگوریتم ژنتیک جستجو را از یک مجموعه نقاط شروع می نماید (نه از یک نقطه تنها)
- ◆ الگوریتم ژنتیک از اطلاعات اصلی (تابع هدف) استفاده می نماید نه از اطلاعات کمکی (مشتق، پیوستگی، گرادیان و ...).

◆ الگوریتم ژنتیک برای جستجو از قوانین احتمال استفاده می نماید (نه از قوانین تصمیم گیری)

روش ژنتیک در مسائل بهینه سازی به مجموعه ای از پارامترهای کد شده و با طول محدود احتیاج دارد. روشهای مختلفی برای کدگذاری وجود دارد که از جمله مهمترین آنها استفاده از بیت های مجزا می باشد. اگر چه براساس تئوری مطرح در الگوریتم ژنتیک، بهترین روش کدگذاری در این الگوریتم، کدگذاری باینری می باشد اما براساس تجربه های بدست آمده روی الگوریتم ژنتیک، بکارگیری کد با الفبای بیشتر و یا با کدهای حقیقی نیز تقریباً قدرت همگرایی مشابهی را دارا است.

در بسیاری از روشهای بهینه‌سازی، حرکت از یک نقطه شروع شده و از نقطه‌ای به نقطه دیگر در فضای حل با استفاده از قوانین انتقال ادامه می‌یابد. این حرکت نقطه به نقطه می‌تواند خطرناک باشد زیرا یک راه حل کامل برای رسیدن به حداکثرهای کاذب می‌باشد. در مقایسه، الگوریتم ژنتیک با یکسری از داده‌ها (نقاط) بطور همزمان شروع می‌نماید و جستجوی تعدادی حداکثر را به صورت موازی دنبال می‌کند. بدین ترتیب احتمال یافتن یک حداکثر کاذب نسبت به روشهایی که نقطه به نقطه حرکت می‌کنند کاهش می‌یابد. برای مثال با توجه به شکل (۳-۴) که نشان دهنده یک فضای جستجوی دارای چندین حداکثر است، مشاهده می‌گردد که روشهای جستجوی چند مسیری امکان بیشتری برای رسیدن به حداکثر جامع را دارا می‌باشند. لازم به ذکر است که این نکته، جدا از انتخاب چند نقطه اولیه در روشهای ریاضی و ادامه هر کدام بطور جداگانه می‌باشد. زیرا در این روش، اطلاعات از هر نقطه به نقطه دیگری انتقال می‌یابند و نقاط از اطلاعات یکدیگر جهت رسیدن به پاسخ بهینه سود می‌جویند، در حالیکه انتخاب چند شروع اولیه، در روشهای ریاضی تنها چند حل، از مسیرهای جداگانه است.

از دیگر مزایای روش ژنتیک، عدم احتیاج به اطلاعات کمکی نظیر گرادیان نقطه کار در خطی سازی و مانند آن می‌باشد. به عبارتی دیگر، الگوریتم ژنتیک روشی کور بوده و جستجوی موثر در این روش تنها به مقدار تابع هدف مربوط به جوابهای مختلف ارتباط دارد. البته هنگامی که اطلاعات کمکی موجود باشند استفاده از آنها موجب تقویت روش جستجو می‌شود. در روش ژنتیک راههایی برای استفاده از این داده‌های کمکی نیز وجود دارد. از مزایای دیگر الگوریتم ژنتیک استفاده از قوانین انتقال احتمالی برای راهنمایی در جستجو می‌باشد، به عبارتی به قوانین قطعی جهت انتقال به سمت نقطه بهینه احتیاجی ندارد. اگر چه استفاده از روشهای ساده احتمال، زائد به نظر می‌رسد، اما روش ژنتیک از این انتخاب تصادفی به عنوان یک وسیله راهنما، جهت حرکت به سمت ناحیه‌ای از فضای جستجوی اصلاح شده استفاده می‌نماید. در مجموع، چهار اختلاف ذکر شده را می‌توان به عنوان مزایای الگوریتم ژنتیک نسبت به روشهای دیگر مطرح نمود [۴۰]-[۴۱].



شکل (۳-۴): مقایسه روشهای جستجوی یک و چند مسیری

۳-۶-۲-۱- مفاهیم اولیه در الگوریتم ژنتیک

۳-۶-۲-۱-۱- کد کردن

الگوریتم ژنتیک به جای اینکه بر روی پارامترها یا متغیرهای مساله کار کند، با شکل کد شده آنها بطور مناسب، سروکار دارد. متداولترین روش کدگذاری استفاده از اعداد باینری است. در این روش پارامترها با دنباله‌های مناسب از اعداد ۰ و ۱ جایگزین می‌شوند. از روشهای دیگر کدگذاری در الگوریتم ژنتیک می‌توان روش گری، کدگذاری در پایه‌های غیر از عدد ۲ و کدگذاری براساس مرتبه را نام برد. تعداد بیت‌هایی که برای کدگذاری متغیرها استفاده می‌شود وابسته به دقت مورد نظر برای جوابها، محدودیت پارامترها و رابطه بین متغیرها می‌باشد.

۳-۶-۲-۱-۲- کروموزم^۱

رشته یا دنباله‌ای از بیت‌ها که به عنوان شکل کد شده یک جواب ممکن (مناسب یا نامناسب) از مساله مورد نظر می‌باشد، را کروموزم می‌گویند. در حقیقت بیت‌های یک کروموزم، نقش ژنها در طبیعت را بازی می‌کنند. هر بیت، متغیری گسسته است که از یک مجموعه P عضوی انتخاب

^۱ Chromosome

می‌شود. چنانچه از کد گذاری باینری استفاده شود، هر بیت یکی از دو مقدار ۰ یا ۱ را می‌پذیرد. در این حالت مجموعه ذکر شده دارای دو عضو خواهد بود.

۳-۶-۲-۱-۳- جمعیت^۱

مجموعه‌ای از کروموزمها را جمعیت گویند. یکی از ویژگیهای الگوریتم ژنتیک این است که به جای تمرکز بر روی یک نقطه از فضای جستجو یا یک کروموزم، بر روی جمعیتی از کروموزمها کار می‌کند. بدین ترتیب در هر مرحله الگوریتم دارای جمعیتی از کروموزمها بوده که خواص مورد نظر را بیشتر از جمعیت مرحله قبل دارا می‌باشد.

۳-۶-۲-۱-۴- مقدار برازندگی^۲

مناسب بودن با نبودن جواب، با معیاری که از تابع هدف بدست می‌آید سنجیده می‌شود. هر چه که یک جواب مناسبتر باشد، مقدار برازندگی بزرگتری دارد. برای آنکه شانس بقای چنین جوابی بیشتر شود احتمال بقای آن متناسب با مقدار برازندگی آن در نظر گرفته می‌شود. بنابراین کروموزمی که برازنده‌تر است با احتمال بیشتری در تولید فرزندان شرکت می‌کند و دنباله‌های بیشتری از آن بوجود می‌آید. به عنوان مثال چنانچه هدف بیشینه کردن یک تابع باشد، مقدار برازندگی، یک تابع صعودی از تابع هدف در نظر گرفته می‌شود و اگر هدف یافتن مقدار کمینه یک تابع باشد، عدد برازندگی یک تابع نزولی از آن قرار داده می‌شود. معمولاً در مواردی که امکان دارد، تابع برازندگی را در فاصله [۰ و ۱] نرمالیزه می‌کنند.

۳-۶-۲-۱-۵- عملگر ترکیب (تقاطع)^۳

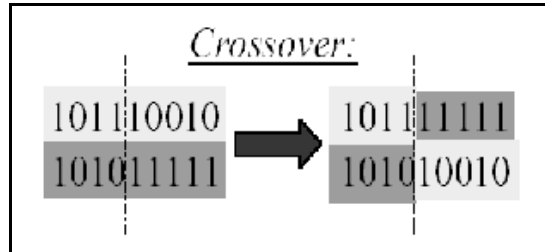
این عملگر بر روی یک جفت از کروموزمها عمل می‌کند و می‌تواند بصورت تک نقطه‌ای و دونقطه‌ای و غیره باشد. نحوه اجرای عملگر ترکیب برای دو کروموزم در روشی موسوم به تک نقطه‌ای، به این صورت است که در طول دو کروموزم، یک نقطه تعویض مشترک بطور تصادفی تعیین شده و

¹ Population

² Fitness Value

³ Crossover

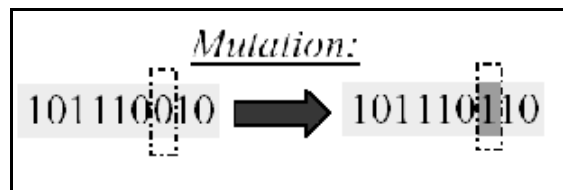
جای ادامه دو کروموزم در این نقطه مشترک مطابق با شکل (۲-۴) عوض می شود. تعداد بیشتری نقاط تعویض معادل آن است که عمل ترکیب فوق در چند مرحله انجام شود.



شکل (۳-۵): اجرای عملگرهای ترکیب یک نقطه ای روی دو کروموزم

۳-۶-۲-۶- عملگر جهش^۱

این عملگر روی هر یک از کروموزمهای حاصل از عمل ترکیب، عمل می کند. بدین ترتیب که یک ژن بطور تصادفی از یک کروموزم که بطور تصادفی انتخاب شده است، انتخاب شده و مقدار ژن تغییر داده می شود. این تغییر در صورتی که از کد گذاری باینری استفاده شده باشد، به این صورت است که اگر مقدار ژن انتخاب شده یک بود صفر می گردد و اگر صفر باشد یک می گردد. بطور کلی جهش روی یک ژن به صورت تغییر تصادفی آن به یکی از ژنهای موجود در مجموعه ژنها انجام می شود. در شکل (۳-۴) نحوه بکار گیری عملگر جهش را در کد گذاری باینری نشان می دهد.



شکل (۳-۶): اجرای عملگر جهش روی یک کروموزم

۳-۶-۲-۷- فرآیند انتخاب^۲

انتخاب عملی است که در آن کروموزمهای نسل بعدی از جمعیت فعلی بر اساس قانون بقای اصلح تعیین می گردند. این عمل مهمترین مرحله در الگوریتم ژنتیک بوده و نقش بسیار مهمی را در این فرایند ایفا می کند در الگوریتم ژنتیک متناظر با هر کروموزم، یک مقدار تابع هدف تعیین

^۱ Mutation
^۲ Selection

می‌گردد. در هر تکرار محاسباتی براساس مقادیر تابع هدف، یک عدد برازندگی برای هر کروموزوم بدست خواهد آمد. این عدد برازندگی احتمال انتخاب را برای کروموزوم در فرآیند تصادفی انتخاب مشخص می‌کند.

با اختصاص عدد برازندگی به کروموزومهای مختلف، روی مجموعه کروموزومها به عنوان مجموعه مرجع، یک تابع احتمال تعریف می‌شود. روشهای مختلفی برای این عمل وجود دارد که می‌توان به روش چرخ رولت^۱ اشاره کرد. یک روش عمومی انتخاب برای کروموزوم j ، تعیین احتمال انتخاب آنها P_j بر اساس مقدار تابع بهینه شونده است. برای این منظور n عدد تصادفی تولید شده و با احتمال تجمعی آن مقایسه می‌شود احتمال تجمعی بصورت رابطه (۳-۶) تعریف می‌شود.

$$C_i = \sum_{j=1}^i P_j \quad (۳-۶)$$

کروموزوم i برای نسل بعدی انتخاب می‌شود اگر $C_{i-1} < U(0,1) \leq C_i$ ، که در آن عبارت U بیانگر n عدد تصادفی مابین ۰ و ۱ می‌باشد که با استفاده از توزیع نرمال بدست می‌آیند. برای هر کروموزوم احتمال انتخاب آن از رابطه (۳-۷) بدست می‌آید:

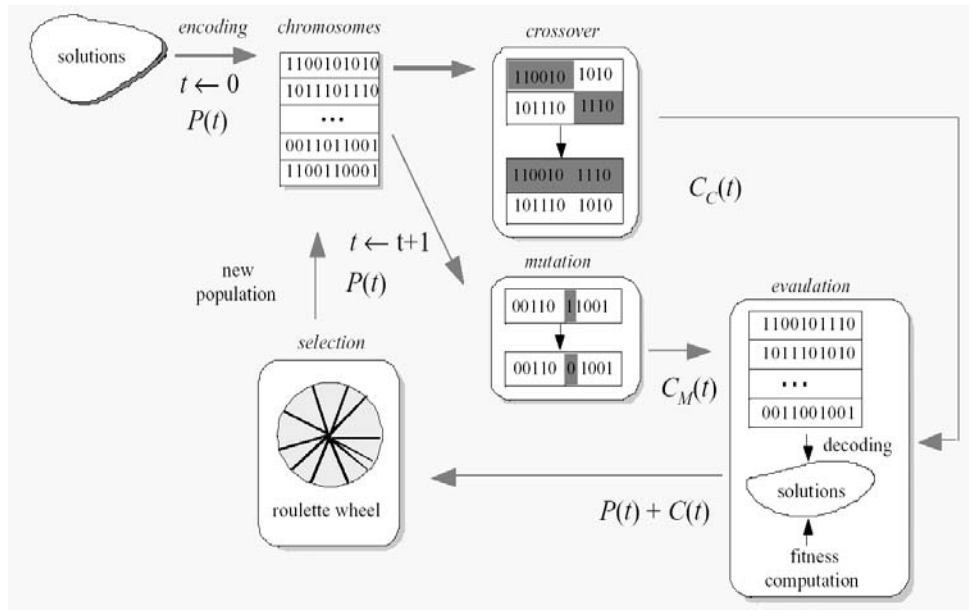
$$P_i = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^{PopSize} F_j} \quad (۳-۷)$$

پس از انتخاب کروموزومها جمعیت نسل بعدی مشخص شده و مراحل فوق به تکرار می‌شود تا مساله به یک جواب قابل قبول برسد.

۳-۶-۲-۲-۲- مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک

پس از بیان مفاهیم اولیه، مراحل مختلف در استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار می‌گیرد. دستورالعمل اجرایی الگوریتم ژنتیک به صورت چشمگیری ساده می‌باشد. این دستورالعمل شامل کدگذاری پارامترها، تشکیل کروموزومها، کپی نمودن و جابجایی قسمتی از آنها است. در شکل (۳-۷) فرایند تکرار الگوریتم ژنتیک و چرخه تکامل آن به وضوح دیده می‌شود.

^۱ Roulette Wheel



شکل (۷-۳): چرخه تکامل در الگوریتم ژنتیک

در هر تکرار، هر یک از P کروموزوم موجود در جمعیت کروموزومها، کدگذاری شده و مقدار تابع هدف برای آن بدست می‌آید. براساس مقادیر بدست آمده تابع هدف در جمعیت کروموزومها، به هر کروموزوم یک عدد برازندگی نسبت داده می‌شود. این عدد برازندگی احتمال انتخاب را برای هر کروموزوم تعیین خواهد کرد. براساس این احتمال انتخاب، مجموعه‌ای از کروموزومها انتخاب شده و یا اعمال عملگرهای ژنتیکی روی آنها، کروموزومهای جدیدی تولید می‌شوند. این کروموزومهای جدید جایگزین کروموزومهایی از جمعیت اولیه می‌شوند تا تعداد جمعیت کروموزومها در تکرارهای محاسباتی مختلف ثابت باشد. فرآیندهای تصادفی که روی انتخاب و حذف کروموزومها عمل می‌کنند، بگونه‌ای هستند که کروموزومهایی که عدد برازندگی بیشتری دارند، احتمال بیشتری برای ترکیب و تولید کروموزومهای جدید داشته و در مرحله جایگزینی نسبت به دیگر کروموزومها مقاومتر هستند. بدین لحاظ جمعیت کروموزومها در یک رقابت براساس تابع هدف در طی نسل‌های مختلف، تکامل یافته و متوسط مقدار تابع هدف در جمعیت کروموزومها افزایش می‌یابد.

بطور کلی در این الگوریتم ضمن آنکه در هر تکرار محاسباتی نقاط جدیدی از فضای جواب توسط عملگرهای ژنتیکی مورد جستجو قرار می‌گیرد، توسط فرآیند انتخاب در روند جستجو، ناحیه‌هایی از فضا را که متوسط آماری تابع هدف در آنها بیشتر است کنکاش می‌کند.

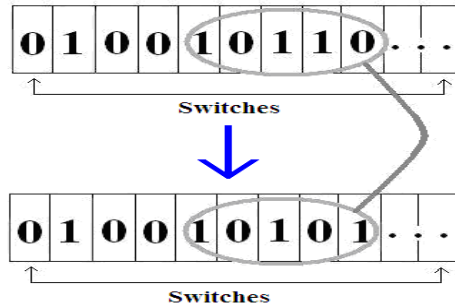
۳-۶-۲-۳- مدل سازی مسئله با الگوریتم ژنتیک

برای حل هر مساله بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ابتدا باید کرموزوم آن را با توجه به ماهیت مساله طراحی نمود. در این مساله از یک رشته باینری به طول تعداد شاخه های شبکه استفاده می‌کنیم. در این کرموزوم هر ژن از یک بیت صفر و یا یک تشکیل شده است که صفر بودن یک ژن به معنای عدم نصب کلید در شاخه مربوطه و یک به معنای نصب کلید در آن شاخه خواهد بود.

