

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

توسعه نرم افزار برنامه ریزی تعمیرات و نگهداری متمرکز بر قابلیت اطمینان، برای شبکه های انتقال و فوق توزیع

مازیار کریمی، فرنوش نرج آبادی فام، سید مصطفی عابدی، مصطفی کاظمی، جعفر عباسی، نیکی مسلمی، زهره پیروزه، مریم پیروزه

گروه مطالعات سیستم

پژوهشگاه نیرو

تهران، ایران

سیستم دارد. اما مشخص است که دو عامل اساسی "محدودیت بودجه تعمیرات" و "تامین انرژی با قابلیت اطمینان قابل قبول از طرف مشترکین" اساسی ترین قیود برنامه ریزی های تعمیراتی شبکه های برق می باشد. در حال حاضر تعمیرات و نگهداری قابلیت اطمینان محور (RCM¹)، به عنوان نسل سوم تعمیرات و نگهداری در بسیاری از صنایع، جایگاه مهمی پیدا کرده است. در مرجع [۱] که توسط شرکت Skanska در کشور ایالات متحده امریکا، تهیه شده است، عنوان می شود که اساس نگهداری و تعمیرات بر دو قسمت پیش گیرانه^۲ و اصلاحی^۳ است و بکارگیری RCM در واقع ادغام این دو قسمت اساسی، به گونه ای است که قابلیت اطمینان سیستم افزایش یابد، در حالی که هزینه های عملکرد سیستم کاهش می یابد. برنامه ریزی تعمیرات، یک مسئله بهینه سازی با قیود پیچیده است که خروجی آن بسته به زمان و افق اجرای تعمیرات و دانسته های فرد تصمیم گیر نسبت به وضعیت موجود در شبکه و دارایی مالی و انسانی تیم تعمیرات، متفاوت می باشد. لذا در بسیاری از مراجع اولین گام در محاسبات RCM، تعیین اولویت تعمیر تجهیزات است. که در بخش ۳ تشریح شده است. مرجع [۲] مدلی از RCM را جهت برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات شبکه انتقال در فضای تجدید ساختار شده پیشنهاد داده است. در این مقاله با توجه به تجربیات آماری خرابی تجهیزات و تجربیات فنی موجود، به ارائه ماتریس تصمیم گیری پرداخته و بدین ترتیب از بخشی از فعالیت های نگهداری و تعمیرات بی مورد صرف نظر نموده است. در مرجع [۳]، یک روش جدید معرفی شده است که در شبکه انتقال بریتیش

چکیده — در بحث بهره وری از شبکه های قدرت و فوق توزیع از طریق کاهش هزینه ها، انجام عملیات تعمیرات و نگهداری گزینه ایست که همواره مورد بحث بوده است. یکی از روش های برنامه ریزی بهینه در این زمینه نگهداری و تعمیرات قابلیت اطمینان محور (RCM) است که با هدف افزایش عمر تجهیزات شبکه، کاهش هزینه های نگهداری، بهبود بهره برداری، کاهش خاموشی و بهبود قابلیت اطمینان شبکه انجام می شود. با توجه به گستره وسیع اطلاعات مورد نیاز، برای مطالعاتی در چنین سطح، نیاز به یک نرم افزار با قابلیت انعطاف بالا و مطابق با شرایط شبکه برق ایران، ویژگی های مختلف اقلیمی و منطقه ای کشور، بیش از پیش مشهود است. لذا در این مقاله نرم افزاری جهت مطالعات نگهداری و تعمیرات قابلیت اطمینان محور تهیه شده است. در این نرم افزار، پس از تعیین تجهیزات با اولویت بالا و تحلیل RCM با مدل سازی مارکوف، برنامه نهایی، به صورت نرخ، نوع و هزینه تعمیرات و نگهداری، ارائه خواهد شد.

واژه های کلیدی — تعمیرات و نگهداری قابلیت اطمینان محور؛ شبکه انتقال و فوق توزیع؛ مدل سازی مارکوف؛ مونت کارلو.

۱. مقدمه

توجه روزافزون به انجام عملیات تعمیرات و نگهداری، به خصوص در محیط های تجدید ساختار شده، نشان از اهمیت بالای آن در کاهش هزینه های

¹ Reliability Centered Maintenance

² Preventive Maintenance

³ Corrective Maintenance

که در واقع خروجی این بخش، می‌تواند به عنوان اطلاعات ورودی بخش مطالعات برنامه‌ریزی بهینه تعمیرات، مورد استفاده قرار گیرد. سپس نرم‌افزار توسعه یافته جهت برنامه‌ریزی تعمیرات قابلیت اطمینان محور در شبکه‌های انتقال و فوق‌توزیع، ارائه می‌شود. در ادامه با استفاده از شبکه نمونه، تمام مراحل نرم‌افزار مورد تست و ارزیابی قرار گرفته و در نهایت خروجی‌های نرم‌افزار ارائه شده است.

