بسم الله الرحمن الرحيم

پردیس بین المللی خوارزمی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی کنترل

تحلیل مقایسه‌ای کابل‌های خودنگه‌دار در شبکه‌های توزیع برق به منظور بهینه سازی هزینه‌ها

نگارنده: امیرحسین دیّاری

استاد راهنما

دکتر حیدر طوسیان شاندیز

شهریور ۱۳۹۸

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند و بی‌کران‌ترین سپاس‌ها به ساحت مقدس یوسف زهرا (ع) که چشم‌ها برای زیارت صبحش بیدارند. سلام و دورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

وظیفه خود می‌دانم سپاسگزار تمام آنهایی باشم که در این دوره ارزشمند، بودنشان و امیدشان راهگشای من بود؛ پدرم، مهربانی مشفق، بردبار و حامی. مادرم سنگ صبوری که الفبای زندگی به من آموخت. همسرم که نشانه لطف الهی در زندگی من است و همانند تمام روزهای گذشته با صبر و حوصله در کنارم بود.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عز و جل":

در اینجا بر خود لازم می‌دانم از استاد ارجمند جناب آقای دکتر حیدر طوسیان شاندیز که نهایت تلاش را در راهنمایی اینجانب جهت انجام این پایان‌نامه ارائه نموده‌اند، تشکر و قدردانی نموده و توفیق روزافزون ایشان را از خداوند متعال خواستارم.

همچنین تشکر و قدردانی می‌نمایم از جناب آقای دکتر الفی و جناب آقای دکتر صدرنیا که برای داوری این پایان‌نامه قبول زحمت نمودند و وقت گران‌بهای خود را در اختیار اینجانب قرار دادند.

تعهدنامه

اینجانب **امیرحسین دیّاری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی برق - کنترل** پردیس خوارزمی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **تحلیل مقایسه‌ای کابل‌های خودنگه‌دار در شبکه‌های توزیع برق به منظور بهینه سازی هزینه‌ها** تحت راهنمائی **جناب آقای دکتر حیدر طوسیان شاندیز** متعهد می‌شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

در سالیان اخیر شرکت‌های توزیع نیروی برق جهت کاهش نارضایتی مشترکین ناشی از بروز خاموشی‌های ناخواسته و همچنین افزایش قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع، احداث شبکه‌های هوایی روکش‌دار از جمله کابل‌های خودنگه‌دار را در دستور کار خود قرار داده‌اند. روند رو به رشد به‌کارگیری کابل‌های خودنگه‌داردر خطوط توزیع نیروی برق، گاهاً بدون انجام مطالعات فنی و در نظر گرفتن صرفه اقتصادی شرکت‌های توزیع بوده است. از همین رو، موضوع اصلی پژوهش حاضر انتخاب نوع هادی در پروژه‌های احداث شبکه‌های فشار ضعیف هوایی با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و به منظور بهینه‌سازی هزینه‌های شرکت‌های توزیع، تعیین گردیده است. جهت دستیابی به این هدف ابتدا هزینه‌های شبکه شامل هزینه‌های احداث و بهره‌برداری در هریک از انواع شبکه‌های سیم مسی و کابل‌های خودنگه‌دار محاسبه شده و در ادامه با استفاده از روش توزیع نرمال، متوسط عمر مفید هر یک از شبکه‌ها تا قبل از بروز اولین حادثه به‌دست آمده است. در انتها نیز اطلاعات تکمیلی از حوادث شبکه‌ها جهت کمک به فرایند مقایسه ارائه گشته است. مطابق با نتایج محاسبات مشخص شد بر خلاف تصور رایج، در بسیاری از موارد بکارگیری کابل‌های خودنگه‌دار توجیه اقتصادی ندارد. در واقع موضوع انتخاب نوع هادی، یک موضوع کلی نبوده و نمی‌توان در رابطه با آن حکم کلی صادر نمود که نیاز به مطالعات موردی و منطقه‌ای دارد.

کلمات کلیدی: کابل خودنگه‌دار، هزینه‌های شبکه‌های توزیع، محاسبه هزینه‌های احداث، محاسبه هزینه‌های بهره‌برداری، متوسط عمر مفید قبل از حادثه

فهرست مطالب

فصل اول : کلیات پژوهش ۱

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- بیان مسئله ۳
۱-۳- اهداف و ضرورت های پژوهش ۵
۱-۴- محدوده و گستره پژوهش ۵

فصل دوم : مروری بر ادبیات پژوهش ۷

۲-۱- مقدمه ۸
۲-۲- پیشینه تحقیقات ۸
۲-۲-۱- محاسبه نرخ خرابی تجهیزات شبکه و بررسی تاثیر آن در ارزیابی شاخص قابلیت اطمینان ۹
۲-۲-۲- بررسی شاخص های فنی و اقتصادی به کارگیری کابل های خودنگه دار ۱۶
۲-۳- مبانی پژوهش ۱۸

فصل سوم: روش پژوهش ۱۹

۳-۱- مقدمه ۲۰
۳-۲- تعریف مسأله ۲۰
۳-۳- قلمرو پژوهش ۲۱
۳-۴- جامعه آماری ۲۱
۳-۵- فضای نمونه ۲۲
۳-۶- نحوه جمع آوری اطلاعات ۲۲
۳-۶-۱- هزینه های احداث ۲۲
۳-۶-۲- هزینه های بهره برداری ۲۶
۳-۶-۳- تحلیل حوادث شبکه های فشار ضعیف با استفاده از روش توزیع نرمال ۲۷
۳-۷- جمع بندی ۲۹

فصل چهارم: ارائه نتایج ۳۱

۴-۱- مقدمه ۳۲
۴-۲- مقایسه هزینه های شبکه های فشار ضعیف ۳۲
۴-۲-۱- هزینه های احداث ۳۲
۴-۲-۲- هزینه های بهره برداری ۳۵
۴-۲-۳- جمع بندی هزینه های شبکه ۳۷
۴-۳- شاخص عمر مفید شبکه های فشار ضعیف ۳۸

۴-۴- هزینه های بازگشت سرمایه ۳۹
۴-۵- بررسی و تحلیل حوادث ۴۲
۴-۶- مقایسه شبکه های فشار ضعیف با استفاده از روش توزیع نرمال ۴۴
۴-۶-۱- محاسبه شاخص متوسط عمر مفید قبل از حادثه در شبکه های سیم مسی ۴۴
۴-۶-۲- محاسبه شاخص متوسط عمر مفید قبل از حادثه در شبکه های کابل خودنگه دار ۴۸
۴-۷- جمع بندی ۵۱
فصل پنجم: تحلیل نتایج ۵۳
۵-۱- مقدمه ۵۴
۵-۲- تحلیل نتایج مقایسه هزینه‌های شبکه ۵۴
۵-۲-۱- عمر مفید هر یک از شبکه های فشار ضعیف ۵۴
۵-۲-۲- درآمدهای حاصل از بازگشت سرمایه ۵۵
۵-۲-۳- بررسی سهم هریک از شبکه‌ها در حوادث شبکه‌های فشار ضعیف ۵۵
۵-۳- نتایج به کار گیری مدل توزیع نرمال ۵۶
۵-۴- پیشنهادات براساس نتایج این پژوهش ۵۷
۵-۵- پیشنهادات جهت ادامه پژوهش ۵۷
منابع ۵۹
پیوست ها ۶۱
پیوست الف ۶۲
پیوست ب ۶۴

فهرست جداول

جدول(۱-۱) : میزان استفاده از کابل خودنگه‌دار در سطح کشور و استان سمنان[۱]..... ۴
جدول (۲-۱) : توزیع عیوب در ۴ نوع تجهیز الکتریکی پر کاربرد[۲] ۱۰
جدول (۲-۲) : بررسی شاخص‌های قابلیت اطمینان در نمونه‌های مختلف ساختار شبکه[۷]. ۱۵
جدول (۴-۱): هزینه‌های احداث شبکه سیم مسی..... ۳۳
جدول (۴-۲) : هزینه‌های احداث شبکه کابل خود نگه دار ۳۴
جدول(۴-۳): هزینه‌های تعمیرات نمونه‌های شبکه سیم مسی ۳۵
جدول (۴-۴): هزینه‌های تعمیرات نمونه‌های کابل خودنگهدار..... ۳۶
جدول(۴-۵) : مقایسه متوسط هزینه‌های تعمیرات ۳۶
جدول (۴-۶) : محاسبات برکناری شبکه سیم مسی..... ۴۰
جدول (۴-۷) : محاسبات برکناری شبکه کابل خودنگه‌دار ۴۱
جدول(۴-۸) : جمع بندی حوادث و معایب شبکه فشار ضعیف میامی در سال ۹۷ ..... ۴۲
جدول(۴-۹) : طول شبکه فشار ضعیف هوایی میامی تا پایان سال ۹۷ ..... ۴۳
جدول (۴-۱۰): اطلاعات شبکه‌های فشار ضعیف سیم مسی براساس سال‌های سرویس‌دهی با حادثه و بدون حادثه ۴۵
جدول (۴-۱۱): تعداد سکشن‌های حادثه دیده و بدون حادثه در هر سِن در شبکه‌های سیم مسی..... ۴۶
جدول (۴-۱۲): مقادیر احتمال تجمعی حوادث مربوط به سکشن‌های حادثه دیده در شبکه‌های سیم مسی ۴۷
جدول (۴-۱۳) : اطلاعات شبکه‌های فشار ضعیف کابل خودنگه‌دار براساس سالهای سرویس‌دهی با حادثه و بدون حادثه ۴۹
جدول (۴-۱۴): تعداد سکشن‌های حادثه دیده و بدون حادثه در هر سن در شبکه‌های کابل خودنگه‌دار ۵۰
جدول (۴-۱۵): مقادیر احتمال تجمعی حوادث مربوط به سن سکشن‌های حادثه دیده در شبکه‌های کابل خودنگه‌دار ۵۰
جدول (۴-۱۶) : مقایسه شاخص متوسط عمر مفید قبل از حادثه در شبکه‌های فشار ضعیف ۵۰

فهرست اشکال

شکل (۲-۱) : نمودار "وان حمام" نشان دادن نرخ خرابی تجهیزات الکتریکی در دوره‌های مختلف عمر آنها۱۰
شکل (۲-۲) : چگالی احتمال حوادث : ۱- هادی‌ها، ۲- کابل‌ها، ۳- ترانسفورماتورها، ۴- بریکرها[۲]. ...۱۱
شکل(۲-۳) : احتمال بروز حوادث : ۱- هادی‌ها، ۲- کابل‌ها، ۳- ترانسفورماتورها، ۴- بریکرها[۲]. ۱۱
شکل (۲-۴) : بخشهای تشکیل دهنده هزینه‌های تعمیرات سیستم‌های توزیع[۳]. ۱۲
شکل(۳-۱) : طرح احداث شبکه سیم مسی با سطح مقطع ۱۶+۲۵*۴.....۲۴
شکل(۳-۲) : طرح احداث شبکه کابل خودنگه‌دار با سطح مقطع ۲۵+۲۵+۵۰+۵۰*۳ .....۲۵
نمودار (۴-۱) : مقایسه هزینه‌های احداث شبکه‌های سیم مسی و کابل خودنگه‌دار ۳۷
نمودار (۴-۲) : مقایسه هزینه‌های بهره‌برداری شبکه‌های سیم مسی و کابل خودنگه‌دار(در۱کیلومتر و در۱سال).....۳۸
نمودار (۴-۳) : نسبت علل حوادث در شبکه های سیم مسی(سال ۹۷) ۴۲
نمودار (۴-۴) : نسبت علل حوادث در شبکه های کابل خود نگه‌دار(سال ۹۷).....۴۳

فصل اول : کلیات پژوهش

۱-۱- مقدمه

سیر پیشرفت تکنولوژی و تغییرات گسترده در سبک زندگی جوامع بشری موجب شده تا زندگی در جامعه مدرن امروزی نیازمند انرژی الکتریکی مستمر باشد. این تحولات همراه با ظهور تجهیزات مدرن الکتریکی و دیجیتالی تا آن جا پیش رفته که امروزه نه تنها قطع جریان برق از جانب مشترکین قابل تحمل نبوده، بلکه موضوع کیفیت مطلوب و استاندارد برق تحویلی نیز مطرح شده است. تردیدی نیست که در صورت قطع جریان برق، ادامه زندگی برای مردم بسیار دشوار خواهد بود و حتی کوچک ترین اختلالات در تداوم و استمرار آن می‌تواند خسارات فراوانی را به مشترکین خصوصاً واحدهای صنعتی تحمیل نماید. از این رو تحویل انرژی الکتریکی ایمن، پایدار و با کیفیت استاندارد برای شرکت‌های توزیع نیروی برق، به عنوان حوزه های تحویل دهنده این انرژی به مشترکین، از اهمیت بالایی برخوردار است.

از منظر هزینه های موجود در صنعت برق، با توجه به این مطلب که سهم تقریبی هریک از بخش‌های تولید، انتقال و توزیع به ترتیب ۴۰، ۲۰ و ۴۰ درصد از کل سرمایه گذاری صورت گرفته در این صنعت می‌باشد، ملاحظه می‌شود که شرکت‌های توزیع جایگاه ویژه‌ای در این میان داشته و این بیانگر ضرورت اصلاح و بازنگری در طراحی سیستم‌های آن ها به صورت بهینه و اقتصادی می‌باشد.

توجه به رسالت‌ها و مأموریت‌های شرکت توزیع از قبیل:

- پایداری در تأمین انرژی و افزایش قابلیت اطمینان شبکه‌ها
- بهینه سازی هزینه ها و افزایش بهره‌وری اقتصادی
- ارتقای سطح ایمنی و کاهش حوادث
- و ...

مؤید این مطلب است که این شرکت‌ها می‌بایست مسائل و معضلات موجود را در شبکه های برق‌رسانی به خوبی شناسایی و در جهت رفع آن‌ها اقدام نمایند.

در این راستا در سالیان اخیر با توجه به چالش‌های به وجود آمده در شبکه‌های هوایی لخت، این شرکت‌ها به دنبال راهکاری مناسب جهت کاهش تبعات ناشی از آن بوده و از جمله روش‌هایی که برای غلبه بر مشکلات موجود مورد استقبال قرار گرفته است، استفاده از شبکه‌های هوایی روکش دار و به‌طور خاص کابل‌های خودنگه‌دار می‌باشد.

اما نکته ضروری در استفاده از این نوع شبکه‌ها مطالعات کارشناسی در زمینه‌های مختلف مرتبط با اهداف و رسالت‌های شرکت‌های توزیع بوده تا بتوان با توجه به خصوصیات، مزایا و معایب کابل‌های خودنگه‌دار الگویی مناسب جهت کاربرد آن‌ها ارائه کرد.

۱-۲- بیان مسئله

با گسترش روز افزون شبکه‌های توزیع برق که در نتیجه رشد چشم‌گیر تکنولوژی در دهه‌های اخیر بوده است، شرکت‌های توزیع با چالش‌های مهمی در زمینه نیرورسانی به طیف وسیع مشترکین خود مواجه شده‌اند. از جمله این چالش‌ها رشد بار و افزایش پیک بار مصرفی مشترکین، وجود تلفات بالا در شبکه-های توزیع، افزایش بارهای ضربه‌ای و... است که این چالش‌ها در تعارض با اهداف و رسالت‌های این شرکت‌ها می‌باشد.

در سالیان اخیر جهت حل برخی از این مشکلات، استفاده از کابل‌های خودنگه‌دار و شبکه‌های هوایی عایق شده در دستور کار شرکت‌های توزیع قرار گرفته است. در ایران اولین بار استفاده از کابل‌های خودنگه‌دار طی سال‌های ۱۳۵۵ و۱۳۵۶ توسط تعداد محدودی از شرکت‌های برق منطقه‌ای و با به-کارگیری کابل‌های تولیدی کشور فنلاند آغاز شد. در سال ۱۳۷۰ وزارت جهاد سازندگی جهت حل مشکل

حریم برخی از مناطق روستایی اقدام به وارد نمودن این نوع کابل‌ها کرد که به‌دلیل عدم وجود استانداردهای لازم در زمینه احداث و بهره‌برداری از آن‌ها و متعاقباً عدم رعایت این استانداردها توسط گروه‌های اجرایی، استفاده از کابل‌های خودنگه‌دار تداوم نیافت.

پس از گسترش استفاده از کابل‌های خودنگه‌دار در کشورهای درحال توسعه به‌کارگیری مجدد این کابل‌ها در ایران از سال ۱۳۸۴ همراه با تولید آن در داخل کشور آغاز شد و طی سال‌های بعد گسترش پیدا کرد.

در حال حاضر بر اساس آمار منتشر شده ازسوی شرکت مادر تخصصی توانیر میزان استفاده از کابل‌های-خودنگه‌دار در شبکه‌های توزیع فشار ضعیف تا پایان سال ۱۳۹۶ حدود ۳۴/۴ درصد از کل شبکه هوایی فشار ضعیف کشور می‌باشد. مقادیر مربوط به سطح کشور و همچنین استان سمنان در جدول ۱-۱ ذکر شده است.