در روش ارائه شده برای کوچک تر کردن فضای جست و جو، مسئله هر بار برای تعداد مشخصی از کلیدهای قابل نصب بر روی شبکه اجرا می‌شود و بهترین محل‌ها برای نصب این تعداد مشخص به دست می‌آید. در هر مرحله بهترین جواب و شاخص قابلیت اطمینان مربوطه که در این روش *ECOST* در نظر گرفته شده است به دست می‌آید. می‌توان با اجرای برنامه برای تعداد کلیدهای قابل نصب متفاوت بهترین جواب را برای حالت های مختلف به دست آورده و با توجه به بودجه خرید تجهیزات و نیز قابلیت اطمینان مورد نظر پاسخ دلخواه را انتخاب نمود. علاوه بر این در حالت کلی با در نظر گرفتن اصول مهندسی و نیز کارهای قبلی انجام گرفته در حل این گونه مسائل، می‌توان مسئله را برای تعداد کلیدهایی در یک بازه مشخص که احتمال وجود جواب فقط در این بازه وجود دارد اجرا نموده و جوابهای هر حالت را به دست آوریم. سپس با در نظر گرفتن هزینه نصب و بهره برداری کلیدها (که برای انواع مختلف کلیدها می‌تواند متفاوت باشد) بهترین جواب را برای تعداد و محل قرار گیری کلیدهای قابل نصب در شبکه به دست آوریم.

برای حل مسئله طبق روش فوق باید در هر مرحله از اعمال عملگرهای ژنتیک قیودی را در نظر بگیریم به این ترتیب که باید تعداد کلیدهای انتخاب شده در هر مرحله از اعمال عملگرهای

ژنتیک ثابت بماند. در شکل (۸-۳) نحوه مدل سازی کروموزوم برای حل مسئله جایابی بهینه کلید در شبکه توزیع و نیز عملگرهای ژنتیکی بر روی آن بیان شده است.



شکل (۸-۳): مدل کروموزوم و عملگرهای ژنتیکی

برای اعمال قیود اشاره شده باید تعداد "۱" ها در کروموزوم ثابت بماند و طبق رابطه (۸-۳) داریم:

$$\sum_{k=1}^N "1" = S \quad (8-3)$$

که در این رابطه:

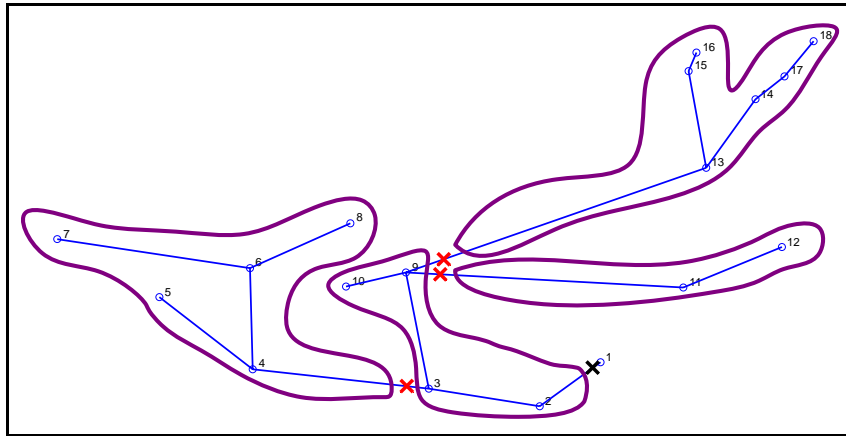
N : تعداد کلیدهای انتخاب شده

S : مقدار اولیه تعداد کلیدهای قابل نصب در شبکه

"1": نشانگر انتخاب کلید

۳-۶-۲-۴- مدل سازی شبکه

در یک فیدر توزیع، یک دسته شاخه و گره های شبکه که بین مکانهای ممکن جهت نصب کلیدهای مجاور هم یا کلیدهای قدرت و فیوزها و سکسیونرها به عنوان یک سکشن تعریف می شود. هر سکشن دارای چندین نقطه بار خواهد بود و بار معادل سکشن بوسیله مجموع تک تک بارهای درون سکشن تعریف می شود همچنین طول معادل برابر طول مجموع تک تک بارها خواهد بود. در شکل (۹-۳) سکشن های به وجود آمده بر اثر نصب کلید در یک شبکه نمونه ارائه شده است.



شکل (۳-۹): سکشن های به وجود آمده در یک شبکه نمونه

۳-۶-۲-۵- در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده

در حالت کلی با قرار گرفتن تولید پراکنده در شبکه با توجه به امکان تغذیه جزیره ای سیستم با استفاده از منابع تولید پراکنده تعداد نقاط ایزوله و بی برق شده کاهش می یابد و در نتیجه تابع *ECOST* کاهش یافته و قابلیت اطمینان سیستم بالاتر می رود. علاوه بر این جایابی محل کلیدها باید به نحوی باشد که امکان بقای حداکثری سیستم بعد از خطاهای احتمالی با استفاده از تولید پراکنده فراهم گردد چرا که اگر محل کلیدها مناسب نباشد ممکن است به دلیل مسائل الکتریکی استفاده از منابع مقذور نباشد. برای حل مسئله در حالت کلی سیستم را با استفاده از تئوری گراف که قبلاً به آن اشاره شد می توان به طور دقیقتر مدل سازی نمود.

بعد از مدل سازی و مشخص کردن سیستم به صورت ریاضی باید جواب های قابل قبول را از جوابهای غیرقابل قبول جدا کرده و فقط جواب های قابل قبول را برای مراحل بعدی بهینه سازی حفظ کنیم. قیود لازم برای این کار را از طریق روابط (۳-۹) تا (۳-۱۲) می توان به دست آورد.

$$SL_i = \sum_{k=1}^{NSL_i} Ld_{ki} \quad (۳-۹)$$

$$SFL_i = SL_i - \sum_{j=1}^{NS_j} \sum_{m=1}^{NSL_{a_j}} Ld_{ma_j} \quad (۳-۱۰)$$

$$SG_i = \sum_{k=1}^{NSG_i} Gg_{ki} \quad (۳-۱۱)$$

$$SFG_i = SG_i - \sum_{j=1}^{NS_i} \sum_{m=1}^{NSG_{a_j}} Dg_{ma_j} \quad (12-3)$$

که متغیرهای به کار رفته در این روابط به صورت زیر است:

$$SL_i: \text{مقدار کل بار بعد از کلید } i$$

$$NSL_i: \text{تعداد بارها بعد از کلید } i$$

$$Ld_{ki}: \text{مقدار بار در } k \text{ امین نقطه بار بعد از کلید } i$$

$$SFL_i: \text{مقدار کل بار در سکشن بین کلید } i \text{ و کلیدهای بعد از آن}$$

$$NSL_i: \text{تعداد کلیدها بعد از کلید } i$$

$$a_j: j \text{ امین کلید بعد از کلید } i$$

$$NSL_{a_j}: \text{تعداد بارها بعد از کلید } a_j$$

$$Ld_{ma_j}: \text{مقدار بار در } m \text{ امین نقطه بار بعد از کلید } a_j$$

$$SG_i: \text{مقدار کل DG بعد از کلید } i$$

$$NSG_i: \text{تعداد منابع DG بعد از کلید } i$$

$$Dg_{ki}: \text{مقدار DG در } k \text{ امین نقطه بار بعد از کلید } i$$

$$SFG_i: \text{مقدار کل DG در سکشن بین کلید } i \text{ و کلیدهای بعد از آن}$$

$$NSG_{a_j}: \text{تعداد منابع DG بعد از کلید } a_j$$

$$Dg_{ma_j}: \text{مقدار DG در } m \text{ امین نقطه بار بعد از کلید } a_j$$

به این ترتیب با توجه به روابط فوق شرط قابل قبول بودن جواب در حالتی که تولید پراکنده در

شبکه در نظر گرفته می شود از رابطه (3-13) به دست می آید.

$$if \ SFG_i > 0 \Rightarrow SFG_i > SFL_i \quad (13-3)$$

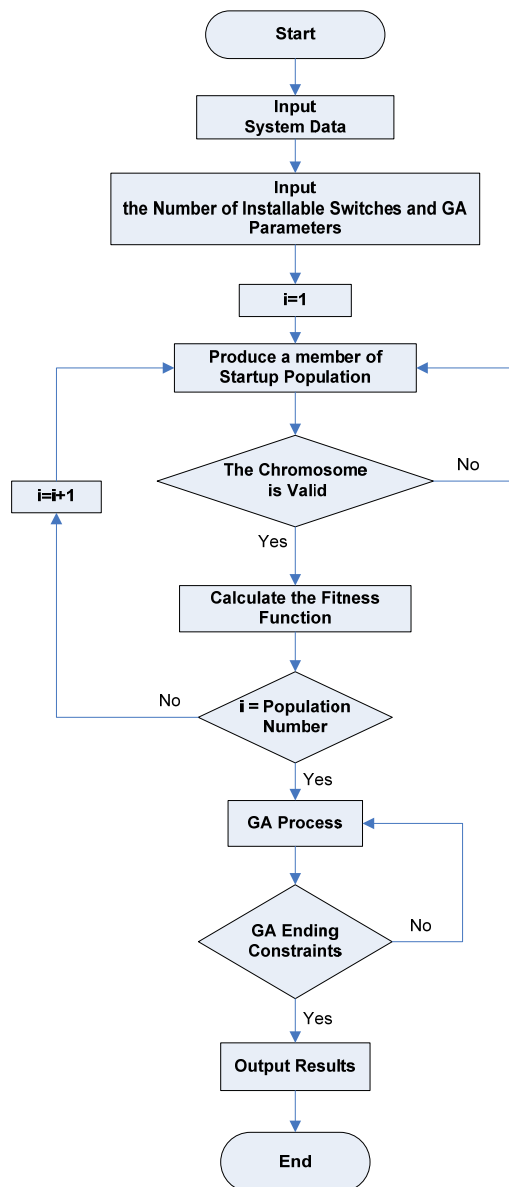
در صورتی که رابطه فوق برقرار نباشد جواب به دست آمده قابل قبول نخواهد بود چرا که در

این صورت در هنگام بروز خطاهای احتمالی منبع تولید پراکنده قادر به تأمین توان مورد نیاز بارهای

موجود در سگشن مربوطه نخواهد بود و در نتیجه برقدار ماندن آن سگشن امکان پذیر نخواهد بود. در این حالت وجود یا عدم وجود منبع تولید پراکنده تأثیری بر شاخص قابلیت اطمینان نخواهد داشت.

۳-۶-۲-۶- الگوریتم کلی حل مسئله

در حالت کلی الگوریتم حل مسئله جایابی بهینه کلید در شبکه های توزیع با تولید پراکنده را می توان با فلوجارت ارائه شده در شکل (۳-۱۰) بیان نمود. این فلوجارت روش یافتن بهترین محل برای قراردادن کلید را برای تعداد کلید معین نشان می دهد.



شکل (۳-۱۰): فلوجارت کلی الگوریتم روش پیشنهادی

۳-۶-۲-۷- شرط همگرایی الگوریتم

از آنجا که رسیدن به جواب بهینه مطلق در مسائل بهینه سازی به جهت فضای جستجو بسیار بزرگ تا حدودی غیر ممکن است و حتی در صورت امکان به لحاظ زمانبر بودن و وقت زیادی که باید برای رسیدن به جواب صرف کرد معقول نمی باشد. منطقی است که به جواب های بهینه نزدیک به بهینه مطلق اکتفا کنیم. معیارهای متفاوتی برای همگرایی و توقف الگوریتم تعریف و به کار برده می شود که به سه مورد از آنها اشاره می شود:

۱- تعداد مشخصی نسل به معنا که الگوریتم پس از تولید n نسل (مثل ۱۰۰ نسل) متوقف می شود.

۲- اختلاف برازندگی کروموزوم های برتر دو نسل متوالی از مقدار حداقلی کمتر باشد.

۳- اختلاف برازندگی متوسط و حداکثر در یک نسل از حداقلی کمتر باشد.

فصل چهارم:

نتایج و بحث

۴-۱- بررسی اجمالی روش حل و به دست آوردن نتایج

در این پروژه همانگونه که در بخش های قبل اشاره شد از ترکیب روش درخت پوشای تئوری گراف با الگوریتم ژنتیک بهینه شده برای حل مسئله جایابی بهینه کلید در شبکه های توزیع استفاده شده است. ترکیب این دو روش در کارآمدتر و سریع تر شدن روش پیشنهادی در رسیدن به جواب بهینه بسیار مؤثر می باشد. در واقع استفاده از تئوری گراف در مدل سازی شبکه های توزیع به دلیل ماهیت ذاتی این شبکه ها امری منطقی به نظر می رسد. کارایی الگوریتم ژنتیک نیز در امر بهینه سازی به خصوص بهینه سازی های مرتبط با شبکه های توزیع با مراجعه به منابع قابل اثبات می باشد. با توجه به افزایش روزافزون به کارگیری و استفاده از تولید پراکنده در شبکه های توزیع لازم است اثرات آن در تمامی آنالیزهای مرتبط با سیستم توزیع در نظر گرفته شوند. در این پروژه جهت واقعی تر کردن هر چه بیشتر مسئله وجود منابع تولید پراکنده در الگوریتم به کار رفته در حل مسئله در نظر گرفته شده است.

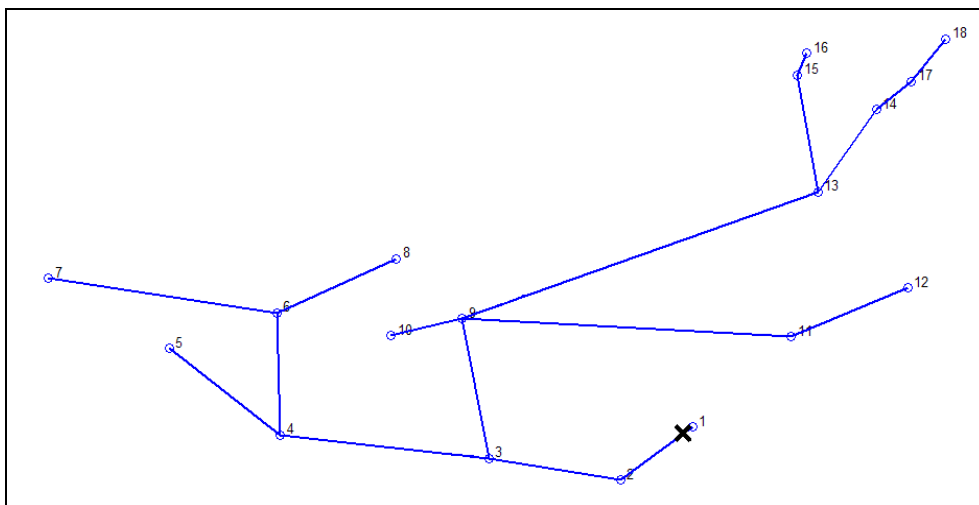
فضای جست و جو در این مسئله بسیار گسترده می باشد به عنوان نمونه در یک شبکه با ۱۰۰ محل امکان پذیر برای قرارداد کلید تعداد حالات ممکن به قدری زیاد می شود که حتی محاسبه تعداد حالات نیز کاری بس دشوار خواهد بود. به این منظور با توجه به الگوریتم روش حل در این پروژه که در فصلهای قبل به آن اشاره شد، در هر مرحله به ازای تعداد معینی کلید قابل نصب بر روی شبکه برنامه اجرا شده و بهترین محل برای قرار دادن این تعداد کلید و نیز قابلیت اطمینان شبکه در این حالت به دست می آید. برای به دست آوردن تعداد بهینه کلید برای نصب بر روی شبکه این روش را به ازای تعداد مختلف کلیدهای قابل نصب اجرا کرده و بهترین محل های نصب و بهترین قابلیت اطمینان به ازای هر تعداد کلید به دست می آید. البته با توجه به تجربه های مهندسی و سیر رشد شاخص قابلیت اطمینان و نیز محدودیت سرمایه گذاری می توان حالت های مختلف برای تعداد کلید را نیز محدود در نظر گرفت مثلاً برای یک شبکه با ۱۷ محل برای نصب کلید می توان فقط برای ۱ تا ۵ کلید قابل نصب بر روی شبکه برنامه را اجرا نمود. سپس با در نظر گرفتن قیمت هر کلید و هزینه

تعمیرات سالانه و نیز سال افق برای عمر تجهیزات می توان بهترین تعداد کلید جهت نصب بر روی شبکه را به دست آورد.

در این پروژه هزینه هر کلید به همراه سیستم حفاظتی و سیستم مخابراتی برای کلید کنترل از راه دور برابر با ۱۰۰۰۰ دلار در نظر گرفته شده است. هزینه تعمیرات سالانه نیز برابر با ۲۰۰ دلار در سال و عمر کلید ها ۱۰ سال در نظر گرفته شده است. البته با توجه به شرایط و نوع کلید ها این مقادیر می توانند متفاوت باشند ولی از آنجا که این مقادیر در تابع هزینه اولیه که در الگوریتم بهینه سازی به کار می رود استفاده نشده است، تأثیری بر جایابی بهینه به ازای تعداد کلید معین نخواهد داشت و فقط در تعیین تعداد بهینه کلید می تواند مؤثر باشد. برای بررسی روش ارائه شده در این پروژه، این الگوریتم بر روی سه شبکه نمونه در حالت های بدون تولید پراکنده و نیز با دز نظر گرفتن منابع تولید پراکنده اجرا و نتایج آن در ادامه آورده شده است.

۲-۴- اجرای روش ارائه شده بر روی شبکه اول

این شبکه یک شبکه نمونه با تعداد ۱۸ گره می باشد که از طریق یک پست فوق توزیع واقع بر گره شماره ۱ تغذیه می گردد و در شکل (۱-۴) مشخص شده است. مشخصات گره ها و نیز شاخه های این شبکه در جداول (۱-۴) و (۲-۴) بیان شده است.



