



معاونت پژوهشی

فرم خلاصه فارسی طرح / پروژه

کد سند: RO-S-F-27-04

تاریخ صدور: ۱۳۹۹/۴/۲۲

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۵

عنوان طرح / پروژه:

تدوین رویه برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری قابلیت اطمینان محور (RCM) در شبکه انتقال و فوق توزیع و توسعه نرم‌افزار سبا برای مطالعات RCM

واحد مجری:	پژوهشکده انتقال	کارفرما:	پژوهشگاه نیرو
مدیر طرح / پروژه:	نیکی مسلمی	مجری:	صفر فرضعلی‌زاده
کد مالی پروژه:	718800	کد کیفی پروژه:	PSYPN12
نوع طرح / پروژه:	پروژه امانی	معاونت:	پژوهشکده انتقال

همکاران: نیکی مسلمی، هادی خطیب‌زاده آزاد، داود جلالی، سعید سلیمی، جعفر عباسی، حمید دانایی، جواد نظافت‌نمینی

کلمات کلیدی: (۶ تا ۱۰ مورد)

تعمیرات قابلیت اطمینان محور (RCM)، آنالیز قابلیت اطمینان، آنالیز اهمیت وضعیت، آنالیز مود خرابی، آنالیز سود و هزینه، مدل مارکوف، تابع استهلاک

ضرورت انجام پروژه/طرح:

عملیات تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه در شبکه‌های انتقال انرژی الکتریکی با هدف افزایش عمر تجهیزات شبکه، کاهش هزینه‌های نگهداری، بهبود بهره‌برداری، کاهش خاموشی‌ها و بهبود قابلیت اطمینان شبکه انجام می‌شود. در حال حاضر استفاده از مطالعات قابلیت اطمینان، رویکرد اصلی برنامه‌ریزی تعمیرات می‌باشد. از مهمترین ملزومات برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری قابلیت اطمینان محور، انجام مطالعات قابلیت اطمینان، تحلیل حوادث و خاموشی‌های شبکه و شناخت نقاط ضعف آن می‌باشد با مشخص شدن چگونگی استفاده از این اطلاعات و شناخت سایر اطلاعات لازم می‌توان برنامه‌ریزی تعمیرات از دیدگاه RCM را انجام داد.

منطق ارائه روش تعمیرات پیشگیرانه قابلیت اطمینان محور از این امر نشأت می‌گیرد که تعمیرات پیشگیرانه با هدف بهبود قابلیت اطمینان شبکه و کاهش هزینه‌ها انجام می‌شود. پس انجام یک تعمیر در شبکه فقط زمانی مقرون به صرفه خواهد بود که میزان بهبود قابلیت اطمینان شبکه ناشی از یک تعمیر نسبت به هزینه انجام شده برای آن تعمیر به صرفه باشد. تعمیرات پیشگیرانه قابلیت اطمینان محور روشی منطقی برای تعیین اینکه انجام تعمیرات پیشگیرانه بر روی کدامیک از تجهیزات تاثیر بیشتری در بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه می‌گذارد، ارائه می‌دهد و در مرحله بعد بررسی می‌کند که انجام عملیات نت تا چه اندازه و برای چه تجهیزاتی در شبکه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر است.

تعمیرات پیشگیرانه قابلیت اطمینان محور یک فرآیند پویا است و لازم است که در هر مرحله منابع حاصل از انجام تعمیرات پیشگیرانه موجود ارزیابی شود. سپس بر اساس تحلیل‌های RCM صورت گرفته، استراتژی تعمیرات به سمت نقطه بهینه حرکت کند. معمولاً عملیات تعمیرات و نگهداری قابلیت اطمینان محور از یک آنالیز سه سطحی تشکیل شده است که شامل موارد زیر است: آنالیز قابلیت اطمینان سیستم، آنالیز رفتار و قابلیت اطمینان قطعه، آنالیز بهینه‌سازی یا آنالیز سود و هزینه.

مبحث RCM در کشور ما چندی است که مورد توجه قرار گرفته است و تلاش برای بکارگیری آن در صنایع مختلف آغاز شده است. شبکه انتقال و فوق توزیع به دلیل وسعت بسیار زیاد و تعداد زیاد تجهیزات موجود در آن و پیوستگی آن در کل کشور نیاز به بررسی و تحقیق بیشتر در این زمینه می‌باشد و باید برای انجام بهینه تعمیرات و

نگهداری قابلیت اطمینان محور، الگوریتم مناسبی تهیه شود. پژوهشگاه نیرو با در اختیار داشتن نرم افزار سبا که واحد محاسباتی مطالعات ارزیابی و پیش بینی قابلیت اطمینان شبکه های انتقال و فوق توزیع را دارا می باشد می تواند کمک شایانی در اجرای این روش بنماید.