جدول(۱-۱) : میزان استفاده از کابل خودنگه‌دار در سطح کشور و استان سمنان[۱]

شرکت توزیع نیروی برق	هوایی خود نگه‌دار (کیلومتر)	هوایی غیرخود نگه-دار (کیلومتر)	جمع هوایی کل (کیلومتر)	سهم خود نگه‌دار به کل (درصد)
سطح کشور	۱۰۷۷۸۴	۲۰۵۲۸۰	۳۱۳۲۶۴	۳۴/۴
استان سمنان	۸۹۷	۲۴۹۸	۳۳۹۵	۲۶/۴

کابل‌های خودنگه‌دار در مقایسه با سیم‌های مسی در عین حال که دارای مزایای قابل توجهی می‌باشند، معایب بزرگی نیز دارند. بنابراین مسأله اصلی این پژوهش، موضوع انتخاب بین کابل خود نگه‌دار و سیم مسی جهت انجام پروژه‌های احداث شبکه‌های توزیع فشار ضعیف با نگاه به اصل بهینه سازی هزینه هاست. بیان این واقعیت ضروری است که انتخاب مذکور نیاز به مطالعات کارشناسی و توجه دقیق به اهداف و رسالت‌های شرکت‌های توزیع نیروی برق دارد.

۱-۳- اهداف و ضرورت‌های پژوهش

در عصر حاضر با توجه به محدودیت منابع رویکرد کلیه صنایع از جمله صنعت برق به سمت کاهش هزینه‌ها و یا به بیان بهتر بهینه‌سازی هزینه‌هاست. در حوزه فعالیت‌های شرکت‌های توزیع نیروی برق نیز از آن جا که، از یک سو ضروری است با نگاه به اهداف و رسالت‌های تعریف شده حرکت نمایند(که مهم-ترین آن استمرار در تأمین و تحویل برق با کیفیت استاندارد به مشترکین است) و از سوی دیگر سهم عمده‌ای از هزینه‌های موجود در صنعت برق را دارا می‌باشند(با توجه به وسعت و گستردگی فراوان)، نیاز است تا حد امکان هرگونه اقدامی با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و رعایت اصل بهینه‌سازی هزینه‌ها صورت پذیرد.

در این میان موضوع انتخاب نوع هادی جهت احداث شبکه‌های توزیع از جمله مسائل مهمی است که می‌بایست با در نظر گرفتن شرایط فنی و غیرفنی تاثیرگذار در امر ملاحظات اقتصادی، در رابطه با آن تصمیم‌گیری شود.

هدف از این پژوهش نیز بهینه‌سازی هزینه‌های شرکت‌های توزیع در بخش احداث شبکه با نگاه به موضوع انتخاب نوع هادی در این پروژه‌ها می‌باشد.

۱-۴- محدوده و گستره پژوهش

با توجه به انتخاب موضوع این پژوهش با عنوان بهینه‌سازی هزینه‌های شرکت‌های توزیع در پروژه های احداث شبکه های برق‌رسانی، و همچنین با عنایت به کاربرد روزافزون کابل‌های خودنگه‌دار در خطوط فشار ضعیف، محدوده مورد نظر جهت مطالعه در این پژوهش شبکه‌های توزیع در سطح فشار ضعیف تعیین گردیده است. از طرفی جهت دریافت اطلاعات و داده‌های مربوط به حوادث و معایب چند سال

اخیر، نیاز به تعیین یک گستره مکانی خاص با درنظر داشتن پراکندگی این شبکه‌ها بود که به این منظور و همچنین با درنظر گرفتن سهولت در کسب داده‌های آماری، شهرستان میامی به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. سپس جهت بررسی هزینه‌های مربوط به شبکه‌های سیم مسی و کابل خودنگه‌دار، مقایسه میان آن‌ها در دو بخش هزینه‌های احداث و هزینه‌های بهره‌برداری صورت گرفته و محاسبات مرتبط با هر کدام انجام شده است.

فصل دوم : مروری بر ادبیات پژوهش

۲-۱- مقدمه

در این فصل دو موضوع مطالعات پیشینیان و مبانی پژوهش بررسی خواهد شد. مطالعات پیشینیان شامل بررسی مقالات مختلف خارجی و داخلی است که به پژوهش پیرامون جنبه های مختلف شبکه های توزیع مرتبط با موضوع این تحقیق پرداخته‌اند. تعدادی از مقالات که از حیث کاربرد در این تحقیق از اهمیت بیشتری برخوردار بودند؛ به صورت مفصل‌تر و در مورد سایر مقالات، تنها به اشاره مختصری اکتفا شده است. در بخش مبانی پژوهش نیز، خلاء موجود در پژوهش‌های صورت گرفته و همچنین روند انجام مراحل این تحقیق بیان شده است.

۲-۲- پیشینه تحقیقات

در پژوهش‌هایی که در این بخش مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، عمدتاً به بررسی شاخص‌های فنی و غیرفنی شبکه‌های توزیع در سطح فشار متوسط پرداخته شده و شبکه‌های فشار ضعیف سهم اندکی از آن‌ها را دارا می‌باشند. جهت نظم بخشیدن به روند مرور پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه، طبقه بندی آن‌ها بر اساس موضوعات ذیل انجام شد :

الف) محاسبه نرخ خرابی تجهیزات شبکه و بررسی تاثیر آن در ارزیابی شاخص قابلیت اطمینان

ب) بررسی شاخص‌های فنی و اقتصادی به‌کارگیری کابل‌های خودنگه‌دار

در این فصل مطالعات انجام شده در هریک از طبقات ذکر شده به صورت مجزا و خلاصه معرفی شده و فرآیند کاری آن‌ها بیان خواهد شد. لازم به ذکر است که این پژوهش‌ها جنبه عملی داشته و عمدتاً در راستای بهبود وضعیت عملکرد شبکه‌های توزیع، پیشنهاداتی ارائه نموده‌اند.

۲-۲-۱- محاسبه نرخ خرابی تجهیزات شبکه و بررسی تاثیر آن در ارزیابی شاخص قابلیت اطمینان

در این قسمت مطالعاتی بررسی خواهند شد که به موضوع محاسبه نرخ خرابی تجهیزات و نیز ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع مرتبط با این حوادث و خرابی‌ها پرداخته‌اند. پایش این نوع محاسبات امری است ضروری که در برنامه ریزی‌های آینده شرکت‌های توزیع کاملاً تاثیر گذار می‌باشد.

ژانگ و همکاران(۲۰۰۷)، در مقاله خود با نگاهی منحصربه‌فرد، پدیده پیری تجهیزات الکتریکی و همچنین مکانیزم‌های پیری مواد عایقی را با توجه به یک مدل کامل متشکل از طول عمر الکتریکی ـ مکانیکی ـ گرمایی این تجهیزات بررسی کرده‌اند. در مدل ارائه شده و از منظر احتمالات، براساس مدت زمان ممکن جهت بروز عیب در تجهیزات و داده‌های آماری مربوط به آن‌ها متغیرهای چگالی احتمال عیوب، نرخ عیوب و احتمال بروز عیوب در تجهیزات الکتریکی بررسی شده است. هدف، شناسایی ارتباط میان طول عمر، فشار الکتریکی، فشار مکانیکی، دما و همچنین تأثیر آن‌ها بر روی فرآیند پیری و نیز قابلیت اطمینان تجهیزات شبکه می‌باشد[۲].

همچنین اطلاعات حوادث سال‌های گذشته شبکه‌های توزیع در قالب یک جامعه آماری مخصوص جمع‌آوری شده و براساس اطلاعات موجود از فعالیت‌ها در شبکه‌های توزیع، مدلِ ارائه شده به عنوان الگویی مناسب از داده‌های آماری در دسترس، جهت ارزیابی بر مبنای احتمالات بررسی شده است. به عنوان نمونه اطلاعات تعدادی از تجهیزات الکتریکی مانند هادی‌ها، کابل‌ها، ترانسفورماتورها، بریکرها و... مطابق با این روش مورد ارزیابی قرار گرفته و طول عمر و قابلیت اطمینان با توجه به آن بررسی شده است.

در این پژوهش ابتدا مکانیزم‌های پیری تجهیزات الکتریکی مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۲-۱ نرخ خرابی تجهیزات الکتریکی را در دوره‌های مختلف عمر آن‌ها نشان می‌دهد.

شکل (۲-۱) : نمودار "وان حمامی" نشان دادن نرخ خرابی تجهیزات الکتریکی در دوره‌های مختلف عمر آن‌ها[۲].

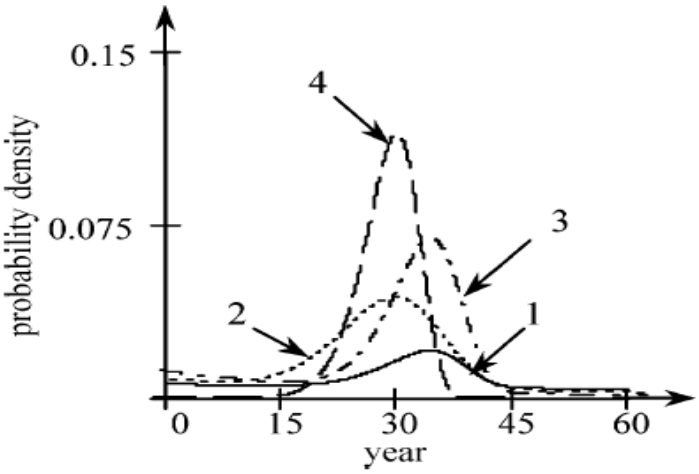
جدول ۲-۱ نیز آمار خرابی ۴ نوع از تجهیزات الکتریکی پرکاربرد در شبکه‌های توزیع را براساس تفکیک علل بروز عیب نمایش می‌دهد.

جدول (۲-۱) : توزیع عیوب در ۴ نوع تجهیز الکتریکی پر کاربرد[۲]

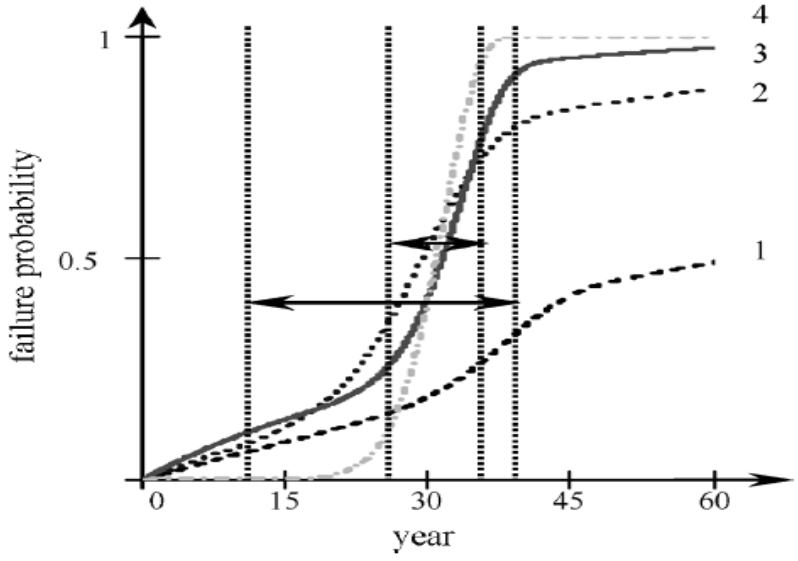
تجهیزات الکتریکی	نقطه بروز عیب	خطاهای تصادفی	خطاهای ناشی از پیری
خطوط هوایی	هادی‌ها (۶۷٪)	٪۹۰	٪۱۰
خطوط کابلی	کابل‌ها (۶۶٪)	٪۴۰	٪۶۰
پست ها	ترانسفورماتورها (۱۹٪)	٪۳۰	٪۷۰
کلیدها	بریکرها (۳۶٪)	٪۶۳	٪۹۰

در ادامه به یکپارچه‌سازی مدل‌های ارائه شده پرداخته و عملکرد آن‌ها را تحلیل کرده است. شکل ۲-۲ چگالی احتمال خرابی و شکل ۲-۳ احتمال خرابی تجهیزات بیان شده را نشان می‌دهد.

در پایان با توجه به تحلیل نمودارها و داده‌های آماری به دست آمده، راه‌حل‌هایی جهت افزایش طول عمر تجهیزات و کاهش عیوب ناشی از پیری آن‌ها ارائه شده است.



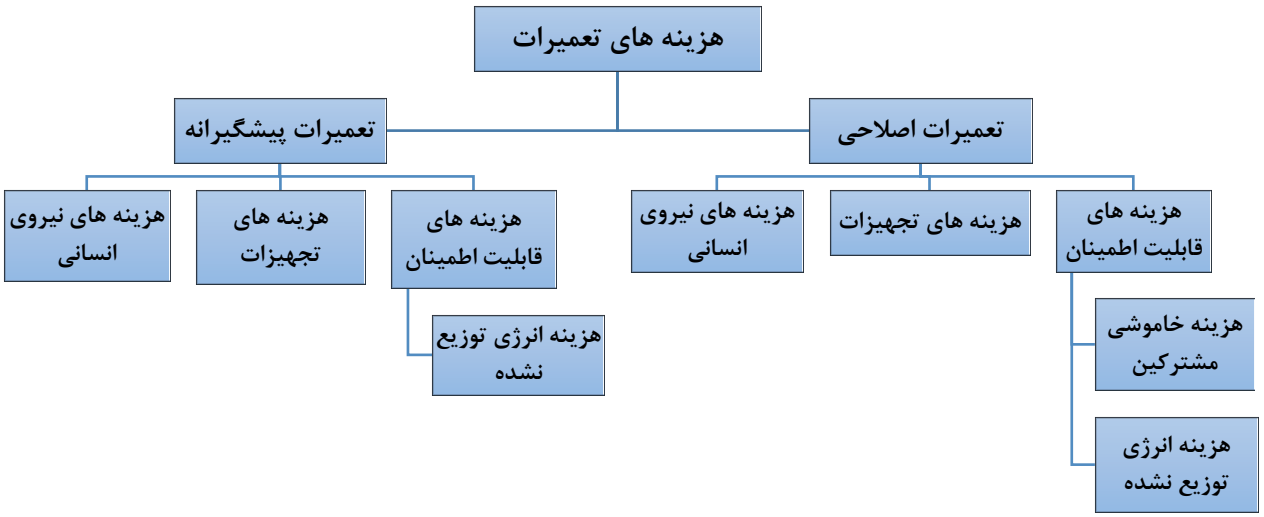
شکل (۲-۲) : چگالی احتمال حوادث : ۱- هادی‌ها، ۲- کابل‌ها، ۳- ترانسفورماتورها، ۴- بریکرها[۲].



شکل(۲-۳) : احتمال بروز حوادث : ۱- هادی‌ها، ۲- کابل‌ها، ۳- ترانسفورماتورها، ۴- بریکرها[۲].

مرادخانی و همکاران(۲۰۱۳)، به بررسی نقش وجود یک برنامه تعمیراتی بر مبنای استراتژی مدیریت دارایی‌ها در خطوط هوایی جهت کاهش عیوب و در نتیجه افزایش قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع پرداخته‌اند. براساس این برنامه مدلی جهت بررسی نرخ بروز عیب در تجهیزات شبکه که بتواند تأثیر تعمیرات پیشگیرانه را با توجه به هزینه‌های صرف شده و سایر عوامل مؤثر نشان دهد، ارائه شده است[۳].

در این مقاله ابتدا اهمیت مدل کردن نرخ خرابی تجهیزات جهت برنامه‌ریزی تعمیرات خطوط هوایی مطابق با فرآیند مدیریت دارایی‌ها بیان شده است. یعنی با توجه به این که در فرآیند مدیریت دارایی‌ها برنامه‌ریزی جهت تعمیرات پیشگیرانه براساس مصالحه میان هزینه‌های قابلیت اطمینان و پذیرش سطح قابل قبولی از ریسک در شبکه‌ها صورت می‌گیرد، هزینه‌های خرابی تجهیزات براساس مدل ارائه شده محاسبه و با هزینه‌های صرف شده در فرآیند تعمیرات پیشگیرانه مقایسه شده است. در شکل ۲-۴ ، هزینه‌های بخش‌های مختلف مربوط به تعمیرات شامل هزینه‌های تعمیرات پیشگیرانه و اصلاحی نشان داده شده است.



شکل (۲-۴) : بخش‌های تشکیل دهنده هزینه‌های تعمیرات سیستم‌های توزیع[۳].

در پایان نیز جهت ارزیابی برنامه تعمیراتی ارائه شده یک نمونه مطالعاتی واقعی شامل اطلاعات ۵ سال اخیر ۹ عدد از فیدرهای توزیع مورد بررسی قرار گرفته که با توجه به این مطالعه مشخص شده است عواملی مانند طول فیدر، سن شبکه، میزان بارگذاری، سرعت باد منطقه و تاریخ آخرین تعمیرات به عنوان عواملی مؤثر در ارائه مدل نرخ خرابی‌ها نقش دارند. پس از تحلیل داده‌ها و شبیه‌سازی‌ها، نتایج آن در قالب نمودارها و جداول ارائه شده است.