شکل (۱-۴): شبکه نمونه ۱ (کلیدها با علامت X مشخص شده اند)

جدول (۴-۱): مشخصات گره های شبکه نمونه ۱

شماره گره	مقدار بار (MW)	اهمیت بار	شماره گره	مقدار بار (MW)	اهمیت بار
۱	۰	۰	۱۰	۰/۶۹	۱
۲	۰/۴۱	۱	۱۱	۰/۱۸	۱
۳	۰/۶۸	۲	۱۲	۰/۳۱	۲
۴	۰/۱	۳	۱۳	۰/۵۶	۳
۵	۰/۲۳	۳	۱۴	۰/۷۲	۱
۶	۰/۷	۱	۱۵	۰/۳۷	۲
۷	۰/۵۷	۳	۱۶	۰/۱۵	۱
۸	۰/۲۸	۱	۱۷	۰/۶	۳
۹	۰/۳۹	۲	۱۸	۰/۶۸	۱

جدول (۴-۲): مشخصات شاخه های شبکه نمونه ۱

شماره شاخه	طول شاخه (Km)	گره ابتدایی	گره انتهایی
۱	۰/۲	۱	۲
۲	۰/۳	۲	۳
۳	۰/۱	۳	۴
۴	۰/۱۴	۴	۵
۵	۰/۴	۴	۶
۶	۰/۵	۶	۷
۷	۰/۷	۶	۸
۸	۰/۱	۳	۹
۹	۰/۲۴	۹	۱۰
۱۰	۰/۳۵	۹	۱۱
۱۱	۰/۲	۹	۱۳
۱۲	۰/۱	۱۱	۱۲
۱۳	۰/۱	۱۳	۱۴
۱۴	۰/۱	۱۳	۱۵
۱۵	۰/۲	۱۴	۱۷
۱۶	۰/۱	۱۵	۱۶
۱۷	۰/۳	۱۷	۱۸

با استفاده از ضریب اهمیت بار می توان نوع مصرف عمده را به دست آورده و سپس با رجوع به تابع SCDF که در بخش ۳-۵ به آن اشاره شد، هزینه خاموشی را برای هر بار به دست آورد. در این سیستم λ به ازای هر کیلومتر برابر با ۰/۱ در نظر گرفته شده است و نیز زمان متوسط خاموشی برابر با ۲/۵ ساعت در نظر گرفته شده است. روش مورد نظر بر روی شبکه نمونه ۱ در سه حالت بدون در نظر گرفتن تولید پراکنده، یک منبع تولید پراکنده و دو منبع تولید پراکنده اجرا شده که نتایج آن در ذیل آمده است. در همه حالات این شبکه دارای یک کلید مدار قطع کن در اول شاخه شماره ۱ و در خروجی پست فوق توزیع می باشد.

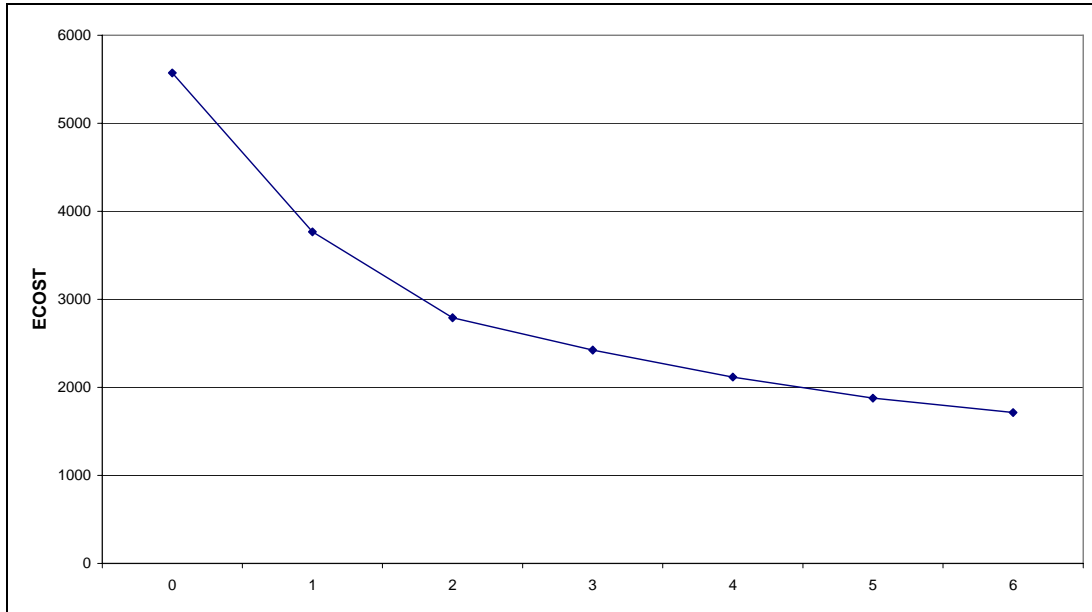
۴-۲-۱- نتایج حالت اول بر روی شبکه نمونه اول - بدون منبع تولید پراکنده

در حالت اول بدون در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده برنامه بر روی شبکه نمونه اجرا می شود. نتایج اجرای برنامه برای حالت بدون وجود کلید و نیز ۱ تا ۶ کلید قابل نصب بر روی شبکه در جدول (۳-۴) ارائه شده اند.

جدول (۳-۴) : نتایج حالت ۱ بر روی شبکه نمونه ۱

تعداد کلیدها	شماره شاخه هایی که کلید روی آن انتخاب شده است	تابع ECOST سالانه (\$/Year)
۰	-	۵۵۷۱
۱	۳	۳۷۶۶
۲	۳ و ۸	۲۷۹۰
۳	۳ و ۱۰ و ۱۱	۲۴۲۳
۴	۳ و ۹ و ۱۰ و ۱۱	۲۱۱۶
۵	۳ و ۷ و ۹ و ۱۰ و ۱۱	۱۸۷۸
۶	۳ و ۷ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۵	۱۷۱۳

با توجه به جدول فوق می توان منحنی تغییرات شاخص قابلیت اطمینان را نسبت به تعداد کلیدهای قابل نصب بر روی شبکه به دست آورد که در شکل (۲-۴) ارائه شده است.

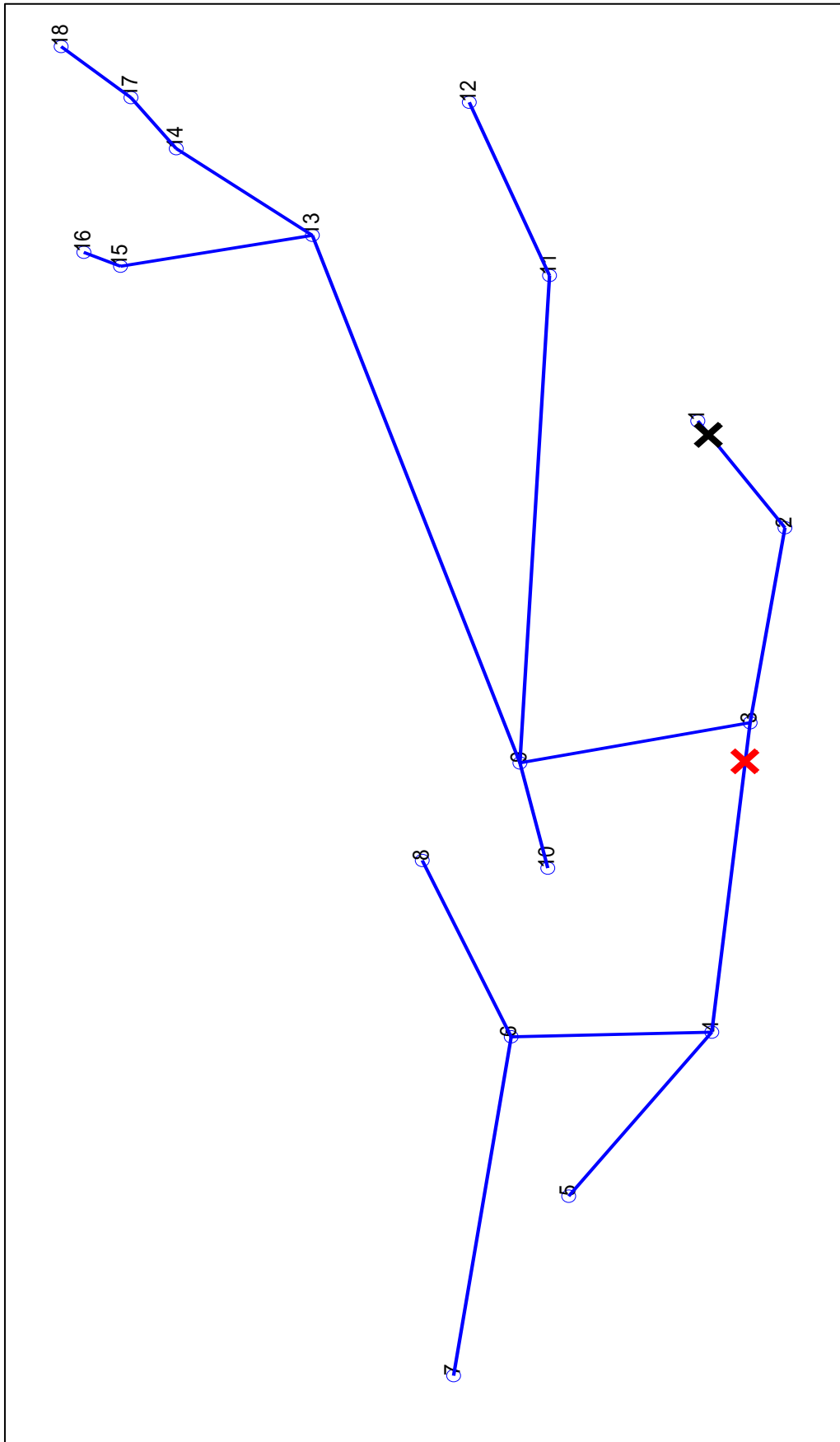


شکل (۴-۲): منحنی تغییرات ECOST بر حسب دلار نسبت به تعداد کلید

به این ترتیب می توان با توجه به هزینه های نصب و بهره برداری که در اول این بخش به آن اشاره شد بهترین تعداد کلید قابل نصب بر روی شبکه را نیز به دست آورد. به این ترتیب برای این شبکه در حالت ۱ بهترین حالت حالتی است که فقط یک کلید بر روی شبکه قرار گیرد و با یک محاسبه ساده ریاضی برای افق ۱۰ ساله کمترین میزان هزینه کلی برای این سیستم با در نظر گرفتن یک کلید به صورت زیر خواهد بود:

$$Total Cost = \$49600$$

با توجه به موارد فوق بهترین آرایش برای قراردادن کلید در حالت ۱ بر روی شبکه ۱ را می توان در شکل (۴-۳) مشاهده نمود.



شکل (۳-۴): بهترین آرایش کلید در حالت ۱ بر روی شبکه ۱ - بدون منبع تولید پراکنده

۴-۲-۲- نتایج حالت دوم بر روی شبکه نمونه اول - با یک منبع تولید پراکنده

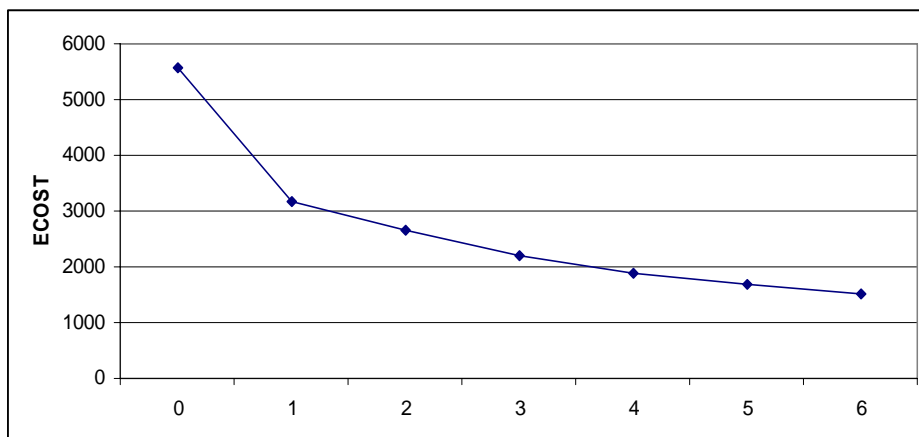
در حالت دوم برنامه با در نظر گرفتن یک منبع تولید پراکنده با قدرت تولید متوسط ۱/۷ MW که در گره شماره ۶ قرار دارد، بر روی شبکه نمونه اجرا می شود. نتایج اجرای برنامه در این شرایط نیز برای حالت بدون وجود کلید و نیز ۱ تا ۶ کلید قابل نصب بر روی شبکه در جدول (۴-۴) ارائه شده اند.

جدول (۴-۴): نتایج حالت ۲ بر روی شبکه نمونه ۱

تعداد کلیدها	شماره شاخه هایی که کلید روی آن انتخاب شده است	تابع ECOST سالانه (\$/Year)
۰	-	۵۵۷۱
۱	۵	۳۱۶۲
۲	۵ و ۱۱	۲۶۵۹
۳	۵ و ۱۰ و ۱۱	۲۲۰۹
۴	۳ و ۷ و ۱۰ و ۱۱	۱۸۹۹
۵	۳ و ۷ و ۹ و ۱۰ و ۱۱	۱۶۷۴
۶	۳ و ۷ و ۹ و ۱۰ و ۱۳ و ۱۴	۱۵۰۸

با توجه به جدول فوق می توان منحنی تغییرات شاخص قابلیت اطمینان را نسبت به تعداد

کلیدهای قابل نصب بر روی شبکه به دست آورد که در شکل (۴-۴) ارائه شده است.

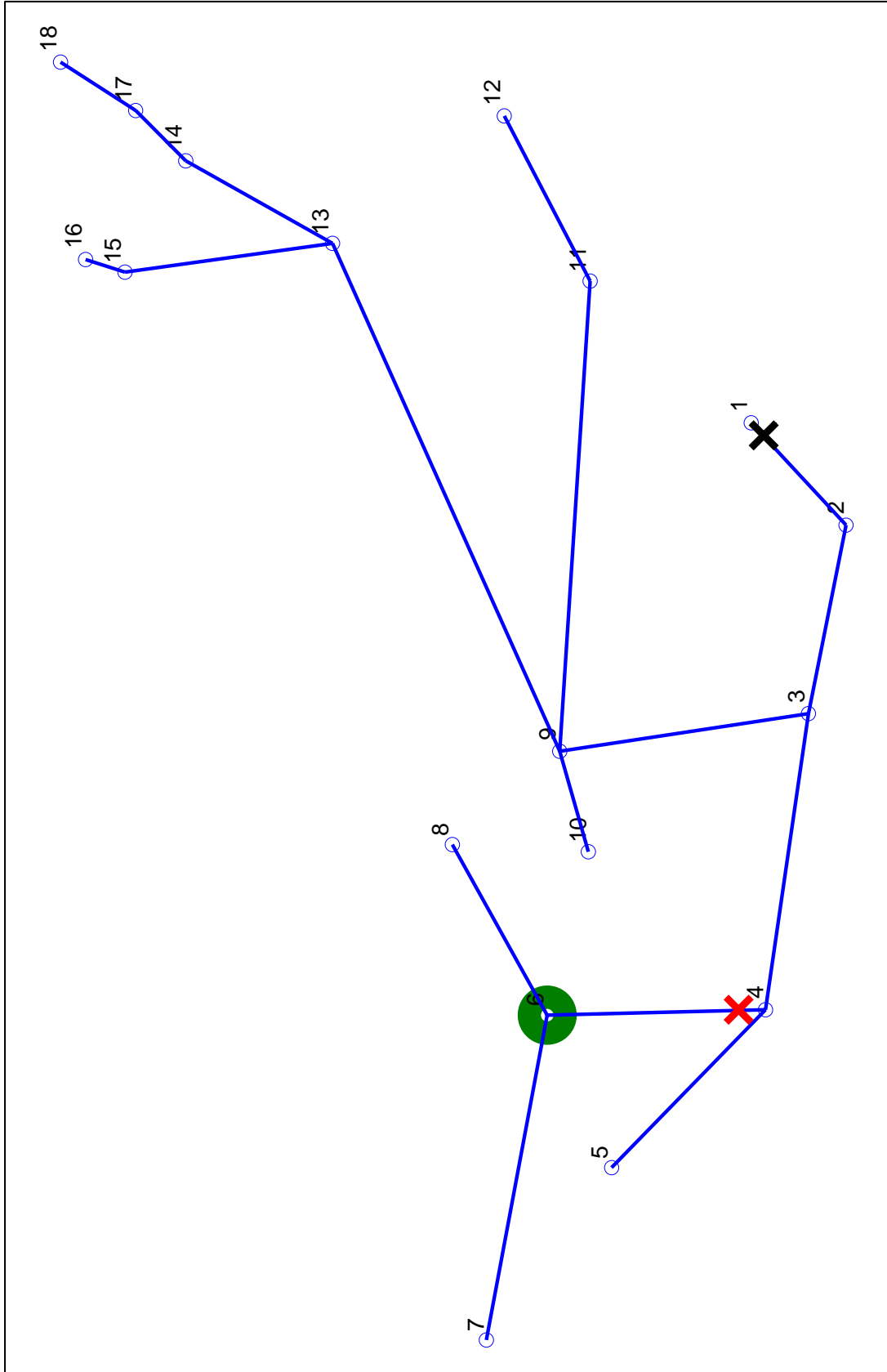


شکل (۴-۴): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید

به این ترتیب می توان با توجه به هزینه های نصب و بهره برداری که در اول این بخش به آن اشاره شد بهترین تعداد کلید قابل نصب بر روی شبکه را نیز به دست آورد. به این ترتیب برای این شبکه در حالت ۲ نیز بهترین حالت حالتی است که فقط یک کلید بر روی شبکه قرار گیرد و با یک محاسبه ساده ریاضی برای افق ۱۰ ساله کمترین میزان هزینه کلی برای این سیستم با در نظر گرفتن یک کلید به صورت زیر خواهد بود:

$$Total\ Cost = \$43620$$

با توجه به موارد فوق بهترین آرایش برای قراردادن کلید در حالت ۲ بر روی شبکه ۱ را می توان در شکل (۴-۵) مشاهده نمود.