۲. لزوم بهره‌گیری از تعمیرات و نگهداری قابلیت اطمینان محور

تا به امروز روش‌های زیادی در زمینه برنامه‌ریزی تعمیرات پیشگیرانه به منظور دستیابی به نقطه بهینه مطرح شده است که به طور کلی به سه دسته اصلی: ۱- زمان محور^۴، ۲- شرایط محور^۵ و ۳- قابلیت اطمینان محور، دسته‌بندی می‌شوند. در تعمیرات زمان محور، مدهای خطا، مستقل از وضعیت خرابی آنها در بازه‌های زمانی از پیش تعیین شده تعمیر می‌شوند در حالی که در تعمیرات شرایط محور برنامه تعمیراتی وابسته به شرایط خرابی تجهیز خواهد بود. در این سیستم پس از بازرسی، با توجه به وضعیت تجهیز مشخص می‌شود که چه نوع تعمیری و در چه زمانی، باید انجام شود. مزیت تعمیر CBM به TBM این است که به ازای حالاتی که تجهیز در وضعیت مناسب قرار دارد، تعمیری انجام نمی‌شود. لذا این روش در مقایسه با TBM، از بازدهی بیشتری برخوردار است، اما این روش نیز به علت عدم در نظر گرفتن اهمیت هر تجهیز و نتیجه وقوع خرابی آن، قادر به تضمین نقطه بهینه نمی‌باشد. لذا، این مسئله باعث شد تا صناعی که قابلیت اطمینان در آنها حائز اهمیت بیشتری می‌باشد به سمت تعمیرات و نگهداری قابلیت اطمینان محور متمایل شوند و با توجه به بازخوردهای مثبتی که صنایع بهره‌گیرنده از نرم‌افزارهای RCM ارائه داده‌اند، توسعه چنین نرم‌افزارهایی روز به روز، در حال گسترش است [۱۰ و ۱۱].

۳. نرم‌افزار توسعه یافته RCM

۳.۱. اهداف

هدف از طراحی نرم‌افزار ارائه برنامه بهینه تعمیراتی، با در نظر گرفتن شاخص قابلیت اطمینان، هزینه، خاموشی مشترکین، شرایط تیم تعمیراتی و محدودیت‌های شبکه است تا، در درجه اول مشخص شود که کدام یک از تجهیزات بی باید تحت تعمیرات شرایط محور و کدام تجهیز، تحت تعمیر زمان محور قرار گیرد و کدام یک بدون تعمیر دوره‌ای مورد بهره‌برداری قرار

کلمبیا کانادا اعمال شده است. ویژگی اصلی این روش ارزیابی کمی تأثیر خروجی‌های برنامه‌ریزی شده بر قابلیت اطمینان کل شبکه انتقال می‌باشد. هدف، یافتن بهترین جدول زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات برای شبکه انتقال مورد مطالعه بوده است و از مدل بهینه‌سازی به کمک برنامه‌ریزی خطی و مونت کارلو متغیر با زمان، جهت حل مسأله استفاده شده است. در مقابل در [۴] با ارائه مدل قابلیت اطمینان جدید برای هر کدام از تجهیزات، به مدل‌سازی یک مسأله بهینه‌سازی غیرخطی رسیده است که با حل آن ادعا نموده است که فرکانس بهینه جهت نگهداری و تعمیرات تجهیزات بدست می‌آید. مرجع [۵] مدلی را جهت بررسی بریکرهای شبکه انتقال ۲۳۰ کیلوولت مورد استفاده قرار داده است که تعیین می‌کند وضعیت طول عمر مفید تجهیزات در ازای هر استراتژی اتخاذ شده نگهداری و تعمیرات به چه صورت می‌باشد. این روش می‌تواند علاوه بر افزایش طول عمر مفید تجهیزات، باعث کاهش هزینه نیز گردد. مرجع [۶]، تابع هزینه ناشی از وقفه سرویس‌دهی مشتریان را نیز در مطالعه در نظر گرفته است. در این مقاله، روشی جهت مدل‌سازی تأثیر پیری تجهیزات بر قابلیت اطمینان آنها و بالطبع بر روی قابلیت اطمینان سیستم ارائه شده است. سایر مراجعی که در این زمینه تلاش‌هایی انجام داده‌اند، صرفاً به ارائه نتایج اجرا و روندی بسیار کلی بسنده کرده‌اند [۷-۹]. با توجه به بررسی مطالعات گذشته، سعی گردید تا قیود اساسی نرم‌افزارهای پیشین، که از نظر ویژگی‌های شبکه برق ایران، شرایط اقلیمی و همچنین از نظر اقتصادی توجیه پذیر است، در نرم‌افزار توسعه یافته توسط تیم مطالعاتی این مقاله لحاظ گردد. قیود نهایی شده برای این نرم‌افزار به شرح زیر است: (۱) فاز مطالعاتی "اهمیت - وضعیت" به انتخاب کاربر، جهت محدود نمودن تجهیزات مطالعاتی: به دلیل محدودیت در منابع مالی، با استفاده از روش اولویت‌بندی پیشنهادی، برنامه‌ریزی تعمیرات تنها بر روی خطوط و پست‌های مهم شبکه اجرا خواهد شد. این بخش به عنوان فاز اول نرم‌افزار پیش‌رو طراحی گردیده است. (۲) تفکیک هر مورد خطا، به مدهای خرابی آن: با توجه به ماهیت خرابی برای هر تجهیز، می‌توان مدهای خرابی مختلفی برای هر تجهیز تعریف کرد. در این حالت می‌توان برای هر مد خطای تجهیزات، عملکرد تعمیراتی مشخصی را تعریف نمود. ۳- ارائه برنامه تعمیراتی به ازای هر بی از شبکه: در برنامه‌ریزی ارائه شده، همزمانی تیم تعمیراتی و تأثیر آن در هزینه‌های تعمیرات، مدل شده است. این موضوع موجب همزمان‌سازی برنامه تعمیرات، برای مدهای مختلف خطای تجهیزات، می‌شود.

