بازیابی سیستمهای توزیع بااستفاده از یک روش جستجوی ابتکاری جدید

مجید آذراسا سعید خضرزاده

مهندسین مشاور قدس نیرو

چکیده :

دراین مقاله یک روش جدید برمبنای جستجوی اول سطح (Breath First Search) جهت بازیابی (Restoration) بهینه شبکه‌های توزیع درحین تعمیرات یابعداز وقوع خطا(Fault) ارائه شده‌است. بعلت ساختار شعاعی شبکه‌های توزیع هنگامیکه خطایی درسیستم رخ میدهد تمام پست‌هایی که برروی فیدر وبعد ازمحل خطا واقع شده‌اند، بی‌برق می‌شوند. این پست‌های بی‌برق باید ازطریق نزدیکترین خطوط رابط (Tie Line) بر روی فیدرهای مجاور انتقال یابند. درروش پیشنهادی بازیابی شبکه‌در دومرحله انجام می‌گیرد. درمرحله اول بازیابی فقط از فیدرهای متصل به فیدرمحل خطا (فیدرهای مرحله اول) جهت بازیابی پستها استفاده می‌شود. درمرحله دوم بازیابی ،چنانچه همه پست‌ها بازیابی نشده‌باشند، از طریق خطوط رابط موجود مقداری از بار فیدرهای مرحله اول به فیدرهای مجاور آنها (فیدرهای مرحله دوم) انتقال می‌یابد تا باسبک شدن باراین فیدرها امکان بازیابی بیشتر پستهای فیدر محل خطا میسرشود. درروش پیشنهادی درهرمرحله از انتقال بار برنامه پخش بار اجراء می‌شود ومحدودیتهای افت ولتاژ مجاز پست‌های توزیع ، محدودیت جریان شاخه‌ها، محدودیت توان پست‌های فوق توزیع و محدودیتهای حاصل از برنامه اتصال کوتاه در نظرگرفته‌میشوند.

کلمات کلیدی : عملیات بازیابی [1]، تکنیک جستجوی ابتکاری [2] ، بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع [3]، روش جستجوی اول سطح .

1- Service Restoration

2- Heuristic Search Method

3- Distribution Networks Optimization

مقدمه

خارج شدن خط یاترانس بطوراجباری یاطبق‌برنامه‌دراکثرمواقع درسیستمهای توزیع رخ می‌دهد. اولین کاری که درمراکز حوادث شرکتهای توزیع انجام می‌شود این است که محل خطا تعیین شده‌وسپس کلیدهای لازم جهت جداکردن محل خطاازشبکه‌بازمی‌شوند. طبیعت شعاعی سیستمهای توزیع باعث می‌شود که باجداکردن محل خطا ازشبکه تمام پستهای فیدر خطا [1] و بعد از محل خطا بی‌برق شوند. همانطوریکه می‌دانیم درشبکه‌های توزیع فیدرهای مجاور معمولا" ازطریق خطوط رابط به یکدیگر متصل هستند. کلیدهای خطوط رابط [2] درحالت عادی باز هستند وهیچ ارتباط الکتریکی بین فیدرها وجود ندارد. بابستن تعدادی ازکلیدهای خطوط رابط می‌توان بارپست‌های بی‌برق را بر روی فیدرهای مجاور محل خطا انتقال داد.

درسالهای اخیر مقالاتی دراین زمینه ارائه شده‌است[1-5]. دکترشیرمحمدی روشی جهت بازیابی سیستم‌های توزیع ارائه داده است[1] . دراین روش ابتدا تمام‌کلیدهای خطوط رابط بسته می‌شوندو ساختار شعاعی سیستم به‌ساختارحلقوی تبدیل می‌شود سپس پخش بار مطمئن [3] دراین سیستم حلقوی انجام میشود. پس ازانجام پخش بار ، کلیدی که کمترین جریان ازآن عبور می‌کندشناسایی شده‌وبازمیگردد،بطوریکه‌یکی از حلقه‌های شبکه حذف شود، مجدداً یک پخش بار مطمئن درشبکه جدید انجام شده وکلیدی که کمترین جریان ازآن عبور می‌کند تعیین شده وباز می‌گرددداین کارآنقدرتکرارمیشودتااینکه‌ساختار شعاعی سیستم بدست آید.

درمرجع [2] تکنیک‌جستجوی ابتکاری جهت بازیابی سیستم‌های توزیع بکار رفته‌است . دراین روش ناحیه خطا به چند ناحیه فرعی [4] تقسیم می‌شود وترکیبهای مختلف برقدارکردن نواحی فرعی توسط خطوط رابط فیدرهای مجاور وبادرنظر گرفتن تمام محدودیتها بررسی می‌شودوترکیبی که تمام محدودیتها را برآورده کند انتخاب می‌شود. به دلیل ساختار پیچیده و حجیم سیستم‌های توزیع زمان اجرای این روشها زیادبوده و قابل پیاده‌سازی روی شبکه‌های واقعی نیستند.