شکل (۴-۵): بهترین آرایش کلید در حالت ۲ بر روی شبکه ۱ - با یک منبع تولید پراکنده (منبع تولید پراکنده با

دایره توپر مشخص شده است)

۳-۲-۴- نتایج حالت سوم بر روی شبکه نمونه اول - با دو منبع تولید پراکنده

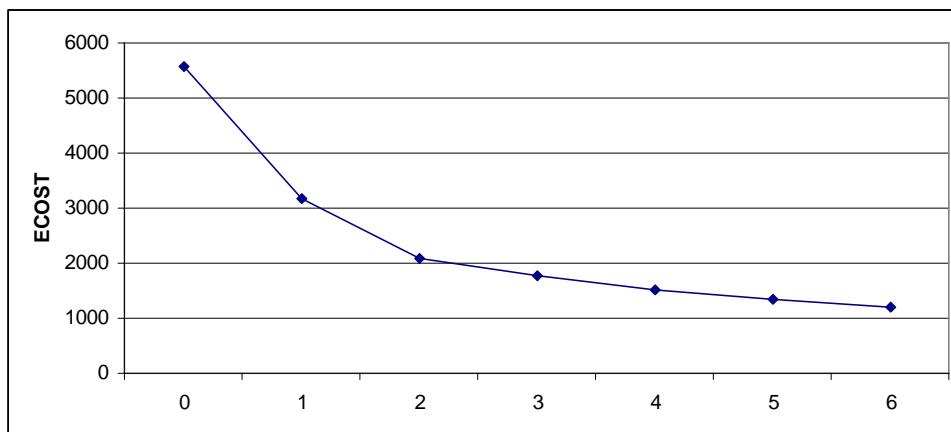
در حالت سوم برنامه با در نظر گرفتن دو منبع تولید پراکنده یکی با قدرت تولید متوسط ۱/۷ MW که در گره شماره ۶ قرار دارد و دیگری با قدرت تولید متوسط ۲/۱ MW که در گره شماره ۱۴ قرار دارد، بر روی شبکه نمونه اجرا می شود. نتایج اجرای برنامه در این شرایط نیز برای حالت بدون وجود کلید و نیز ۱ تا ۶ کلید قابل نصب بر روی شبکه در جدول (۴-۵) ارائه شده اند.

جدول (۴-۵): نتایج حالت ۳ بر روی شبکه نمونه ۱

تعداد کلیدها	شماره شاخه هایی که کلید روی آن انتخاب شده است	تابع ECOST سالانه (\$/Year)
۰	-	۵۵۷۱
۱	۵	۳۱۶۲
۲	۵ و ۱۳	۲۰۸۹
۳	۵ و ۸ و ۱۳	۱۷۶۰
۴	۳ و ۷ و ۱۰ و ۱۳	۱۵۲۱
۵	۳ و ۷ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۳	۱۳۴۸
۶	۳ و ۷ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۳	۱۱۹۹

با توجه به جدول فوق می توان منحنی تغییرات شاخص قابلیت اطمینان را نسبت به تعداد

کلیدهای قابل نصب بر روی شبکه به دست آورد که در شکل (۴-۶) ارائه شده است.



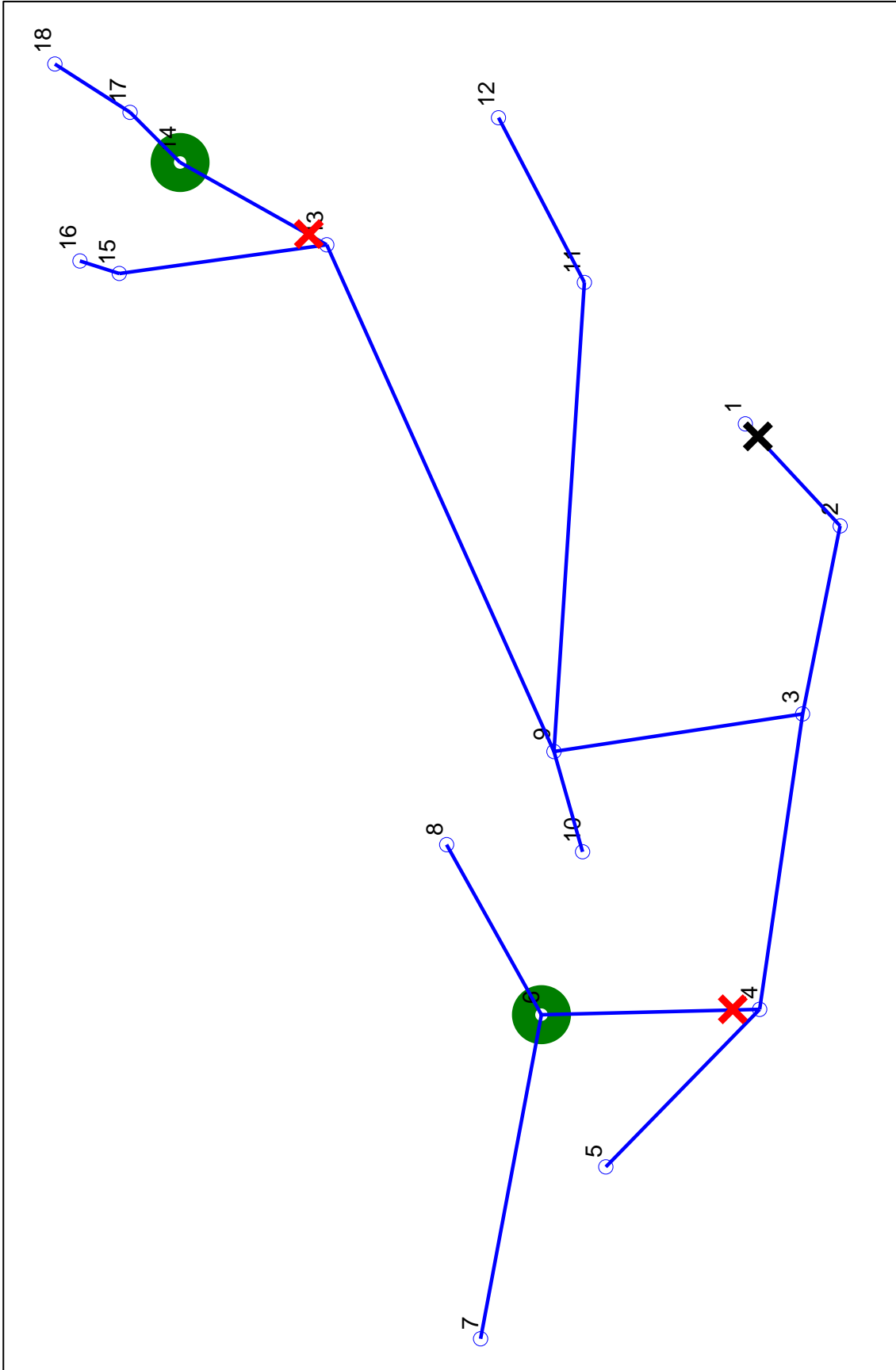
شکل (۴-۶): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید

به این ترتیب می توان با توجه به هزینه های نصب و بهره برداری که در اول این بخش به آن اشاره شد بهترین تعداد کلید قابل نصب بر روی شبکه را نیز به دست آورد. به این ترتیب برای این شبکه در حالت ۳ نیز بهترین حالت حالتی است که فقط یک کلید بر روی شبکه قرار گیرد و با یک محاسبه ساده ریاضی برای افق ۱۰ ساله کمترین میزان هزینه کلی برای این سیستم با در نظر گرفتن یک کلید به صورت زیر خواهد بود:

$$Total\ Cost = \$43620$$

البته باید در نظر گرفت که در حالتی که ۲ کلید در شبکه قرار دهیم هزینه کلی به مقدار بسیار جزئی با حالت یک کلید متفاوت خواهد بود و در این حالت $Total\ Cost = \$44890$ می باشد. علاوه بر این در حالتی که ۲ کلید در شبکه قرار دهیم امکان استفاده از منبع تولید پراکنده واقع بر گره ۱۴ در مواقع بروز خطا وجود خواهد داشت. بنابراین برای این حالت بهترین آرایش را برای حالتی که ۲ کلید در شبکه قرار گیرد در نظر می گیریم.

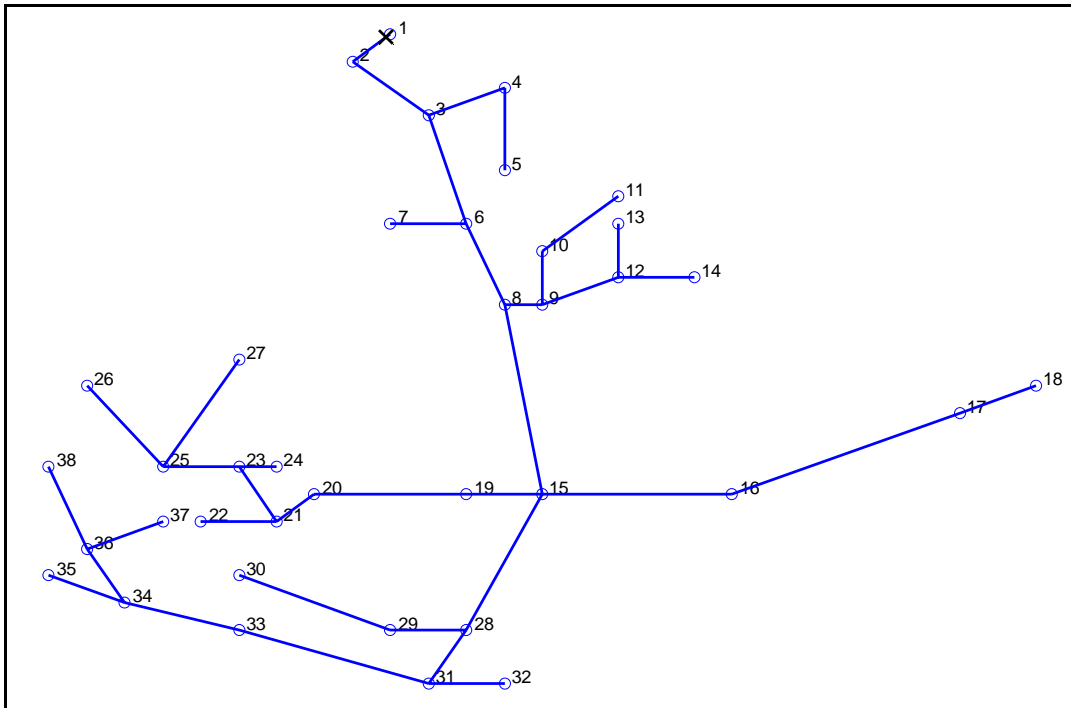
با توجه به موارد فوق بهترین آرایش برای قراردادن کلید در حالت ۳ بر روی شبکه ۱ را می توان در شکل (۴-۷) مشاهده نمود.



شکل (۷-۴): بهترین آرایش کلید در حالت ۳ بر روی شبکه ۱ - با دو منبع تولید پراکنده

۳-۴- اجرای روش ارائه شده بر روی شبکه دوم

این شبکه یک شبکه واقعی با تعداد ۳۸ گره می باشد که از طریق یک پست فوق توزیع واقع بر گره شماره ۱ تغذیه می گردد و در شکل (۴-۸) مشخص شده است. مشخصات گره ها و نیز شاخه های این شبکه در جداول (۴-۶) و (۴-۷) بیان شده است.



شکل (۴-۸): شبکه نمونه ۲

جدول (۴-۶): مشخصات گره های شبکه نمونه ۲

شماره گره	مقدار بار (MW)	اهمیت بار	شماره گره	مقدار بار (MW)	اهمیت بار
۱	۰	۰	۲۰	۰/۱۵۳	۳
۲	۰/۰۷۶	۵	۲۱	۰/۰۹۳	۱۵
۳	۰	۰	۲۲	۰/۴۹۷	۶
۴	۰/۱۸۸	۱	۲۳	۰	۰
۵	۰/۱۷۳	۱	۲۴	۰/۱۶۳	۵
۶	۰	۰	۲۵	۰/۴۵۶	۴
۷	۰/۳۵۹	۱	۲۶	۰/۱۸۲	۱
۸	۰/۰۲۸	۵	۲۷	۰/۱۹۵	۱
۹	۰	۰	۲۸	۰	۰
۱۰	۰/۱۱	۱	۲۹	۰/۱۸۶	۱

۱۱	۰/۱۵	۱	۳۰	۰/۱۶۷	۱
۱۲	۰	۰	۳۱	۰	۰
۱۳	۰/۷۵	۱	۳۲	۰/۴۴۶	۵
۱۴	۰/۱۹۸	۳۷	۳۳	۰/۱۶۱	۱۵
۱۵	۰	۰	۳۴	۰	۰
۱۶	۰/۰۶۱	۱	۳۵	۰/۱۶	۲۶
۱۷	۰/۰۵۲	۱	۳۶	۰	۰
۱۸	۰/۳۴۷	۵	۳۷	۰/۲۰۱	۱۴
۱۹	۰/۱۲۳	۳۷	۳۸	۰/۲۱۷	۱

جدول (۴-۷) : مشخصات شاخه های شبکه نمونه ۲

شماره شاخه	طول شاخه (Km)	گره ابتدایی	گره انتهایی
۱	۰/۱۵	۱	۲
۲	۰/۳	۲	۳
۳	۰/۳	۳	۴
۴	۰/۴۵	۴	۵
۵	۰/۷۵	۳	۶
۶	۰/۱۵	۶	۷
۷	۰/۳	۶	۸
۸	۰/۱۵	۸	۹
۹	۰/۳	۹	۱۰
۱۰	۰/۳	۱۰	۱۱
۱۱	۰/۱۵	۹	۱۲
۱۲	۰/۲۲	۱۲	۱۳
۱۳	۰/۲۲	۱۲	۱۴
۱۴	۰/۹	۸	۱۵
۱۵	۰/۶	۱۵	۱۶
۱۶	۰/۹	۱۶	۱۷
۱۷	۰/۱۵	۱۷	۱۸
۱۸	۰/۲۲	۱۵	۱۹
۲۰	۰/۱۵	۲۰	۲۱
۱۹	۰/۳	۱۹	۲۰
۲۱	۰/۲۲	۲۱	۲۲
۲۲	۰/۲۲	۲۱	۲۳
۲۳	۰/۰۷	۲۳	۲۴

۲۴	۰/۲	۲۳	۲۵
۲۵	۰/۴۵	۲۵	۲۶
۲۶	۰/۶	۲۵	۲۷
۲۷	۰/۷۵	۱۵	۲۸
۲۸	۰/۱۵	۲۸	۲۹
۲۹	۰/۳۷	۲۹	۳۰
۳۰	۰/۲۲	۲۸	۳۱
۳۱	۰/۱۵	۳۱	۳۲
۳۲	۰/۵۲	۳۱	۳۳
۳۳	۰/۴۵	۳۳	۳۴
۳۴	۰/۱۵	۳۴	۳۵
۳۵	۰/۱۵	۳۴	۳۶
۳۶	۰/۳	۳۶	۳۷
۳۷	۰/۳۷	۳۶	۳۸

با استفاده از ضریب اهمیت بار می توان نوع مصرف عمده را به دست آورده و سپس با رجوع به تابع SCDF که در بخش‌های قبل به آن اشاره شد، هزینه خاموشی را برای هر بار به دست آورد. در این سیستم λ به ازای هر کیلومتر برابر با ۰/۱۸۷ در نظر گرفته شده است و نیز زمان متوسط خاموشی برابر با ۲/۵ ساعت در نظر گرفته شده است. روش مورد نظر بر روی شبکه نمونه ۲ در سه حالت بدون در نظر گرفتن تولید پراکنده، یک منبع تولید پراکنده و دو منبع تولید پراکنده اجرا شده که نتایج آن در ذیل آمده است. در همه حالات این شبکه دارای یک کلید مدار قطع کن در اول شاخه شماره ۱ و در خروجی پست فوق توزیع می باشد.

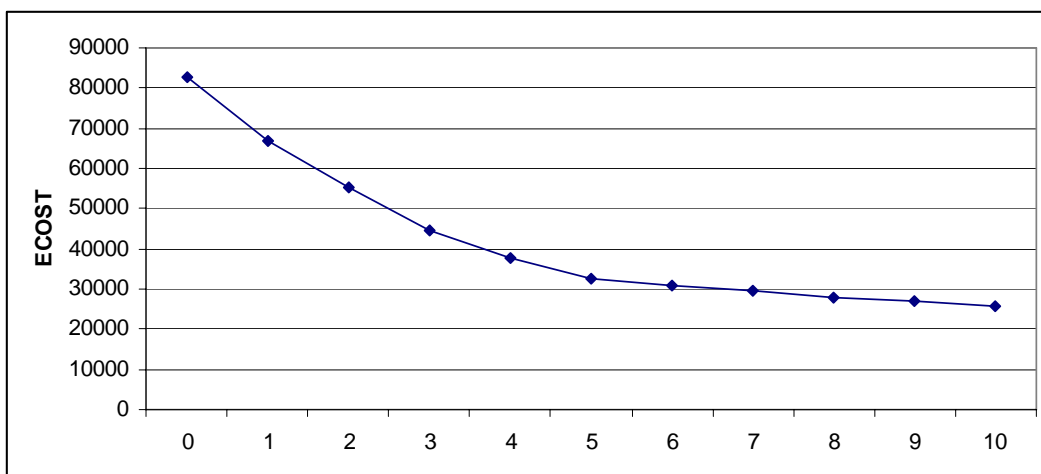
۴-۳-۱- نتایج حالت اول بر روی شبکه نمونه دوم - بدون منبع تولید پراکنده

در حالت اول بدون در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده برنامه بر روی شبکه نمونه اجرا می شود. نتایج اجرای برنامه برای حالت بدون وجود کلید و نیز ۱ تا ۱۰ کلید قابل نصب بر روی شبکه در جدول (۴-۸) ارائه شده اند.