در این مقاله ابتدا به طور مختصر به لزوم استفاده از RCM اشاره می‌شود، سپس به بررسی بخش "تعیین اهمیت-وضعیت تجهیزات" می‌پردازیم.

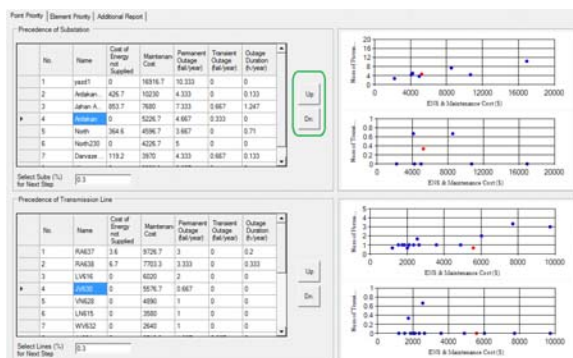
⁴ Time Based Maintenance (TBM)

⁵ Condition Based Maintenance (CBM)

است. در نهایت، نکته اشتراک تمام مقالات این است که، پس از محاسبه شاخص اهمیت و وضعیت هر تجهیز، معیار اولویت بندی تجهیزات شبکه بر اساس نمودار اهمیت-وضعیت، تعیین می گردد. به این ترتیب که، هر چقدر تجهیز از خط ۱۳۵ درجه گذرنده از مبدا فاصله بیشتری داشته باشد، اولویت بالاتری برای انجام تعمیرات دارد. تنها ایراد تمام مطالعات قبلی این است که وزندهی به شاخص های اولویت بندی تجهیزات، با اطلاعات فرد خبره و مقدار عددی ثابتی در نظر گرفته می شود، در حالی که در روش پیشنهادی، وزندهی معیارها بر اساس اطلاعات خطاها و وضعیت تجهیزات در گذشته بدست می آید، که در ادامه تشریح می شود.

۳،۲،۱/ اولویت بندی پست ها و خطوط

برای تعیین پست ها و خطوط مهم شبکه، ابتدا، مجموع شاخص هزینه LOE^V و هزینه تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه و اصلاحی، به عنوان یک شاخص بر پایه هزینه، برای اولویت بندی نقاط مختلف شبکه، تعیین می شود. پس از ورود اطلاعات خروج پست ها و خطوط، میانگین تعداد خطاهای دائم و گذرا و هزینه تعمیرات و نگهداری آنها محاسبه می گردد. در نهایت با اجرای برنامه، نتایج اولویت بندی پست ها و خطوط در چهار نمودار جداگانه، به صورت شکل ۱ ارائه می شود. این اولویت بندی میزان ارزش پست ها و خطوط را از نظر شاخص هزینه، مشخص می کند. اما این امکان برای کاربر فراهم است تا در صورت نیاز، طبق نظر کاربر خبره، اولویت بندی های ارائه شده را تغییر دهد.



شکل ۱: خروجی تعیین اولویت پست ها و خطوط

۳،۲،۲ تعیین اهمیت - وضعیت تجهیزات

تفاوتی که در روش پیشنهادی برای تعیین وضعیت تجهیزات در این مقاله نسبت به مراجع پیشین وجود دارد، در بخش وزندهی عوامل و معیارهایی است که در وضعیت تجهیزات موثرند. در این روش وزندهی معیارها بر اساس اطلاعات گذشته، خطاها و وضعیت تجهیزات بدست

گیرد. علاوه بر این، برنامه ارائه شده در این گزارش، به تعیین نرخ بهینه تعمیرات زمان محور در تعمیرات TBM تجهیزات و نرخ بهینه ی بازبینی، در تعمیرات CBM می پردازد. همچنین با توجه به اینکه قیود تحت مطالعه، جهت بهینه سازی در مطالعات RCM، گستره بسیار وسیعی را شامل می شود، لذا جهت درک بیشتر، مطالعات را از دو دیدگاه دیگر نیز مورد بررسی قرار می دهیم. ابتدا از نظر نوع تعمیر، سه دسته مطالعاتی ۱- تعمیر جزئی، ۲- تعمیر کلی و ۳- ترکیب تعمیرات جزئی و کلی تعریف می شود. همچنین از دیدگاه تناوب زمانی تعمیر و یا بازبینی، دو دسته ۱- متناوب و ۲- غیرمتناوب، در نظر گرفته می شود. در تعمیر غیرمتناوب، متناسب با وضعیت مد خطا، نرخ بازبینی و تعمیر متفاوت است. به وضوح مشخص است که مدل متناسب با تعمیرات بازبینی غیرمتناوب کارآمدتر بوده و به جواب بهینه تری خواهد رسید چرا که منطقی است که با افزایش حالت استهلاک تجهیز، نرخ بازبینی و مراقبت از آن نیز افزایش یابد. همچنین این مدل دارای پیچیدگی ریاضی و محاسباتی بیشتری خواهد بود.