در پژوهشی که توسط چا و همکاران(۲۰۱۰)، انجام شده جهت محاسبه نرخ بروز عیوب متغیر با زمان شبکه‌های توزیع، ابتدا حوادث رخ داده در شبکه‌ها دسته‌بندی شده و نرخ خرابی متناظر با هر کدام معین شده است. به این ترتیب که دسته اول حوادث غیرمنتظره شامل نرخ خرابی ثابت و دسته دوم حوادثی که در نتیجه پیری شبکه رخ داده و شامل نرخ خرابی رو به افزایش است. جهت محاسبه هر کدام از نرخ‌های خرابی از توابع توزیع متناسب با آن استفاده شده است. بنابراین با توجه به خواص توابع توزیع، تابع توزیع نمایی جهت خرابی‌های غیرمنتظره و تابع توزیع وی‌بال جهت خرابی‌های ناشی از پیری شبکه در نظر گرفته شده است[۴].

در ادامه با استفاده از اطلاعات موجود از کدهای مدیریت حوادث شرکت توزیع برق کره(KEPCO) نرخ‌های خرابی به دست آمده است. در پایان نیز تأثیرات ناشی از جنبه‌های زیست‌محیطی و منطقه‌ای شامل میزان آلودگی موجود در هوای محلی، میزان گرد و غبار و... به خروجی نرخ‌های خرابی اضافه شده است.

لی در مطالعات خود در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ با استفاده از اطلاعات حوادث و خرابی‌های ناشی از پیری تجهیزات شبکه ابتدا به ارزیابی شاخص قابلیت اطمینان و سپس متوسط عمر تجهیزات سیستم قدرت با به‌کارگیری دو روش تابع توزیع نرمال و تابع توزیع وی‌بال پرداخته است. در مطالعه سال ۲۰۰۲ به کمک روش‌های مذکور به تشریح شاخص عدم دسترسی ناشی از حوادث و عیوب مرتبط با پیری تجهیزات و پیاده‌سازی آن در محاسبات قابلیت اطمینان پرداخته[۵] و در مطالعه سال ۲۰۰۴ سعی کرده

تا برخلاف روش‌های سنتی که تنها از اطلاعات به دست آمده از اجزای معیوب شبکه استفاده شده، داده-های به دست آمده از اجزای سالم و باقی‌مانده در شبکه نیز به کار گرفته شود[۶].

در روش توزیع نرمال به علت مشخصه خطی مدل جهت تخمین خروجی، روابط محاسباتی ساده به کار رفته در حالی که در روش توزیع وی‌بال تکنیک‌های بهینه‌سازی استفاده شده است. در نهایت نیز به عنوان نمونه مطالعاتی عملی تعداد ۱۰۰ نمونه راکتور، ترانسفورماتور و کابل زمینی به همراه اطلاعات مربوط به تعداد اجزای معیوب و سالم هر کدام مورد بررسی قرار گرفته تا مهر تأییدی بر نتایج به دست آمده باشد.

در مطالعه‌ای که توسط ورهو و همکاران(۲۰۰۵)، صورت گرفته؛ هدف، بهینه‌سازی هزینه‌های دوره‌ی عمر شبکه البته با در نظر گرفتن شاخص قابلیت اطمینان مطرح شده است. در واقع مصالحه میان هزینه‌های دوره عمر و شاخص قابلیت اطمینان جهت دستیابی به درصد قابل قبولی از ریسک در شبکه. به بیان دیگر هدف، حداقل نمودن هزینه‌های کل، بدون نقض شرایط فنی است. در بیان پژوهشگران طراحی شبکه کار پیچیده‌ای بوده که انتخاب روشی بهینه هم در ساختار شبکه و هم در مسیر عبور شبکه ضروری است. نمونه‌های موجود جهت انتخاب ساختار شبکه شامل شبکه‌های هوایی لخت، هادی‌های روکش‌دار و کابل‌های زمینی و نمونه‌های مورد استفاده جهت مسیر عبور آن شامل مناطق صحرایی(دشت‌ها)، مناطق جنگلی و مسیرهای کناری جاده‌ها معرفی شده است[۷].

در این مقاله شبکه‌های هوایی لخت به عنوان نمونه اصلی در نظر گرفته شده و سایر نمونه‌ها به عنوان راه‌حل‌های جایگزین آن مطرح شده‌اند. جهت تعیین میزان کارآیی و بهره‌وری هر کدام، محاسبات مربوط به هزینه‌های شاخص‌های قابلیت اطمینان انجام شده و نتایج آن در جدول(۲-۲) نشان داده شده است.

پیش از تحلیل نتایج جهت محاسبه هزینه‌های سرمایه‌گذاری، فرضیات زیر در نظر گرفته شده :

- هزینه خطوط هادی روکش‌دار تقریباً ٪۱۵ بیشتر از خطوط هوایی لخت است.
- هزینه کابل‌های زمینی تقریباً ٪۷۵ بیشتر از خطوط هوایی لخت است.

ـ هزینه خطوط با سطح ولتاژ kv ۱ تقریباً ٪۲۵ کمتر از خطوط هوایی موجود است(شامل هزینه‌های ترانسفورماتورهای جایگزین).

در ادامه به بررسی نمونه‌ها پرداخته شده است. نمونه ۱(نمونه اصلی) شبکه موجود بوده که بخش اصلی آن خطوط هوایی لخت می‌باشد. نمونه ۲ به عنوان خطوط همراه با اتوماسیون بیشتر، به معنای به‌کارگیری قطع کننده‌های کنترل از راه دور بیشتر نسبت به نمونه اصلی است(۳۵ عدد قطع کننده در مقابل ۲۰ عدد). در ۲ نمونه جایگزین بعدی بخش اصلی خطوط شامل خطوط هادی‌های روکش‌دار و کابل‌ها است که در مناطق جنگلی واقع شده است. لازم به ذکر است در نمونه اصلی میزان ۴۳ کیلومتر از خطوط شامل هادی‌های روکش‌دار و یا کابل‌ها می‌باشد. در نمونه‌های ۵ و ۶ به صورت کلی خطوط شبکه براساس به‌کارگیری هادی‌های روکش‌دار و کابل‌ها است. در نمونه ۷، جهت تغذیه فرعی‌های با بار کمتر(در کل شامل ۱۸۳ کیلومتر) از خطوط با ولتاژ kv ۱ استفاده شده است. در نمونه ۸، ۳۳ کیلومتر از خطوط اصلی که شامل هادی‌های روکش‌دار می‌باشد از مناطق جنگلی عبور داده شده و در نمونه ۹، ۱۶ عدد قطع کننده کنترل از راه دور به آن اضافه شده است.

جدول (۲-۲) : بررسی شاخص‌های قابلیت اطمینان در نمونه‌های مختلف ساختار شبکه[۷].

نمونه	توضیحات نمونه‌ها	SAIFI	SAIDI	CAIDI	MAIFI
۱	شبکه هوایی لخت	۱,۴۱	۹۵	۶۷	۲۰,۵
۲	شبکه با اتوماسیون بیشتر	۱,۴۱	۷۷	۵۴	۲۰,۵
۳	هادی روکشدار در جنگل	۱,۳۲	۸۴	۶۴	۱۹,۴
۴	کابل در جنگل	۱,۲۹	۸۴	۶۵	۱۹,۰
۵	هادی روکشدار	۰,۹	۳۵	۳۹	۱۱,۹
۶	کابل	۱,۰۲	۴۹	۴۸	۰,۰
۷	خطوط 1kv	۱,۰۴	۶۷	۶۵	۱۶,۰
۸	خطوط 1kv + هادی روکشدار در جنگل	۰,۹۷	۵۹	۶۱	۱۵,۲
۹	خطوط 1kv + هادی روکشدار در جنگل + اتوماسیون بیشتر	۰,۹۷	۵۴	۵۶	۱۵,۲

در پایان با توجه به تحلیل و مقایسه شاخص‌های محاسبه شده نتایجی به شرح ذیل ارائه شده است:

- به‌کارگیری اتوماسیون بیشتر در بهبود شاخص‌های SAIDI و CAIDI تأثیرگذار بوده ولی میزان این تأثیر زیاد نیست که علت آن بالا بودن سطح استفاده از اتوماسیون در نمونه اصلی است.
- استفاده از خطوط هادی‌های روکش‌دار و کابل‌ها در مناطق جنگلی، به عنوان یک راه‌حل ارزان جهت تقویت قابلیت اطمینان مطرح شده است.
- گرچه به‌کارگیری هادی‌های روکش‌دار و یا کابل‌ها در تمام طول شبکه بسیار گران‌قیمت است؛ ولی از نقطه‌نظر شاخص قابلیت اطمینان کاملاً سودمند می‌باشد.
- همچنین استفاده از خطوط سطح ولتاژ kv ۱ در فرعی‌هایی با بار کمتر هم از منظر اقتصادی و هم از منظر قابلیت اطمینان مفید است.

۲-۲-۲- بررسی شاخص‌های فنی و اقتصادی به‌کارگیری کابل‌های خودنگه‌دار

در این قسمت به تحقیقاتی اشاره خواهد شد که به بررسی کابل‌های خود نگه‌دار از منظر فنی و اقتصادی پرداخته و مزایا و معایب این نوع از شبکه‌ها را بیان می‌کنند.

اولیویرا و همکاران(۱۹۹۶)، در پژوهش خود مزایای کابل‌های خودنگه‌دار شامل امکان استفاده در فضاهای محدود، مناطق مشجر و خیابان‌های باریک، همچنین ایمنی پرسنل و تداوم برق‌رسانی را به عنوان عوامل مؤثر جهت هدایت بهره‌برداران برزیلی در به‌کارگیری این نوع کابل‌ها برشمرده‌اند؛ ولی در عین حال بیان داشته‌اند یکی از نقاط ضعف اصلی کابل‌های خودنگه‌دار، لایه نیمه هادی خارجی بوده که وظیفه کنترل میدان‌های الکتریکی، تخلیه جریان عایقی از طریق هادی مسنجر به زمین و مقاومت در برابر ساییدگی را بر عهده داشته که گاهاً در مواجهه با حوادث مختلف شبکه، عملکرد غیرمنتظره‌ای از خود نشان می‌دهد[۸].

در این پژوهش نتایج یک کار مطالعاتی بر روی مواد نیمه هادی و بررسی رفتار گرمایی و الکتریکی آن‌ها از طریق اندازه‌گیری کمیت‌های مقاومت الکتریکی، ثابت دی‌الکتریک و حرارت ذوب مربوط به آن‌ها به تحریر درآمده است. در نهایت نتایج حاصل شده منجر به تدوین مجموعه‌ای از الزامات جهت تعیین خصوصیات لایه نیمه هادی شده و همچنین یک طرح پیشنهادی به این مضمون که حداکثر مقدار در نظر گرفته شده جهت مقاومت الکتریکی لایه نیمه هادی خارجی برابر با ۱۰۰ Ω.cm باشد که جهت اصلاح استانداردهای ملی مرتبط با کابل‌های خودنگه‌دار ارائه شده است.

در پژوهشی که توسط روشن میلانی(۱۳۸۸)، با هدف شناسایی و بررسی شبکه‌های هوای عایق شده صورت گرفته مزایای شبکه‌های عایق شده از جمله کابل های خودنگه‌دار و معایب موجود در شبکه‌های لخت که به عنوان دلایل استفاده از شبکه‌های عایق شده شناخته شده مطرح و همچنین پیرامون ساختار شبکه‌های عایقی بحث شده است. در ادامه اصول طراحی این نوع شبکه ها با در نظر گرفتن شاخص های فنی از جمله محاسبات کشش و فلش سیم، معادله تغییر وضعیت، محاسبات نیروهای وارده بر پایه ها و ... به تشریح بیان شده است. در نهایت به بحث پیرامون نتایج حاصله پرداخته شده و پیشنهاداتی در راستای ادامه مسیر پژوهش ارائه شده است[۹].

حال پس از آشنایی کلی با برخی از مطالعات صورت گرفته در این زمینه، کمبود پژوهشی که به ارزیابی وضعیت کابل‌های خودنگه‌دار در سطح فشار ضعیف و مقایسه بهره‌وری و کارایی آن‌ها نسبت به شبکه‌های سیمی پرداخته باشد؛ بیشتر احساس می‌شود. لذا با انجام این پژوهش، امید است بتوان خلأ موجود در این بخش را تا حدی جبران نمود.

۲-۳- مبانی پژوهش

پس از ارزیابی پژوهش‌های انجام شده مشاهده می‌شود اکثر این پژوهش‌ها به بررسی شاخص‌های فنی و غیرفنی شبکه‌های توزیع در سطح فشار متوسط پرداخته‌اند، در صورتی‌که در بحث کابل‌های خود نگه‌دار و بررسی شاخص‌های مربوط به این کابل‌ها با توجه به کاربرد بخش عمده آن‌ها در سطح فشار ضعیف، نیاز است تا سهم پژوهش‌هایی این چنین در این سطح بیشتر باشد.

در این پژوهش سعی شده جهت تعیین میزان بهره‌وری کابل‌های خودنگه‌دار و همچنین بهینه سازی هزینه‌های شبکه‌ها توزیع، مقایسه‌ای میان انواع شبکه‌ها شامل سیم‌های مسی(به عنوان نمونه اصلی) و کابل‌های خودنگه‌دار در سطح فشار ضعیف انجام شود. روند مطالعه به این صورت است که جهت انجام مقایسه اقتصادی، هزینه‌های هرکدام از انواع شبکه‌ها در دو بخش کلی هزینه‌های احداث و هزینه‌های بهره‌برداری محاسبه شده است. لازم به ذکر است هزینه‌های بهره‌برداری از طریق محاسبه هزینه‌های دوره عمر شامل هزینه‌های تعمیرات و هزینه‌های خاموشی‌ها حاصل شده است.

در بخش محاسبه هزینه‌های بهره‌برداری سیر تکاملی مسیرهای طی شده جهت استخراج صحیح و کامل اطلاعات مربوط به حوادث، از داده‌های موجود در سامانه‌ی ثبت حوادث و خاموشی های شرکت تشریح شده است. مسیرهایی که به دلایل مختلف از جمله نقص در اطلاعات مورد نیاز، نقص در نوع ثبت حوادث و... به نتیجه نرسیده است.

فصل سوم: روش پژوهش

۳-۱- مقدمه

وابستگی گسترده جوامع امروزی به انرژی الکتریکی سبب شده تا قطع جریان برق خسارات سنگینی را به بخش‌های مختلف جامعه خصوصاً صنایع وارد کند و هزینه‌های این خسارات به گونه‌ای است که گاهاً تا ده‌ها برابر هزینه‌های خاموشی‌ها برآورد می‌شود. بررسی و تحلیل این موضوع شرکت‌های توزیع نیروی برق را برآن داشته تا به منظور کاهش بروز خاموشی‌ها و افزایش قابلیت اطمینان شبکه‌ها و خطوط توزیع، به استفاده از شبکه‌های هوایی عایق شده خصوصاً کابل‌های خودنگه‌دار روی آورند. هزینه‌های به کارگیری کابل‌های خودنگهدار در خطوط فشار ضعیف بر خلاف خطوط فشار متوسط نسبتاً ارزان بوده و همین امر موجب استقبال گسترده از آن‌ها در شبکه‌های فشار ضعیف شده است. بنابراین با توجه به این استقبال گسترده و سرمایه‌گذاری‌های وسیع در این زمینه، و همچنین با توجه به این نکته که بخش قابل توجهی از هزینه‌های صنعت برق به خطوط توزیع اختصاص یافته است، انتظار می‌رود اقدامات این چنینی همراه با بررسی جامع‌تر و مطالعات کارشناسی همراه باشد.

۳-۲- تعریف مسأله

رشد مصرف انرژی الکتریکی و افزایش تعداد و بار مصرفی مشترکین و همچنین لزوم پاسخگویی صنعت برق به این سطح از افزایش، موجب توسعه و گسترش خطوط توزیع برق شده است. احداث شهرک‌های جدید اطراف شهرها و حتی روستاها و افزایش فضای مسکونی آن‌ها، طی فواصل زمانی چند ساله، شاهدی بر این ادعاست. از طرفی با بررسی توسعه شبکه‌های توزیع در این گونه پروژه‌ها، روند رو به رشد استفاده از کابل‌های خودنگهدار(خصوصاً در سطح فشار ضعیف) قابل مشاهده است. بنابراین با توجه به این که این نوع کابل‌ها در مقایسه با شبکه‌های سنتی(لخت) دارای مزایا و معایب متعددی می‌باشند، مسأله‌ی اصلی در این پژوهش، موضوع انتخاب بین کابل‌های خودنگه‌دار و سیم‌های مسی در پروژه‌های

احداث شبکه‌های فشار ضعیف می‌باشد. بدین ترتیب سعی شده تا از منظر اقتصادی و اصل بهینه‌سازی هزینه‌ها، این موضوع مورد مطالعه قرار گرفته و تحت شرایط نسبتاً یکسان به مقایسه هزینه‌های هر کدام از انواع این شبکه‌ها پرداخته شود.