اهداف پروژه/طرح:

در این پروژه با بررسی نیازمندی های برنامه ریزی RCM، الگوریتمها و تحلیل های مورد نیاز آن از مطالعات ثابلیت اطمینان استخراج می شود و با بررسی استانداردها و مدهای خرابی تجهیزات مهم شبکه، تاثیرات عملیات تعمیرات و نگهداری بر روی شاخص های ثابلیت اطمینان تجهیزات و کل شبکه تعیین خواهد شد. در نهایت نرم افزار سبا برای محاسبه برنامه ریزی تعمیرات و نگهداری قابلیت اطمینان محور توسعه داده خواهد شد.

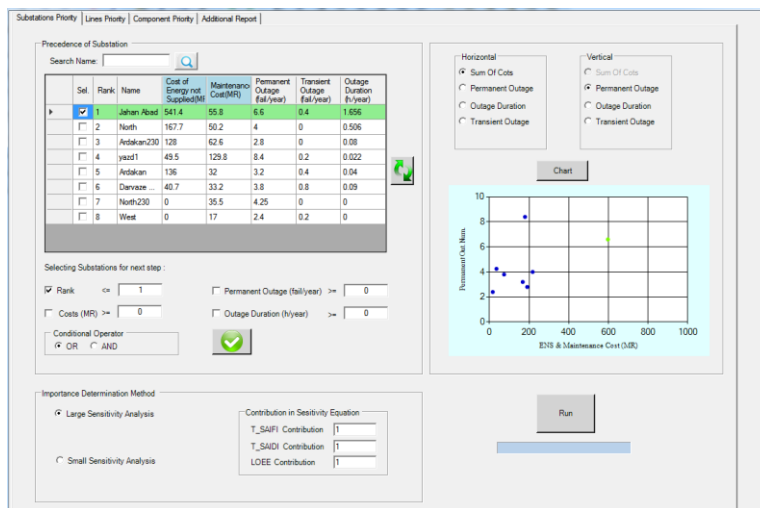
این نتایج و دستاوردهای جانبی عبارتند از:

- ۱) ارائه روند یکپارچه منطبق بر استانداردهای روز دنیا برای برنامه ریزی تعمیرات و نگهداری شرکت های برق منطقه ای
- ۲) ایجاد امکان شناخت نقاط ضعف شبکه، ارائه طرح های لازم برای بهبود وضعیت قابلیت اطمینان شبکه و نشان دادن میزان تاثیر هر عملیات تعمیر و نگهداری در شاخص های قابلیت اطمینان شبکه
- ۳) ایجاد بستر باز برای شرکت های برق منطقه ای و شرکت توانیر به منظور نظارت بر تعمیرات شبکه تحت پوشش خود از دیدگاه قابلیت اطمینان و تشخیص نقاط ضعف شبکه به منظور هدفمندسازی برنامه ریزی های تعمیراتی آتی
- ۴) ایجاد بستر مناسب برای مدلسازی قابلیت اطمینان تجهیزات شبکه و مدهای مختلف خروج هر تجهیز و بهینه سازی سود و سرمایه
- ۵) ایجاد بستر مناسب برای مطالعات حوادث شبکه و استفاده از این مطالعات در مدیریت دارایی
- ۶) افزایش قابلیت اطمینان شبکه با بکارگیری برنامه ریزی RCM
- ۷) کاهش هزینه های تعمیرات و نگهداری کل شبکه
- ۸) افزایش عمر تجهیزات شبکه
- ۹) کاهش چشمگیر فعالیتها و عملیات اضطراری سازمانها

چکیده پروژه/طرح:

در این پروژه ابتدا فعالیت های انجام شده به منظور انجام برنامه ریزی تعمیرات و نگهداری قابلیت اطمینان محور در کشورهای دیگر بررسی شد تا بتوان مناسب ترین شیوه را با توجه به شرایط و داده های در دسترس، در کشور پیاده سازی کرد. سپس نیازمندی های لازم برای تعیین اولویت های برنامه ریزی RCM، با استفاده از مطالعات قابلیت اطمینان شبکه انتقال و فوق توزیع مشخص شده و نحوه استخراج این اولویت ها ارائه گردید. در فاز دوم از پروژه، با توجه به اینکه پیچیدگی و گستردگی شبکه انتقال و فوق توزیع باعث شده تا پیاده سازی RCM به راحتی امکان پذیر نشود. لذا می بایست برای ساده سازی پیاده سازی RCM در این شبکه ها تمهیداتی اتخاذ می شد. یکی از راه هایی که بدین منظور در نظر گرفته شد، انتخاب یک دسته از پست ها و خطوط شبکه به عنوان نقاط مهم شبکه با استفاده از معیارهای مناسب و بر اساس شاخص هایی مثل شاخص هزینه بار قطع شده و هزینه تعمیرات است که در نهایت، لیستی از پست ها و خطوط اولویت دار ارائه می گردد. شکل زیر بخش تعیین اولویت و اهمیت-وضعیت را در ماژول RCM طراحی شده در نرم افزار نشان می دهد. در بخش اهمیت پست و خط در واقع میزان تاثیر گذاری پست یا خط مورد نظر، در قابلیت اطمینان و هزینه های مربوطه است که به مکان و نحوه بکارگیری آن بستگی دارد و به دو صورت می تواند در این نرم افزار دیده شود:

۱. میزان هزینه انرژی از دست رفته بابت خروج هر تجهیز به عنوان عامل هزینه
۲. میزان بهبود شاخص در صورت بهبود نرخ خطا به عنوان عامل تاثیر گذاری



تعیین وضعیت نقاط شبکه اشاره به کیفیت آن تجهیز صرف نظر از مکان مورد استفاده دارد. برای تعیین وضعیت، روش امتیازدهی نسبی استفاده شده است. هرگاه نرخ خطا در دسته‌های یک عامل دارای انحراف معیار کمتری باشد، آن عامل از اهمیت کمتری برخوردار است

✓ استفاده از تحلیل آماری برای میزان تاثیر دسته‌های مختلف

✓ تعیین امتیاز هر یک از دسته‌ها به ازای هر عامل

✓ تعیین ضرایب وزنی عوامل مختلف با استفاده از انحراف معیار دسته‌ها

✓ تعیین شاخص وضعیت تمامی تجهیزات نقاط مهم شبکه

در نهایت نقاط اولویت‌دار شبکه برای تحلیل RCM، با استفاده از تشکیل منحنی اهمیت-وضعیت تعیین می‌شود.

فاز چهارم مربوط به ارائه الگوریتم تحلیل حساسیت شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه نسبت به پارامترهای قابلیت اطمینان تجهیزات موجود در نقاط مهم شبکه است. از آنجایی که هر نقطه از شبکه تجهیزات بسیاری دارد، باید در نقاط مهم شبکه، تجهیزات با بیشترین تاثیر شنا سایی شوند تا تعمیرات و نگهداری برای آنها در اولویت قرار گیرد. در فاز پنجم پروژه مدهای مختلف خطای تجهیزات (خط، ترانسفورماتور قدرت، ترانسفورماتور جریان و کلید قدرت) با استفاده از مراجع معتبر شناسایی و نهایی شد.

در ادامه، استانداردهایی که برای تعمیرات و نگهداری هر تجهیز وجود دارد بررسی و گزارشی بر این اساس برای هر چهار تجهیز اصلی مورد بررسی ارائه شد. سپس در این نرم افزار تابع استهلاک به تفکیک مد و تجهیز محاسبه می‌شود. شکل زیر نمونه‌ای از تابع استهلاک برای مد خرابی سیستم خنک‌کننده را نشان می‌دهد. در مرحله بعد مدل‌سازی استراتژی‌های تعمیراتی بوسیله مدل مارکوف انجام شده و پیشنهاد نرخ بازرسی و تعمیرات بر اساس حل تابع هزینه-فایده تمام مدل‌های تعمیراتی و انتخاب بهترین مدل از لحاظ هزینه صورت می‌گیرد. سپس حل مساله هزینه-فایده برای هر بی صورت گرفته و تعمیرات برای هر مد تجهیز در هر بی سنکرون خواهد شد. برای این کار تمام حالت‌های ممکن در بازه‌های ماهیانه جستجو می‌شود.