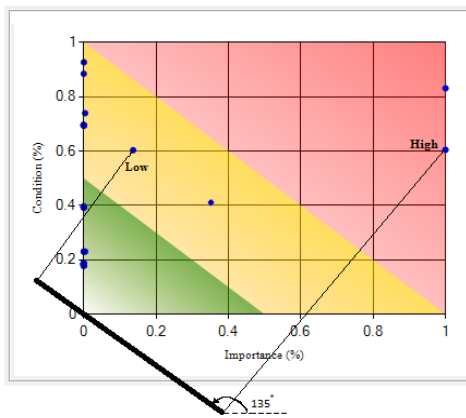
اما قبل از اجرای این مراحل با توجه به تعداد زیاد تجهیزات شبکه و گستردگی مطالعات و در مقابل محدودیت مالی و نیروی انسانی، باید بخش هایی از شبکه که از اهمیت و ارزش بالایی برخوردار هستند مشخص شوند، تا هر کاربر بتواند با توجه به حجم انتظار خود از مطالعات و بودجه و امکانات خود، مهم ترین تجهیزات شبکه را تحت مطالعات RCM قرار دهد. در ادامه الگوریتم تعیین وضعیت و دستیابی به لیست مهم ترین تجهیزات ارائه می شود.

۳،۲ بخش اهمیت-وضعیت تجهیزات

هدف از این کار، تعیین نقاطی از شبکه، اعم از پست ها و خطوط است که خروج اجباری آنها بیشترین تاثیر را در قابلیت اطمینان شبکه و هزینه ی خاموشی دارد. برای تعیین شاخص های موثر در اولویت بندی، مطالعات مختلفی انجام شده است. در [۱۲] اولویت بندی تنها بر اساس زمان تعمیرات ماهانه و بر اساس اطلاعات فرد خبره انجام شده است. در [۱۳] جزئیات بیشتری نیز بررسی می شود. شاخص هایی همچون خسارت وارده به پرسنل و اثرات محیطی و مسائل اقتصادی، برای تعیین اهمیت تجهیزات در نظر گرفته شده اند و شاخص های طول عمر، تجربه سرویس تجهیز و مدت زمان تعمیر، ملاک های تعیین وضعیت تجهیز را تشکیل می دهند. در مرجع [۱۴] که به بررسی RCM در شبکه فوق توزیع مکزیک پرداخته است، علاوه بر شاخص های فوق، میزان سهم خاموشی و سهم انرژی تامین نشده^۶ و اهمیت بار در هر تجهیز را نیز به عنوان ملاک های تعیین اهمیت تجهیز در نظر گرفته

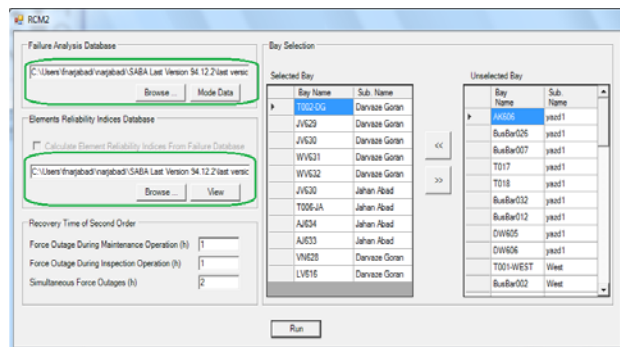
⁷ Loss Of Energy

⁶ Energy Not Supplied(ENS)



شکل ۲: نمودارهای تعیین وضعیت تجهیزات پست ها و خطوط

به برنامه ریزی تعمیرات قابلیت اطمینان محور را نشان می دهد، به ازای هر یک از مدهای خطا، بهینه سازی برنامه های تعمیراتی، اجرا خواهد شد.



شکل ۳: فرم اصلی بخش برنامه ریزی قابلیت اطمینان محور

جهت آشنایی با نحوه دسته بندی مدهای خطا، نمونه ای از این دسته بندی برای تجهیز کلید قدرت و ترانسفورماتور قدرت در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: دسته بندی علت خطای تجهیزات به مدهای مختلف

تجهیز	شماره مد	عنوان مد
کلید قدرت	۱	باز نشدن کلید به هنگام ارسال فرمان
	۲	بسته نشدن کلید در هنگام ارسال فرمان
	۳	باز شدن بدون ارسال فرمان
	۴	بسته شدن کلید بدون ارسال فرمان
	۵	شکست عایقی دی الکتریک با زمین و فازهای دیگر
ترانسفورماتور قدرت	۱	محفظه روغن یا کسرواتور
	۲	عدم تامین سطح عایقی
	۳	عدم توانایی تنظیم ولتاژ
	۴	کاهش یا نبود ظرفیت

می آید. بر این اساس، ابتدا عوامل خطای تجهیزات، بر اساس معیارهایی همچون عمر تجهیز، عمر سرویس، $MTTF^8$ ، نوع تجهیز و تعداد کلیدزنی (برای کلیدهای قدرت)، به دسته های معین تقسیم می شوند. سپس، تعیین ضرائب وزنی عوامل، بر مبنای این منطق انجام می شود که، هرگاه نرخ خطا در دسته های یک عامل دارای انحراف معیار کمتری باشد، آن عامل از اهمیت کمتری برخوردار است و یا به طور مثال چنانچه امتیاز دسته های مربوط به عامل عمر تجهیز یکسان باشد، این عامل، عملاً کمکی به شناسایی وضعیت تجهیز نخواهد کرد. با این منطق می توان به تخمین مناسبی برای محاسبه وزن هر یک از عوامل دست یافت. ابتدا، به ازای هر یک از دسته های عامل تاثیرگذار، تعداد تجهیزات دسته و تعداد خطاهای هر دسته، و در نهایت امتیاز هر دسته، محاسبه می شود. سپس بر اساس میانگین و انحراف معیار امتیاز دسته ها، ضریب وزنی هر یک از عوامل تاثیر گذار بدست می آید. در نهایت، چنانچه W ضریب وزنی عامل S و $r_s^{elements}$ امتیاز تجهیز در عامل S و r_s^{max} بالاترین امتیاز در همان عامل باشد، امتیاز وضعیت تجهیز که عددی بین ۰ و ۱ است، بر اساس فرمول زیر تعیین می گردد:

$$con_{element} = \frac{\sum_{n=1}^{N_{cr}} \omega_s \times r_s^{elements}}{\sum_{n=1}^{N_{cr}} \omega_s \times r_s^{max}} \quad (1)$$

جهت تعیین اهمیت تجهیزات، میزان هزینه انرژی از دست رفته بابت خروج هر تجهیز به عنوان عامل هزینه و نیز میزان بهبود شاخص در صورت بهبود نرخ خروج به عنوان عامل تاثیرگذاری عملیات تعمیرات و نگهداری بر روی تجهیز انتخاب شده اند. منحنی نهایی اهمیت-وضعیت، برای پست های شبکه تست با اطلاعات بازه ۴ ساله، در شکل ۲ ارائه شده است. با استفاده از این نمودار، چگونگی وضعیت تجهیزات، با توجه به خطوط ۱۳۵ درجه که از مرکز می گذرد، مشخص می شود [۱۳]. به این ترتیب تجهیزات در سه ناحیه ریسک پایین (سبز)، ریسک متوسط (زرد) و ریسک بالا (قرمز)، دسته بندی می شوند. همانطور که در شکل مشخص است، ممکن است دو تجهیز دارای وضعیت یکسان باشند، اما تفاوت اهمیت آن ها در شبکه موجب شود تا در دو ناحیه ریسک متفاوت قرار گیرند. در این بخش، همچنین به ازای هر یک از تجهیزات، نام بی هر تجهیز نیز ارائه می شود. لذا ترتیب بی های انتخابی در این بخش، می تواند به عنوان ورودی بخش برنامه ریزی تعمیرات، مورد استفاده قرار گیرد.

۳.۳. پیاده سازی نرم افزار برنامه ریزی تعمیرات

پس از انتخاب بی های مهم شبکه مطابق شکل ۳، که فرم اصلی مربوط

⁸ Mean Time To Failure

⁹ Clustering

ایده بعدی ارائه شده در الگوریتم بهینه سازی، همزمان سازی برنامه تعمیراتی مدهای مختلف خطا است. از یکسو فاکتور کاهش هزینه ها و از سوی دیگر محدودیت های تیم تعمیراتی، ایجاب می کند تا در حد ممکن برنامه های تعمیراتی ارائه شده برای مدهای مختلف، بصورت همزمان اجرا شوند. به عنوان یک مثال ساده برای امر همزمان سازی، فرض کنید که قرار است برای یک تجهیز با دو مد خرابی، طرح تعمیراتی ارائه شود. بدین منظور برای هر مد هر ۶ برنامه ی تعمیراتی بهینه سازی شده و بهترین طرح برای هر کدام با شرح زیر انتخاب می گردد:

• مد ۱: TBM ۳ ماهه با هزینه $Cost_1$

• مد ۲: TBM ۵ ماهه با هزینه $Cost_2$

بدین ترتیب مد ۱ را باید به عنوان مثال در ماه های ۲ و ۵ و ۸ و ۱۱ تعمیر کرد و مد ۲ را نیز در ماه های ۲ و ۷ و ۱۲ تحت تعمیر قرار داد. با این توصیفات هزینه ی این طرح تعمیراتی برابر $Cost_1 + Cost_2$ خواهد بود. از دیدگاه همزمان سازی، هر دو مد خطا باید با همدیگر تعمیر گردند. لذا فرض کنید که جواب بهینه سازی طرح های تعمیراتی ۶ گانه برای این حالت، یک TBM ۴ ماهه با $Cost_3$ باشد. در مقایسه با دو برنامه قبلی، در این برنامه، هزینه ها به صورت زیر تغییر می کنند:

(۱) هزینه ی ثابت تعمیر: کاهش (به جای ۶ بار ارسال تیم تعمیرات باید ۳ بار تیم اعزام شود).

(۲) هزینه ی ریسک خرابی مد ۲: کاهش (به جای تعمیر ۵ ماهه، تحت برنامه ی تعمیر ۴ ماهه قرار می گیرد)

(۳) هزینه ی ریسک خرابی مد ۱: افزایش (فواصل زمانی تعمیر مد ۱ با روند همزمان سازی طولانی تر شده است)

(۴) هزینه ی متغیر مد ۱: کاهش (به جای ۴ بار تعمیر این مد، باید ۳ بار تعمیر صورت گیرد)

(۵) هزینه ی متغیر مد ۲: ثابت (تعداد دفعات تعمیر برای مد ۲ تفاوتی نمی کند)

در این حالت اگر $Cost_1 + Cost_2 > Cost_3$ باشد، همزمان سازی بصره خواهد بود. ولی اگر میزان افزایش هزینه ها بیشتر از کاهش هزینه ها باشد، باید هر مد را به صورت جداگانه تعمیر کرد. با این توصیفات ضروری خواهد بود که در تعمیرات بی، پس از تعیین طرح بهینه ی تعمیرات هر مد خرابی، مطالعه ی همزمان سازی خطاها نیز انجام گردد تا در صورت لزوم هزینه ها کاهش یابند.