جدول (۴-۸): نتایج حالت ۱ بر روی شبکه نمونه ۲

تعداد کلیدها	شماره شاخه هایی که کلید روی آن انتخاب شده است	تابع ECOST سالانه (\$/Year)
۰	-	۸۲۸۴۰
۱	۲۷	۶۶۸۸۹
۲	۲۷ و ۱۹	۵۵۲۴۹
۳	۲۷ و ۱۹ و ۱۵	۴۴۷۰۷
۴	۲۷ و ۱۹ و ۱۵ و ۸	۳۷۷۷۱
۵	۲۷ و ۱۹ و ۱۵ و ۸ و ۳	۳۲۷۷۰
۶	۲۷ و ۲۲ و ۱۸ و ۱۵ و ۸ و ۳	۳۰۹۷۶
۷	۳۵ و ۲۷ و ۱۹ و ۱۵ و ۱۴ و ۸ و ۳	۲۹۳۶۰
۸	۳۵ و ۲۷ و ۲۲ و ۱۸ و ۱۵ و ۱۴ و ۸ و ۳	۲۷۹۶۰
۹	۳۵ و ۲۸ و ۲۷ و ۲۲ و ۱۸ و ۱۵ و ۱۴ و ۸ و ۳	۲۶۸۷۶
۱۰	۳۵ و ۲۸ و ۲۷ و ۲۴ و ۱۹ و ۱۵ و ۱۴ و ۸ و ۳ و ۶	۲۵۸۸۸

با توجه به جدول فوق می توان منحنی تغییرات شاخص قابلیت اطمینان را نسبت به تعداد کلیدهای قابل نصب بر روی شبکه به دست آورد که در شکل (۴-۹) ارائه شده است.

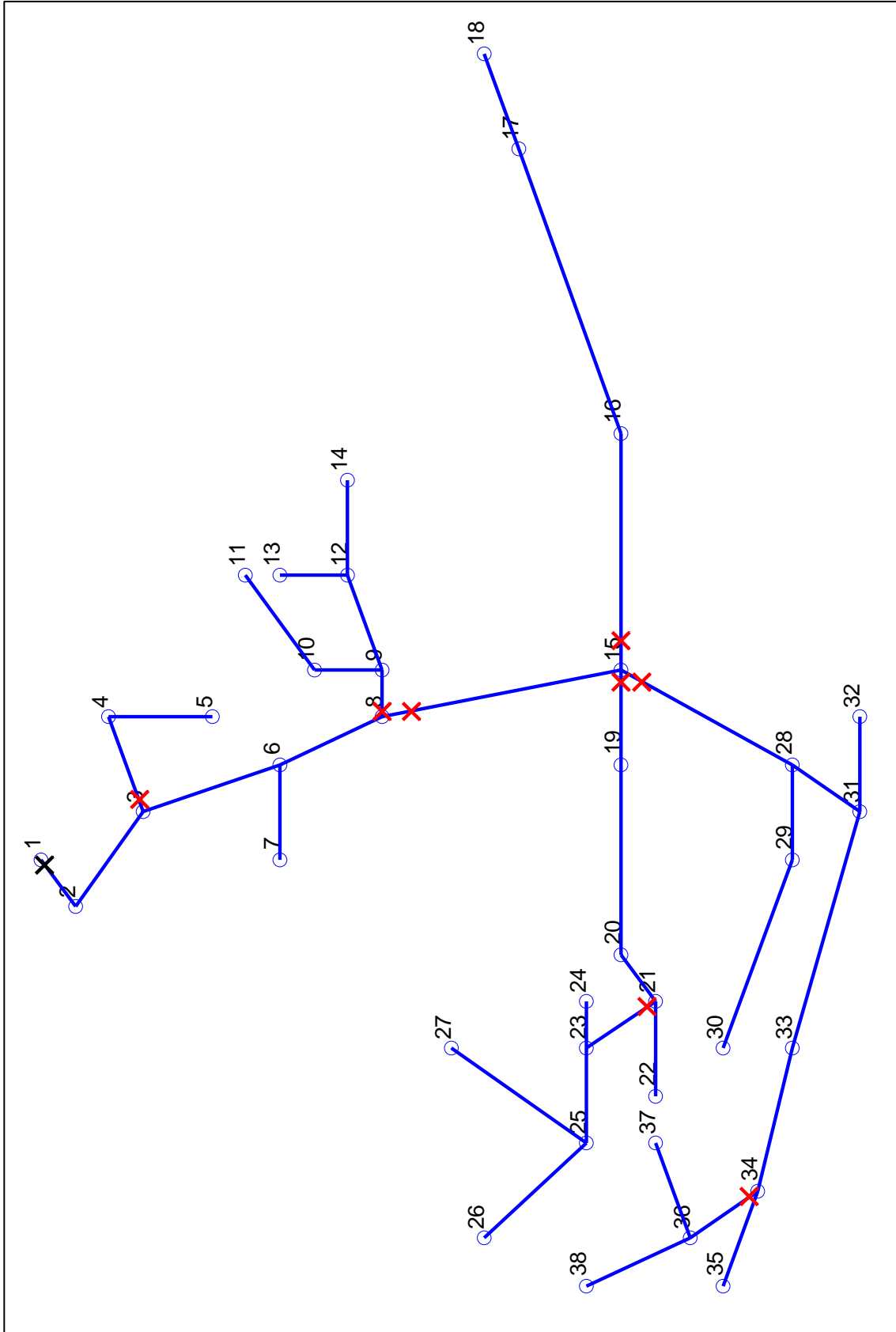


شکل (۴-۹): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید

به این ترتیب می توان با توجه به هزینه های نصب و بهره برداری که در اول این بخش به آن اشاره شد بهترین تعداد کلید قابل نصب بر روی شبکه را نیز به دست آورد. به این ترتیب برای این شبکه در حالت ۱ بهترین حالت حالتی است که ۸ کلید بر روی شبکه قرار گیرد و با یک محاسبه ساده ریاضی برای افق ۱۰ ساله کمترین میزان هزینه کلی برای این سیستم با در نظر گرفتن ۸ کلید به صورت زیر خواهد بود:

$$Total\ Cost = \$375600$$

با توجه به موارد فوق بهترین آرایش برای قراردادن کلید در حالت ۱ بر روی شبکه ۲ را می توان در شکل (۴-۱۰) مشاهده نمود.



شکل (۴-۱۰): بهترین آرایش کلید در حالت ۱ بر روی شبکه ۲ - بدون منبع تولید پراکنده

۴-۳-۲- نتایج حالت دوم بر روی شبکه نمونه دوم - با یک منبع تولید پراکنده

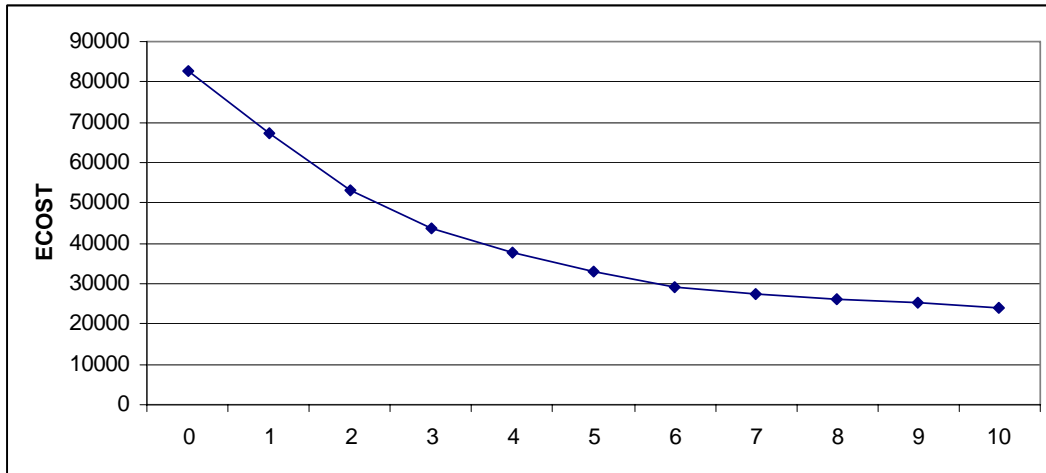
در حالت دوم برنامه با در نظر گرفتن یک منبع تولید پراکنده با قدرت تولید متوسط ۱/۲ MW که در گره شماره ۲۵ قرار دارد، بر روی شبکه نمونه اجرا می شود. نتایج اجرای برنامه برای حالت بدون وجود کلید و نیز ۱ تا ۱۰ کلید قابل نصب بر روی شبکه در جدول (۴-۹) ارائه شده اند.

جدول (۴-۹): نتایج حالت ۲ بر روی شبکه نمونه ۲

تعداد کلیدها	شماره شاخه هایی که کلید روی آن انتخاب شده است	تابع ECOST سالانه (\$/Year)
۰	-	۸۲۸۴۰
۱	۲۲	۶۷۲۶۸
۲	۲۲ و ۲۷	۵۳۳۳۶
۳	۱۵ و ۲۲ و ۲۷	۴۳۷۲۴
۴	۸ و ۱۵ و ۲۲ و ۲۷	۳۷۵۴۴
۵	۳ و ۸ و ۱۵ و ۲۲ و ۲۷	۳۲۹۶۶
۶	۳ و ۸ و ۱۵ و ۱۸ و ۲۲ و ۲۷	۲۹۰۳۶
۷	۳ و ۸ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۹ و ۲۲ و ۲۷	۲۷۴۳۲
۸	۳ و ۸ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۸ و ۲۲ و ۲۷ و ۳۵	۲۶۰۲۰
۹	۳ و ۸ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۹ و ۲۲ و ۲۷ و ۳۵	۲۵۱۱۲
۱۰	۳ و ۶ و ۸ و ۱۴ و ۱۵ و ۱۸ و ۲۲ و ۲۷ و ۲۸ و ۳۵	۲۴۰۲۴

با توجه به جدول فوق می توان منحنی تغییرات شاخص قابلیت اطمینان را نسبت به تعداد

کلیدهای قابل نصب بر روی شبکه به دست آورد که در شکل (۴-۱۱) ارائه شده است.

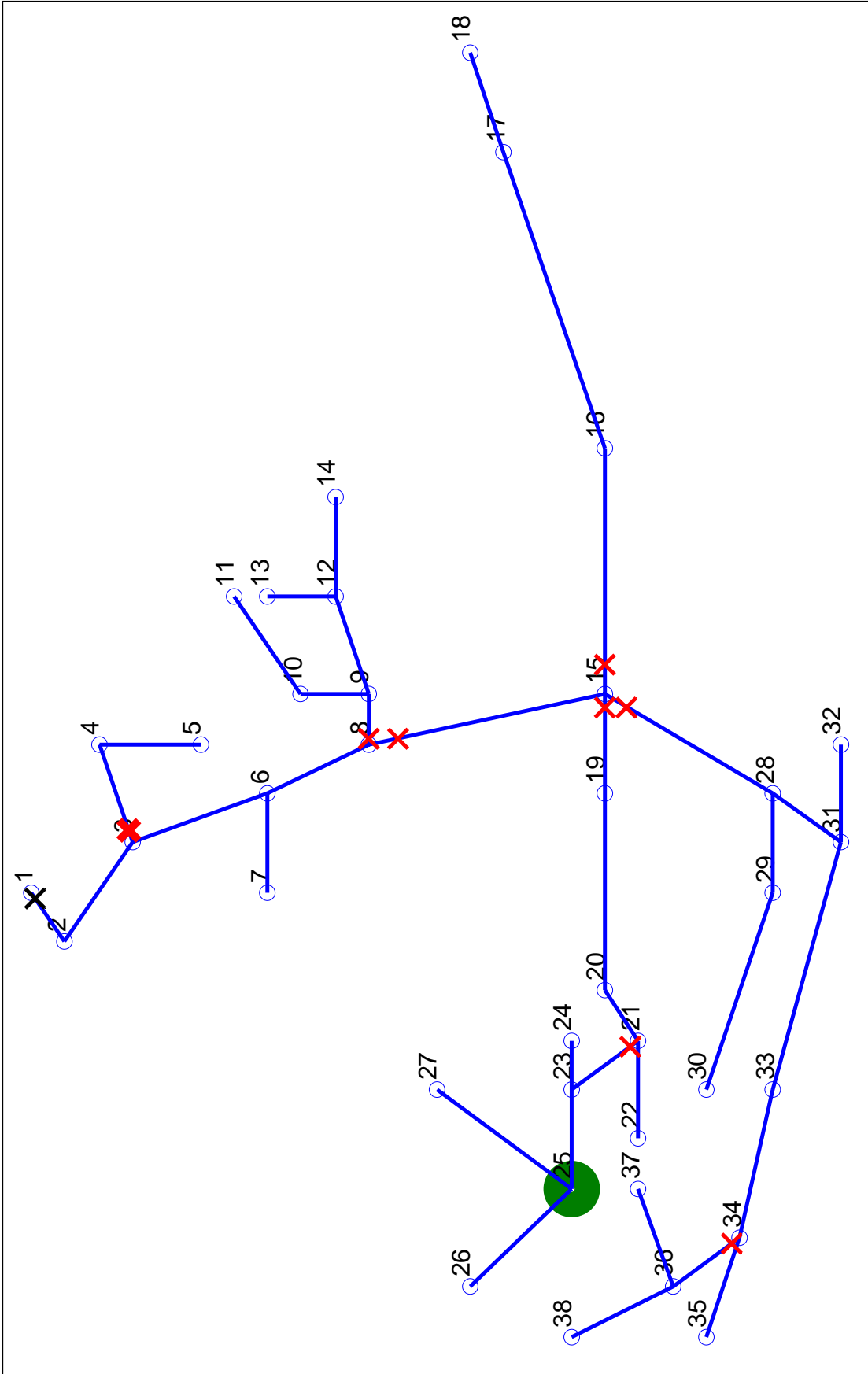


شکل (۴-۱۱): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید

به این ترتیب می توان با توجه به هزینه های نصب و بهره برداری که در اول این بخش به آن اشاره شد بهترین تعداد کلید قابل نصب بر روی شبکه را نیز به دست آورد. به این ترتیب برای این شبکه در حالت ۲ نیز بهترین حالت حالتی است که ۸ کلید بر روی شبکه قرار گیرد و با یک محاسبه ساده ریاضی برای افق ۱۰ ساله کمترین میزان هزینه کلی برای این سیستم با در نظر گرفتن ۸ کلید به صورت زیر خواهد بود:

$$Total Cost = \$356200$$

با توجه به موارد فوق بهترین آرایش برای قراردادن کلید در حالت ۲ بر روی شبکه ۲ را می توان در شکل (۴-۱۲) مشاهده نمود.



شکل (۴-۱۲): بهترین آرایش کلید در حالت ۲ بر روی شبکه ۲ - با یک منبع تولید پراکنده

۳-۳-۴- نتایج حالت سوم بر روی شبکه نمونه دوم - با دو منبع تولید پراکنده

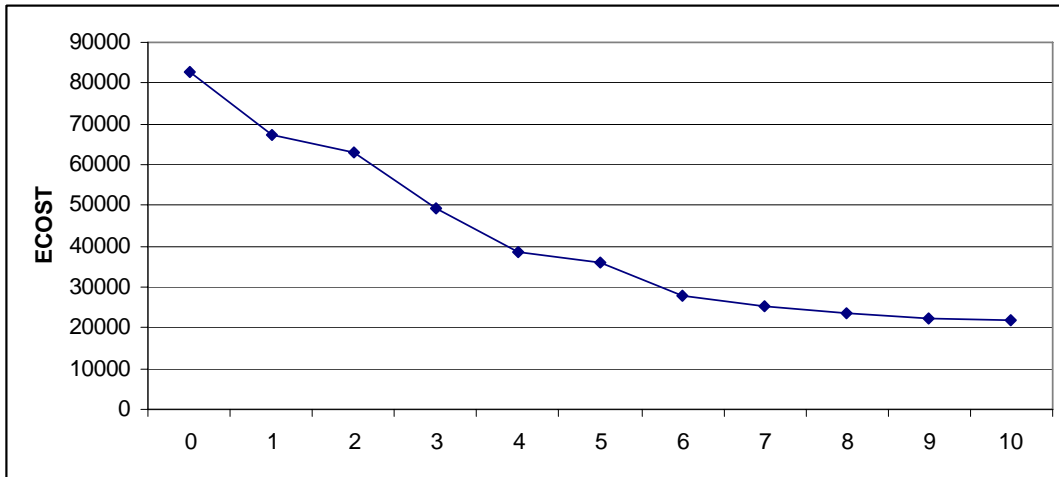
در حالت دوم برنامه با در نظر گرفتن دو منبع تولید پراکنده اولی با قدرت تولید متوسط ۱/۲ MW که در گره شماره ۲۵ قرار دارد و دومی با قدرت تولید متوسط ۰/۵ MW که در گره شماره ۱۰ قرار دارد، بر روی شبکه نمونه اجرا می شود. نتایج اجرای برنامه برای حالت بدون وجود کلید و نیز ۱ تا ۱۰ کلید قابل نصب بر روی شبکه در جدول (۴-۱۰) ارائه شده اند.

جدول (۴-۱۰): نتایج حالت ۳ بر روی شبکه نمونه ۲

تعداد کلیدها	شماره شاخه هایی که کلید روی آن انتخاب شده است	تابع ECOST سالانه (\$/Year)
۰	-	۸۲۸۴۰
۱	۲۲	۶۷۲۶۸
۲	۲۲ و ۹	۶۳۱۰۱
۳	۲۷ و ۲۲ و ۹	۴۹۳۴۳
۴	۲۷ و ۲۲ و ۱۲ و ۸	۳۸۵۵۹
۵	۲۷ و ۲۲ و ۱۸ و ۱۵ و ۹	۳۵۹۲۴
۶	۲۷ و ۲۲ و ۱۵ و ۱۲ و ۸ و ۳	۲۷۷۷۴
۷	۲۷ و ۲۲ و ۱۸ و ۱۵ و ۱۲ و ۸ و ۳	۲۵۱۰۷
۸	۲۷ و ۲۶ و ۲۱ و ۱۸ و ۱۵ و ۱۲ و ۸ و ۳	۲۳۵۹۳
۹	۳۵ و ۲۷ و ۲۶ و ۲۱ و ۱۸ و ۱۵ و ۱۲ و ۸ و ۳	۲۲۱۸۹
۱۰	۳۵ و ۲۸ و ۲۷ و ۲۲ و ۱۸ و ۱۵ و ۱۲ و ۸ و ۳ و ۶	۲۱۸۴۹

با توجه به جدول فوق می توان منحنی تغییرات شاخص قابلیت اطمینان را نسبت به تعداد

کلیدهای قابل نصب بر روی شبکه به دست آورد که در شکل (۴-۱۳) ارائه شده است.