لازم به ذکر است جهت انجام هرگونه مقایسه میان هزینه‌های مربوط به شبکه‌های فشار ضعیف سیم مسی و کابل خودنگه‌دار، ضروری است این مقایسه در دو بخش هزینه‌های احداث و هزینه‌های بهره-برداری صورت پذیرد. در نهایت با تجمیع این دو بخش، هزینه‌های مربوط به هر کدام از انواع شبکه‌ها مشخص می‌شود.

۳-۳- قلمرو پژوهش

این پژوهش از لحاظ زمانی مربوط به بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷ می‌باشد، از لحاظ درجه کنترل میدانی است یعنی براساس جمع‌آوری آمار از رخ‌دادهای فضای بیرونی و واقعی شکل گرفته است، به لحاظ منطقه و وسعت مکانی مربوط به حوزه شهرستان میامی و به لحاظ موضوعی، کاربردی است.

۳-۴- جامعه آماری

جامعه به عنوان همه عناصری تعریف می‌شود که دارای یک یا چند ویژگی مشترک هستند و امکان انتخاب آن‌ها برای مطالعه وجود دارد. در واقع عنصر، شیء یا فردی است که عمل اندازه‌گیری در مورد آن انجام می‌شود. و جامعه همه عناصر(یا مشاهده‌های قابل درک) را که با مسأله پژوهش ارتباط و مناسبت داشه باشند، در بر می‌گیرند[۱۰].

جامعه آماری پژوهش حاضر، کلیه خطوط توزیع فشار ضعیف در شهرستان میامی می‌باشد. ویژگی مشترک آن‌ها سطح ولتاژ آن‌هاست.

۳-۵- فضای نمونه

فضای نمونه، شامل مجموعه‌ای از واحدهای نمونه‌برداری است که از چارچوب جامعه آماری استخراج می-شود. داده‌های آزمایش از روی عناصر فضای نمونه به دست می‌آیند و برای توصیف جامعه یا استنباط در رابطه با آن به کار می‌روند[۱۰].

فضای نمونه پژوهش حاضر، خطوط توزیع فشار ضعیف شهرستان میامی، احداث شده در بازه زمانی سال-های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۴ می‌باشد.

۳-۶- نحوه جمع‌آوری اطلاعات

همانگونه که اشاره شد عمل مقایسه میان هزینه‌های مربوط به شبکه‌های فشار ضعیف در دو بخش هزینه‌های احداث(سرمایه‌گذاری) و هزینه‌های بهره‌برداری انجام می‌شود که نحوه انجام محاسبات مربوط به هرکدام در این قسمت توضیح داده خواهد شد. همچنین در این پژوهش با استفاده از روش توزیع نرمال حوادث شبکه‌های نمونه(استخراج شده از فضای نمونه) مدل‌سازی شده و به کمک آن عمر مفید هرکدام از انواع شبکه‌ها تا قبل از اولین خرابی منجر به تعمیرات محاسبه شده است.

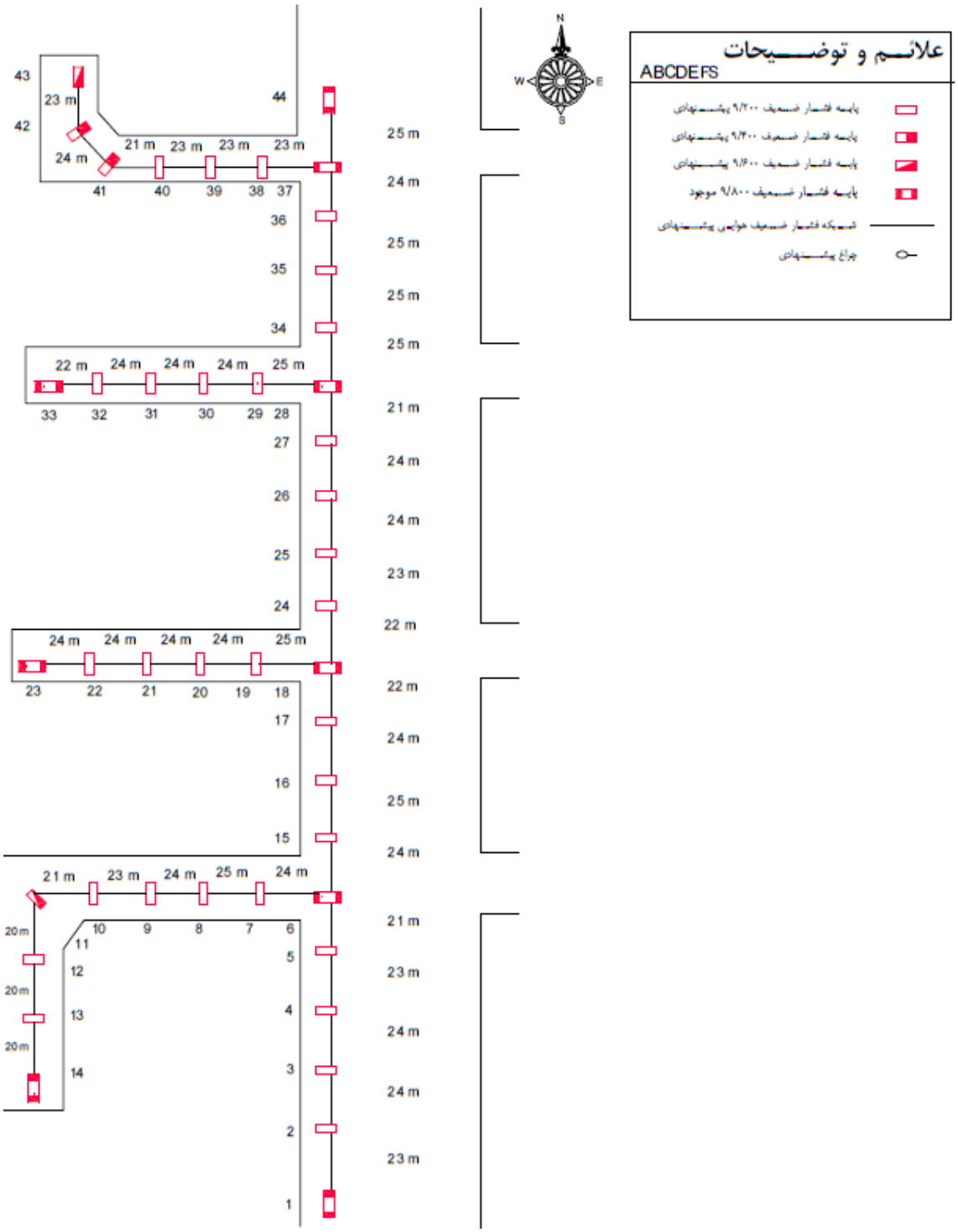
۳-۶-۱- هزینه های احداث

جهت محاسبه هزینه‌های احداث شبکه‌های فشار ضعیف سیم مسی و کابل خودنگه‌دار نیاز است تا تمامی تجهیزات و یراق آلات به کار رفته در اجرای آنها به صورت کامل و دقیق مشخص شود. نکته مهم در محاسبه هزینه‌های احداث، مشابهت در طرح های احداث شبکه‌های کابل خودنگه‌دار و سیم مسی است تا بتوان با یکسان سازی شرایط، مقایسه را به صورت صحیح‌تر انجام داد. بدین منظور واحد طول و متراژ مورد نظر در طرح احداث هر کدام از شبکه های مذکور میزان یک کیلومتر درنظر گرفته شد. در نتیجه طرح احداث یک کیلومتر از هر یک از شبکه‌ها به صورت کامل شناسایی و ترسیم شد تا بر مبنای طرح

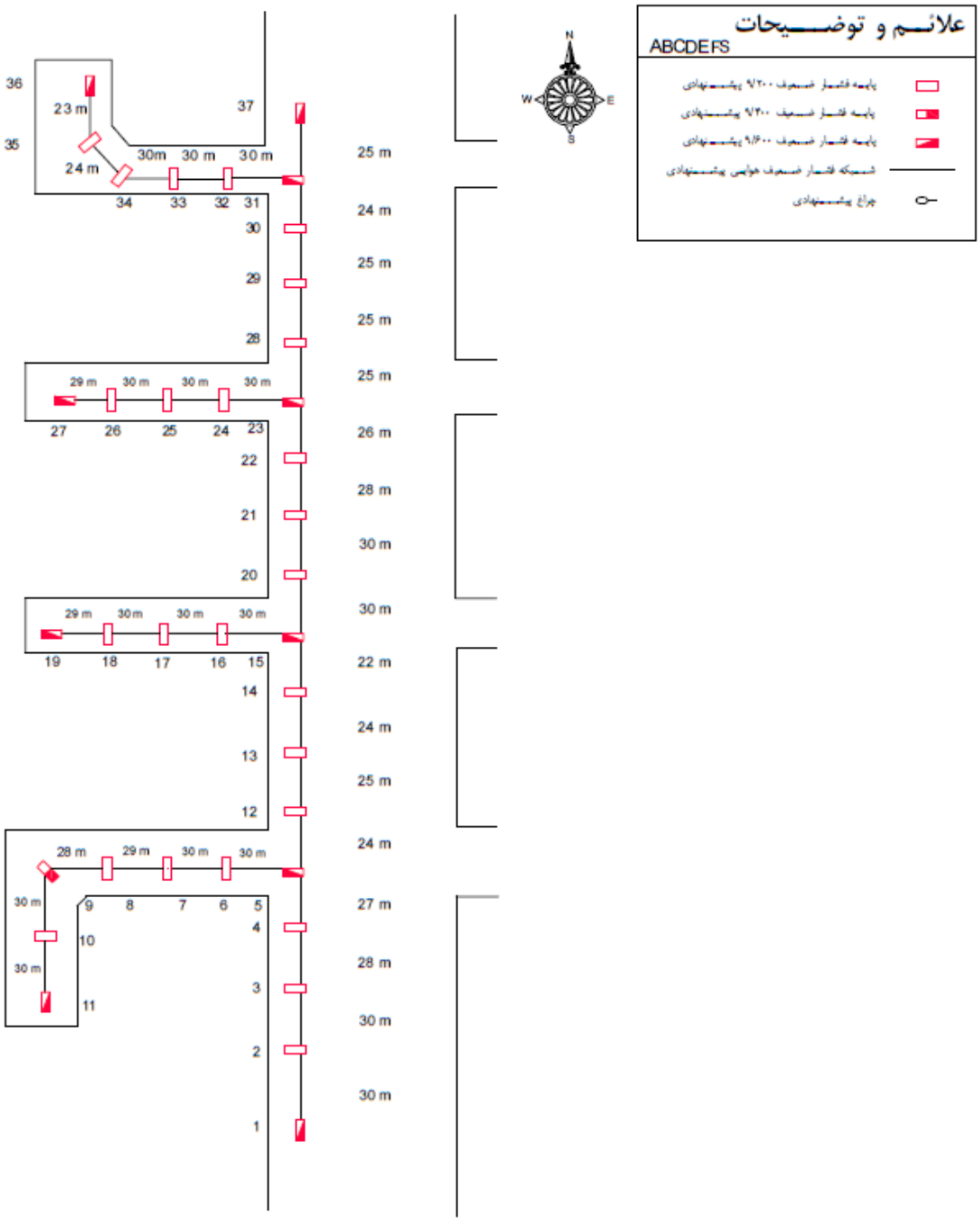
بدست آمده و همچنین مطابق با فهرست بهای سال ۹۷ شرکت توزیع نیروی برق سمنان، هزینه های آن ها محاسبه گردد. شکل‌های(۳-۱) و (۳-۲) طرح احداث شبکه‌های فشار ضعیف سیم مسی و کابل خودنگه دار را در یک منطقه فرضی مشخص که شامل یک خیابان اصلی و تعدادی کوچه می‌باشد نشان می‌دهد. در طراحی شبکه‌های فشار ضعیف، شبکه سیمی با سطح مقطع ۱۶+ ۲۵*۴ و کابل خودنگه‌دار معادل آن با سطح مقطع ۲۵+ ۲۵+۵۰+۵۰*۳ در نظر گرفته شد.

لازم به ذکر است با توجه به وجود نقاط زاویه‌ای، عبوری و انتهایی در طراحی شبکه‌ها به منظور انجام محاسبات شبکه و برآورد پارامترهایی از قبیل: تعداد پایه‌ها، قدرت پایه‌ها، طول اسپن‌ها، فلش خطوط و... از نرم افزار محاسبات مکانیکی شرکت توزیع برق سمنان استفاده شده است.

در انتها پس از مشخص شدن میزان کالای مصرفی هر کدام از انواع شبکه‌های مورد مطالعه، جداول مربوط به محاسبات هزینه‌های احداث، با درنظرگرفتن سایر فاکتورهای دخیل در امر محاسبات شامل: هزینه‌های اجرا، دستمزد نصب و همچنین هزینه‌های ماشین آلات تکمیل شد.



شکل(۳-۱) : طرح احداث شبکه سیم مسی با سطح مقطع ۱۶+۲۵*۴



شکل(۳-۲) : طرح احداث شبکه کابل خودنگه‌دار با سطح مقطع ۳*۵۰+۵۰+۲۵+۲۵

۳-۶-۲- هزینه‌های بهره‌برداری

گام دوم در مقایسه هزینه‌ها بررسی هزینه‌های بهره‌برداری است که با عنوان هزینه‌های تعمیرات و نگه-داری خطوط و شبکه‌ها مطرح می‌شود. جهت محاسبه هزینه‌های بهره‌برداری نیاز است تا هزینه‌های تعمیرات و نگه‌داری مربوط به دوره عمر هرکدام از انواع شبکه‌ها به صورت کامل مطالعه شود. از آن جایی که احداث کابل‌های خودنگه‌دار در جامعه آماری این پژوهش از حدود سال ۱۳۹۰ شروع شده و متعاقباً به پایان دوره عمر خود نرسیده است، بنابراین داده‌های مربوط به دوره عمر به صورت کامل در اختیار نیست. همچنین با توجه به این نکته که در محاسبه‌ی هزینه‌های بهره‌بردرای می‌بایست سال احداث شبکه‌های سیم مسی و کابل خودنگه‌دار در یک بازه‌ی زمانی محدود و نزدیک به یکدیگر انتخاب شود بنابراین داده‌های مربوط به دوره عمر شبکه‌های سیم مسی نیز به صورت کامل در دسترس نیست. در نتیجه هزینه‌های مذکور به ناچار از سال احداث تا سال جاری محاسبه شده است.

هزینه‌های تعمیرات و نگه‌داری شبکه‌ها در سطح فشار ضعیف، اغلب در قالب هزینه‌های تعمیرات اصلاحی(تعمیرات پس از وقوع حادثه) مطرح و از ۴ پارامتر زیر تشکیل شده است:

۱- هزینه نیروی انسانی

۲- هزینه ماشین‌آلات

۳- هزینه لوازم مصرفی

۴- هزینه خاموشی

همان‌گونه که ذکر شد جامعه آماری این پژوهش کلیه خطوط توزیع فشار ضعیف شهرستان میامی و فضای نمونه آن نیز خطوط فشار ضعیف احداث شده در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۴ می‌باشد. بنابراین با مشخص شدن جامعه آماری و فضای نمونه، تعدادی نمونه مطالعاتی به صورت تصادفی گزینش

شده است که این نمونه‌های انتخابی در واقع هرکدام فیدرهای فشار ضعیف و یا بخشی از فیدرهای فشار ضعیف موجود هستند.

پس از مشخص شدن نمونه‌ها، متراژ و طول هرکدام از آن‌ها تعیین گردیده است. سپس از طریق سامانه ۱۲۱(سامانه جامع ثبت حوادث و خاموشی‌های شبکه)، داده‌های مربوط به حوادث و معایب هر کدام از نمونه‌های مطالعاتی(از سال احداث تا سال جاری) مشخص شده و با توجه به داده‌های استخراج شده از سامانه ۱۲۱ و با استفاده از فهرست بهای تعمیرات سال ۹۷ شرکت، جمع هزینه‌های تعمیرات هر کدام شامل ۴ پارامتر اصلی برآورد شده است. در انتها با تقسیم عدد به دست آمده برای هر کدام از نمونه‌ها، بر مقدار طول و عمر آن، میزان هزینه‌های تعمیرات و نگهداری شبکه مورد نظر براساس معیار یک کیلومتر و همچنین یک سال محاسبه شده است.

۳-۶-۳- تحلیل حوادث شبکه‌های فشار ضعیف با استفاده از روش توزیع نرمال

در این قسمت با در اختیار داشتن اطلاعات حوادث و تعمیرات سال‌های اخیر شبکه‌های فشار ضعیف موجود در فضای نمونه پژوهش، به کمک روش توزیع نرمال، شاخص متوسط عمر مفید قبل از حادثه هر کدام از انواع شبکه‌های فشار ضعیف محاسبه شده است. در واقع شاخص عمر مفید قبل از حادثه به معنای میانگین عمر در حال کار خطوط و شبکه‌ها تا قبل از اولین حادثه منجر به تعمیرات است. دلیل تعریف چنین شاخصی ماهیت شبکه‌ها می‌باشد، زیرا در مدل توزیع نرمال، تجهیز معیوب پس از وقوع حادثه از بین رفته و تجهیز جدید جایگزین می‌شود. در حالی که در این پژوهش صِرف شبکه فشار ضعیف مد نظر است که پس ازحادثه، دچار اصلاح و تعمیرات می‌شود و نه جایگزینی.

تابع توزیع نرمال یا طبیعی از مهمترین توابعی است که در مباحث آمار و احتمالات مورد بررسی قرار می گیرد، چرا که به تجربه ثابت شده است که در دنیای اطراف ما توزیع بسیاری از متغیرهای طبیعی از همین تابع پیروی می کند. حوادث شبکه‌های توزیع نیز از جمله همین متغیرهاست. در واقع وقوع

حوادث در شبکه‌های توزیع به نحوی است که معمولاً شاخص عمر در اطراف یک مقدار مشخص تجمع بیشتری داشته و در مورد مقادیر کمتر و بیشتر از آن پراکندگی دارد.

تخمین عمر مفید تجهیزات و شبکه‌ها، علاوه بر کاربرد جهت ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه، اطلاعات سودمندی را در راستای قضاوت مهندسی در مورد وضعیت شبکه و سیاست‌های تعمیر و نگه‌داری آن‌ها در آینده در اختیار می‌گذارد.

مراحل محاسبه متوسط عمر مفید قبل از حادثه در شبکه‌های فشار ضعیف به شرح ذیل می‌باشد:

گام اول: جمع‌آوری داده‌های سال‌های در حال سرویس شبکه و اطلاعات حوادث مرتبط با آن

گام دوم: محاسبه‌ی سن(عمر) بخش‌های مختلف شبکه(گزینش شده از فضای نمونه)

گام سوم: تعیین تعداد سکشن‌های بدون تعمیر و تعمیر شده، در هر بخش از شبکه و برای هر سالِ عمر. بدیهی است برای سال‌های عمر کوچکتر تعداد سکشن‌های تعمیر شده کمتر است.

گام چهارم: محاسبه‌ی چگالی احتمال و سپس احتمال تجمعی حوادث متناظر با هر سال عمر. چگالی احتمال حوادث برابر است با نسبت تعداد سکشن‌های حادثه دیده به تعداد سکشن‌های بدون حادثه.

توجه به نکات زیر جهت تکمیل جدول مرتبط با این مرحله ضروری است:

- اگر در سال عمر ۱ ، حادثه‌ای رخ نداده باشد، در ردیف اول جدول داریم:
  - سال عمر برابر است با یک رقم کمتر از عمر اولین سکشن حادثه دیده.
  - احتمال تجمعی حادثه برابر است با ۰/۰۰۱ و نقطه متناظر آن روی محور طول برابر است با $-۳/۰۹۰۵$
- همچنین اگر در آخرین سال عمر، حادثه‌ای رخ نداده باشد، در ردیف آخر جدول داریم:
  - سال عمر برابر است با بزرگترین عمر در میان تمام اعضا.

- مقادیر احتمال تجمعی حادثه و نقطه متناظر آن روی محور طول نیز برابر است با مقادیر ردیف ما قبل آخر.

گام پنجم: محاسبه‌ی متوسط عمر مفید قبل از حادثه و انحراف معیار آن به کمک روش حداقل مربعات.

۳-۷- جمع‌بندی

در این فصل ابتدا به مرور مسأله اصلی پژوهش پرداخته شد و سپس نحوه تحلیل و بررسی مسأله مورد نظر جهت حصول نتیجه بیان شد. بدین ترتیب که جهت مقایسه اقتصادی شبکه‌ها، هزینه‌های مربوط به آن‌ها در ۲ بخش هزینه‌های احداث و هزینه‌های بهره‌برداری طرح و نحوه محاسبات هرکدام بیان شد. در نهایت چگونگی به کار گیری مدل توزیع نرمال جهت محاسبه شاخص میانگین عمر مفید قبل از حادثه مرتبط با هرکدام از انواع شبکه‌ها تشریح شد. در فصل آینده نیز نتایج مربوط به محاسبات پارامترهای فوق بیان خواهد شد تا ضمن بررسی نتایج، فرآیند مقایسه میان هزینه‌های شبکه‌ها تکمیل شود.

فصل چهارم: ارائه نتایج

۴-۱- مقدمه

در فصل گذشته نحوه انجام پژوهش و جمع‌آوری اطلاعات شامل محاسبات هزینه‌های شبکه در دو بخش هزینه‌های احداث و بهره‌برداری به صورت کامل ارائه شد. همچنین چگونگی محاسبه شاخص میانگین عمر مفید قبل از حادثه در شبکه‌های فشار ضعیف بیان شد. در این فصل نتایج مربوط به محاسبات به همراه جداول مقایسه‌ای و توضیحات تکمیلی و نیز آنچه که به منظور بهینه‌سازی هزینه‌ها در تحلیل فرآیند مقایسه میان انواع شبکه‌ها نیاز است، مطرح خواهد شد.

۴-۲- مقایسه هزینه‌های شبکه‌های فشار ضعیف

ابتدا نتایج مربوط به هزینه‌های احداث و سپس هزینه‌های بهره‌برداری بیان می‌شود. در پایان این بخش نیز به جمع‌بندی هزینه‌ها پراخته خواهد شد.

۴-۲-۱- هزینه‌های احداث

براساس طرح‌های احداث هرکدام از انواع شبکه‌های فشار ضعیف سیم مسی و کابل خودنگه‌دار، جدول هزینه‌های مرتبط با آن‌ها به شرح جدول‌های(۴-۱) و(۴-۲) می‌باشد:

جدول (۴-۱): هزینه‌های احداث شبکه سیم مسی

تجهیزات مصرفی	واحد	مقدار کل	کالا		سهم ماشین آلات		دستمزد نصب		جمع کل هزینه‌ها (ریال) (۱)+(۲)+(۳)
			بهای واحد	بهای کل (۱)	بهای واحد	بهای کل (۲)	بهای واحد	بهای کل (۳)	
سیم مسی (۱۶ و ۲۵)	کیلوگرم	۱۰۸۰	363000	۳۹۲،۰۴۰،۰۰۰	۳۰۰۰	۳۲۴۰۰۰۰	12000	۱۲،۹۶۰،۰۰۰	**۴۰۸،۲۴۰،۰۰۰**
پایه ۹/۲۰۰	اصله	۳۱	4148000	۱۲۸،۵۸۸،۰۰۰	574000	۱۷،۷۹۴،۰۰۰	767000	۲۳،۷۷۷،۰۰۰	**۱۷۰،۱۵۹،۰۰۰**
پایه ۹/۴۰۰	اصله	۲	5000000	۱۰،۰۰۰،۰۰۰	407000	۸۱۴،۰۰۰	960000	۱،۹۲۰،۰۰۰	**۱۲،۷۳۴،۰۰۰**
پایه ۹/۶۰۰	اصله	۱	6300000	6300000	773000	773000	1314000	1314000	**۸،۳۸۷،۰۰۰**
پایه ۹/۸۰۰	اصله	۱۰	7200000	72000000	677000	6770000	1151000	11510000	**۹۰،۲۸۰،۰۰۰**
راک ۲ خانه	عدد	۵۰	116000	۵،۸۰۰،۰۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	45000	۲،۲۵۰،۰۰۰	**۸،۲۰۰،۰۰۰**
راک ۳ خانه	عدد	۵۰	146000	۷،۳۰۰،۰۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	54000	۲،۷۰۰،۰۰۰	**۱۰،۱۵۰،۰۰۰**
مقره دو شیاره	عدد	۲۵۰	۹۰۰۰	۲۲۵۰۰۰۰	-	-	۲۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	**۲۷۵۰۰۰۰**
کلمپ مسی دو پیچه	عدد	۷۰	15000	۱،۰۵۰،۰۰۰	۵۰۰۰	۳۵۰۰۰۰	21000	۱،۴۷۰،۰۰۰	**۲،۸۷۰،۰۰۰**
کلمپ بی متال	عدد	۱۰	۸۲۰۰۰	۸۲۰۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰۰	24000	240000	**۱،۰۹۰،۰۰۰**
پیچ و مهره ۲۵۰*۱۴	عدد	۱۵۵	34000	۵،۲۷۰،۰۰۰	-	-	-	-	**۵،۲۷۰،۰۰۰**
پیچ و مهره ۳۰۰*۱۶	عدد	۷۰	43000	۳،۰۱۰،۰۰۰	-	-	-	-	**۳،۰۱۰،۰۰۰**
سر چراغ ۷۰ وات	دستگاه	۴۴	1750000	۷۷،۰۰۰،۰۰۰	68000	۲،۹۹۲،۰۰۰	240000	۱۰،۵۶۰،۰۰۰	**۹۰،۵۵۲،۰۰۰**
پایه چراغ ۶۰	عدد	۴۴	206000	۹،۰۶۴،۰۰۰	24000	۱،۰۵۶،۰۰۰	92000	۴،۰۴۸،۰۰۰	**۱۴،۱۶۸،۰۰۰**
لامپ ۷۰ وات	عدد	۴۴	230000	۱۰،۱۲۰،۰۰۰	-	-	-	-	**۱۰،۱۲۰،۰۰۰**
کابل ۱،۵*۲	متر	۱۵۰	17000	۲،۵۵۰،۰۰۰	1100	۱۶۵،۰۰۰	2300	۳۴۵،۰۰۰	**۳،۰۶۰،۰۰۰**
واشر مربعی	عدد	۴۰۰	3000	1200000	-	-	-	-	**1200000**
مصالح تیر ۹ متری	مورد	۴۴	-	-	-	-	1044300	۴۵،۹۴۹،۲۰۰	**۴۵،۹۴۹،۲۰۰**
جمع کل									**۸۸۸،۱۸۹،۲۰۰**

جدول (۴-۲) : هزینه‌های احداث شبکه کابل خود نگه دار

تجهیزات مصرفی	واحد	مقدار کل	کالا		سیم ماشین آلات		دستمزد نصب		جمع کل هزینه ها (ریال) (۱)+(۲)+(۳)
			بهای واحد	بهای کل (۱)	بهای واحد	بهای کل (۲)	بهای واحد	بهای کل (۳)	
کابل خودنگه‌دار ۳*۵۰	متر	۱۰۳۰	94000	۹۶،۸۲۰،۰۰۰	8000	۸،۲۴۰،۰۰۰	39000	۴۰،۱۷۰،۰۰۰	**۱۴۵،۲۳۰،۰۰۰**
پایه ۹/۶۰۰	اصله	۱۰	6300000	63000000	773000	7730000	1314000	13140000	**۸۳،۸۷۰،۰۰۰**
پایه ۹/۴۰۰	اصله	۱	5000000	5000000	407000	407000	960000	960000	**۶،۳۶۷،۰۰۰**
پایه ۹/۲۰۰	اصله	۲۶	4148000	۱۰۷،۸۴۸،۰۰۰	574000	۱۴،۹۲۴،۰۰۰	767000	۱۹،۹۴۲،۰۰۰	**۱۴۲،۷۱۴،۰۰۰**
پیچ دم خوکی	عدد	۴۳	50000	۲،۱۵۰،۰۰۰	۵۰۰۰	۲۱۵۰۰۰	18000	۷۷۴،۰۰۰	**۳،۱۳۹،۰۰۰**
کلمپ انتهایی	عدد	۱۴	۱۱۶۰۰۰	۱۶۲۴۰۰۰	۵۰۰۰	۷۰۰۰۰	47000	۶۵۸،۰۰۰	**۲،۳۵۲،۰۰۰**
کلمپ آویز	عدد	۲۹	55000	۱،۵۹۵،۰۰۰	۳۰۰۰	۸۷۰۰۰	34000	۹۸۶،۰۰۰	**۲،۶۶۸،۰۰۰**
کلمپ ارتباط	عدد	۳۵	۸۱۰۰۰	۲۸۳۵۰۰۰	۳۰۰۰	۱۰۵۰۰۰	26000	۹۱۰،۰۰۰	**۳،۸۵۰،۰۰۰**
پیچ و مهره ۱۴*۲۵۰	عدد	۵۲	34000	۱،۷۶۸،۰۰۰	-	-	-	-	**۱،۷۶۸،۰۰۰**
پیچ و مهره ۱۶*۳۰۰	عدد	۲۲	43000	۹۴۶،۰۰۰	-	-	-	-	**۹۴۶،۰۰۰**
سر چراغ ۷۰	دستگاه	۳۷	1750000	۶۴،۷۵۰،۰۰۰	68000	۲،۵۱۶،۰۰۰	240000	۸،۸۸۰،۰۰۰	**۷۶،۱۴۶،۰۰۰**
پایه چراغ ۶۰	عدد	۳۷	۲۰۶۰۰۰	۷۶۲۲۰۰۰	24000	۸۸۸،۰۰۰	92000	۳،۴۰۴،۰۰۰	**۱۱،۹۱۴،۰۰۰**
لامپ ۷۰	عدد	۳۷	230000	۸،۵۱۰،۰۰۰	-	-	-	-	**۸،۵۱۰،۰۰۰**
کابل ۲*۱۰۵	متر	۱۱۰	17000	۱،۸۷۰،۰۰۰	1100	۱۲۱،۰۰۰	2300	۲۵۳،۰۰۰	**۲،۲۴۴،۰۰۰**
کانکتور روشنایی	عدد	۷۴	38000	۲،۸۱۲،۰۰۰	۵۰۰۰	۳۷۰۰۰۰	19000	۱،۴۰۶،۰۰۰	**۴،۵۸۸،۰۰۰**
کانکتور مشترکین	عدد	۱۸۰	38000	۶،۸۴۰،۰۰۰	۵۰۰۰	۹۰۰۰۰۰	19000	۳،۴۲۰،۰۰۰	**۱۱،۱۶۰،۰۰۰**
واشر مربعی	عدد	۲۰۰	3000	600000	-	-	-	-	**600000**
مصالح تیر ۹ متری	مورد	۳۷	-	-	-	-	1044300	۳۸۶۳۹۱۰۰	**۳۸۶۳۹۱۰۰**
جمع کل									**۵۴۶،۷۰۵،۱۰۰**

همانگونه که مشاهده می‌گردد هزینه احداث یک کیلومتر شبکه فشار ضعیف سیم مسی با قطع ۱۶+۴*۲۵ معادل ۸۸۸،۱۸۹،۲۰۰ ریال و هزینه احداث یک کیلومتر کابل خودنگه‌دار با قطع ۳*۵۰+۵۰+۲۵+۲۵ معادل ۵۴۶،۷۰۵،۱۰۰ ریال می‌باشد.

۴-۲-۲- هزینه‌های بهره‌برداری

هزینه‌های تعمیرات و نگهداری نمونه‌های مطالعاتی گزینش شده از فضای نمونه پژوهش با توجه به اطلاعات حوادث هرکدام و همچنین براساس فهرست بهای تعمیرات به شرح ذیل می‌باشد:

جدول(۴-۳): هزینه‌های تعمیرات نمونه‌های شبکه سیم مسی

ردیف	آدرس	سال احداث	طول شبکه (متر)	نوع حادثه	هزینه تعمیرات* (ریال)
۱	میامی، روستای ابراهیم آباد علیا، فیدر فشار ضعیف به سمت شهرک جدید	۱۳۸۸	۶۰۰	-	-
۲	میامی، شهرک گلها، خیابان ششم	۱۳۹۰	۴۰۰	سیم پارگی به علت برخورد اشیا خارجی	۴۹۷۱۱۵
۳	میامی، شهرک امام، خیابان ابن یمین	۱۳۹۰	۱۹۰	-	-
۴	میامی، شهرک امام، خیابان شهید باهنر	۱۳۹۰	۱۷۰	-	-
۵	میامی، بلوار سعادت، خیابان ولایت	۱۳۹۰	۴۲۰	جدا شدن ارتباط سکشن	۴۱۳۰۶۰
۶	میامی، روستای ری آباد، فیدر فشار ضعیف به سمت مرغداری کریمی	۱۳۹۳	۲۹۲	-	-
جمع کل		-	-	-	**۹۱۵۲۱۵**

*هزینه هر کیلو وات ساعت انرژی توزیع نشده به ازای خاموشی‌های ناخواسته مبلغ ۵۰۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

جدول (۴-۴): هزینه‌های تعمیرات نمونه‌های کابل خودنگهدار

ردیف	آدرس	سال احداث	طول شبکه (متر)	نوع حادثه	هزینه تعمیرات* (ریال)
۱	میامی، روستای کلاته اسد، فیدر فشار ضعیف به سمت شهرک شمال روستا	۱۳۹۲	۶۱۰	جدا شدن ارتباط کابل خودنگه‌دار از شبکه	۴۱۲۷۲۰
۲	میامی، روستای شریف‌آباد، فیدر فشار ضعیف ورودی روستا	۱۳۹۴	۵۱۰	-	-
۳	میامی، روستای کوهان، فیدر فشار ضعیف به سمت منزل نوری	۱۳۹۴	۱۱۹	-	-
۴	میامی، روستای هونستان، فیدر فشار ضعیف به سمت منزل فیروزی	۱۳۹۴	۱۱۸	-	-
۵	میامی، شهرک امام، مسکن مهر خیرین، روبروی آب و فاضلاب	۱۳۹۴	۵۴۰	جدا شدن ارتباط کابل خودنگهدار از شبکه	۴۱۹۶۵۵
۶	میامی، روستای عباس‌آباد، خیابان آزادگان	۱۳۹۴	۱۹۵	-	-
جمع کل		-	-	-	**۸۳۲۳۷۵**

*هزینه هر کیلو وات بر ساعت انرژی توزیع نشده به ازای خاموشی‌های ناخواسته مبلغ ۵۰۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

همان گونه که ملاحظه گردید هزینه‌های تعمیرات و نگه‌داری شبکه‌های سیم مسی و کابل خودنگه‌دار مطابق با فهرست بهای تعمیرات سال ۹۷ مشخص گردید. جهت مقایسه بهتر میان هزینه‌های تعمیرات، در جدول (۴-۵)، متوسط هزینه‌های تعمیرات هرکدام از انواع شبکه‌ها در واحد یک کیلومتر و به ازای یک سال تعیین گردیده است:

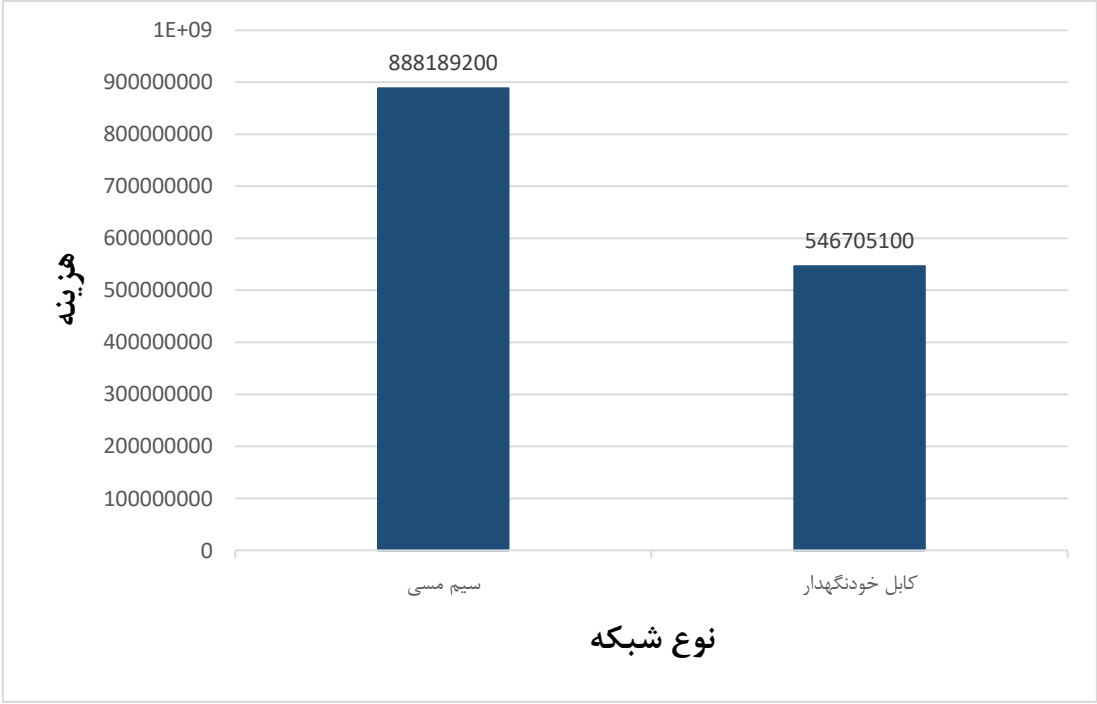
جدول(۴-۵) : مقایسه متوسط هزینه‌های تعمیرات

ردیف	نوع شبکه	**متوسط هزینه تعمیرات در ۱ کیلومتر و در ۱ سال** (ریال)
۱	سیم مسی	۵۴۱۵۴/۸
۲	کابل خودنگه‌دار	۸۶۸۱۴/۲

بنابراین مطابق با جدول(۴-۵)، هزینه‌های تعمیرات شبکه‌های سیم مسی به صورت متوسط در هر کیلومتر و در هر سال معادل ۵۴۱۵۴/۸ ریال و همچنین هزینه‌های تعمیرات شبکه‌های کابل خودنگه‌دار به صورت متوسط در هر کیلومتر و در هر سال معادل ۸۶۸۱۴/۲ ریال برآورد شده است.

۴-۲-۳- جمع‌بندی هزینه‌های شبکه

براساس نتایج محاسبات جهت انجام مقایسه میان هزینه‌های هر کدام از انواع شبکه‌ها، می‌توان هزینه‌های یاد شده را به صورت نمودارهای(۴-۱) و (۴-۲) بیان نمود:



نمودار (۴-۱) : مقایسه هزینه‌های احداث شبکه‌های سیم مسی و کابل خودنگه‌دار

نمودار (۴-۲) : مقایسه هزینه‌های بهره‌برداری شبکه‌های سیم مسی و کابل خودنگه‌دار (در ۱ کیلومتر و در ۱ سال)

۴-۳- شاخص عمر مفید شبکه‌های فشار ضعیف

نتایج محاسبات هزینه های احداث و بهره‌برداری هر کدام از شبکه سیم مسی و کابل خودنگه‌دار بیان شد. البته این محاسبات بدون در نظر گرفتن نقش مهم پارامتر عمر مفید هرکدام از شبکه‌ها صورت پذیرفت. در رابطه با این پارامتر از آن‌جا که هم در مراجع و مقالات معتبر صحبتی از میزان عمر مفید انواع شبکه-های فشار ضعیف به میان نیامده و هم از لحاظ فنی و تجربی با توجه به گذشت تنها چند سال از شروع به‌کارگیری کابل‌های خودنگه‌دار، گزارشی مبنی بر پایان عمر آن‌ها داده نشده است، در نتیجه اطلاعات جامع و کاملی جهت تخمین عمر مفید شبکه‌های فشار ضعیف در اختیار نیست.

۴-۴- هزینه‌های بازگشت سرمایه

از دیگر عوامل تأثیرگذار در محاسبات هزینه‌های شبکه‌های فشار ضعیف، درآمدهای حاصل از بازگشت سرمایه می‌باشد. با توجه به اختلاف قیمت مس و آلومینیوم، مقدار این پارامتر در هر یک از شبکه‌های مذکور متفاوت است. در این قسمت درآمدهای حاصل از برکناری شبکه های سیم مسی و کابل خودنگه-دار پس از گذشت یک دوره چند ساله و قبل از اتمام دوره عمر آن‌ها محاسبه گشته که نتایج این محاسبات در جدول‌های(۴-۶) و (۴-۷) ارائه شده است. لازم به ذکر است این محاسبات با فرض برکناری سالم کلیه اجناس، انجام شده است.

جدول (۴-۶) : محاسبات برکناری شبکه سیم مسی

تجهیزات مصرفی	واحد	مقدار کل	کالا		سهم ماشین آلات		دستمزد نصب		جمع کل هزینه ها (ریال) (۱) – (۲) + (۳)
			بهای واحد	بهای کل (۱)	بهای واحد	بهای کل (۲)	بهای واحد	بهای کل (۳)	
سیم مسی (۱۶ و ۲۵)	کیلوگرم	۱۰۸۰	۱۲۷۰۵۰	۱۳۷۲۱۴۰۰۰	۱۸۰۰	۱۹۴۴۰۰۰	۷۲۰۰	۷۷۷۶۰۰۰	**-127494000**
پایه ۲۰۰ / ۹	اصله	۳۱	۱۲۴۴۴۰۰	۳۸۵۷۶۴۰۰	۵۱۲۸۰۰	۱۵۸۹۶۸۰۰	۴۶۰۲۰۰	۱۴۲۶۶۲۰۰	**-8413400**
پایه ۴۰۰ / ۹	اصله	۲	۱۵۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰	۳۶۴۲۰۰	۷۲۸۴۰۰	۵۷۶۰۰۰	۱۱۵۲۰۰۰	**-1119600**
پایه ۶۰۰ / ۹	اصله	۱	۱۸۹۰۰۰۰	۱۸۹۰۰۰۰	۶۹۲۰۰۰	۶۹۲۰۰۰	۷۸۸۴۰۰	۷۸۸۴۰۰	**-409600**
پایه ۸۰۰ / ۹	اصله	۱۰	۲۱۶۰۰۰۰	۲۱۶۰۰۰۰۰	۶۰۶۰۰۰	۶۰۶۰۰۰۰	۶۹۰۶۰۰	۶۹۰۶۰۰۰	**-8634000**
راک ۲ خانه	عدد	۵۰	۳۴۸۰۰	۱۷۴۰۰۰۰	۱۸۰۰	۹۰۰۰۰	۲۷۰۰۰	۱۳۵۰۰۰۰	**-300000**
راک ۳ خانه	عدد	۵۰	۴۳۸۰۰	۲۱۹۰۰۰۰	۱۸۰۰	۹۰۰۰۰	۳۳۶۰۰	۱۶۸۰۰۰۰	**-420000**
مقره دو شیاره	عدد	۲۵۰	۴۵۰۰	۱۱۲۵۰۰۰	۰	۰	۱۲۰۰	۳۰۰۰۰۰	**-825000**
کلمپ مسی دو پیچه	عدد	۷۰	۵۲۰۰	۳۶۴۰۰۰	۱۸۰۰	۱۲۶۰۰۰	۳۴۸۰۰	۲۴۳۶۰۰۰	**2198000**
کلمپ بی متال	عدد	۱۰	۲۸۷۰۰	۲۸۷۰۰۰	۱۸۰۰	۱۸۰۰۰	۱۵۶۰۰	۱۵۶۰۰۰	**-113000**
پیچ و مهره ۲۵۰*۱۴	عدد	۱۵۵	۱۱۹۰۰	۱۸۴۴۵۰۰	۰	۰	۰	۰	**-1844500**
پیچ و مهره ۳۰۰*۱۶	عدد	۷۰	۱۵۰۵۰	۱۰۵۳۵۰۰	۰	۰	۰	۰	**-1053500**
سر چراغ ۷۰ وات	دستگاه	۴۴	۸۷۵۰۰۰	۳۸۵۰۰۰۰۰	۴۰۸۰۰	۱۷۹۵۲۰۰	۱۴۴۰۰۰	۶۳۳۶۰۰۰	**-30368800**
پایه چراغ ۶۰	عدد	۴۴	۶۱۸۰۰	۲۷۱۹۲۰۰	۱۴۰۰۰	۶۱۶۰۰۰	۵۵۰۰۰	۲۴۲۰۰۰۰	**316800**
لامپ ۷۰ وات	عدد	۴۴	۱۱۵۰۰۰	۵۰۶۰۰۰۰	۰	۰	۰	۰	**-5060000**
کابل ۲*۱,۵	متر	۱۵۰	۸۵۰۰	۱۲۷۵۰۰۰	۶۶۰	۹۹۰۰۰	۱۳۸۰	۲۰۷۰۰۰	**-969000**
جمع کل									**-184509600**

جدول (۴-۷) : محاسبات برکناری شبکه کابل خودنگه‌دار

تجهیزات مصرفی	واحد	مقدار کل	کالا		سیم ماشین آلات		دستمزد نصب		جمع کل هزینه ها (ریال) (۱) – (۲) + (۳)
			بهای واحد	بهای کل (۱)	بهای واحد	بهای کل (۲)	بهای واحد	بهای کل (۳)	
کابل خودنگهدار ۵۰ * ۳	متر	۱۰۳۰	۴۷۰۰۰	۴۸۴۱۰۰۰۰	۴۸۰۰	۴۹۴۴۰۰۰	۲۳۴۰۰	۲۴۱۰۲۰۰۰	**-19364000**
پایه ۶۰۰ / ۹	اصله	۱۰	۱۸۹۰۰۰۰	۱۸۹۰۰۰۰۰	۶۹۲۰۰۰	۶۹۲۰۰۰۰	۷۸۸۴۰۰	۷۸۸۴۰۰۰	**-4096000**
پایه ۴۰۰ / ۹	اصله	۱	۱۵۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰	۳۶۴۲۰۰	۳۶۴۲۰۰	۵۷۶۰۰۰	۵۷۶۰۰۰	**-559800**
پایه ۲۰۰ / ۹	اصله	۲۶	۱۲۴۴۴۰۰	۳۲۳۵۴۴۰۰	۵۱۲۸۰۰	۱۳۳۳۲۸۰۰	۴۶۰۲۰۰	۱۱۹۶۵۲۰۰	**-7056400**
پیچ دم خوکی	عدد	۴۳	۱۷۵۰۰	۷۵۲۵۰۰	۳۰۰۰	۱۲۹۰۰۰	۱۰۸۰۰	۴۶۴۴۰۰	**-159100**
کلمپ انتهایی	عدد	۱۴	۴۰۶۰۰	۵۶۸۴۰۰	۳۰۰۰	۴۲۰۰۰	۲۸۲۰۰	۳۹۴۸۰۰	**-131600**
کلمپ آویز	عدد	۲۹	۱۹۲۰۰	۵۵۶۸۰۰	۱۸۰۰	۵۲۲۰۰	۲۱۶۰۰	۶۲۶۴۰۰	**121800**
کلمپ ارتباط	عدد	۳۵	۲۸۳۵۰	۹۹۲۲۵۰	۱۸۰۰	۶۳۰۰۰	۱۵۶۰۰	۵۴۶۰۰۰	**-383250**
پیچ و مهره ۲۵۰*۱۴	عدد	۵۲	۱۱۹۰۰	۶۱۸۸۰۰	۰	۰		۵۲	**-618748**
پیچ و مهره ۳۰۰*۱۶	عدد	۲۲	۱۵۰۵۰	۳۳۱۱۰۰	۰	۰	۰	۰	**-331100**
سر چراغ ۷۰	دستگاه	۳۷	۸۷۵۰۰۰	۳۲۳۷۵۰۰۰	۴۰۸۰۰	۱۵۰۹۶۰۰	۰	۰	**-30865400**
پایه چراغ ۶۰	عدد	۳۷	۶۱۸۰۰	۲۲۸۶۶۰۰	۱۴۰۰۰	۵۱۸۰۰۰	۱۴۴۰۰۰	۵۳۲۸۰۰۰	**3559400**
لامپ ۷۰	عدد	۳۷	۱۱۵۰۰۰	۴۲۵۵۰۰۰	۰	۰	۵۵۰۰۰	۲۰۳۵۰۰۰	**-2220000**
کابل ۱۰۵*۲	متر	۱۱۰	۸۵۰۰	۹۳۵۰۰۰	۶۶۰	۷۲۶۰۰	۰	۰	**-862400**
کانکتور روشنایی	عدد	۷۴	۱۳۰۰۰	۹۶۲۰۰۰	۳۰۰۰	۲۲۲۰۰۰	۱۰۸۰۰	۷۹۹۲۰۰	**59200**
کانکتور مشترکین	عدد	۱۸۰	۱۳۰۰۰	۲۳۴۰۰۰۰	۳۰۰۰	۵۴۰۰۰۰	۱۰۸۰۰	۱۹۴۴۰۰۰	**144000**
جمع کل									**-62763398**

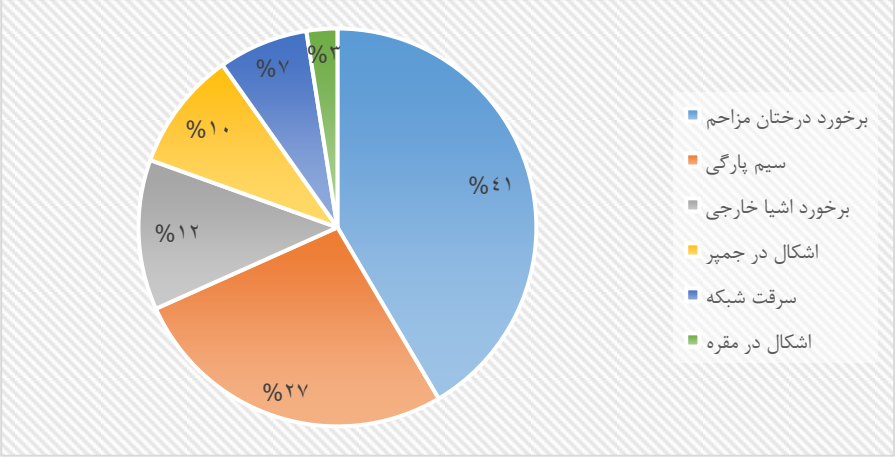
۴-۵- بررسی و تحلیل حوادث

جهت انجام مقایسه بهتر میان شبکه‌های سیم مسی و کابل خودنگه‌دار، اطلاعات مربوط به حوادث آن‌ها در سال ۹۷ دریافت شده است. جمع بندی کل حوادث و معایب شبکه فشار ضعیف شهرستان میامی در سال ۹۷ در جدول ۴-۸ قابل مشاهده است:

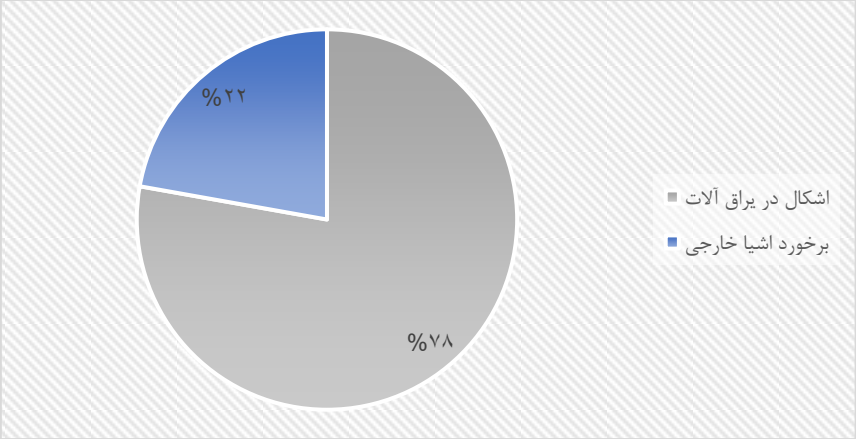
جدول(۴-۸) : جمع بندی حوادث و معایب شبکه فشار ضعیف میامی در سال ۹۷

نوع شبکه	تعداد کل معایب در سال ۹۷ (مورد)	نسبت معایب موجود به کل معایب شبکه
سیم مسی	۴۱	٪۸۲
کابل خودنگه‌دار	۹	٪۱۸

نتیجه بررسی حوادث فوق با در نظر گرفتن پارامتر علت حادثه مرتبط با هرکدام از انواع شبکه‌ها، در نمودارهای (۴-۳) و (۴-۴) ملاحظه می‌گردد:



نمودار (۴-۳) : نسبت علل حوادث در شبکه های سیم مسی(سال ۹۷)



نمودار (۴-۴) : نسبت علل حوادث در شبکه های کابل خود نگه‌دار(سال ۹۷)

در جدول(۴-۹) اطلاعات مربوط به طول کل شبکه فشار ضعیف هوایی شهرستان میامی تا پایان سال ۹۷ مطابق با داده‌های دفتر آمار و اطلاعات شرکت توزیع برق سمنان به تفکیک انواع شبکه سیم مسی و کابل خودنگه‌دار ارائه شده است:

جدول(۴-۹) : طول شبکه فشار ضعیف هوایی میامی تا پایان سال ۹۷

نوع شبکه	طول شبکه تا پایان سال۹۷ (کیلومتر)	نسبت طول شبکه موجود به طول شبکه فشار ضعیف
سیم مسی + کابل خودنگه‌دار	۳۵۴/۱	100 ٪
سیم مسی	۲۹۹/۹	84/7 ٪
کابل خودنگه‌دار	۵۴/۲	15/3 ٪

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد شبکه سیم مسی ٪ ۸۴/۷ از کل شبکه فشار ضعیف هوایی شهرستان را به خود اختصاص داده و از طرفی نسبت معایب و حوادث رخ داده در این شبکه‌ها ٪ ۸۲ از کل معایب در سال ۹۷ می‌باشد. در حالی‌که شبکه کابل خود نگه‌دار ٪ ۱۵/۳ از کل شبکه شهرستان را تشکیل می‌دهد و نسبت معایب آن نیز ۱۸٪ از کل معایب سال ۹۷ است.

۴-۶- مقایسه شبکه‌های فشار ضعیف با استفاده از روش توزیع نرمال

مراحل محاسبه متوسط عمر مفید قبل از حادثه جهت مقایسه شبکه‌های فشار ضعیف سیم مسی و شبکه‌های فشار ضعیف کابل خودنگه‌دار به ترتیب و به شرح ذیل انجام شده است:

۴-۶-۱- محاسبه شاخص متوسط عمر مفید قبل از حادثه در شبکه‌های سیم مسی

جدول(۴-۱۰) داده‌های مربوط به سال‌های در حال سرویس شبکه‌های فشار ضعیف سیم مسی(موجود در فضای نمونه) را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که داده‌های این جدول با استفاده از اطلاعات جدول(۴-۳) تکمیل شده است.

جدول (۴-۱۰): اطلاعات شبکه‌های فشار ضعیف سیم مسی براساس سال‌های سرویس‌دهی با حادثه و بدون حادثه

شماره سکشن	سال احداث	سال وقوع حادثه
۱	۱۳۸۸	-
۲	۱۳۸۸	-
۳	۱۳۸۸	-
۴	۱۳۸۸	-
۵	۱۳۸۸	-
۶	۱۳۸۸	-
۷	۱۳۹۰	-
۸	۱۳۹۰	-
۹	۱۳۹۰	-
۱۰	۱۳۹۰	۱۳۹۶
۱۱	۱۳۹۶	-
۱۲	۱۳۹۰	-
۱۳	۱۳۹۰	-
۱۴	۱۳۹۰	-
۱۵	۱۳۹۰	-
۱۶	۱۳۹۰	-
۱۷	۱۳۹۰	-
۱۸	۱۳۹۰	-
۱۹	۱۳۹۰	-
۲۰	۱۳۹۰	۱۳۹۷
۲۱	۱۳۹۰	-
۲۲	۱۳۹۷	-
۲۳	۱۳۹۰	-
۲۴	۱۳۹۰	-
۲۵	۱۳۹۳	-
۲۶	۱۳۹۳	-
۲۷	۱۳۹۳	-
۲۸	۱۳۹۳	-

در جدول(۴-۱۱) تعداد سکشن‌های حادثه دیده و بدون حادثه در هر سالِ عمر، به کمک اطلاعات جدول(۴-۱۰) معین گردیده است:

جدول (۴-۱۱): تعداد سکشن‌های حادثه دیده و بدون حادثه در هر سِن در شبکه‌های سیم مسی

سال عمر	تعداد در حال کار	تعداد از کار افتاده
۱	۲۸	–
۲	۲۷	–
۳	۲۶	–
۴	۲۶	–
۵	۲۶	–
۶	۲۱	۱
۷	۲۰	۱
۸	۱۹	–
۹	۶	–
۱۰	۶	–

به کمک روابط زیر ابتدا چگالی احتمال و سپس احتمال تجمعی حوادث، متناظر با هر سالِ عمر محاسبه می‌شود.

$$F_X(x) = P(x \le x) \qquad (۱-۴)$$

$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt \qquad (۲-۴)$$

$f(x)$ تابع چگالی احتمال و $F(x)$ تابع احتمال تجمعی حوادث است.

در رابطه با تابع چگالی احتمال توزیع نرمال با پارامترهای μ و σ^2 داریم:

$$f(x;\mu,\sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \qquad (۳-۴)$$

که μ عمر متوسط و σ انحراف معیار آن است.

همچنین در این مسأله جهت محاسبه چگالی احتمال حادثه و احتمال تجمعی آن از روابط زیر استفاده شده است :

$$f(x) = \frac{\text{تعداد سکشن های از کار افتاده}}{\text{تعداد سکشن های در حال کار}} \qquad (۴-۴)$$

$$F(z) = \int_{-\infty}^{z} f(t)dt \qquad (۵-۴)$$

همانطور که در رابطه (۴-۵) مشاهده می‌شود، احتمال تجمعی حوادث برابر با سطح زیر منحنی تابع چگالی احتمال حادثه از نقطه شروع تا نقطه z روی محور مختصات x می‌باشد. در هر سال عمر که حادثه رخ داده باشد با توجه به تعیین احتمال تجمعی حادثه مربوط به آن سال (از طریق تجمیع مقادیر چگالی احتمال حوادث مربوط به سال‌های قبل) می‌توان مقادیر z_i متناظر با هر سال عمر را به کمک عمل معکوس انتگرال از تابع چگالی نرمال به دست آورد. جهت سهولت در امر محاسبات می‌توان از جدول مقادیر احتمال تجمعی نرمال استاندارد (جدول z) نیز استفاده کرد.

بنابراین با توجه به توضیحات ارائه شده، جدول(۴-۱۲) به شرح ذیل تدوین می‌گردد:

جدول (۴-۱۲): مقادیر احتمال تجمعی حوادث مربوط به سکشن‌های حادثه دیده در شبکه‌های سیم مسی

سال عمر (سن)	احتمال تجمعی حوادث	z
۵	۰/۰۰۱	-۳/۰۹۰۵
۶	۰/۰۴۸۶	-۱/۶۶
۷	۰/۰۹۸۶	-۱/۲۹
۱۰	۰/۰۹۸۶	-۱/۲۹

پس از تکمیل جدول فوق، در این مرحله به کمک روش حداقل مربعات، مقادیر مربوط به شاخص متوسط عمر مفید قبل از حادثه(μ) و انحراف معیار(σ) محاسبه می‌گردد:

رابطه خطی زیر را داریم:

$$x_i = \mu + \sigma z_i + e_i \qquad (i = 1,2,\dots,n) \qquad (۶-۴)$$

که:

x_i : سال‌های عمر

z_i : مقادر متناظر روی محور مختصات x

e_i : میزان خطا جهت نشان دادن اختلاف هر جفت (x_i, z_i) از توزیع نرمال استاندارد

تابع L جهت نشان دادن مجموع مربعات خطاها ایجاد می‌شود:

$$L = \sum_{i=1}^{n}(x_i - \mu - z_i\sigma)^2 \qquad (۷-۴)$$

جهت محاسبه μ و σ داریم:

$$\frac{\partial L}{\partial \mu} = 0 \quad , \quad \frac{\partial L}{\partial \sigma} = 0$$

از آن جایی که پاسخ مجموعه‌ای از معادلات خطی است، راه حل تحلیلی به شرح زیر است:

$$\mu = \bar{x} - \sigma\bar{z} \qquad (۸-۴)$$

$$\sigma = \frac{S_{zx}}{S_{zz}} \qquad (۹-۴)$$

به این ترتیب که:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad \bar{z} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} z_i$$

$$S_{zx} = \sum_{i=1}^{n}(z_i - \bar{z})(x_i - \bar{x}) \qquad S_{zz} = \sum_{i=1}^{n}(z_i - \bar{z})^2$$

با توجه به روابط فوق و جدول(۴-۱۲)، مقادیر متوسط عمر مفید قبل از حادثه و انحراف معیار آن در شبکه‌های سیم مسی برابر است با:

$\mu = ۱۰/۳$ $\qquad$ $\sigma = ۱/۸$

۴-۶-۲- محاسبه شاخص متوسط عمر مفید قبل از حادثه در شبکه‌های کابل خودنگه‌دار

جهت محاسبه عمر متوسط شبکه‌های کابل خودنگه‌دار، مراحل ذکر شده در محاسبه این شاخص در شبکه‌های سیم مسی به صورت کامل تکرار شده که نتایج آن به شرح جداول ذیل می‌باشد:

جدول (۴-۱۳) : اطلاعات شبکه‌های فشار ضعیف کابل خودنگهدار براساس سال‌های سرویس‌دهی با حادثه و بدون حادثه

شماره سکشن	سال احداث	سال وقوع حادثه
۱	۱۳۹۲	–
۲	۱۳۹۲	–
۳	۱۳۹۲	–
۴	۱۳۹۲	۱۳۹۵
۵	۱۳۹۵	–
۶	۱۳۹۲	–
۷	۱۳۹۲	–
۸	۱۳۹۴	–
۹	۱۳۹۴	–
۱۰	۱۳۹۴	–
۱۱	۱۳۹۴	–
۱۲	۱۳۹۴	–
۱۳	۱۳۹۴	–
۱۴	۱۳۹۴	–
۱۵	۱۳۹۴	–
۱۶	۱۳۹۴	–
۱۷	۱۳۹۴	–
۱۸	۱۳۹۴	۱۳۹۶
۱۹	۱۳۹۶	–
۲۰	۱۳۹۴	–
۲۱	۱۳۹۴	–
۲۲	۱۳۹۴	–
۲۳	۱۳۹۴	–
۲۴	۱۳۹۴	–
۲۵	۱۳۹۴	–
۲۶	۱۳۹۴	–
۲۷	۱۳۹۴	–

جدول (۴-۱۴): تعداد سکشن‌های حادثه دیده و بدون حادثه در هر سن در شبکه‌های کابل خودنگهدار

سال عمر	تعداد در حال کار	تعداد از کار افتاده
۱	۲۷	–
۲	۲۷	۱
۳	۲۵	۱
۴	۲۳	–
۵	۵	–
۶	۵	–

جدول (۴-۱۵): مقادیر احتمال تجمعی حوادث مربوط به سن سکشن‌های حادثه دیده در شبکه‌های کابل خودنگه‌دار

سال عمر (سن)	احتمال تجمعی حوادث	z
۱	۰/۰۰۱	−۳/۰۹۰۵
۲	۰/۰۳۸	−۱/۷۸
۳	۰/۰۷۸	−۱/۴۲
۶	۰/۰۷۸	-۱/۴۲

با توجه به جدول(۴-۱۵)، مقادیر متوسط عمر مفید قبل از حادثه و انحراف معیار آن در شبکه‌های کابل خودنگه‌دار برابر است با:

$\mu = ۶/۸$ $\sigma = ۱/۹۷$

در جدول(۴-۱۶) مقایسه میان مقادیر شاخص متوسط عمر مفید قبل از حادثه در شبکه‌های فشار ضعیف سیم مسی و کابل خودنگه‌دار قابل مشاهده است:

جدول (۴-۱۶) : مقایسه شاخص متوسط عمر مفید قبل از حادثه در شبکه‌های فشار ضعیف

نوع شبکه	متوسط عمر مفید قبل از حادثه
سیم مسی	۱۰/۳
کابل خودنگه‌دارنده	۶/۸

۴-۷- جمع‌بندی

در این فصل ابتدا نتایج مربوط به محاسبات هزینه‌های احداث و بهره‌برداری شبکه‌های فشار ضعیف در قالب جداول مقایسه‌ای و نمودارها بیان شد. در ادامه اطلاعات تکمیلی جهت کمک به فرآیند مقایسه میان هزینه‌های مذکور ارائه گردید. در پایان نیز به کمک روش توزیع نرمال و از منظر شاخص متوسط عمر مفید قبل از حادثه، عملکرد هرکدام از انواع شبکه‌ها بررسی شد. در فصل آینده به تحلیل نتایج به دست آمده و ارائه پیشنهادات در خصوص آن‌ها پرداخته خواهد شد.

فصل پنجم: تحلیل نتایج

۵-۱- مقدمه

در فصل گذشته نتایج مربوط به محاسبات هزینه‌های احداث و بهره‌برداری، اطلاعات تکمیلی به منظور مقایسه بهتر میان هزینه‌ها و چگونگی استفاده از تابع توزیع نرمال جهت محاسبه متوسط عمر مفید قبل از حادثه ارائه شد. در این فصل به نتیجه‌گیری و تحلیل نتایج به دست آمده پرداخته و همچنین پیشنهادات در خصوص ادامه پژوهش بیان خواهد شد.

۵-۲- تحلیل نتایج مقایسه هزینه‌های شبکه

همانگونه که در نمودارهای(۱-۴) و (۲-۴) ملاحظه گردید، در بحث مقایسه میان هزینه‌های شبکه‌های فشار ضعیف، هزینه‌های احداث شبکه‌های سیم مسی در مقایسه با کابل خودنگه‌دار بالاتر بوده در حالی که هزینه‌های تعمیرات آن پایین‌تر محاسبه شده است. ولی این مقدار جهت پاسخ به مسأله اصلی این پژوهش که در واقع انتخاب گزینه مناسب به منظور بهینه‌سازی هزینه‌ها در پروژه‌های احداث شبکه‌های فشار ضعیف هوایی است، کافی نبوده و توجه به نکات مهمی که در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد، ضروری است.

۵-۲-۱- عمر مفید هر یک از شبکه‌های فشار ضعیف

یکی از عوامل تأثیرگذار در بررسی هزینه‌های شبکه، موضوع عمر مفید هر یک از آن‌هاست. همانگونه که در بخش ۴-۳ ذکر شد، در این پژوهش با توجه به محدودیت‌های موجود، عمر مفید شبکه‌های فشار ضعیف در نظر گرفته نشده است اما باید توجه داشت که این پارامتر نقش بسیار مهمی داشته که حتی می‌تواند نتیجه محاسبات را تحت تأثیر قرار دهد. به طور مثال اگر عمر مفید شبکه‌های سیم مسی دو برابر شبکه‌های کابل خودنگه‌دار فرض شود، بنابراین در محاسبه هزینه‌های احداث با در نظر گرفتن بازه

زمانی مطالعه به صورت یک دوره عمر کامل شبکه سیم مسی، جهت محاسبه هزینه‌های احداث کابل خودنگه‌دار می‌بایست، احداث دو سری از این نوع شبکه لحاظ گردد.

واضح است که دو برابر شدن هزینه‌های احداث در شبکه‌های کابل خودنگه‌دار، نتیجه حاصل از مقایسه میان هزینه‌های احداث شبکه‌های فشار ضعیف را تغییر خواهد داد.

۵-۲-۲- درآمدهای حاصل از بازگشت سرمایه

یکی دیگر از عوامل مؤثر در بررسی هزینه‌های شبکه، درآمدهای حاصل از بازگشت سرمایه است. با توجه به اختلاف قیمت مس و آلومینیوم، درآمدهای حاصل از هریک از شبکه‌های فشار ضعیف سیم مسی و کابل خودنگه‌دار می‌توانند نقش تعیین کننده‌ای داشته باشد. به همین منظور در بخش ۴-4 درآمدهای مذکور در هریک از شبکه‌های فشار ضعیف محاسبه شده است. نتایج جدول‌های(۴-6) و(۴-7) نشان می‌دهد، اگرچه هزینه‌های احداث شبکه‌های سیم مسی در مقایسه با شبکه‌های کابل خودنگه‌دار بالاتر است، ولی درآمدهای حاصل از برکناری این نوع شبکه‌ها نیز بیشتر خواهد بود.

۵-۲-۳- بررسی سهم هریک از شبکه‌ها در حوادث شبکه‌های فشار ضعیف

با نگاه به جدول‌های(۴-۸) و(۴-۹) ملاحظه می‌گردد که شبکه سیم مسی ٪ ۸۴/۷ از کل شبکه فشار ضعیف هوایی شهرستان را تشکیل داده و از طرفی نسبت حوادث و معایب این شبکه‌ها ٪۸۲ از کل حوادث سال ۹۷ شهرستان می‌باشد. در حالی که شبکه کابل خودنگه‌دار ٪ ۱۵/۳ از کل شبکه را به خود اختصاص داده است و نسبت معایب آن نیز ٪۱۸ از کل معایب سال ۹۷ است. در حقیقت این بدان معناست که تا پایان سال ۹۷، طول کل شبکه فشار ضعیف سیم مسی در شهرستان حدوداً ۵/۵ برابر طول کل شبکه فشار ضعیف کابل خودنگه‌دار بوده در حالی که نسبت کل عیوب شبکه فشار ضعیف سیم مسی حدوداً ۴/۵ برابر کل عیوب شبکه کابل خودنگه‌دار است.

در ضمن ذکر این نکته ضروری است که در این مقایسه عمر متوسط شبکه سیم مسی حدوداً ۱۲ تا ۱۵ سال بوده در حالی که عمر متوسط شبکه فشار ضعیف کابل خودنگه‌دار حدوداً ۴ تا ۵ سال می‌باشد.

همچنین در این قسمت با توجه به نمودار(۴-۳) و با نگاه دقیق‌تر به علل حوادث در شبکه‌های سیم مسی، مشاهده می‌گردد که حوادث ناشی از برخورد شاخه‌های درختان با شبکه، سهم عمده‌ای از علل موجود در حوادث این نوع شبکه‌ها را به خود اختصاص داده است(۴۱٪).

این نکته بدان معناست که هرگونه اقدام اصلاحی در شبکه‌های سیمی که منجر به کاهش یا حذف این نوع حوادث شود، می‌تواند معایب و حوادث این شبکه‌ها را تا حدود ۴۰٪ کاهش دهد.

همچنین با توجه به نمودار(۴-۴) می‌توان مشاهده کرد که تعداد حوادث مرتبط با یراق‌آلات شبکه در شبکه‌های کابل خودنگه‌دار نسبت به شبکه‌های سیم مسی بیشتر است و درواقع همین عامل یکی از نقاط ضعف کابل‌های خودنگه‌دار می‌باشد.

۵-۳- نتایج به کار گیری مدل توزیع نرمال

در ادامه پژوهش با استفاده از توزیع نرمال، شاخص متوسط عمر مفید قبل از حادثه در هر یک از شبکه-های سیم مسی و کابل خودنگه‌دار براساس اطلاعات حوادث و معایب آن‌ها محاسبه شد. براساس این محاسبات مقدار این شاخص در شبکه‌های سیم مسی و کابل خودنگه‌دار به ترتیب ۱۰/۳ و ۶/۸ برآورد شده است. این مقادیر نشان می‌دهد که در شبکه‌های سیم مسی اولین حادثه منجر به تعمیرات به صورت متوسط پس از گذشت حدود ۱۰/۳ سال و در شبکه‌های کابل خودنگه‌دار به صورت متوسط پس از گذشت حدود ۶/۸ سال رخ می‌دهد. یعنی بر خلاف تصور عمومی مبنی بر عملکرد بهتر شبکه‌های کابل خودنگه‌دار براساس شاخص‌های قابلیت اطمینان، شبکه‌های سیم مسی از پایداری بیشتری برخوردار هستند.

۵-۴- پیشنهادات براساس نتایج این پژوهش

با توجه به محاسبات صورت گرفته مشخص می‌شود که در بسیاری از مواقع به کارگیری شبکه‌های سیم مسی از لحاظ اقتصادی مناسب‌تر است. همچنین با در نظر گرفتن مسأله اصلی این پژوهش یعنی بهینه-سازی هزینه‌های شرکت‌های توزیع در پروژه‌های احداث شبکه‌های فشار ضعیف، ملاحظه شد که در بسیاری از موارد انتخاب کابل خودنگه‌دار منجر به کاهش هزینه‌ها نمی‌گردد.

نکته حائز اهمیت دیگر این است که انتخاب نوع شبکه در پروژه‌های احداث یک مبحث کلی نیست و نمی‌توان در مورد آن یک حکم کلی صادر نمود. در واقع نیاز است اینگونه پروژه‌ها در هر موقعیت و به صورت خاص، از منظر شاخص‌های متفاوت از جمله ملاحظات اقتصادی مورد مطالعه قرار گیرد.

همچنین با توجه به نتایج می‌توان اظهار داشت از جمله مواردی که به کار گیری کابل‌های خودنگه‌دار مفید خواهد بود، شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- مناطق مشجر(هم موجب کاهش هزینه‌های تعمیرات پیشگیرانه(شاخه‌زنی‌های سالیانه) و هم موجب کاهش هزینه‌های تعمیرات اصلاحی(کاهش حوادث) می‌گردد).

۲- مناطق دارای حریم.

۳- مناطق با آمار سرقت سیم بالا.

۴- مکان های درگیر با مبحث ایمنی پرسنل و مردم.

۵-۵- پیشنهادات جهت ادامه پژوهش

در این پژوهش سعی شد جهت بررسی دقیق‌تر پیرامون فعالیت‌های شرکت‌های توزیع نیروی برق و بهینه‌سازی هزینه‌های آن‌ها، مطالعه مختصری انجام شود. این مطالعه تنها گام کوچکی در این مسیر بوده، ولی امید آن می‌رود که با ادامه این فرآیند نتایج بهتری حاصل شود.

به همین منظور جهت ادامه پژوهش پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

۱- در نظر گرفتن استانداردهای مؤثر در ساخت کابل‌های خودنگه‌دار از جمله استانداردهای آب و هوایی و محیطی و مقایسه آنها با شرایط جوی مناطق تحت پوشش این نوع شبکه‌ها.

۲- کسب اطلاعات مربوط به دوره عمر هریک از انواع شبکه‌های فشار ضعیف به صورت کامل و محاسبه هزینه‌های بهره‌برداری با توجه به آن.

۳- تخمین عمر مفید هریک از انواع شبکه‌های فشار ضعیف و در نظر گرفتن آن در محاسبات هزینه‌های شبکه.

منابع

1) www.tavanir.org.ir
2) X. Zhang, E. Gockenbach, V. Wasserberg and H. Borsi, "Estimation of the Lifetime of the Electrical Components in Distribution Networks," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 22, no. 1, pp. 515-522, Jan. 2007.
3) A. Moradkhani, M. R. Haghifam and M. Mohammadzadeh, "Failure rate modelling of electric distribution overhead lines considering preventive maintenance," in *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 8, no. 6, pp. 1028-1038, June 2014.
4) C.M. Chu, J.F. Moon, H.T. Lee, J.C. Kim, “Extraction of Time-varying Failure Rates on power distribution system equipment considering failure modes and regional effects”, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 32, Issue 6, 2010, Pages 721-727.
5) Wenyuan Li, "Incorporating aging failures in power system reliability evaluation," 2003 IEEE Power Engineering Society General Meeting (IEEE Cat. No.03CH37491), Toronto, Ont., 2003, pp. 268
6) Wenyuan Li, "Evaluating mean life of power system equipment with limited end-of-life failure data," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 19, no. 1, pp. 236-242, Feb. 2004.
7) P. Verho et al., "Applying reliability analysis in evaluation of life-cycle costs of alternative network solutions," 2005 International Conference on Future Power Systems, Amsterdam, 2005, pp. 4 pp.-4.
8) J. J. S. Oliveira et al., "The aerial bundled cables (ABC) and the characteristics of its semiconductive shield," Proceedings of Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena - CEIDP '96, Millbrae, CA, USA, 1996, pp. 408-411 vol.1.

۹) روشن میلانی، ک، ۱۳۸۸، پایان نامه ارشد، تحلیل و طراحی شبکه هوایی عایق شده توزیع برق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز.

۱۰)هومن، ح، شناخت روش علمی در علوم رفتاری(پایه‌های پژوهش)، چاپ چهارم، انتشارات پارسا، تهران، ۱۳۸۰.

پیوست‌ها

پیوست الف

شرکت های توزیع نیروی برق	هوایی خود نگهدار	هوایی غیر خود نگهدار	جمع هوایی	سهم خودنگهدار به کل(درصد)	زمینی	جمع کل
شهرستان تبریز	۵۲۴	۳۵۱۳	۴۰۳۷	۱۳/۰	۱۸۳۶	۵۸۷۳
استان آذربایجان شرقی	۱۷۱۸	۷۰۴۷	۸۷۶۵	۱۹/۶	۸۰۱	۹۵۶۶
استان آذربایجان غربی	۱۵۴۸	۹۶۹۴	۱۱۲۴۳	۱۳/۸	۸۴۱	۱۲۰۸۴
استان اردبیل	۱۴۴۲	۴۰۷۳	۵۵۱۴	۲۶/۱	۶۲۲	۶۱۳۶
استان اصفهان	۵۴۶۳	۹۷۷۸	۱۵۲۴۱	۳۵/۸	۲۹۷۳	۱۸۲۱۴
شهرستان اصفهان	۹۵۷	۶۴۵۷	۷۴۱۴	۱۲/۹	۱۶۸۸	۹۱۰۲
استان چهارمحال و بختیاری	۸۷۹	۳۸۰۷	۴۶۸۶	۱۸/۸	۲۴۶	۴۹۳۱
استان مرکزی	۲۴۴۲	۵۲۲۹	۷۶۷۰	۳۱/۸	۶۸۷	۸۳۵۷
استان همدان	۲۷۹۲	۴۵۹۲	۷۳۸۴	۳۷/۸	۶۵۹	۸۰۴۳
استان لرستان	۵۵۶۰	۴۷	۵۶۰۷	۹۹/۲	۱۴۶	۵۷۵۳
استان البرز	۳۵۶۷	۲۲۱۴	۵۷۸۰	۶۱/۷	۱۸۲۸	۷۶۰۹
تهران بزرگ	۵۲۱۴	۵۴۸۴	۱۰۶۹۸	۴۸/۷	۱۲۳۶۷	۲۳۰۶۵
استان تهران	۶۴۷۹	۸۶۷۶	۱۵۱۵۴	۴۲/۸	۳۰۹۰	۱۸۲۴۴
استان قم	۸۲۶	۲۱۳۱	۲۹۵۷	۲۷/۹	۷۸۶	۳۷۴۳
شهرستان مشهد	۸۰۴۴	۰	۸۰۴۴	۱۰۰/۰	۱۸۰۹	۹۸۵۳
استان خراسان رضوی	۲۵۸۲	۱۰۹۳۵	۱۳۵۱۷	۱۹/۱	۶۴۲	۱۴۱۵۸
استان خراسان جنوبی	۹۴۲	۳۹۷۱	۴۹۱۳	۱۹/۲	۶۹۶	۵۶۰۹
استان خراسان شمالی	۲۶۱۳	۱۵۸۷	۴۲۰۰	۶۲/۲	۲۹۳	۴۴۹۳
شهرستان اهواز	۲۴۶۳	۳۱۲۵	۵۵۸۸	۴۴/۱	۷۰۷	۶۲۹۴
استان خوزستان	۵۵۲۴	۶۸۳۸	۱۲۳۶۲	۴۴/۷	۶۸۹	۱۳۰۵۱
استان کهکیلویه و بویراحمد	۱۰۴۱	۲۴۹۶	۳۵۳۷	۲۹/۴	۸	۳۵۴۵

میزان استفاده از کابل‌های خودنگه‌دار در شبکه‌های توزیع فشار ضعیف در پایان سال ۱۳۹۶

استان زنجان	۱۶۴۳	۳۴۱۲	۵۰۵۵	۳۲/۵	۶۶۱	۵۷۱۶
استان قزوین	۱۲۰۵	۳۳۱۸	۴۵۲۳	۲۶/۶	۶۸۲	۵۲۰۵
استان سمنان	۸۹۷	۲۴۹۸	۳۳۹۵	۲۶/۴	۵۸۸	۳۹۸۳
سیستان و بلوچستان	۲۵۵۲	۹۹۰۸	۱۲۴۶۰	۲۰/۵	۴۱۴	۱۲۸۷۴
استان کرمانشاه	۲۰۰۷	۴۴۲۶	۶۴۳۳	۳۱/۲	۳۹۰	۶۸۲۳
استان کردستان	۴۲۰	۴۸۴۹	۵۲۶۹	۸/۰	۴۹۵	۵۷۶۴
استان ایلام	۱۴۷۴	۱۰۸۲	۲۵۵۶	۵۷/۷	۱۴۳	۲۶۹۹
شهرستان شیراز	۴۹۷۴	۵۷۴۳	۱۰۷۱۷	۴۶/۴	۱۹۴۶	۱۲۶۶۳
استان فارس	۱۱۵۰۷	۴۴۴	۱۱۹۵۱	۹۶/۳	۳۳۹	۱۲۲۹۰
استان بوشهر	۱۳۱۳	۴۳۱۵	۵۶۲۸	۲۳/۳	۱۰۱۴	۶۶۴۲
شمال استان کرمان	۱۱۳۹	۶۴۶۸	۷۶۰۷	۱۵/۰	۳۶۵	۷۹۷۲
جنوب استان کرمان	۴۲۶۴	۹۳۴۵	۱۳۶۰۹	۳۱/۳	۱۵۴	۱۳۷۶۳
استان گیلان	۲۰۳۴	۱۶۱۸۶	۱۸۲۲۰	۱۱/۲	۱۱۸۱	۱۹۴۰۱
استان مازندران	۱۷۶۵	۱۲۰۴۱	۱۳۸۰۶	۱۲/۸	۲۳۵۵	۱۶۱۶۱
غرب استان مازندران	۹۷۵	۵۰۷۱	۶۰۴۶	۱۶/۱	۹۹۳	۷۰۳۹
استان گلستان	۱۰۵۰	۵۷۲۱	۶۷۷۱	۱۵/۵	۷۱۰	۷۴۸۱
استان هرمزگان	۱۲۵۳	۶۴۷۵	۷۷۲۸	۱۶/۲	۱۲۰۲	۸۹۳۰
استان یزد	۴۶۹۳	۲۴۸۳	۷۱۷۶	۶۵/۴	۹۵۱	۸۱۲۷
آب وبرق کیش	۲	۱	۳	۶۶/۲	۷۲۶	۷۲۹
جمع کل	۱۰۷۷۸۴	۲۰۵۴۸۰	۳۱۳۲۶۴	۳۴/۴	۴۸۷۲۱	۳۶۱۹۸۵

پیوست ب

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9924	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9958	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986

جدول z (مقادیر احتمال تجمعی توزیع نرمال استاندارد)

Abstract

In recent years, power distribution corporations have set up covered overhead distribution lines, including aerial bundled cables, to reduce dissatisfaction of customers due to unwanted outages and to increase the reliability of distribution networks. The growing trend in the use of aerial bundled cables in power distribution lines has sometimes been without technical studies and without considering the economic efficiency of distribution corporations. Therefore, the main topic of the present study have been set to select the type of conductor in low-voltages lines construction projects with economic considerations and in order to optimize distribution corporation costs. To achieve this goal, first the network costs including the costs of construction and operation of each type of wire lines and aerial bundled cables are calculated and then using the normal distribution model, the mean life of each network is estimated before the first failure. Finally, additional information on network failures is provided to aid the comparison process. According to the results of the calculations it was found that in many cases the use of aerial bundled cables has no economic justification. In fact, the issue of conductor selection was not a general one and it requires case and regional studies.

Keywords: Aerial bundled cable, Distribution network costs, Calculation of construction costs, Calculation of operational costs, Pre-accident useful life expectancy

Shahrood University of Technology

Kharazmi International Campus

M.Sc. Thesis in Control Engineering

Comparative analysis of aerial bundled cables in distribution networks in order to optimization

By:Amir Hossein Dayyari

Supervisor:

Dr. Heydar Toosian Shandiz

September 2019