به این ترتیب بهینه سازی برای هر مد، از هر تجهیز یک بی، به کمک برنامه ریزی خطی و مونت کارلو متغیر با زمان، اجرا می شود و در نهایت،

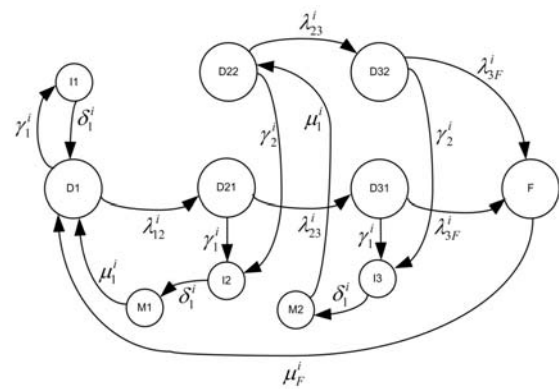
حال به ازای هریک از مدها، برنامه های تعمیراتی مورد نظر بهینه سازی می شود. تعیین گستره برنامه های تعمیراتی، با توجه به اهداف مورد نظر در مطالعات برنامه ریزی RCM خواهد بود. لذا با توجه به آنچه که در بخش ۱ بیان شد، در نهایت اهداف زیر برای مدل سازی مارکوف نرم افزار تعیین گردید:

(۱) مدل مارکوفی با در نظر گرفتن هر سه مد تعمیر CBM، TBM و RTF.

(۲) ارائه مدل مارکوف با قابلیت مدل کردن تعمیرات کلی و جزئی به صورت همزمان [۱۵].

(۳) ارائه برنامه تعمیراتی با فرض تعمیرات غیرمتناوب.

برای دستیابی به مدل مارکوف با ویژگی های بالا، مدل مارکوف ترکیبی مطابق با [۱۵] مورد استفاده قرار گرفت تا بازرسی های غیرمتناوب با ترکیب مدل خرابی تجهیز و دانسته های ما از تجهیز مدل شود. این مدل در شکل ۴ ارائه شده است.



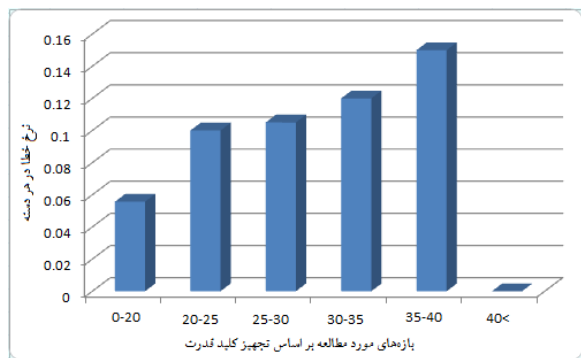
شکل ۴: مدل ترکیبی مارکوف مد خرابی نام با در نظر گرفتن تعمیرات جزئی

در نهایت، با توجه به اهداف بیان شده، ۶ برنامه تعمیراتی تعریف شده است:

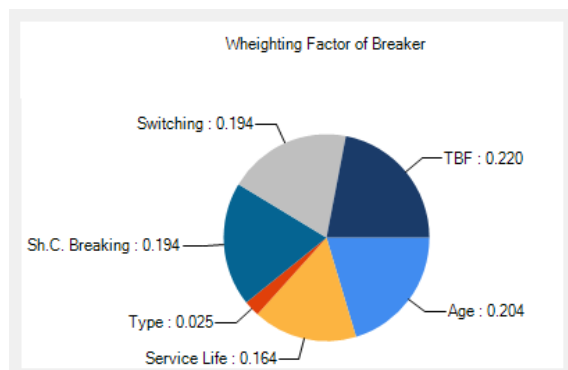
- تعمیر جزئی در D2 و D3
- تعمیر جزئی در D3 و عدم تعمیر در D2
- تعمیر کلی در D3 و عدم تعمیر در D2
- تعمیر جزئی در D2 و تعمیر کلی در D3
- برنامه تعمیراتی مبتنی بر TBM
- برنامه تعمیراتی مبتنی بر RTF

در این دسته بندی حالات نامعقول حذف شده است. به عنوان مثال برای حالت تعمیر جزئی در D2 و عدم تعمیر در D3، معقول نخواهد بود که مدی را در حالت D2 تعمیر کنیم و در حالت D3 که وضعیت مد بدتر شده آن را به حال خود رها کنیم.

کلید قدرت و بر اساس شاخص "عمر تجهیز" در شکل ۶ ارائه شده است. در این شکل، شیب افزایش نرخ خطا، با توجه به تغییرات طول عمر مشخص است. این تجهیز یک افزایش ناگهانی در نرخ خطا، برای تجهیزات بالای ۲۵ سال مشاهده شده است. همچنین در این نمودار علت صفر بودن نرخ خطا برای تجهیزات با عمر بالای ۴۰ سال، نبود اطلاعات ثبت شده، برای این تجهیزات، در شبکه تست مورد نظر است. به این ترتیب به ازای هر عامل، میزان تاثیر در نرخ خطای تجهیزات مشخص می‌شود.