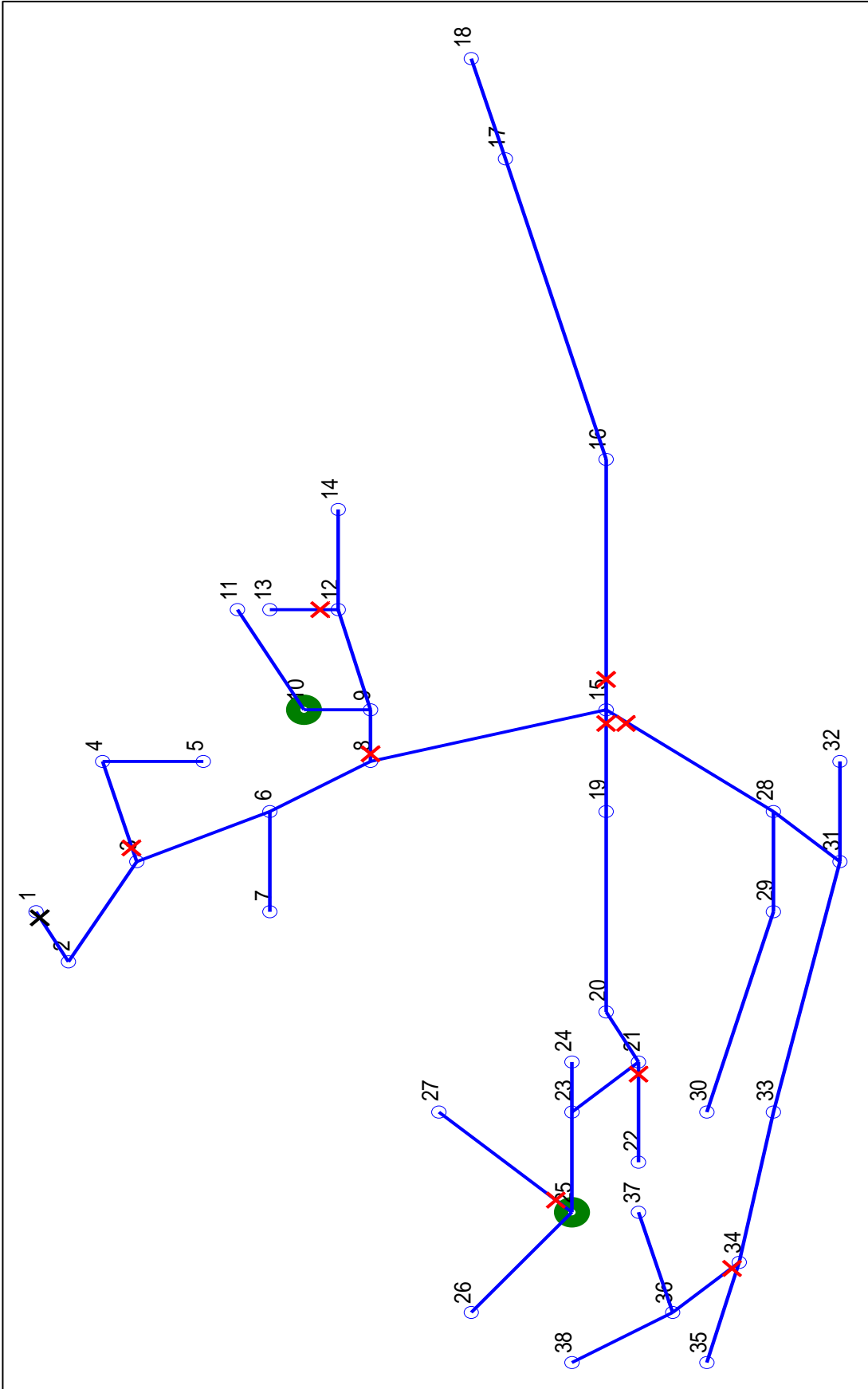


شکل (۴-۱۳): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید

به این ترتیب می توان با توجه به هزینه های نصب و بهره برداری که در اول این بخش به آن اشاره شد بهترین تعداد کلید قابل نصب بر روی شبکه را نیز به دست آورد. به این ترتیب برای این شبکه در حالت ۳ بهترین حالت حالتی است که ۹ کلید بر روی شبکه قرار گیرد و با یک محاسبه ساده ریاضی برای افق ۱۰ ساله کمترین میزان هزینه کلی برای این سیستم با در نظر گرفتن ۹ کلید به صورت زیر خواهد بود:

$$Total Cost = \$329890$$

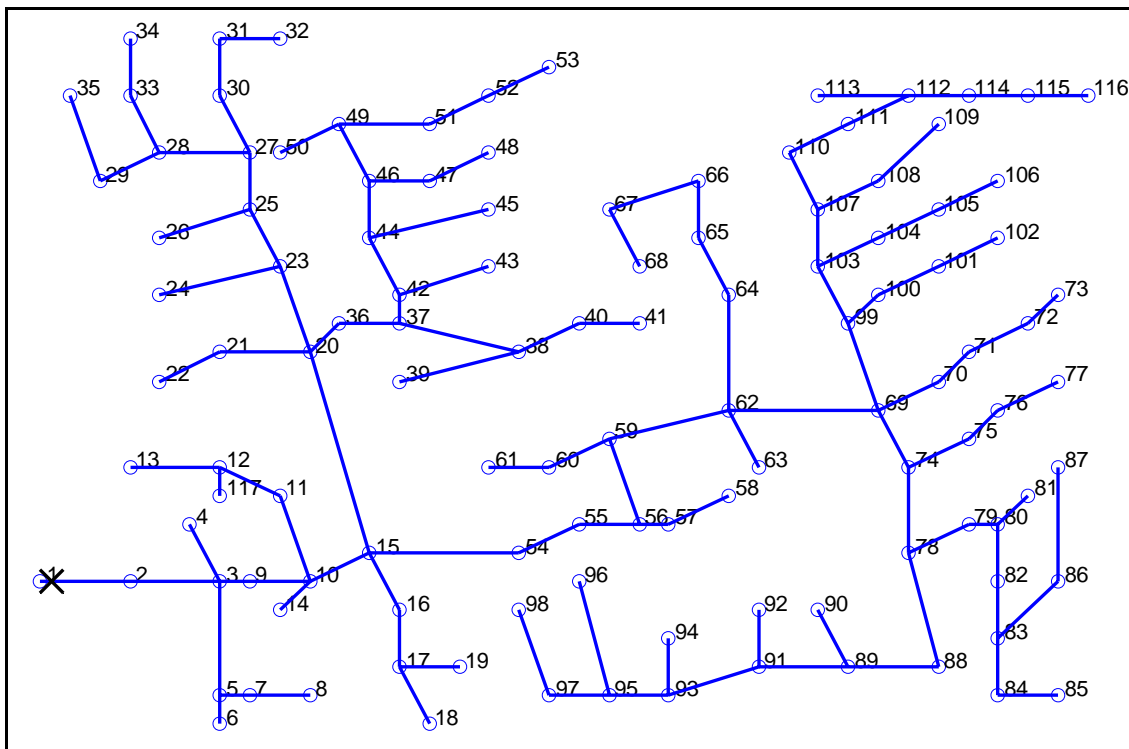
با توجه به موارد فوق بهترین آرایش برای قراردادن کلید در حالت ۳ بر روی شبکه ۲ را می توان در شکل (۴-۱۴) مشاهده نمود.



شکل (۴-۱۴): بهترین آرایش کلید در حالت ۳ بر روی شبکه ۲ - با دو منبع تولید پراکنده

۴-۴- اجرای روش ارائه شده بر روی شبکه سوم

این شبکه یک سیستم تست می باشد به نام شبکه توزیع ۱۲۳ باس IEEE که با تغییراتی با توجه به [۲۹] برای اجرای برنامه جایابی بهینه کلید در نظر گرفته شده است. به این ترتیب سیستم مورد استفاده دارای ۱۱۶ گره و ۱۱۵ شاخه بوده و از طریق یک پست فوق توزیع واقع بر گره شماره ۱ تغذیه می گردد که در شکل (۴-۱۵) مشخص شده است. مشخصات گره ها و نیز شاخه های این شبکه در جداول (۴-۱۱) و (۴-۱۲) بیان شده است.



شکل (۴-۱۵): شبکه نمونه ۳

جدول (۴-۱۱): مشخصات گره های شبکه نمونه ۳

شماره گره	مقدار بار (MW)	اهمیت بار	شماره گره	مقدار بار (MW)	اهمیت بار
۱	۰	۰	۵۹	۰/۰۲	۱
۲	۰	۰	۶۰	۰/۰۲	۱
۳	۰/۰۴	۱	۶۱	۰/۰۲	۱
۴	۰/۰۲	۱	۶۲	۰	۰
۵	۰	۰	۶۳	۰/۰۴	۱
۶	۰/۰۴	۱	۶۴	۰/۰۴	۱

۷	۰/۰۲	۱	۶۵	۰/۰۷۵	۱۳
۸	۰/۰۴	۳۷	۶۶	۰/۱۴	۱۶
۹	۰/۰۲	۱	۶۷	۰/۰۷۵	۳۷
۱۰	۰	۰	۶۸	۰	۰
۱۱	۰/۰۴	۱	۶۹	۰/۰۲	۱
۱۲	۰	۰	۷۰	۰/۰۴	۱
۱۳	۰/۰۴	۳۷	۷۱	۰/۰۲	۱
۱۴	۰/۰۲	۳۷	۷۲	۰/۰۴	۱
۱۵	۰	۰	۷۳	۰	۰
۱۶	۰/۰۴	۱	۷۴	۰/۰۴	۳۷
۱۷	۰	۰	۷۵	۰/۰۴	۳۷
۱۸	۰/۰۴	۱	۷۶	۰/۰۴	۳۷
۱۹	۰/۰۲	۱	۷۷	۰/۲۴۵	۱۳
۲۰	۰	۰	۷۸	۰/۰۴	۱
۲۱	۰/۰۴	۱	۷۹	۰	۰
۲۲	۰/۰۴	۱	۸۰	۰/۰۴	۱
۲۳	۰	۰	۸۱	۰/۰۴	۱
۲۴	۰/۰۴	۱۳	۸۲	۰	۰
۲۵	۰	۰	۸۳	۰/۰۴	۱
۲۶	۰/۰۴	۱	۸۴	۰/۰۲	۱
۲۷	۰	۰	۸۵	۰/۰۲	۱
۲۸	۰	۰	۸۶	۰/۰۴	۱
۲۹	۰	۰	۸۷	۰/۰۲	۳۷
۳۰	۰/۰۴	۱	۸۸	۰/۰۴	۳۷
۳۱	۰/۰۴	۱	۸۹	۰/۰۴	۱
۳۲	۰/۰۴	۱	۹۰	۰	۰
۳۳	۰/۰۲	۳۷	۹۱	۰/۰۴	۱
۳۴	۰/۰۲	۱	۹۲	۰	۰
۳۵	۰/۰۴	۳۷	۹۳	۰/۰۴	۱
۳۶	۰	۰	۹۴	۰	۰
۳۷	۰/۰۴	۱	۹۵	۰/۰۴	۱۳
۳۸	۰	۰	۹۶	۰/۰۲	۱
۳۹	۰/۰۴	۱۳	۹۷	۰/۰۲	۱
۴۰	۰/۰۲	۱	۹۸	۰	۰
۴۱	۰/۰۲	۱	۹۹	۰/۰۴	۱
۴۲	۰	۰	۱۰۰	۰/۰۴	۳۷
۴۳	۰/۰۲	۱	۱۰۱	۰/۰۴	۱

۴۴	۰/۰۲	۱	۱۰۲	۰	۰
۴۵	۰/۰۴	۳۷	۱۰۳	۰/۰۴	۱
۴۶	۰	۰	۱۰۴	۰/۰۴	۱
۴۷	۰/۰۲	۳۷	۱۰۵	۰/۰۴	۱
۴۸	۰/۰۲	۱	۱۰۶	۰	۰
۴۹	۰/۱۰۵	۱۳	۱۰۷	۰/۰۴	۱
۵۰	۰/۲۰۱	۱۳	۱۰۸	۰/۰۴	۱
۵۱	۰/۱۴	۲۱	۱۰۹	۰	۰
۵۲	۰/۰۴	۱	۱۱۰	۰/۰۴	۱
۵۳	۰/۰۲	۱	۱۱۱	۰	۰
۵۴	۰/۰۴	۱	۱۱۲	۰/۰۲	۳۷
۵۵	۰/۰۴	۳۷	۱۱۳	۰/۰۲	۱
۵۶	۰	۰	۱۱۴	۰/۰۴	۱
۵۷	۰/۰۲	۳۷	۱۱۵	۰/۰۲	۱
۵۸	۰/۰۲	۱	۱۱۶	۰/۰۲	۱

جدول (۴-۱۲): مشخصات شاخه های شبکه نمونه ۳

شماره شاخه	طول شاخه (Km)	گره ابتدایی	گره انتهایی
۱	۰/۰۰۱	۱	۱
۲	۰/۰۰۱	۲	۳
۳	۰/۰۵۳۴	۳	۴
۴	۰/۰۷۶۳	۳	۵
۵	۰/۰۶۱	۵	۶
۶	۰/۰۹۹۱	۵	۷
۷	۰/۰۷۶۳	۷	۸
۸	۰/۰۹۱۵	۳	۹
۹	۰/۰۶۱	۹	۱۰
۱۰	۰/۰۶۸۶	۱۰	۱۱
۱۱	۰/۱۲۹۶	۱۱	۱۲
۱۲	۰/۰۷۶۳	۱۲	۱۳
۱۳	۰/۰۶۸۶	۱۰	۱۴
۱۴	۰/۰۹۱۵	۱۰	۱۵
۱۵	۰/۰۴۵۸	۱۵	۱۶
۱۶	۰/۰۳۰۵	۱۶	۱۷
۱۷	۰/۱۱۴۴	۱۷	۱۸

۱۸	۰/۱۰۶۸	۱۷	۱۹
۱۹	۰/۲۵۱۶	۱۵	۲۰
۲۰	۰/۰۷۶۳	۲۰	۲۱
۲۱	۰/۰۹۹۱	۲۱	۲۲
۲۲	۰/۰۹۱۵	۲۰	۲۳
۲۳	۰/۱۶	۲۳	۲۴
۲۴	۰/۰۷۶۳	۲۳	۲۵
۲۵	۰/۱۶۷۸	۲۵	۲۶
۲۶	۰/۰۸۳۹	۲۵	۲۷
۲۷	۰/۱۰۶۸	۲۷	۲۸
۲۸	۰/۰۸۳۹	۲۸	۲۹
۲۹	۰/۰۶۱	۲۷	۳۰
۳۰	۰/۰۹۱۵	۳۰	۳۱
۳۱	۰/۱۰۶۸	۳۱	۳۲
۳۲	۰/۰۶۸۶	۲۸	۳۳
۳۳	۰/۰۹۱۵	۳۳	۳۴
۳۴	۰/۱۵۲۵	۲۹	۳۵
۳۵	۰/۰۰۱	۲۰	۳۶
۳۶	۰/۱۱۴	۳۶	۳۷
۳۷	۰/۱۹۸	۳۷	۳۸
۳۸	۰/۰۹۱۵	۳۸	۳۹
۳۹	۰/۰۷۶۳	۳۸	۴۰
۴۰	۰/۰۹۹۱	۴۰	۴۱
۴۱	۰/۰۷۶۳	۳۷	۴۲
۴۲	۰/۰۹۹۱	۴۲	۴۳
۴۳	۰/۰۷۶۳	۴۲	۴۴
۴۴	۰/۱۵۲۵	۴۴	۴۵
۴۵	۰/۰۶۱	۴۴	۴۶
۴۶	۰/۰۶۱	۴۶	۴۷
۴۷	۰/۰۹۱۵	۴۷	۴۸
۴۸	۰/۰۷۶۳	۴۶	۴۹
۴۹	۰/۰۴۵۸	۴۹	۵۰
۵۰	۰/۰۷۶۳	۴۹	۵۱
۵۱	۰/۰۷۶۳	۵۱	۵۲
۵۲	۰/۰۷۶۳	۵۲	۵۳
۵۳	۰/۱۲۲	۱۵	۵۴
۵۴	۰/۰۶۱	۵۴	۵۵

۵۵	۰/۰۳۸۱	۵۵	۵۶
۵۶	۰/۰۸۳۹	۵۶	۵۷
۵۷	۰/۰۸۳۹	۵۷	۵۸
۵۸	۰/۱۰۶۸	۵۶	۵۹
۵۹	۰/۰۷۶۳	۵۹	۶۰
۶۰	۰/۰۷۶۳	۶۰	۶۱
۶۱	۰/۲۲۸۸	۵۹	۶۲
۶۲	۰/۱۶۷۸	۶۲	۶۳
۶۳	۰/۰۷۶۳	۶۲	۶۴
۶۴	۰/۰۵۳۴	۶۴	۶۵
۶۵	۰/۱۰۶۸	۶۵	۶۶
۶۶	۰/۱۲۹۶	۶۶	۶۷
۶۷	۰/۰۹۹۱	۶۷	۶۸
۶۸	۰/۱۰۶۸	۶۲	۶۹
۶۹	۰/۰۶۱	۶۹	۷۰
۷۰	۰/۰۸۳۹	۷۰	۷۱
۷۱	۰/۰۹۹۱	۷۱	۷۲
۷۲	۰/۰۸۳۹	۷۲	۷۳
۷۳	۰/۰۸۳۹	۶۹	۷۴
۷۴	۰/۰۸۳۹	۷۴	۷۵
۷۵	۰/۱۰۶۸	۷۵	۷۶
۷۶	۰/۱۲۲	۷۶	۷۷
۷۷	۰/۰۶۱	۷۴	۷۸
۷۸	۰/۱۲۲	۷۸	۷۹
۷۹	۰/۰۳۰۵	۷۹	۸۰
۸۰	۰/۰۶۸۶	۸۰	۸۱
۸۱	۰/۱۴۴۹	۸۰	۸۲
۸۲	۰/۱۴۴۹	۸۲	۸۳
۸۳	۰/۰۷۶۳	۸۳	۸۴
۸۴	۰/۰۷۶۳	۸۴	۸۵
۸۵	۰/۲۰۶	۸۳	۸۶
۸۶	۰/۱۴۴۹	۸۶	۸۷
۸۷	۰/۲۱۳۵	۷۸	۸۸
۸۸	۰/۱۳۷۳	۸۸	۸۹
۸۹	۰/۰۵۳۴	۸۹	۹۰
۹۰	۰/۰۸۳۹	۸۹	۹۱
۹۱	۰/۰۶۸۶	۹۱	۹۲

۹۲	۰/۰۶۸۶	۹۱	۹۳
۹۳	۰/۰۹۱۵	۹۳	۹۴
۹۴	۰/۰۶۸۶	۹۳	۹۵
۹۵	۰/۰۸۳۹	۹۵	۹۶
۹۶	۰/۰۹۱۵	۹۵	۹۷
۹۷	۰/۰۶۱	۹۷	۹۸
۹۸	۰/۰۷۶۳	۶۹	۹۹
۹۹	۰/۰۸۳۹	۹۹	۱۰۰
۱۰۰	۰/۱۶۷۸	۱۰۰	۱۰۱
۱۰۱	۰/۰۹۱۵	۱۰۱	۱۰۲
۱۰۲	۰/۰۷۶۳	۹۹	۱۰۳
۱۰۳	۰/۰۶۸۶	۱۰۳	۱۰۴
۱۰۴	۰/۰۹۹۱	۱۰۴	۱۰۵
۱۰۵	۰/۲۱۳۵	۱۰۵	۱۰۶
۱۰۶	۰/۰۸۳۹	۱۰۳	۱۰۷
۱۰۷	۰/۰۶۸۶	۱۰۷	۱۰۸
۱۰۸	۰/۱۷۵۴	۱۰۸	۱۰۹
۱۰۹	۰/۰۹۹۱	۱۰۷	۱۱۰
۱۱۰	۰/۱۳۷۳	۱۱۰	۱۱۱
۱۱۱	۰/۰۹۱۵	۱۱۱	۱۱۲
۱۱۲	۰/۱۷۵۴	۱۱۲	۱۱۳
۱۱۳	۰/۰۳۸۱	۱۱۲	۱۱۴
۱۱۴	۰/۱۶	۱۱۴	۱۱۵
۱۱۵	۰/۰۹۹۱	۱۱۵	۱۱۶

با استفاده از ضریب اهمیت بار می توان نوع مصرف عمده را به دست آورده و سپس با رجوع به تابع SCDF که در بخش‌های قبل به آن اشاره شد، هزینه خاموشی را برای هر بار به دست آورد. در این سیستم λ به ازای هر کیلومتر برابر با ۰/۰۶۵ در نظر گرفته شده است و نیز زمان متوسط خاموشی برابر با ۵ ساعت در نظر گرفته شده است. روش مورد نظر بر روی شبکه نمونه ۳ در دو حالت بدون در نظر گرفتن تولید پراکنده و نیز با داشتن یک منبع تولید پراکنده و در نظر گرفتن آن اجرا شده که نتایج آن در ذیل آمده است. در همه حالات این شبکه دارای یک کلید مدار قطع کن در اول شاخه شماره ۱ و در خروجی پست فوق توزیع می باشد.

۴-۴-۱- نتایج حالت اول بر روی شبکه نمونه سوم - بدون منبع تولید پراکنده

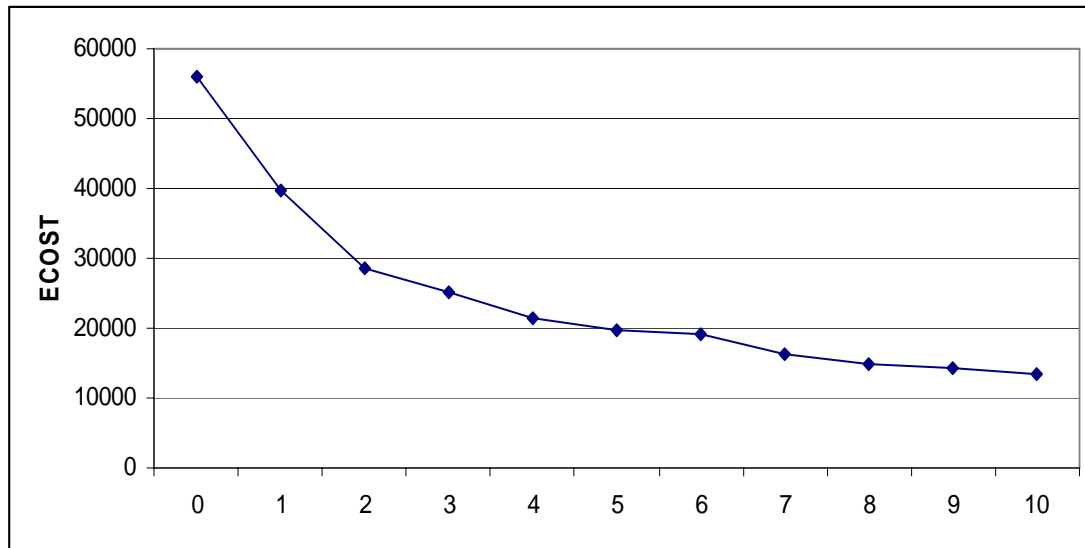
در حالت اول بدون در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده برنامه بر روی شبکه نمونه اجرا می شود. نتایج اجرای برنامه برای حالت بدون وجود کلید و نیز ۱ تا ۱۰ کلید قابل نصب بر روی شبکه در جدول (۴-۱۳) ارائه شده اند.

جدول (۴-۱۳): نتایج حالت ۱ بر روی شبکه نمونه ۳

تعداد کلیدها	شماره شاخه هایی که کلید روی آن انتخاب شده است	تابع ECOST سالانه (\$/Year)
۰	-	۵۵۹۰۷
۱	۶۸	۳۹۶۹۹
۲	۶۸ و ۱۹	۲۸۵۱۹
۳	۹۸ و ۵۵ و ۱۹	۲۵۱۳۴
۴	۹۸ و ۷۷ و ۵۵ و ۱۹	۲۱۲۰۸
۵	۹۸ و ۷۷ و ۵۳ و ۱۹ و ۱۵	۱۹۸۲۸
۶	۹۸ و ۷۸ و ۶۸ و ۵۵ و ۱۹ و ۱۰	۱۹۰۶۴
۷	۹۸ و ۷۷ و ۵۵ و ۲۲ و ۱۹ و ۱۰ و ۴	۱۶۳۵۲
۸	۹۸ و ۷۷ و ۵۵ و ۲۲ و ۱۹ و ۱۵ و ۱۰ و ۴	۱۴۸۵۷
۹	۹۸ و ۸۷ و ۷۸ و ۶۹ و ۵۳ و ۲۲ و ۱۹ و ۱۵ و ۱۰	۱۴۳۳۳
۱۰	۹۸ و ۸۷ و ۷۹ و ۶۸ و ۵۵ و ۲۲ و ۱۹ و ۱۵ و ۱۱ و ۴	۱۳۴۴۸

با توجه به جدول فوق می توان منحنی تغییرات شاخص قابلیت اطمینان را نسبت به تعداد

کلیدهای قابل نصب بر روی شبکه به دست آورد که در شکل (۴-۱۶) ارائه شده است.

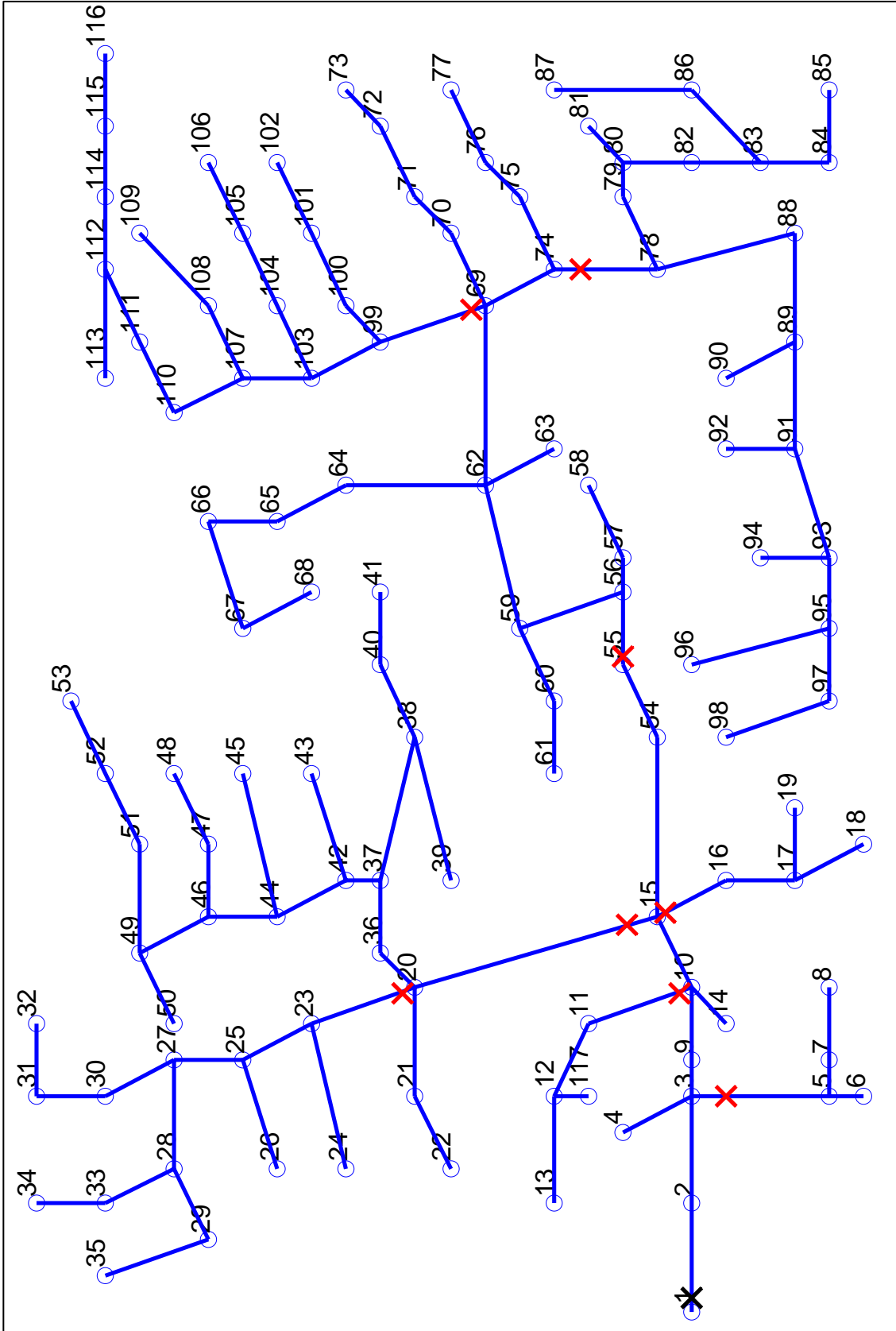


شکل (۴-۱۶): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید

به این ترتیب می توان با توجه به هزینه های نصب و بهره برداری که در اول این بخش به آن اشاره شد بهترین تعداد کلید قابل نصب بر روی شبکه را نیز به دست آورد. به این ترتیب برای این شبکه در حالت ۱ بهترین حالت حالتی است که ۸ کلید بر روی شبکه قرار گیرد و با یک محاسبه ساده ریاضی برای افق ۱۰ ساله کمترین میزان هزینه کلی برای این سیستم با در نظر گرفتن ۸ کلید به صورت زیر خواهد بود:

$$Total\ Cost = \$244570$$

با توجه به موارد فوق بهترین آرایش برای قراردادن کلید در حالت ۱ بر روی شبکه ۳ را می توان در شکل (۴-۱۷) مشاهده نمود.



شکل (۴-۱۷): بهترین آرایش کلید در حالت ۱ بر روی شبکه ۳ - بدون منبع تولید پراکنده

۴-۴-۲- نتایج حالت دوم بر روی شبکه نمونه سوم - با یک منبع تولید پراکنده

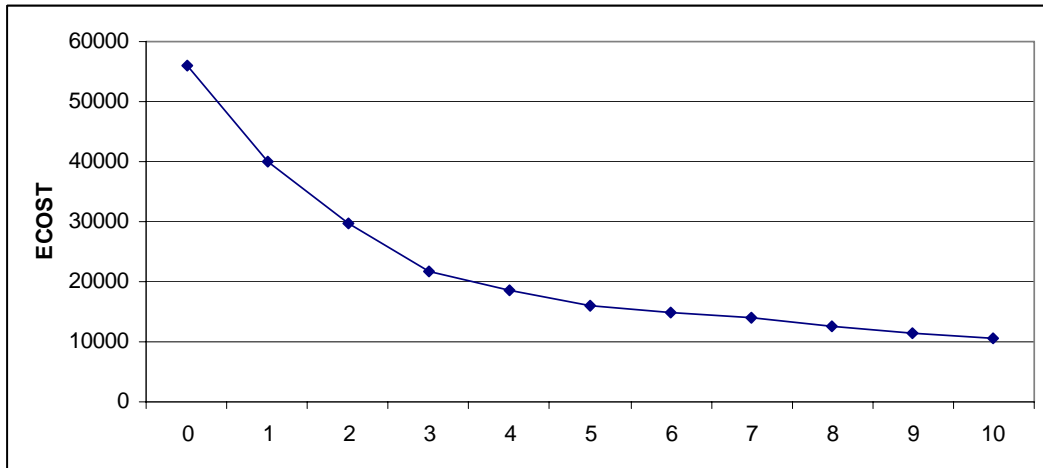
در حالت دوم برنامه با در نظر گرفتن یک منبع تولید پراکنده با قدرت تولید متوسط ۰/۶۵ MW که در گره شماره ۴۷ قرار دارد، بر روی شبکه نمونه اجرا می شود. نتایج اجرای برنامه برای حالت بدون وجود کلید و نیز ۱ تا ۱۰ کلید قابل نصب بر روی شبکه در جدول (۴-۱۴) ارائه شده اند.

جدول (۴-۱۴): نتایج حالت ۲ بر روی شبکه نمونه ۳

تعداد کلیدها	شماره شاخه هایی که کلید روی آن انتخاب شده است	تابع ECOST سالانه (\$/Year)
۰	-	۵۵۹۰۷
۱	۴۱	۴۰۰۰۶
۲	۴۱ و ۶۸	۲۹۷۳۷
۳	۱۹ و ۴۳ و ۶۸	۲۱۷۰۴
۴	۱۹ و ۴۳ و ۷۷ و ۹۸	۱۸۶۴۱
۵	۱۹ و ۴۳ و ۵۵ و ۷۷ و ۹۸	۱۶۰۷۶
۶	۱۰ و ۱۹ و ۴۳ و ۵۵ و ۷۷ و ۹۸	۱۴۸۰۰
۷	۱۰ و ۱۶ و ۱۹ و ۴۳ و ۵۳ و ۷۷ و ۹۸	۱۴۰۸۰
۸	۴ و ۱۰ و ۱۵ و ۱۹ و ۴۳ و ۵۸ و ۷۷ و ۹۸	۱۲۵۷۵
۹	۴ و ۱۰ و ۱۵ و ۱۹ و ۴۳ و ۵۸ و ۷۸ و ۸۷ و ۹۸	۱۱۴۲۳
۱۰	۴ و ۱۰ و ۱۵ و ۱۹ و ۴۳ و ۵۵ و ۶۳ و ۷۸ و ۸۷ و ۹۸	۱۰۵۱۱

با توجه به جدول فوق می توان منحنی تغییرات شاخص قابلیت اطمینان را نسبت به تعداد

کلیدهای قابل نصب بر روی شبکه به دست آورد که در شکل (۴-۱۸) ارائه شده است.

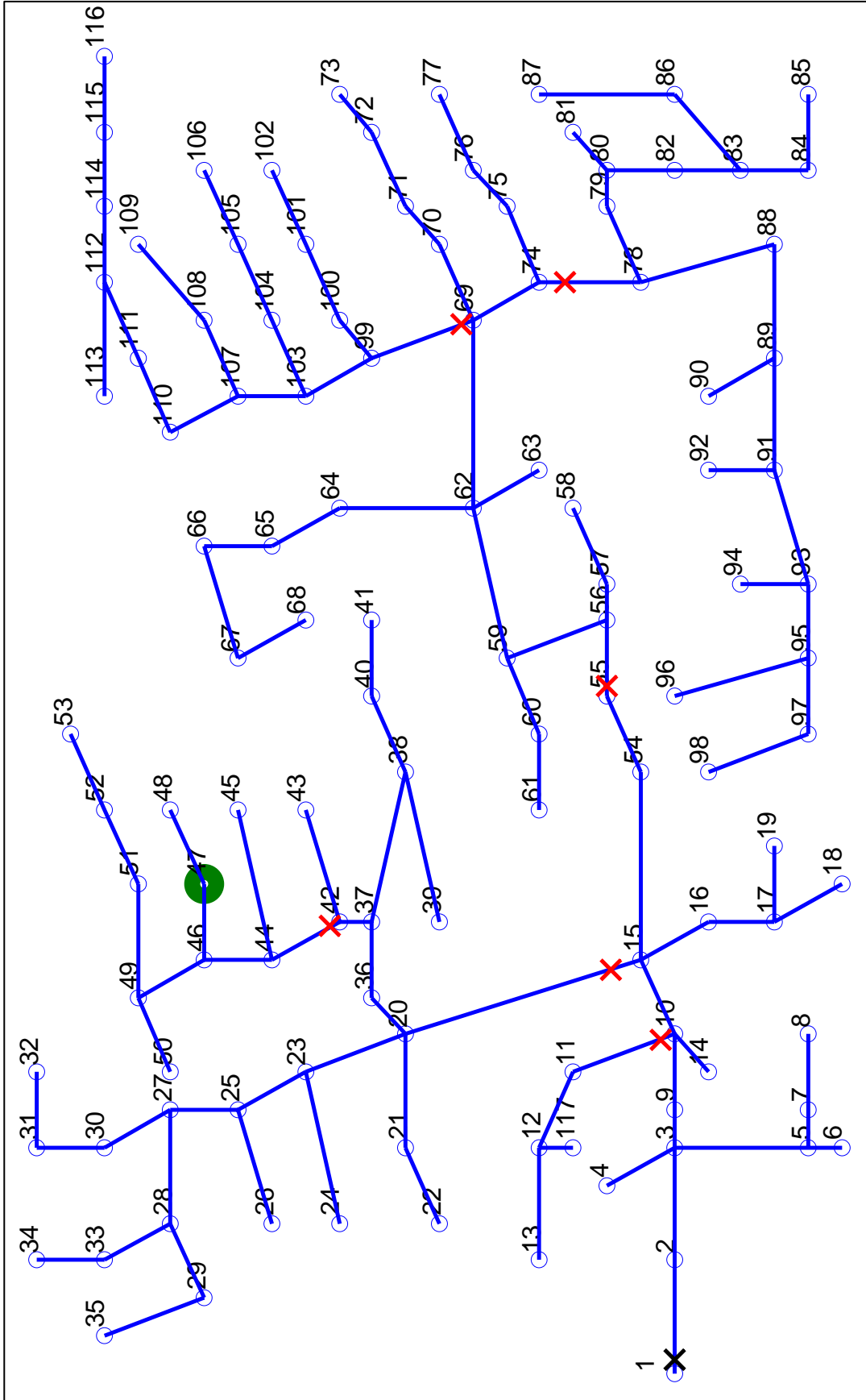


شکل (۴-۱۸): منحنی تغییرات ECOST نسبت به تعداد کلید

به این ترتیب می توان با توجه به هزینه های نصب و بهره برداری که در اول این بخش به آن اشاره شد بهترین تعداد کلید قابل نصب بر روی شبکه را نیز به دست آورد. به این ترتیب برای این شبکه در حالت ۲ بر خلاف حالت قبل بهترین حالت حالتی است که ۶ کلید بر روی شبکه قرار گیرد و با یک محاسبه ساده ریاضی برای افق ۱۰ ساله کمترین میزان هزینه کلی برای این سیستم با در نظر گرفتن ۶ کلید به صورت زیر خواهد بود:

$$Total Cost = \$220000$$

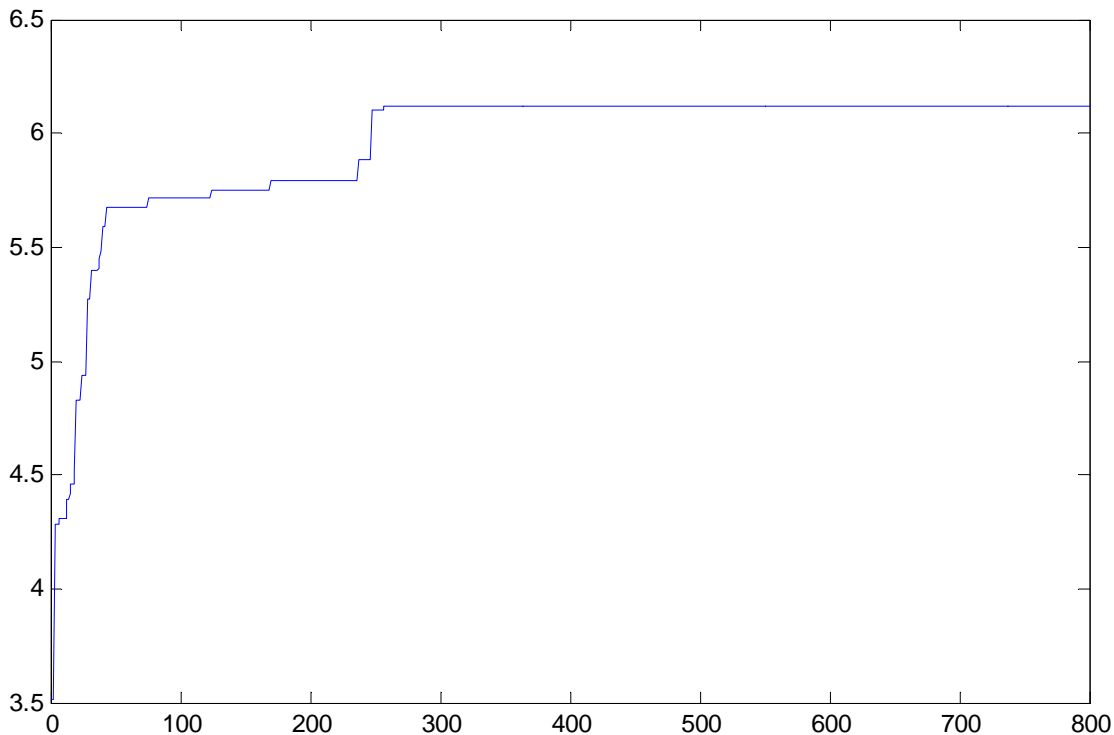
با توجه به موارد فوق بهترین آرایش برای قراردادن کلید در حالت ۲ بر روی شبکه ۳ را می توان در شکل (۴-۱۹) مشاهده نمود.



شکل (۴-۱۹): بهترین آرایش کلید در حالت ۲ بر روی شبکه ۳ با یک منبع تولید پراکنده

۴-۵- نحوه رسیدن به جواب بهینه

به طور کلی الگوریتم ژنتیک در رسیدن به جواب بهینه بسیار کارآمد می باشد و الگوریتم به کار رفته در این پروژه که ترکیبی از تئوری گراف و نوع بهبود یافته الگوریتم ژنتیک می باشد در یافتن محل بهینه برای قرار دادن کلید در شبکه های توزیع در حالتی که تولید پراکنده را در نظر نمی گیریم و نیز حالتی که وجود منابع تولید پراکنده در نظر گرفته می شوند بسیار مؤثر می باشد. روش رسیدن به جواب بهینه در الگوریتم ژنتیک به نحوی است که به تدریج و با تکرار های بیشتر به جواب بهینه نزدیک می شود. در شکل (۴-۲۰) مسیر رسیدن به جواب بهینه برای یکی از حالات که برنامه اجرا شده بود با ۸۰۰ تکرار در الگوریتم ژنتیک نشان داده شده است. در این منحنی مقدار تابع هدف که در محور عمودی قرار دارد برابر با $100000/ECOST$ در نظر گرفته شده است.



شکل (۴-۲۰): منحنی تغییرات تابع هدف در هر تکرار الگوریتم ژنتیک

فصل پنجم:

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری

در این پایان نامه یک روش جدید بر پایه ترکیب تئوری گراف و الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی شده برای حل مسئله جایابی ادوات کلیدزنی در شبکه‌های توزیع ارائه شده است. افزایش روزافزون نصب و به کارگیری سیستم‌های تولید پراکنده موجب ضرورت توجه به وجود این عناصر در حل مسائل مربوط به شبکه‌های توزیع ضرورت شده است. روش پیشنهادی بر روی سه سیستم نمونه ابتدا در حالتی که هیچ منبع تولید پراکنده بر روی شبکه وجود ندارد اعمال شده و سپس در حالتی با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده در نقاط مختلف این شبکه‌ها اعمال شده و نتایج به دست آمده است. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص می‌شود که با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع محل‌های انتخاب شده برای قرار دادن کلید در شبکه نسبت به حالت بدون منبع تولید پراکنده متفاوت خواهد بود و این حاکی از اهمیت در نظر گرفتن این منابع در مسائل مربوط به شبکه‌های توزیع است. در نظر گرفتن تولید پراکنده و نیز انتخاب کلیدهای شبکه متناسب با محل این منابع موجب کمتر شدن هزینه انرژی تغذیه نشده مورد انتظار (ECOST) در اکثر موارد می‌گردد. در بعضی از حالات که تعداد کلید قابل نصب کم در نظر گرفته می‌شود ممکن است جواب به دست آمده برای حالتی که تولید پراکنده در نظر گرفته نشده است بهتر از حالتی باشد که وجود منابع تولید پراکنده در سیستم در نظر گرفته شده است که این امر ناشی از قیودی است که برای منابع تولید پراکنده در نظر گرفته شده است و در فصل‌های قبل به آن اشاره شده است.

۵-۲- پیشنهادات

در ادامه این پروژه کارهای تکمیلی دیگری را به شرح زیر می‌توان انجام داد:

- ۱- در نظر گرفتن بارهای شبکه به صورت دینامیک و با مقدار رشد مشخص برای یافتن بهترین تعداد و محل کلیدها در شبکه‌های توزیع با توجه به سال افق.
- ۲- در نظر گرفتن انواع مختلف کلیدهای قابل نصب بر روی شبکه‌های توزیع در حل مسئله جاییابی بهینه کلید در شبکه‌های توزیع.
- ۳- بررسی اثرات شبکه‌های تجدید ساختار شده در قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع و مسئله جاییابی بهینه کلید.
- ۴- حل مسئله جاییابی بهینه کلید در شبکه‌های توزیع با تولید پراکنده در حالتی که مقدار تولید این منابع متغیر می‌باشد.
- ۵- جاییابی بهینه نقاط مانور در شبکه‌های توزیع با در نظر گرفتن تولید پراکنده.

مراجع:

- [1] Billinton, R., "Power System Reliability Evaluation", Gordon & Breach (1980).
- [2] Billinton, R. and Allan R. N. "Reliability Evaluation of Engineering Systems", Pitman (1983).
- [3] Billinton, R. and Allan R. N. , "Power System Reliability in Perspective", Electronics & Power , March 1984 , pp.231-236.
- [4] Billinton, R. and Allan R. N. , "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Publishing New York (1984).
- [5] Billinton, R. , Allan R. N. and Salvaderi L. , "Applied Reliability Assessment in Electric Power System" , IEEE Press (1991).
- [6] Zhao M. , "Availability for Repairable Components and Series Systems", Vol. 43 , No. 2 , June 1994.
- [7] Briepohl A.M. , "Probabilistic System Analysis", J. Wiley & Sons (1970).
- [8] Drake A. W. , " Fundamentals of Applied Probability Theory" , Mc-GrawHill (1967).
- [9] Papulis A. , " Random Variables and Stochastic Process", Mc Graw-Hill New York (1985).
- [10] Wang P. and Billinton R. "Unreliable Cost Assessment of an Electric Power System Using Reliability Network Equivalent Approaches" , IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 17, No. 2 , August 2002 , pp. 549-556.
- [11] Van Casteren J. F. L. et al. , "Reliability Assessment in Electric Power Systems : The Weibull-Marcov Stochastic model" , IEEE Trans. on Industry Applications , Vol. 36 , No. 3 , May/June 2000 , pp. 911-915.
- [12] Brown R. E. and Ochoa J. R. , "Distribution System Reliability : Default Data and Model Validation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 13 , No. 2 , May 1998 , pp. 704-709.
- [13] Brown R. E. et al. , "Distribution System Reliability Assessment Using Hierarchical Marcov Modeling" , IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11 , No. 4 , October 1996 , pp.1929-1934.
- [14] Geol L. et al. , "Monte Carlo Simulation Based Costumer Service Reliability Assessment", Electric Power System Research, Vol.51 , pp.75-83.
- [15] Liang X. and Geol L. , "Distribution System Reliability Evaluation Using the Monte Carlo Simulation Method", Electric Power System Research, Vol.49 , 1997 , pp.75-83.
- [16] Billinton R. and Jonnavithula A. , "Application of Sequential Monte Carlo to Evaluation of Distribution of Composite Systems Indices", IEE Proc. Gener. Trans. Distrib. , Vol. 144 , No. 2 , March 1997 , pp. 87-90.
- [17] Billinton R. and Ghajar R. , "Utilization of Monte Carlo Simulation in Generation Capacity Adequacy Evaluation", Canadian Electrical Association , Power Syem Reliability Subsection , March 1987, Vancouver Canada, pp.1-18.
- [18] Billinton R. and Wang P. , "teaching Distribution System Reliability Evaluation Using Monte Carlo Simulation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 14 , No.2 , May1999 , pp. 397-403.
- [19] Nara K. and Hasegava J. , "An Advanced Flexible ad Reliable Distribution System", Energy Management and Power Delivery, Proceeding EMPD 95, International Conference on, 21-21 Nov. , 1995, Vol.1 , pp.55-56.

- [20] Dasilva A. M. et al. , “Integrated Reliability Evaluation Generation , Transmission and Distribution Systems” , IEE Proc. Gener. Trans. Distrib. , Vol. 149 , No. 1 , January 2002 , pp. 1-6.
- [21] Billinton R. and Allan R. A. , “Reliability Assessment of Large Electric Power Systems” , Kluwer Academic (1988).
- [22] Meeuwssen J.J., and Kling W. L. , “Substation Reliability Evaluation Including Switching Actions with Redundant Components”, IEEE trans on Power Delivery, Vol. 12 , No.4 , October 1997 , pp. 1427-1479.
- [23] Billinton R, and Billinton J. E. ,”Distribution system Reliability Indices”, IEEE Trans on Power Delivery, Vol.4, No.1, January 1989 , pp.561-568.
- [24] G. Levitin, S. Mazal-Tov, and D. Elmakis, “Optimal sectionalizer allocation in electric distribution systems by genetic algorithm,” *Elect. Power Sys. Res.*, pp. 97–102, 1994.
- [25] G. Levitin, S. Mazal-Tov, and D. Elmakis, “Genetic algorithm for optimal sectionalizing in radial distribution systems with alternative supply,” *Elect. Power Sys. Res.*, pp. 97–102, 1994.
- [26] R. Billinton and S. Jonnavithula, “Optimal switching device placement in radial distribution systems,” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 11, no. 3, pp. 1646–1651, Jul. 1996.
- [27] G. Celli, and F. Pilo, “Optimal Sectionalizing Switches Allocation In Distribution Networks,” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 14, no. 3, pp. 1167–1172, Jul. 1999.
- [28] C. Chen, etc al., “Optimal Placement of Line Switches for Distribution Automation Systems Using Immune Algorithm,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 3, pp. 1209–1216, Aug. 2006.
- [29] A Moradi, and M. Fotuhi-Firuzabad, “Optimal Switch Placement in Distribution Systems Using Trinary Particle Swarm Optimization Algorithm,” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 23, no. 1, pp. 271–279, Jan. 2008.
- [30] P. M. S. Carvalho, L. A. F. M. Ferreira, and A. J. C da Silva, “A decomposition approach to optimal remote controlled switch allocation in distribution systems,” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 20, no. 2, pp. 1031–1036, Apr. 2005.
- [31] Y. Mao, and K. N. Miu, “Switch Placement to Improve System Reliability for Radial Distribution Systems with Distributed Generation,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, no. 4, pp. 1346–1352, Nov. 2003.
- [32] Chen R. L. and Sabir S. , “ The benefits of Implementing Distribution Automation and System Monitoring in the Oen Electricity Market”, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 2001, Toronto, pp. 1-6.
- [33] Lawler J. S. et al. , “Impact of Automation on Reliability of the Athens Utilities Board Distribution System”, *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 4 , No. 1 , January 1989.
- [34] M.V. Krishna Rao, etc al., “Development and evaluation of a distribution automation system for an Indian utility”, *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 10, No. 1, pp. 452–458, Jan. 1995.
- [35] Y. Matsumoto, etc al., “Development of advanced distribution automation system using genetic algorithm”, *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific*, Vol. 1, pp. 214-219, Oct. 2002.
- [36] Chachra and P. M. Ghare, and J. M. Moore : “Applications of Graph Theory Algorithms,” New York, Elsevier North Holland, (1979).

- [37] Narsingh Deo, "Graph Theory with Applications to Engineering and Computer Science", PHI Learning (2004).
- [38] Wai-Kai Chen, "Graph theory and its engineering applications", World Scientific, (1997).
- [39] J.H. Holland, "Adaptation in Nature and Artificial Systems, the University of Michigan Press, (1975).
- [40] J. Stender, and J. Kingdon, "Genetic algorithms in optimisation, simulation and modeling", IOS Press, (1994).
- [41] G. Winter, "Genetic Algorithms in Engineering and Computer Science", Wiley, (1995).

Abstract:

Reliability is one of the most important issues in electrical power systems and distribution systems respectively. Achieving high reliability indices in distribution networks, is a key factor which is considered by system engineers and energy suppliers to assure providing the demanded energy of consumers as well as increasing the profit of power distribution companies. Switch placement is one of the most effective methods of reliability improvement in distribution systems. Considering the growing role of distributed generation (DG) in the current and future of the power systems, the major challenging issue in switch placement is to find the proper locations of switches in distribution systems when the DGs are present. In this project a new graph-theory and improved genetic algorithm based practical method is employed to solve a multiobjective optimization problem. The proposed method determines the best locations of switching devices in distribution networks considering the effects of presence of distributed generation in fitness functions and other optimization constraints, providing the maximum number of costumers to be supplied by distributed generation sources in islanded distribution systems after possible faults. The proposed method is applied and simulated on several distribution test systems in both cases of with DG and non DG situations. The results of the simulations validate the proposed method in switch placement of the distribution network in the presence of distributed generation.