دلیل خرابی: خرابی سیستم خنک‌کننده	
ویژگی‌ها	حالت مد
<ul style="list-style-type: none"> ➤ اختلاف دمای اندازه‌گیری شده و دمای واقعی کمتر از $5^{\circ}C$ است و یا اینکه تعداد دفعاتی که این اختلاف تاکنون مشاهده شده، کمتر از سه بار بوده است. ➤ نشانگر دما کالیبره است. ➤ سیستم خنک‌کننده سالم است. 	حالت سالم
<ul style="list-style-type: none"> ➤ اختلاف دمای اندازه‌گیری شده و دمای واقعی برای سه بار بیشتر از $5^{\circ}C$ است. ➤ نشانگر دما کالیبره نیست. 	حالت استهلاک جزئی
<ul style="list-style-type: none"> ➤ اختلاف دمای اندازه‌گیری شده و دمای واقعی برای سه بار بیشتر از $5^{\circ}C$ است. ➤ سیستم خنک‌کننده دچار مشکل شده است. 	حالت استهلاک عمده

در نهایت با توجه به عدم ارائه اطلاعات شبکه انتقال و فوق توزیع از سوی شرکت‌های برق منطقه‌ای هدف، یک شبکه نمونه متشکل از ۱۱ شینه و ۸ پست و ۱۷ خط، تشکیل شد. اطلاعات خروج تجهیزات در این شبکه، از بانک اطلاعاتی موجود در بازه ۴ ساله، از شبکه یزد، استخراج گردید تا شبکه تست به شبکه واقعی نزدیک‌تر باشد.

اطلاعات بازرسی تجهیزات و هزینه‌های تعمیراتی هر مد تجهیز به صورت فرضی (با مشورت نخبگان این حوزه) در مساله وارد شده است. فاز ۱۱ از این پروژه تست کامل نرم‌افزار با استفاده از این شبکه تست فرضی را به طور کامل ارائه می‌دهد.

مراحل و روش‌های انجام پروژه/طرح:

- اولویت‌بندی پست‌ها و خطوط بر اساس: ۱. شاخص‌های مربوط به خاموشی‌های ناشی از پست‌ها و خطوط، ۲. شاخص‌های مربوط به تعداد خروج
- اولویت‌بندی تجهیزات: ۱. تعیین اهمیت تجهیزات، ۲. تعیین وضعیت تجهیزات ۳. ترسیم منحنی اهمیت - وضعیت
- آنالیز مودخرابی و تحلیل خطا (FMEA): شناسایی مدهای خرابی و علل خرابی تجهیزات اصلی شبکه شامل: ترانسفورماتور قدرت و ترانس جریان و کلیدهای قدرت و خطوط
- ارائه استراتژی‌های تعمیراتی برای بی (BAY): ۱. تعیین تابع استهلاک تجهیزات به تفکیک مود، ۲. مدلسازی انواع استراتژی‌های تعمیراتی بوسیله مدل مارکوف، ۳. بهینه‌سازی تعمیرات، ۴. همزمان‌سازی تعمیرات در یک بی

اهم نتایج به‌دست‌آمده از انجام پروژه/طرح (خروجی‌های فنی، ثبت اختراع، مقالات، کتب، گزارش‌های فنی و ...):

- یک نسخه نرم‌افزار سبا توسعه یافته با واحد محاسباتی برنامه‌ریزی RCM
 - گزارش‌های مرحله‌ای که بر اساس تعریف پروژه در ۱۱ فاز ارائه گردید.
 - مقالات:
1. Niki Moslemi, Mostafa Kazemi, Seyyed Mostafa Abedi, Hadi Khatibzadeh-Azad, Mohammad Jafarian. "Mode-based reliability centered maintenance in transmission System. International Transactions on Electrical Energy Systems", ETEP. 2016
 2. Niki Moslemi, Mostafa Kazemi, Seyed Mostafa Abedi, Hadi Khatibzadeh-Azad and Mohammad Jafarian. "Maintenance Scheduling of Transmission Systems Considering Coordinated Outages". IEEE Systems Journal ·January 2017.
 3. N.Moslemi, M.kazemi , M.abedi , H.Khatibzadeh , M.jafarian, S.Salimi , "Presenting Comperhensive Algorithm for long Term Scheduling of preventive Maintenance in the Electric Transmission Networks ", Volume 1, Issue: 3: 2017 iranain journal of Signal Processing and Renewable Energy.
 ۴. مازیار کریمی، فرنوش نرج‌آبادی فام، سید مصطفی عابدی، مصطفی کاظمی، جعفر عباسی، نیکی مسلمی، زهره پیروزه، مریم پیروزه. "توسعه نرم‌افزار برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری متمرکز بر قابلیت اطمینان، برای شبکه‌های انتقال و فوق توزیع". سی و یکمین کنفرانس بین المللی برق. PSC2016. تهران. ایران