شکل ۶: نرخ تعمیر کلید قدرت در دسته‌های مختلف بر اساس عمر تجهیز
(۲) "نمودار ضریب وزنی هر عامل دسته‌بندی" در این نمودار عوامل مختلف دسته‌بندی تجهیزات با یکدیگر مقایسه می‌شوند. در این مقایسه، از فرمول ۲ در بخش ۳،۲ استفاده شده است. نمونه‌ای از نتایج برای تجهیز کلید قدرت در شکل ۷ مشاهده می‌شود. این نمودار نشان می‌دهد که نوع کلید کمترین تاثیر و زمان آخرین خروج بیشترین تاثیر را بر روی وضعیت تجهیز دارد.



شکل ۷: بهترین طرح تعمیر مبتنی بر CBM

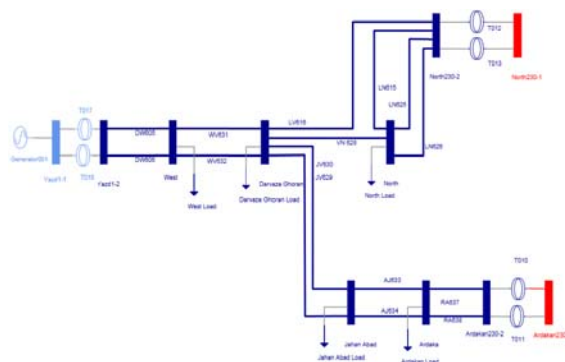
۴، ۲. خروجی نرم‌افزار برنامه‌ریزی بهینه تعمیرات

با توجه به اهداف بیان شده در بخش ۳،۱ برای نرم‌افزار، انتظار می‌رود که در نهایت مشخص شود، هر کدام از تجهیزات یک بی، چه نوع تعمیری را با چه نرخ تعمیراتی و چه مقدار هزینه نیاز دارد. بر این اساس حاصل

برنامه تعمیراتی قابلیت اطمینان محور برای هر مد تعیین می‌شود. در بخش بعد مراحل اجرای نرم‌افزار توسط یک شبکه تست، مورد ارزیابی قرار گرفته و خروجی‌های برنامه ارائه شده است.

۴. تست نرم افزار توسعه یافته و ارائه خروجی

شبکه تست مورد نظر، یک شبکه ۱۱ شینه است که از ۸ پست و ۱۷ خط، تشکیل شده است. اطلاعات خروج تجهیزات در این شبکه، از بانک اطلاعاتی موجود در بازه ۴ ساله، از شبکه یزد، استخراج شده است. شکل ۵ دیگرام تک‌خطی شبکه تست را نشان می‌دهد. با استفاده از بانک اطلاعاتی مربوط به اطلاعات خروج تجهیزات و تعمیر و بازرسی آن‌ها در بازه ۴ ساله، خروجی نرم‌افزار در دو بخش ارائه می‌شود: بخش اول مربوط به تحلیل آماری پایگاه داده مورد نیاز برای مطالعات RCM است. در این بخش گزارش‌هایی از مقایسه نرخ خطا و تعمیر در مدهای مختلف به ازای تجهیزات مختلف، ارائه می‌شود. بخش دوم، برنامه بهینه تعمیراتی را به ازای هر مد از هر تجهیز در یک بی، مشخص می‌کند. در واقع هدف نهایی از مطالعات RCM نیز دستیابی به یک چنین برنامه تعمیراتی است.



شکل ۵: دیگرام تک خطی شبکه تست

۴، ۱. تحلیل آماری اطلاعات RCM

با توجه به اینکه گزارش‌های خروجی آماری، با استفاده از اطلاعات خروج، تعمیرات و بازرسی‌های شبکه تحت مطالعه بدست آمده است. لذا می‌تواند اطلاعات گرافیکی مورد نیاز برای شناخت وضعیت شبکه و ارزیابی وضعیت در مدهای مختلف تجهیزات شبکه را در اختیار کاربر قرار دهد. تعدادی از این گزارش‌ها در ادامه اشاره شده است:

(۱) "نمودار شاخص وضعیت هر دسته": مطابق بحث دسته‌بندی در بخش ۲-۳، شاخص وضعیت هر دسته به صورت "نسبت میزان خطای تجهیز در این دسته به تمام خطاهای این تجهیز، تقسیم بر، تعداد اعضای دسته در طول دوره مطالعه"، محاسبه می‌شود. نمونه این نمودار برای تجهیز

تجهیزات هر بی، نوع تعمیرات مورد نیاز، بازه تعمیراتی بهینه و هزینه هر برنامه تعمیراتی در اختیار کاربر قرار گرفت. همچنین تحلیل های آماری نیز به عنوانی بخشی از خروجی نرم افزار، می تواند ارزیابی مناسبی از میزان تاثیرگذاری مدهای مختلف خطای تجهیزات شبکه را در اختیار کاربر قرار دهد.