در روش پیشنهادی این مقاله عملیات بازیابی در دومرحله انجام می‌شود. چنانچه فیدرهای

---

۱ - فیدری که خطا روی آن اتفاق افتاده است.

2- Tie - Switch

3- Secure Flow Pattern

4- Lateral

مجاورفیدرخطا(فیدرهای مرحله‌اول) قادر به بازیابی همه‌پست‌های بی‌برق فیدر خطا نباشند، سعی می‌شود بارفیدرهای مرحله اول توسط فیدرهای مجاور آنها (فیدرهای مرحله دوم) سبک شودتابتوان پست‌های بی‌برق بجای مانده ازبازیابی مرحله نخست رابازیابی نمود.

دراین روش برای پخش بار از روش پخش بار مستقیم [1] [6] استفاده شده است. همانطوریکه میدانیم درشبکه‌های توزیع بدلیل نسبت بالای R/X خطوط شبکه، روشهای پخش بار نیوتن - رافسون وگوس - سایدل واگرا میشوندوقادر به پخش بارشبکه‌های توزیع نیستند. روشهایی که برای پخش بار شبکه‌های توزیع بکارمی‌روند، روشهای پخش باربرZ-bus ومستقیم هستند. روش پخش باربرZ-bus روشی سریع وبا قابلیت اطمینان بالااست ولی به فضای حافظه زیادی جهت ذخیره ماتریس Z-bus احتیاج دارد. روش مستقیم نیز روشی سریع وباقابلیت اطمینان بالاست ولی برای ذخیره‌اطلاعات خطوط شبکه فقط ازسه رشته [2] عددی "باس ابتدا"، "انتها" و امپدانس شاخه" استفاده می‌کند، به همین دلیل روش مستقیم به فضای حافظه بسیار کمتری نیاز دارد. دراین روش از روابط KVL و KCL برای پخش بار استفاده می‌شود وروند تکراری این روش برای شبکه‌ای با ۱۰۰ پست درکمتراز ۵ تکرار وزمانی درحدود چند ده میلی ثانیه همگرا میشود.

یک برنامه کامپیوتری به زبان C++ نیز برای روش پیشنهادی دراین مقاله تهیه شده‌است که از ابزاری خاص برای نمایش دیاگرام تک خطی شبکه یا به اصطلاح نقشه مانور استفاده میکند. این ابزار فقط باداشتن اتصالات شبکه وباهر تعداد از پست‌های فوق توزیع قادر به ترسیم شبکه برروی صفحه مانیتور می‌باشد. این ابزار دارای قابلیتهای زوم [3] کردن شبکه تاچند مرحله، جابجائی پست‌ها وفیدرها بر روی شکل ،حرکت شکل بر روی صفحه مانیتور و همچنین ذخیره شکل گرافیکی شبکه باآخرین تغییرات می‌باشد.

شرح مقاله

یکی‌از اهداف شرکتهای توزیع برق تأمین برقی مطمئن و دائم برای مصرف‌کننده‌ها می‌باشد. در وضعیت اضطراری یعنی درحین خطا یاتعمیرات درسیستم لازم‌استبازیابی شبکه توزیع باسرعت

1- Direct Load Flow

2- Array

3- Zoom

وقابلیت اطمینان بالا انجام شود. درطرح بهینه بازیابی لازم است تمام محدودیتهای عملیاتی درنظر گرفته شوند. محدودیتهایی که در روش پیشنهادی این مقاله درنظر گرفته شده‌اند عبارتنداز:

۱- طرح بازیابی درکوتاهترین زمان ممکن بدست آید.

۲- درصورت امکان بارهای بیشتری رابازیابی کنیم.

۳- درطرح بازیابی بایدتعداد کلیدزنی ها حداقل باشد. زیراکلیدزنی زیاد عمر کلیدها را کاهش می‌دهد. بعلاوه عمل کلیدزنی درشهرهای شلوغی مانند تهران که فاصله محل کلیدها گاهی اوقات به بیش‌از یک کیلومتر می‌رسد، کار پرزحمت و وقت‌گیری است.

۴- شکل سیستم بازیابی شده تا حدامکان به شکل اولیه سیستم نزدیک باشد.

۵- ساختار شعاعی سیستم حفظ شود .

۶- محدودیت جریان مجاز شاخه‌های شبکه.

۷- محدودیت افت ولتاژ مجاز پست‌های توزیع.

۸- محدودیت توان پست‌های فوق توزیع.

۹- محدودیتهای حاصله از برنامه اتصال کوتاه.

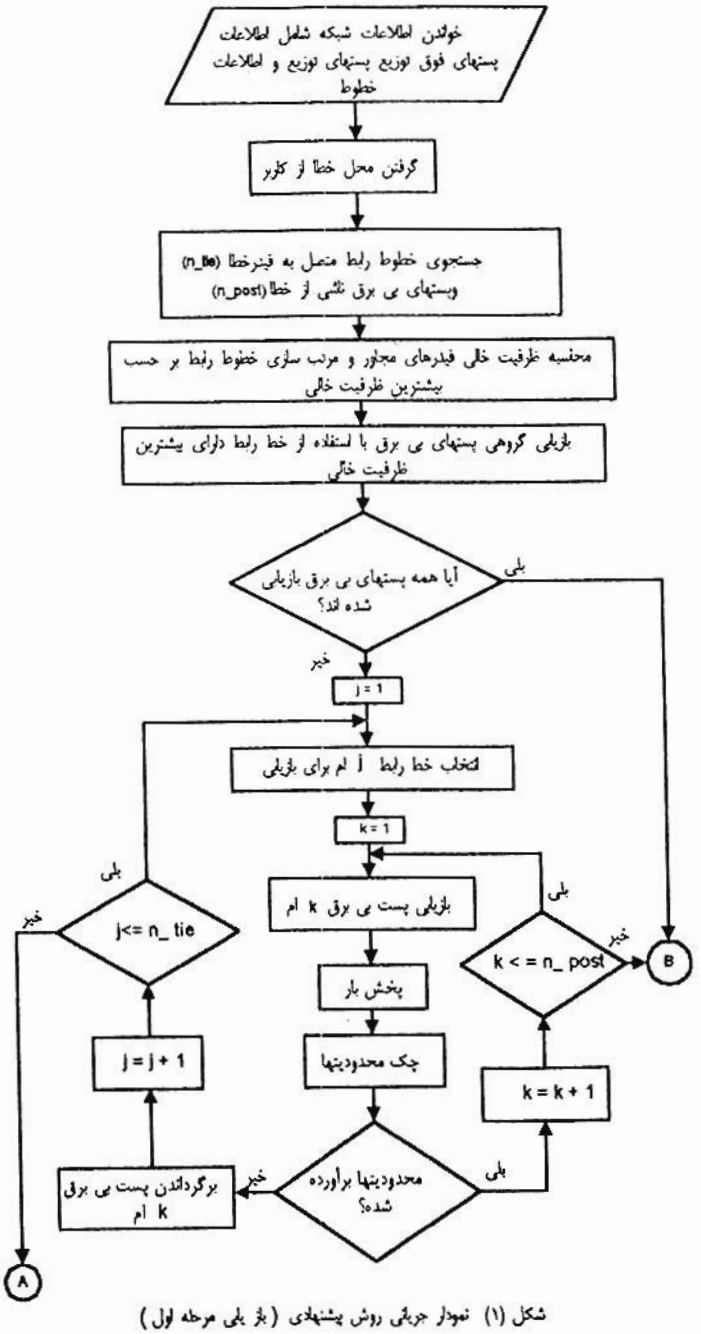
روش جستجوی ابتکاری جدید

در روش پیشنهادی پس از مشخص شدن محل خطا وایزوله کردن زون خطا، مطابق نمودار جریانی شکل (۱) و بصورتی که درزیر توضیح داده شده بازیابی شبکه را انجام میدهیم.

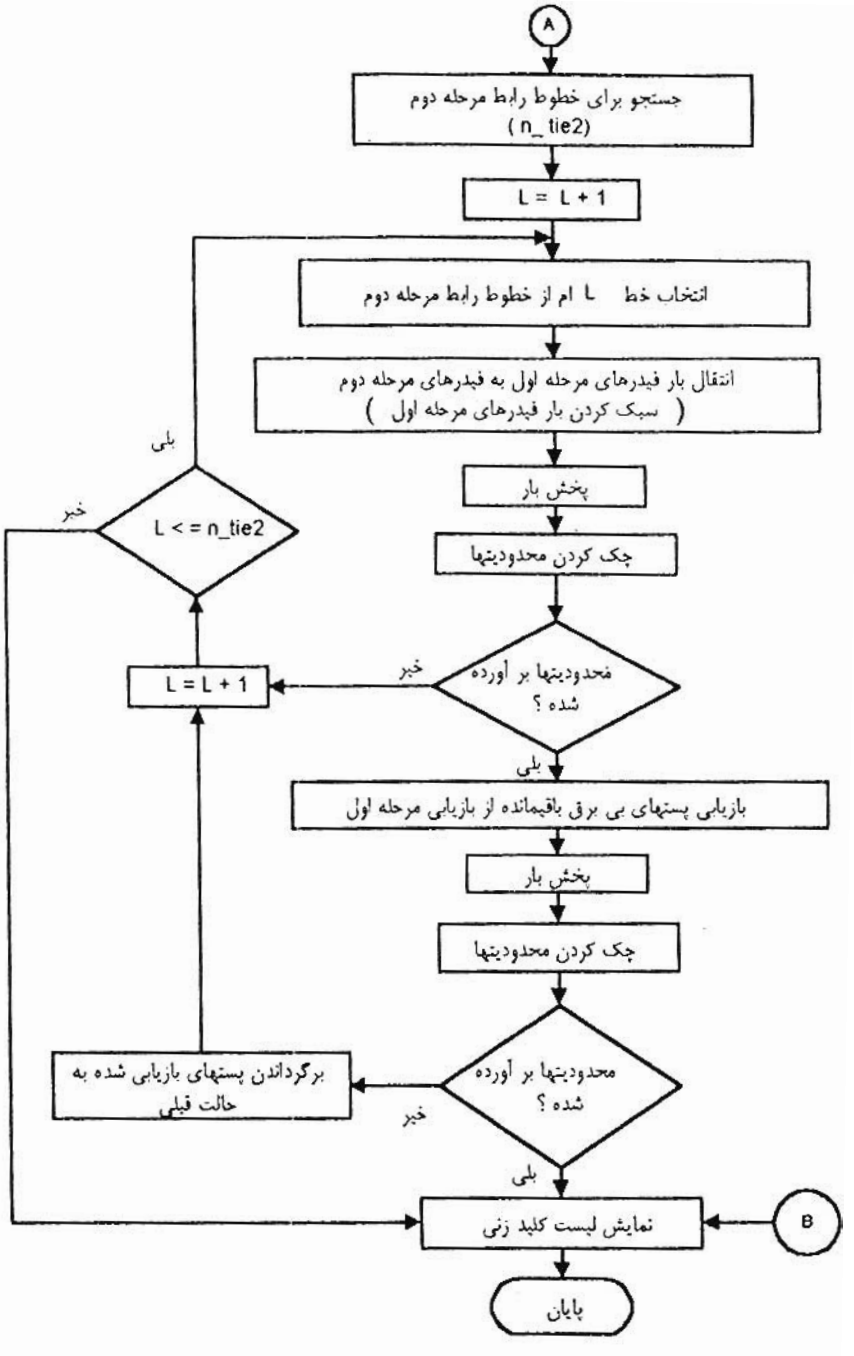
۱- بوسیله جستجوی اول سطح تمام پست‌هایی که روی فیدر خطا و بعداز محل خطا قرار گرفته‌اندو همچنین خطوط رابط بین فیدرخطا و فیدرهای مجاور (فیدرهای مرحله اول) را پیدا می‌کنیم.

۲- برای هریک از خطوط رابط پیداشده در قسمت قبل ظرفیت خالی فیدرمجاور را ازدیداین خط رابط پیدا می‌کنیم. یعنی تمام شاخه‌هایی که بین این خط و پست فوق توزیع فیدر مجاور قرار گرفته‌اند راپیدا کرده‌و حداقل ظرفیت خالی این شاخه‌ها رابعنوان ظرفیت خالی فیدر مجاور ازدید خط رابط ذکرشده قرار می‌دهیم.

۳- خطوط رابط پیدا شده رابرحسب ظرفیت خالی شان از زیاد به کم مرتب می‌کنیم.



شکل (۱) نمودار جریانی روش پیشنهادی (باز یابی مرحله اول)



ادامه شکل (۱) نمودار جریانی روش پیشنهادی (بازیابی مرحله دوم)

۴- دراین مرحله پست‌های بی‌برق فیدرخطا را بصورت گروهی بر روی خط رابط دارای بیشترین ظرفیت خالی قرار می‌دهیم، برنامه پخش بار را اجراء می‌کنیم و محدودیتهای ۶،۷،۸و۹ را تست می‌کنیم، درصورتیکه تمام محدودیتها برآورده شوند، طرح بازیابی بهینه بوده و بازیابی پست‌های بی‌برق فیدرخطا فقط بایک کلیدزنی (بستن کلیدخط رابط) انجام می‌شود. چنانچه محدودیتها برآورده نشوند، بازیابی گروهی پست‌های بی‌برق میسرنیست.

۵- چنانچه بازیابی گروهی میسرنباشد، پست‌های بی‌برق راتک‌تک برقدار می‌کنیم. به‌این منظور ابتدا خط رابط با بالاترین ظرفیت خالی راانتخاب می‌کنیم وبایک جستجوی اول سطح پست‌های بی‌برق روی فیدر خطا را ازدید این خط رابط پیدامی‌کنیم،سپس پست‌های بی‌برق را تک‌تک برقدار می‌کنیم و پس‌ازبرقدارکردن هرپست برنامه پخش باررا اجراء کرده وچنانچه محدودیتها برقرار باشندپست‌های بی‌برق بعدی را نیز برقدار می‌کنیم واین کار را تاموقعی ادامه می‌دهیم که محدودیتها برقرار باشند وچنانچه به ازای برقدار کردن یک پست بی‌برق محدودیتها برقرار نشوند دوباره پست مزبور رابی‌برق می‌کنیم. وقتیکه ظرفیت خط رابط اول تکمیل شد، چنانچه پست بی‌برقی باقی مانده باشد، از خط رابط دوم برای بازیابی پست‌های بی‌برق باقیمانده استفاده می‌کنیم واین کار رابرای همه خطوط رابط پیداشده انجام می‌دهیم تا همه پست‌های بی‌برق برقدار شوند. تمام کارهایی که دراین مرحله انجام می‌شود را "بازیابی مرحله‌اول" می‌نامیم، زیرا دراین حالت فقط از خطوط رابط متصل به فیدرهای مجاور فیدر خطا (فیدرهای مرحله اول) جهت بازیابی استفاده می‌کنیم.

۶- چنانچه پس ازبازیابی مرحله اول تمام پست‌های بی‌برق برقدار نشوند وارد "بازیابی مرحله دوم" می‌شویم. دراین مرحله ازبازیابی بااستفاده از فیدرهای مجاور فیدرهای مرحله اول (فیدرهای مرحله دوم) سعی می‌کنیم که مقداری از بارفیدرهای مرحله اول رابر روی (فیدرهای مرحله دوم) انتقال دهیم تابدین وسیله بتوانیم پست‌های بی‌برق بیشتری رابازیابی کنیم. بدین‌منظورازلیست خطوط رابطی که دربازیابی مرحله اول مورد استفاده قرار گرفته‌اند (بسته‌شده‌اند) اولین خط رابط را انتخاب کرده و ازدید این خط رابط و بر روی فیدر مجاور متصل به آن با استفاده از جستجوی اول سطح تمام خطوط رابط (خطوط رابط مرحله دوم) را پیدا می‌کنیم. بااستفاده از خطوط رابط مرحله دوم و به ترتیب از آخرین خط رابط شروع کرده وبار فیدر مرحله اول

را بر روی فیدر مرحله دوم انتقال می‌دهیم. با این کار بار فیدر مرحله اول مقداری سبک شده ومی‌توان تعدادی ازپست‌های بی‌برق فیدر خطا رامجدداً بازیابی نمود. چنانچه بااستفاده از خط رابط بسته مزبور تمام پست‌ها بازیابی نشود از خطوط رابط بسته بعدی به همان صورتی که توضیح داده شد استفاده می‌کنیم تا درصورت امکان پست‌های بیشتری را بازیابی کنیم.

قابلیتهای روش پیشنهادی و برنامه کامپیوتری نوشته‌شده:

۱- خروجی این برنامه یک لیست کلیدزنی است. این لیست مکان کلیدهایی که باید باز و بسته شوند را به کاربر [1] ارائه میدهد.

۲- زمان اجرای این برنامه برای شبکه‌ای بابیش از ۱۴۰ پست و ۱۵۰ شاخه با استفاده از کامپیوتر PC 486 DII 66 کمتراز ۳ ثانیه است که برای مطالعات on-line مناسب است و از قابلیت اطمینان بسیار خوبی نیز برخوردار است.

۳- دراین روش امکان خطاهای متوالی دریک شبکه درنظرگرفته‌شده‌است. چنانچه چند خطا بطور همزمان درشبکه اتفاق بیافتد، این خطاها به شبکه اعمال شده وبرنامه درحد امکان پست‌های بی‌برق ناشی از این خطاها رابازیابی می‌کند ویک لیست کلیدزنی برای بازیابی شبکه به ازای کلیه خطاها ارائه میدهد.

۴- امکان رفع خطاهاپس ازتعمیرات قسمت معیوب نیزدراین برنامه درنظرگرفته‌شده است. برنامه پس ازرفع خطایک لیست کلیدزنی جهت برگرداندن شبکه به حالت اولیه (قبل از خطا) ارائه میدهد.

۵- این برنامه برروی شبکه‌های کابلی وهوایی قابل اجراء میباشد. ازآنجائیکه روی اکثر خطوط هوایی کلید [2] وجود ندارد، چنانچه خطایی برروی یک خط هوایی رخ دهد، باید محل خطا رابوسیله نزدیکترین کلیدهای شبکه‌ایزوله کرد. در روش پیشنهادی چنانچه خطایی برروی یک خط هوایی رخ دهد، ابتدا ناحیه خطا توسط نزدیکترین کلیدهای شبکه ایزوله شده وپست‌های بی‌برق ناشی ازاین خطا درحد امکان بازیابی میشوند.

1- User

2- Isolator

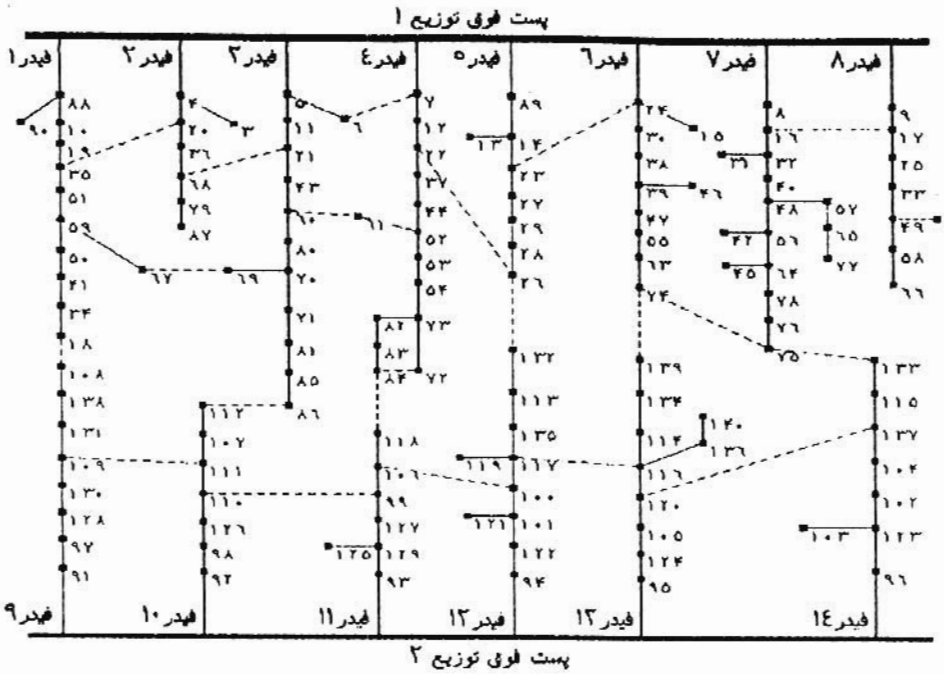
نتایج کامپیوتری

جهت آزمایش روش پیشنهادی وبرنامه‌نوشته‌شده، سعی شده از شبکه‌های واقعی داخل کشور استفاده شود. بدین‌منظورقسمتهایی از شبکه پست‌های فوق توزیع چیذروالهیه تهران جهت آزمایش انتخاب شده‌اند. همانطوریکه درشکل (۲) ملاحظه میشود این شبکه شامل دوپست توزیع ۶۳/۲۰KV ، ۱۳۸ پست ۲۰KV و ۲۱ خط رابط می‌باشد. نقاط مربع شکل نشان‌دهنده‌پستهای زمینی ۲۰KV ، نقاط دایره‌شکل نشان‌دهنده‌تی‌آنها [1] (مانندنقاط ۴۸،۵۶،۶۴) ، خطوط ممتد نشان‌دهنده خطوط کابلی وهوایی وصل و خطوط مقطع نشان‌دهنده خطوط قطع یا به عبارتی خطوط رابط هستند.

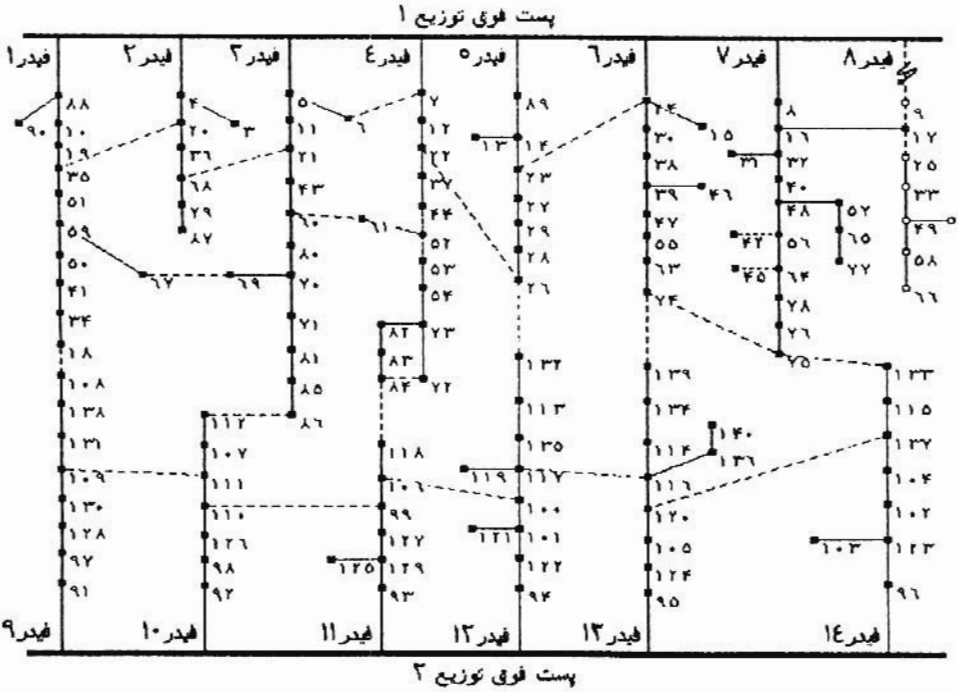
همانطوریکه‌درشکل (۳)ملاحظه می‌فرمایید‌خطایی درروی‌بدترین‌نقطه‌فیدر۸بین‌پستهای ۱و۹ اتفاق‌افتاده است. دراثر این خطا پستهای ۹،۱۷،۲۵،۳۳،۴۹،۶۲،۵۸،۶۶ بی‌برق شده‌اند. در شکل (۳)بازیابی مرحله اول نشان داده شده‌است.دراین مرحله ازبازیابی فقط از فیدرهای مجاور فیدر خطا (فیدرهای مرحله اول) یعنی فیدر ۷ استفاده شده وپست ۱۷ توسط خط رابط بین پست‌های ۱۶ و ۱۷ بازیابی شده‌است. بدلیل اینکه فیدر ۷ ظرفیت خالی کافی برای بازیابی پست‌های بی‌برق نداردواردمرحله دوم بازیابی می‌شویم. دراین مرحله ازبازیابی، بوسیله فیدرهای مجاور فیدر۷ (فیدرهای مرحله دوم) یعنی فیدرهای ۶ و ۱۴ ، بار فیدر ۷ راسبک می‌کنیم. همانطوریکه درشکل (۴) مشاهده می‌کنید، ازبین فیدرهای ۶ و ۱۴ فیدر ۱۴ دارای ظرفیت خالی بیشتر بوده وبرای سبک کردن بار فیدر ۷ انتخاب شده‌است. بدین‌منظور کلید خط بین پست‌های ۴۸ و ۵۶ باز شده وکلید خط رابط بین پست‌های ۷۵ و ۱۳۳ بسته شده تابدین وسیله بار پست‌های ۴۲،۵۶،۴۵،۶۴،۷۸،۷۶و۷۵ ازفیدر ۷ بر روی فیدر ۱۴ انتقال یافته و بار فیدر ۷ سبک شود. پس از سبک شدن بار فیدر ۷ ظرفیت خالی این فیدر بالا رفته وپست‌های بی‌برق ۹،۲۵،۳۳،۴۹،۶۲و۵۸ نیز بازیابی میشوند وپست ۶۶ بعلت عدم وجود ظرفیت خالی در فیدرهای ۷ و ۱۴ قابل بازیابی نیست. همانطوریکه درشکل (۴) ملاحظه می‌کنید فیدر ۸ دارای تنها یک خط رابط است که به فیدر ۷ متصل می‌باشد وخطا برروی ابتدای فیدر۸

بدترین‌حالت را ازلحاظ بازیابی درشبکه فوق ایجاد می‌کند. همانطوریکه نشان داده شد در بدترین حالت بازیابی شبکه، روش پیشنهادی از ۸ پست بی‌برق ۷ پست را بازیابی می‌کند که این قابلیت اطمینان بالای روش پیشنهادی رانشان می‌دهد.

3- T - OFF



شکل (۲) شبکه نمونه



شکل (۳) بازیابی مرحله اول

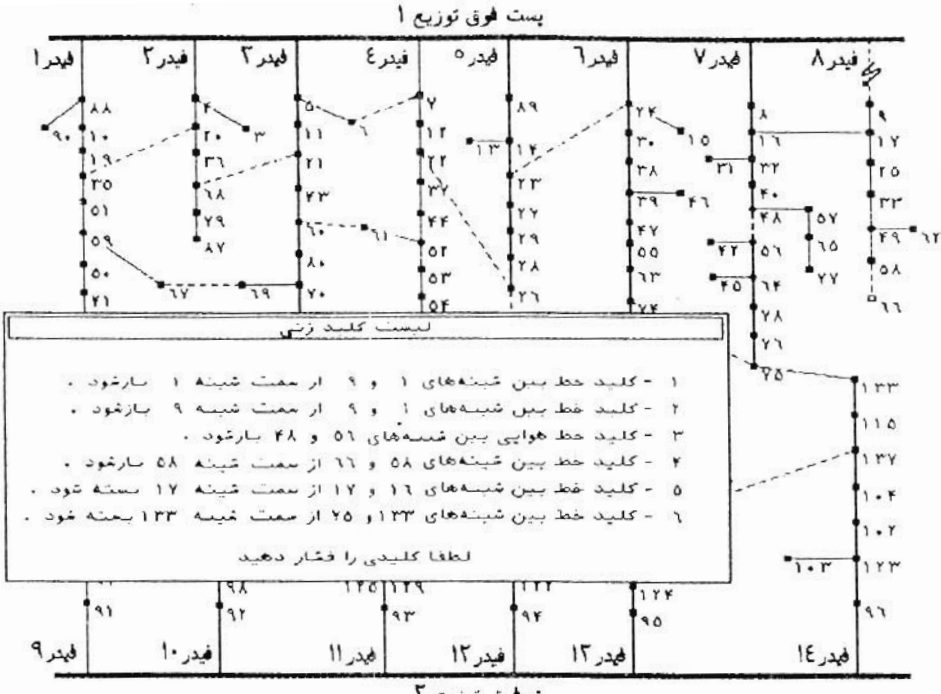
درشکل (۴) طرح بازیابی شبکه بصورت یک لیست کلیدزنی ارائه شده‌است. موارد ۱و۲ لیست کلیدزنی برای ایزوله کردن ناحیه خطا ازشبکه و سایر موارد برای بازیابی شبکه بکار می‌رود. درشکل (۵) نمونه‌ای از zoom شبکه با استفاده از برنامه فوق نشان داده شده‌است.

نتیجه‌گیری

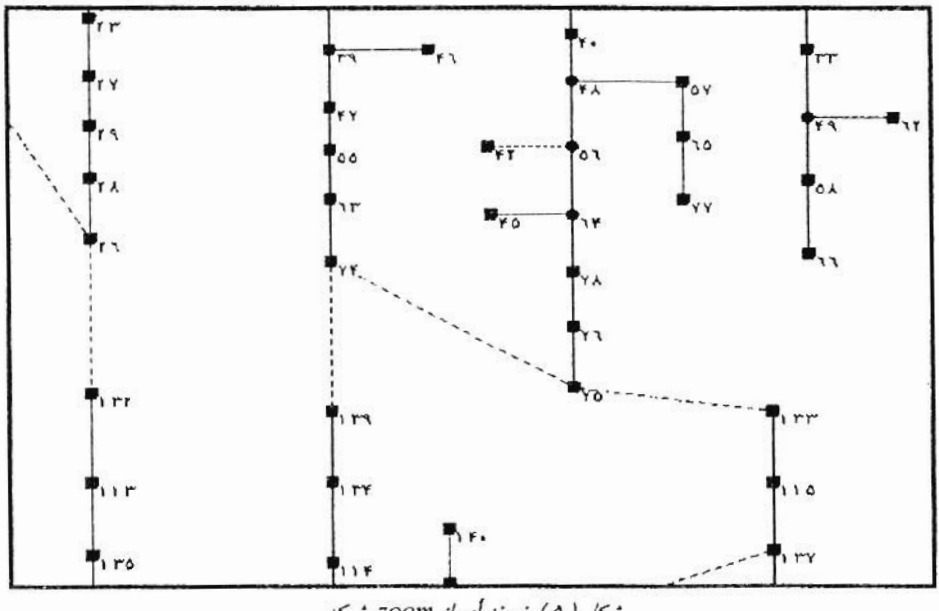
دراین مقاله یک روش جستجوی ابتکاری جدید برای بازیابی شبکه‌های توزیع پیشنهاد شده‌است. برنامه کامپیوتری از روش نوشته شده وبر روی چند شبکه واقعی آزمایش شده است. نتایج کامپیوتری نشان می‌دهد که این روش از سرعت و دقت بالایی برخوردار است. زمان اجرای برنامه در حد قابل قبول است وبرنامه طرح بازیابی شبکه را درمدت چند ثانیه ارائه می‌دهد که زمان فوق برای این کاربرد مناسب می‌باشد. این برنامه از قابلیت اطمینان خوبی برخورداربوده وطرحهای بازیابی آن بهینه می‌باشد. برنامه فوق می‌تواند درمراکز عملیات شرکتهای توزیع مورد استفاده قرار گیرد ودرحالتهای اضطراری (خطا یاتعمیرات) طرح بهینه بازیابی شبکه را ارائه دهد.

تقدیر و تشکر

درخاتمه لازم می‌دانیم که ازآقای مهندس بهمن‌پور که بانقطه نظرات فنی خود ما رادراین پروژه یاری کرده‌اند و همچنین آقای مهندس محمد رجبی که طراحی برنامه ترسیم شبکه رابه عهده‌داشته‌اند، کمال تشکر وسپاسگزاری را بعمل آوریم.



شکل (۴) بازیابی مرحله دوم ولیست کلید زنی



شکل (۵) نمونه ای از zoom شبکه

فهرست مراجع

[1] D.Shirmohammadi , "Service Restoration in Distriduttion Networks Via Network Reconfiguration " , IEEE , Trans ., PWRD , Vol. 7 , NO.2 ,PP.952-952 April 1992 .

[2] Yuan - Yih Hsu,H.M.Hung,H.C.Kuo, "Distribution System Service Restoration Using a Heuristic Search Approach",IEEE,Trans.PWRD,Vol.7,NO.2,PP.734-740,April 1992.

[3] A.L.Marelate , A Monticelli, "Heuristic Search Approach to Distribution system Restoration and Loss Reduction of Distribution system ", IEEE,Trans.,PAS, Vol.3, NO.2,PP.619-626, May 1988 .

[4] C.C Liu , S. J. Lee,S.S.Venkata,"An Expert System Operational AID For Restoration and Loss Reduction of Distribution system " ,IEEE,Trans.,PAS, Vol.3,NO.2,PP.619 -262 ,May 1988 .

[5] K.A oki,K.Nara ,"A New Algorithm for Service Restoration in Distribution System", IEEE ,Trans.PWRD,Vol.4,NO.3,1988 .

[6] D . Shirmohammadi , H . W . Hong , A . Semlyen,G,X Luo, "A Compensation- Based Power Flow Technique For Weakly Mashed Distribution and Transmission Networks" , IEEE Transaction on power system , May 1988, pp . 753-762.