مراجع

- [1] L. Kirby, "Maintaining data center performance, Reliability centered maintenance: managing cost and risk", Reliability-Centered Maintenance Whitepaper, May 2012.
- [2] M. E. Beehler, "Reliability Centered Maintenance for Transmission Systems," IEEE Transactions on Power Delivery, vol.12, no.2, pp.1023-1028, Apr 1997.
- [3] W. Li and J. Korczynski, "A Reliability-Based Approach to Transmission Maintenance Planning and its Application in BC Hydro System," IEEE Transactions on Power Delivery, vol.19, no.1, pp. 303-308, Jan. 2004.
- [4] J.P.Siqueira, "Optimum Reliability-Centered Maintenance Task Frequencies for Power System Equipments", IEEE PMAPS Conference, Iowa, September 2004.
- [5] H.Maciejewski, "Reliability Centered Maintenance of Repairable Equipment," 4th International Conference on Dependability of Computer Systems, pp. 332-339, June 30-July 2, 2009.
- [6] T.M.Lindquist and et al, "Reliability Centered Asset Management," IEEE Power Engineering Society General Meeting, vol.2, 13-17 July 2003.
- [7] W. Reder and D. Flaten, "Reliability Centered Maintenance for Distribution Underground Systems," IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, vol.1, pp.551-556, 2000.
- [8] [8] J. W. Goodfellow, "Applying Reliability Centered Maintenance (RCM) to Overhead Electric Utility Distribution Systems," IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, vol.1, pp.566-569, 2000.
- [9] L. Renforth, J. P. White, and R. F. Nelson, "The Economic Case for RCM of Overhead Lines in the UK," Power Engineering Journal, vol.13, no.5, pp.251-256, Oct. 1999.
- [10] M. TAPPER, S. JANSSON, K. OBERGER, "RCM for Electrical Distribution Systems—the Swedish Solution," 17th International Conference on Electricity Distribution, CIRED, Barcelona, May 2003.
- [11] "NASA RCM Guide for Facilities and Collateral Equipments," National Aeronautics and Space Administration, Sep. 2008.
- [12] R. Ramli, M. N. Arffin, "Reliability Centered Maintenance in Schedule Improvement of Automotive Assembly Industry", American Journal of Applied Sciences 9 (8): 1232-1236, 2012
- [13] B. Malmros, "Substation Analysis: A tool for Risk Assessment of Substations", ABB Power Systems, Substations, Punta Cana, Dominican Republic, July 2012
- [14] M. Schwan, S. Sanchez, D. Rondon, C. Rodelo, C. Nabte, "Reliability Centered Asset Management – Case Study for Mexican Subtransmission Networks", Cidel, Argentina 2010.
- [15] Abeygunawardane, S. K., & Jirutitijaroen, P. (2011). New state diagrams for probabilistic maintenance models. Power Systems, IEEE Transactions on, 26(4), 2207-2213.

خروجی مطالعات RCM، یک جدول تعمیرات TBM و دیگری جدول تعمیرات CBM است که به ترتیب در شکل های ۸ و ۹ ارائه شده است. با توجه به حجم بالای نتایج، تنها بخشی از خروجی، برای تجهیزات کلید قدرت با ولتاژ ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلو ولت نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است در هر دو جدول TBM و CBM، به ازای هر بی تجهیزات مورد تعمیر، مد تعمیر آن تجهیز و جزئی یا کلی بودن تعمیر و هزینه بهینه مورد انتظار^{۱۰} آن تعمیر مشخص شده است.

TBM Maintenance Cost=579814 \$			
Bay Name: Transformer Trm1			
Element	Failure Mode	Minor Maintenance (month ⁻¹)	Major Maintenance (month ⁻¹)
Breaker 400KV SF6	mode1	7	----
	mode2	7	----
	mode3	7	----
	mode4	----	4
Breaker 230KV SF6	mode1	5	----
	mode2	5	----
	mode3	7	----
	mode4	7	----

شکل ۸: بهترین طرح تعمیر مبتنی بر TBM

CBM Maintenance					
Bay Name: Transformer Trm1					
Element	Failure Mode	Gamma1 ⁻¹ (month ⁻¹)	Gamma2 ⁻¹ (month ⁻¹)	Maintenance Type	Maintenance Cost (\$)
Breaker 400KV SF6	mode1	4	1	1	579921.08
	mode2	12	1	1	579815.68
	mode3	12	1	1	579812.36
	mode4	1	1	1	590371.89
Breaker 230KV SF6	mode1	1	1	1	584071.38
	mode2	1	1	1	584062.74
	mode3	7	----	3	579926.16
	mode4	4	1	1	580044.88

شکل ۹: بهترین طرح تعمیر مبتنی بر CBM

۵. نتیجه گیری

در این مقاله، نرم افزار برنامه ریزی بلندمدت تعمیرات قابلیت اطمینان محور در شبکه های انتقال و فوق توزیع ارائه شد. در این نرم افزار قیود مربوط به هزینه و شاخص های قابلیت اطمینان، با استفاده از سوابق خروج، تعمیرات و بازرسی های یک تجهیز، برای ارائه استراتژی بهینه تعمیراتی، در نظر گرفته شده است. مبنای اصلی مطالعات بر پایه مدلسازی مارکوف، با مدل تعمیراتی شش گانه بوده و جهت بهینه سازی الگوریتم تعمیراتی نیز از روش مونت کارلو متغیر با زمان، استفاده شد. نتایج اجرای این نرم افزار برای یک شبکه تست با سابقه اطلاعاتی ۴ ساله بررسی و به ازای تمام بی های شبکه و

¹⁰ Expected Maintenance Cost

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله