بررسی اثر بهره‌برداری بدون اپراتور از پست‌های فوق توزیع و انتقال بر قابلیت اطمینان پست

ایرج ذاکر عنبرانی[۱] ، مدیر دیسپچینگ شمال‌شرق، محمد ابراهیم حاجی‌آبادی[۲]، استادیار ، حبیب رجبی مشهدی[۳] ، استاد

۱- دیسپچینگ شمال‌شرق- شرکت برق منطقه خراسان- مشهد- خراسان رضوی- ایران
iraj_zaker@yahoo.com
۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه حکیم سبزواری- سبزوار- ایران
me.hajiabadi@hsu.ac.ir
۲- دانشکده مهندسی- دانشگاه فردوسی مشهد- مشهد- ایران
h_mashhadi@um.ac.ir

چکیده: هدف از این مقاله بررسی سطح قابلیت اطمینان پست‌های فوق توزیع و انتقال در اثر حذف اپراتور از پست‌ها و بهره‌برداری از راه دور آن توسط مرکز دیسپاچینگ است. برای رسیدن به این هدف در این مقاله راهکاری دو گامی ارائه شده است. در گام اول، ابتدا مطالعه‌ای مروری بر قابلیت اطمینان تجهیزات پست و نحوه مدل‌سازی آن‌ها شده است. سپس گزارش‌های آماری مختلفی از رفتار تصادفی تجهیزات پست بررسی شده است. هدف از این گام بررسی رفتار پارامترهای قابلیت اطمینان تجهیزات در اثر اعمال فرآیند اتوماسیون پست و بهره‌برداری از راه دور آن است. میزان تأثیر پذیری پارامترهای قابلیت اطمینان تجهیزات از فرآیند بهره‌برداری از راه دور پست بر اساس سطح اتوماسیون، نتایج مطالعات آماری و نیز تجربه مهندسین مجرب تعیین می‌شود. در گام دوم، با کمک روش مینیمال کات‌ست، شاخص‌های قابلیت اطمینان پست در دو حالت بهره‌برداری به روش مرسوم و نیز بهره‌برداری از راه دور پست (پست بدون اپراتور) بررسی شده است. با تشخیص مینیمال کات‌ست‌های موثر بر خروج هر پایانه می‌توان در فرآیند اتوماسیون پست به مانیتورینگ و تقویت المان‌های آن کات‌ست توجهی خاص نمود. نتایج مطالعات انجام شده در این مقاله نشان می‌دهد که سطح قابلیت اطمینان پست بدون اپراتور بیش از دو برابر سطح قابلیت اطمینان پست با بهره‌برداری مرسوم می‌باشد.

واژه های کلیدی: پست فوق توزیع و انتقال، بهره‌برداری بدون اپراتور پست، قابلیت اطمینان، مینیمال کات‌ست.

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۲/۱۰/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۳/۰۴/۳۱

نام نویسنده‌ی مسئول : محمد ابراهیم حاجی‌آبادی

نشانی نویسنده‌ی مسئول : استان خراسان رضوی، سبزوار، شهرک توحید، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده برق و کامپیوتر.

۱- مقدمه

۱-۱- انگیزه تحقیق

در دنیای روبه رشد امروزی، تأمین انرژی مورد نیاز بخش‌های مختلف به خصوص بخش صنعت، به شیوه مداوم و مطمئن از اهمیت به سزایی برخوردار است. از این رو در سال‌های اخیر، بسیاری از شرکت‌های تأمین‌کننده انرژی الکتریکی به سمت بهبود کیفیت خدمات‌رسانی به مشترکین خود رفته‌اند. یک سیستم قدرت متشکل از تعداد زیادی پست فوق توزیع و انتقال است که عملکرد صحیح پست‌ها متضمن عملکرد صحیح سیستم قدرت است. حوادث رخ داده در پست قابلیت پخش در کل شبکه و در نتیجه منجر به قطع بار تعداد زیادی مشترک شود. بنابراین حداقل نمودن قطعی مشترک ناشی از حوادث پست می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد [۱].

یکی از راهکارهای اساسی جهت ارتقای قابلیت اطمینان پست، اعمال فرآیند اتوماسیون در پست‌های فوق توزیع و انتقال می‌باشد [۲]. با اعمال فرآیند اتوماسیون، بستری مناسب جهت بهره‌برداری بدون اپراتور (بهره‌برداری از راه دور) از پست‌های فوق توزیع و انتقال فراهم می‌شود. حذف اپراتور پست (پست بدون اپراتور) و انجام فرآیند مانیتورینگ و کنترل پست توسط مرکز دیسپاچینگ می‌تواند چالش‌ها و فرصت‌های فنی و اقتصادی بسیاری در بهره‌برداری از شبکه ایجاد نماید. یکی از این چالش‌ها، بررسی سطح قابلیت اطمینان پست بهره‌برداری شده از راه دور (پست بدون اپراتور) می‌باشد.

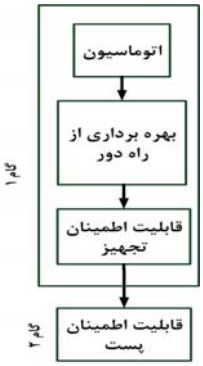
۱-۲- مروری بر ادبیات موضوع

مرجع [۳] بر مبنای هزینه ساخت و نیز سطح قابلیت اطمینان پست‌ها، مقایسه‌ای بین پست‌ها با آرایش‌های مختلف انجام داده است. در این مرجع نشان داده شده است که پست دوبل بیشترین هزینه ساخت را دارد در حالی که پست یک و نیم کلیدی بالاترین سطح قابلیت اطمینان را دارا می‌باشد. مرجع [۴] اثر پیری را بر قابلیت اطمینان مدارشکن‌ها مدل‌سازی نموده و به کمک آن به بررسی اثر تعمیر و نگهداری بر قابلیت اطمینان مدارشکن‌ها می‌پردازد. مرجع [۵] به بررسی اثر شینه‌بندی‌های مختلف پست بر سطح قابلیت اطمینان پست پرداخته است. مرجع [۶] اثر پیری و تعمیر و نگهداری تجهیزات پست را بر قابلیت اطمینان شبکه بالادست بررسی نموده است. مرجع‌های [۷] و [۸] نیز به کمک روش مارکوف اثر تعمیر و نگهداری بر قابلیت اطمینان تجهیزات پست را بررسی نموده‌اند. سپس بر مبنای این مدلسازی قابلیت اطمینان شبکه بالا دست را محاسبه و برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری تجهیزات را تعیین می‌نمایند. در مرجع [۹] مدل قابلیت اطمینان تله‌کنترل سوئیچ در شبکه توزیع بررسی شده است.

۱-۳- هدف، روش و نوآوری

اعمال فرآیند بهره‌برداری از راه دور پست‌های فوق توزیع و انتقال منجر به حذف اپراتور از پست و نیز تغییر برنامه سرکشی به پست‌ها توسط گروه سیار می‌شود. به علاوه این فرآیند مستلزم استفاده از نیروهای متخصص بجای اپراتورهای پست درمرکز دیسپچینگ و گروه سیار می‌باشد. بنابراین با اعمال اتوماسیون، حذف اپراتور پست و بهره‌برداری از راه دور آن توسط مرکز دیسپچینگ، مقادیر میانگین زمان‌های خروج و تعمیر تجهیزات دستخوش تغییر می‌شود. در نتیجه پارامترهای قابلیت اطمینان تجهیزات و نهایتاً شاخص‌های قابلیت اطمینان پست متأثر از فرآیند بهره‌برداری از را دور (بهره‌برداری بدون اپراتور) پست‌های فوق توزیع و انتقال می‌گردد. هدف از این مقاله بررسی سطح قابلیت اطمینان پست‌های فوق توزیع انتقال در اثر حذف اپراتور از پست‌ها و بهره‌برداری از راه دور آن توسط مرکز دیسپاچینگ است.

برای رسیدن به این هدف مطابق شکل (۱) در این مقاله دو گام اساسی برداشته شده است:



شکل (۱): فرآیند انجام مطالعه

گام اول: همانطور که در شکل (۱) مشخص است، در گام اول بعد از بررسی مفاهیم اولیه قابلیت اطمینان تجهیز و سیستم، مطالعه‌ای مروری بر قابلیت اطمینان تجهیزات پست و نحوه مدل‌سازی آن‌ها شده است. سپس گزارش‌های آماری مختلفی از رفتار تصادفی تجهیزات پست بررسی شده است. هدف از این گام بررسی رفتار پارامترهای قابلیت اطمینان تجهیزات در اثر اعمال فرآیند اتوماسیون پست و بهره‌برداری از راه دور آن است. میزان تأثیر پذیری پارامترهای قابلیت اطمینان تجهیزات از فرآیند بهره‌برداری از راه دور پست بر اساس سطح اتوماسیون، نتایج مطالعات آماری و نیز تجربه مهندسین مجرب تعیین می‌شود.

گام دوم: در گام دوم، با کمک روش مینیمال کات ست، قابلیت اطمینان پست در دو حالت بهره‌برداری به روش مرسوم و نیز بهره‌برداری از راه دور پست بررسی شده است. در این گام با کمک

برنامه RCoPS[1] که تحت نرم افزار MatLab نوشته شده است شاخص‌های قابلیت اطمینان پایانه‌های پست محاسبه می‌شود. این شاخص‌ها مشتمل بر نرخ خروج پایانه (λ_t خرابی بر سال)، میانگین زمان برقرار شدن پایانه بعد از هر خروج ($MTTR$[2]) و احتمال از دست رفتن پایانه (P_{ua}) می‌باشد. محاسبه مینیمال کات‌ست‌ها راهبردی مناسب جهت تشخیص نقاط ضعف پست از دیدگاه قابلیت اطمینان می‌باشد. به عبارتی دیگر با تشخیص مینیمال کات‌ست‌های موثر بر خروج هر پایانه می‌توان در فرآیند اتوماسیون پست به مانیتورینگ و تقویت این المان‌ها توجهی خاص نمود.

راهکار ارائه شده در این مقاله در مطالعه قابلیت اطمینان یک پست حلقوی استفاده شده است. در این مطالعه در گام اول نشان داد شده است که با بهره‌برداری پست بصورت بدون اپراتور، سرعت مانور بهره‌بردار در کنترل حوادث رخ داده در شبکه افزایش می‌یابد بگونه‌ای که دقت تشخیص بهره‌بردار از خرابی‌های جزئی المان‌ها به بیش از ۲ برابر افزایش و زمان مانور در حوادث و برگرداندن پست به شبکه به میزان یک پنجم زمان معمول رسیده است. سپس در گام دوم نشان داده شده است که سطح قابلیت اطمینان پست بدون اپراتور نسبت به پست مرسوم ۵۷٪ بهبود داشته است.

مطالعه انجام شده بیانگر کارایی راهکار ارائه شده در این مقاله در بررسی اثر تغییر بهره‌برداری بر قابلیت اطمینان پست است.

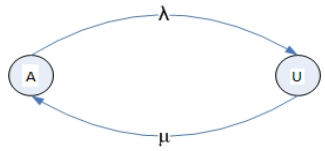
۱-۴- ساختار مقاله

در ادامه در بخش دوم روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان تجهیز و پست بررسی شده است. بخش سوم به بررسی اثر بهره‌برداری از راه دور پست بر قابلیت اطمینان تجهیزات پست پرداخته است. در بخش چهارم قابلیت اطمینان یک پست بدون اپراتور با پست مرسوم مقایسه شده است. در انتها بخش پنجم شامل نتیجه‌گیری می‌باشد.

۲- بیان مسئله

۲-۱- مدل قابلیت اطمینان تجهیزات

یکی از رایج‌ترین مدل‌سازی المان‌ها در فرآیند ارزیابی قابلیت اطمینان یک سیستم استفاده از مدل مارکوف دو حالته برای هر تجهیز مطابق با شکل (۲) است.



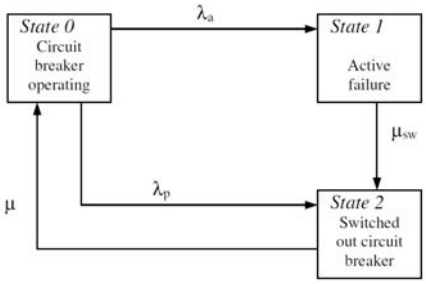
شکل (۲): دیاگرام فضای حالت یک المان

در این مدل هر المان یا در حالت دسترس و یا در حالت خارج از دسترس است. المان با نرخ λ بار بر سال خراب شده و با نرخ μ بار بر سال تعمیر می‌گردد. مقادیر نرخ‌ها بر اساس میانگین زمان تا خراب شدن المان و میانگین زمان تعمیر المان بدست می‌آید. رابطه (۱) ارتباط بین شاخص‌های پایه‌ای تجهیز در مطالعات قابلیت اطمینان را نشان می‌دهد[۱۰] :

$$m = MTTF = \frac{1}{\lambda}, \quad r = MTTR = \frac{1}{\mu}$$
$$A = \frac{m}{m+r} = \frac{\mu}{\lambda+\mu}, \quad \bar{A} = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} \qquad (۱)$$

که در آن m و $MTTF$[3] میانگین زمان تا خرابی تجهیز، r و $MTTR$ میانگین زمان تا تعمیر تجهیز بعد از خراب شدن آن، λ نرخ خرابی، μ نرخ تعمیر، A دسترس‌پذیری تجهیز و $\bar{A}$ عدم دسترس‌پذیری تجهیز است.

از این مدل برای مدل‌سازی غالب تجهیزات پست همچون ترانس و باس‌بار استفاده می‌شود. یکی از المان‌های اساسی پست که نقش بسزایی در قابلیت اطمینان پست دارد مدارشکن‌ها می‌باشند. مدارشکن‌ها دارای دو نوع خرابی اکتیو و پسیو می‌باشند. بنابراین مدل مارکوف آن‌ها مطابق با شکل (۳) دارای ۳ حالت می‌باشد. حالت صفر که بیانگر عملکرد صحیح مدارشکن، حالت ۱ که بیانگر خرابی اکتیو مدارشکن و حالت ۲ که بیانگر خرابی پسیو آن است.



شکل (۳): دیاگرام فضای حالت مدار شکن

در این شکل λ_p نرخ خرابی پسیو مدار شکن و μ زمان تعمیر آن است. خرابی‌های پسیو منجر به عمل نمودن المان‌های حفاظتی مجاور نمی‌شود و زمان مورد نیاز برای خارج شدن از این حالت همان زمان تعمیر کلید است. λ_a نرخ خرابی اکتیو مدار شکن و μ_{sw} نرخ خروج از این حالت است. در خرابی اکتیو، مدارشکن توسط المان‌های حفاظتی مجاور از شبکه مجزا می‌شود و زمان مورد نیاز برای خارج شدن از این حالت زمان سوئیچینگ می‌باشد[۱۱].

۲-۲- ارزیابی قابلیت اطمینان پست

روش مرسوم در ارزیابی قابلیت اطمینان پست روش مینیمال کات‌ست می‌باشد. یک کات‌ست دسته‌ای از المان‌های سیستم است که خرابی همه آن‌ها باعث خرابی سیستم می‌شود. کات‌ست زمانی مینیمال است که در صورت حضور هر یک از المان‌های آن سیستم همچنان عملکرد

[1] Reliability Calculation of Power System (RCoPS)
[2] Mean Time To Repair (MTTR)
[3] Mean Time To Failure (MTTF)

صحیح خود را داشته باشد. در ارزیابی قابلیت اطمینان پست به روش مینیمال کات‌ست، مینیمال کات‌ست‌هایی که منجر به از دست رفتن هر پایانه پست می‌شود محاسبه می‌شوند. المان‌هایی که تشکیل یک مینیمال کات‌ست می‌دهند از دیدگاه دیاگرام قابلیت اطمینان با یکدیگر موازی می‌باشند. بدین معنا که از دست رفتن همه آنها منجر به از دست رفتن پایانه می‌شود ولی حضور یکی از آنها باعث تداوم برقدار بودن پایانه است. لذا قابلیت اطمینان هر کات‌ست بر اساس قابلیت اطمینان تجهیزات موازی بدست می‌آید. رابطه (۲) قابلیت اطمینان سیستم متشکل از دو تجهیز موازی با نرخ‌های خرابی λ_1 و λ_2 و زمان‌های تعمیر r_1 و r_2 را نشان می‌دهد.

$$\lambda_{pa} = \frac{\lambda_1\lambda_2(r_1+r_2)}{1+\lambda_1 r_1+\lambda_2 r_2}, \quad r_{pa} = \frac{r_1 r_2}{r_1+r_2} \qquad (۲)$$

که در آن λ_{pa} نرخ خرابی سیستم موازی و r_{pa} زمان تعمیر سیستم موازی است.

کات‌ست‌های هر پایانه از دیدگاه دیاگرام قابلیت اطمینان با یکدیگر سری می‌باشند. لذا قابلیت اطمینان پایانه بر اساس قابلیت اطمینان المان‌های سری مطابق با رابطه (۳) بدست می‌آید.

$$\lambda_s = \sum_i \lambda_i, \quad U_s = \sum_i \lambda_i r_i, \quad r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} \qquad (۳)$$

که در آن λ_s نرخ خرابی سیستم سری، r_s زمان تعمیر سیستم سری و U_s میانگین زمان خرابی در دوره مطالعه می‌باشند.

۳- بررسی اثر اتوماسیون و بهره‌برداری از راه دور پست بر قابلیت اطمینان تجهیزات پست

۳-۱- مطالعه آماری

مراجع مختلفی اقدام به مطالعه آماری دلایل ازدست رفتن پست‌ها نموده‌اند. بعنوان مثال بررسی خرابی ترانسفورماتورها [۱۲]، سیستم حفاظت و مدارشکن‌ها [۱۳] و باس‌بارها [۳] از جمله آن‌هاست. نتایج مطالعات بیانگر مشارکت بالای سه المان مدارشکن، باس‌بار و ترانسفورماتور [۱] در از دست رفتن پست می‌باشد.

در جدول (۱)، گزارشی آماری از احتمال خرابی خطوط انتقال، مدارشکن‌ها، باس‌بارها و سکسیونرها در مطالعات مختلف جمع آوری شده است [۱۴]. همین مرجع اطلاعات زمان تعمیر در هر خرابی را نیز آورده است. نتایج این مطالعه در جدول (۲) آورده شده است.

از مشاهده و بررسی مطالعات آماری مشخص می‌شود که پارامترهای قابلیت اطمینان تجهیزات همچون نرخ خرابی المان‌ها، احتمال خرابی و زمان تعمیر آن‌ها بسته به شرایط بهره‌برداری، حضور تجهیزات رزرو، عملکرد تیم تعمیر، سطح اتوماسیون پست و ... بسیار متفاوت می‌باشد.

جدول (۱): احتمال خرابی تجهیزات [۱۴]

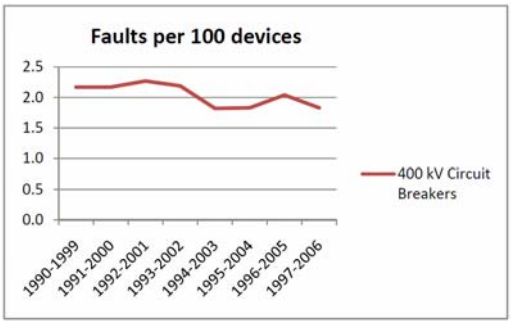
	خطوط انتقال	سکسیونر	مدارشکن	باسبار
ABB 07	۰.۰۱۵۷۶۸	۰.۰۰۲۵	۰.۰۰۴	۰.۰۰۲۶
Nyberg 03	۰.۰۰۵	۰.۰۰۱۴۹	۰.۰۲۱۵	۰.۰۲۶۹
Nordel Sw 07	۰.۰۰۴	-	۰.۰۱۸	-
Dortoline 91	۰.۶۸	۰.۰۰۲	۰.۰۴۵	۰.۰۱
Bilinton 91	۰.۰۹	-	۰.۰۲	۰.۰۲۴
Meeuwsen 97	۱	-	۰.۰۲	۰.۰۲۵
Karlsson 97	-	-	۰.۰۱۳خط ۰.۰۴۵راکتور	-
Brown 99	۰.۱۰۵	۰.۰	۰.۰۰۶	-
Atanackovic 99	-	-	۰.۰۴۵(۳۱۵kv) ۰.۰۹۹(۵۰۰kv)	-
Xu 02	۰.۱۵(۵۰۰kv)	۰.۰۰۲(۵۰۰kv)	۰.۰۶(۵۰۰kv)	۰.۰۲(۵۰۰kv)
Tsao 03	۰.۰۴۸	-	۰.۰۰۶	۰.۰۰۱
Suwantawat 04	۰.۰۱۴۳	۰.۰۸۹۷	-	۰.۰۰۰۱۲۵
Retterch 04	۰.۱۰۵	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱
Billinton05	-	-	۰.۰۱	۰.۰۲۵
Bezhadi 06	-	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
Sidiropoulos 07	۱	-	۰.۱۸	۰.۰۹
Banejad 08	۰.۰۱۴	۰.۰۱	۰.۰۱۵	۰.۰۲۷

جدول (۲):زمان تعمیر تجهیزات [۱۴]

	خطوط انتقال	سکسیونر	مدارشکن	باسبار
ABB 07	-	۱۰	۱۶	-
Nyberg 03	۵:۰۳	۴۰:۴۷_۴:۰۳	۶_۲۴	۳:۲۵
Dortoline 91	۷:۲۹	۱۲	۲۴	۲۴
Bilinton 91	۷:۲۰	-	۳	۲
Meeuwsen 97	۱۰	-	۱۲	۲۵
Karlsson 97	-	-	۴۸	-
Brown 99	۸	۴	۴	-
Xu 02	۱۵(۵۰۰kv)	۱۲(۵۰۰kv)	۱۰۰(۵۰۰kv)	۲۴(۵۰۰kv)
Tsao 03	۸	-	۴	۲
Suwantawat 04	۴:۲۰	-	۶	۹:۳۰
Retterch 04	۵	-	۴	-
Billinton05	-	-	۹۳:۳۶	۱۰
Bezhadi 06	-	۴	۱۲	۴
Sidiropoulos 07	۱۰	-	۱۶۰	۶
Banejad 08	۴:۲۰	۱۰	۱۶	۳:۳۰

بنابراین تغییر شرایط بهره‌برداری پست از حالت بهره‌برداری سنتی به حالت بهره‌برداری بدون اپراتور و تجهیز پست به وسایل مانیتورینگ و کنترل مناسب می‌تواند احتمال خرابی و زمان‌های تعمیر تجهیزات را بسیار تغییر دهد.

بعنوان مثال مرجع [۱۴] مطالعه‌ای آماری به روی مدارشکن‌ها انجام داده است. این گزارش بر مبنای اطلاعات Nordel که هر ساله گزارش خرابی تجهیزات پست‌های قدرت مربوط به کشورهای سوئیس، فنلاند، دانمارک و نروژ را بیان می‌نماید آورده شده است. نتایج این مطالعه در شکل (۴) آورده شده است.



شکل (۴): مطالعه آماری خرابی مدارشکن‌ها [۱۴]

همانطور که این شکل نشان می‌دهد، در شبکه مورد مطالعه تعداد خرابی مدارشکن‌ها از ۲/۲ خرابی در هر ۱۰۰ مدارشکن در سال در سال‌های ۹۰-۹۹ به ۱/۷ خرابی در هر ۱۰۰ مدارشکن در سال در سال‌های ۹۷-۰۶ کاهش یافته است. این کاهش در حالیست که به دلیل گسترده شدن شبکه فشار بر مدارشکن‌ها افزایش یافته است. این کاهش خرابی مدارشکن‌ها را می‌توان تا حد زیادی مدیون تجهیز پست‌ها به سیستم‌های کنترل و مانیتورینگ دانست. زیرا با مانیتورینگ مداوم نرخ خرابی تجهیزات پست کاهش می‌یابد.

۳-۲- بررسی اثر بهره‌برداری بدون اپراتور بر پارامترهای قابلیت اطمینان تجهیزات پست

دو پارامتر اصلی در مدل‌سازی قابلیت اطمینان هر المان نرخ خرابی تجهیز و زمان تعمیر آن است. با داشتن این دو پارامتر بقیه پارامترهای قابلیت اطمینان همچون احتمال خرابی تجهیز محاسبه می‌شود. بنابراین جهت بررسی اثر تغییر شرایط بهره‌برداری از پست بر قابلیت اطمینان تجهیزات باید این دو پارامتر اصلاح گردند.

بعنوان مثال مرجع [۶] به بررسی اثر تغییر برنامه تعمیر و نگهداری پست بر قابلیت اطمینان مدارشکن‌ها پرداخته است. در این مطالعه خرابی مدارشکن‌ها به دو نوع خرابی کلی و خرابی جزئی تقسیم شده است. خرابی جزئی منجر به خراب شدن ناخواسته مدارشکن نمی‌شود اما دوام آن باعث تبدیل خرابی جزئی به خرابی کلی می‌شود. اما خرابی کلی باعث خرابی ناگهانی مدارشکن می‌شود. بنابراین با انجام برنامه مناسب تعمیر و نگهداری و اصلاح خرابی‌های جزئی، می‌توان نرخ خرابی کلی مدارشکن‌ها را کاهش داد.

در بررسی اثر بهره‌برداری از راه دور پست‌ها بر سطح قابلیت اطمینان تجهیزات نیز باید به ۳ نکته اساسی توجه نمود:

۱- اتوماسیون پست: بهره‌برداری پست بصورت بدون اپراتور مستلزم اجرای سطح مطلوبی از اتوماسیون پست می‌باشد. این اتوماسیون، ابزار لازم جهت مانیتورینگ و کنترل پست توسط مرکز دیسپاچینگ می‌باشد. اعمال مانیتورینگ مناسب باعث آگاهی به موقع مرکز از خرابی‌های جزئی تجهیزات پست و ارسال تیم اپراتور سیار جهت رفع خطای جزئی می‌شود. بنابراین در پست بدون اپراتور انتظار می‌رود که به دلیل اتوماسیون مناسب نرخ خرابی‌های کلی کاهش یابد.

۲- اپراتور سیار: یکی از الزامات حذف اپراتور پست، استفاده از تیم مجرب اپراتور سیار می‌باشد. اپراتور سیار بصورت متناوب به پست‌ها سرکشی نموده و بازرسی‌های مشخصی را از پست‌ها انجام می‌دهد. بعلاوه در صورت بروز هر گونه خطایی در پست، اپراتور سیار بدلیل آمادگی قبلی سریعا در محل پست حاضر خواهد شد. اپراتور سیار متشکل از نیروهای مجرب و فنی با دستورالعمل‌هایی مشخص می‌باشند. حضور اپراتور سیار می‌تواند در افزایش قابلیت اطمینان تجهیز موثر باشد. به عبارتی عملکرد اصلی و مهم اپراتور سیار سرکشی‌های مداوم به پست به همراه نظارت‌های فنی بر تجهیزات پست می‌باشد. بعلاوه اپراتورهای سیار افرادی مجرب نسبت به اپراتورهای پست می‌باشند. انجام سرکشی‌های متناوب، دقیق و فنی از پست و رفع خرابی‌های جزئی در پست غالبا از عهده اپراتور پست بر نمی‌آید. سرکشی‌های متناوب باعث می‌شود که دقت تشخیص و رفع خرابی‌های جزئی تجهیزات پست افزایش یابد. بنابراین نرخ تبدیل خرابی‌های جزئی به کلی کاهش یافته و در نتیجه باعث کاهش نرخ خرابی کلی تجهیزات پست می‌شود.

۳- مرکز دیسپاچینگ: نظارت مداوم مرکز دیسپاچینگ بر پست‌ها و استفاده از نیروی متخصص در این مرکز از دو منظر قابلیت اطمینان تجهیزات پست را افزایش می‌دهد: اول : با اتوماسیون مناسب و تجمیع داده‌ها در مرکز دیسپاچینگ دقت تشخیص خطا در مرکز بسیار بیشتر از اپراتور پست می‌باشد. این موضوع بدیل حذف خطای انسانی اپراتور پست از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین انتظار میرود که نرخ خرابی تجهیزات پست بدون اپراتور نسبت به پست مرسوم کمتر باشد. دوم: بدلیل اتوماسیون مناسب و نیز تخصص اپراتور مرکز دیسپاچینگ، سرعت مانور مرکز در مقابل حوادث رخ داده در پست افزایش می یابد. لذا انتظار می‌رود که زمان برقدار شدن شبکه در پست بدون اپراتور کمتر از پست‌های مرسوم باشد.

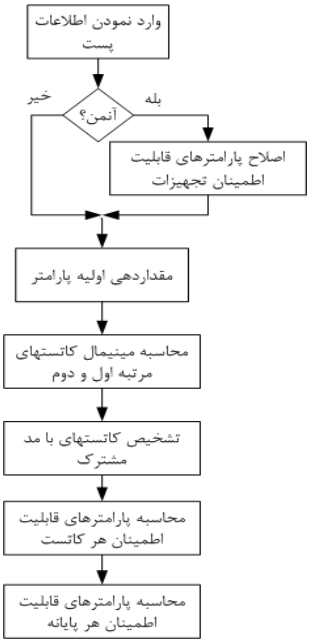
۴- بررسی اثر بهره‌برداری از راه دور پست بر قابلیت اطمینان پست

۴-۱- برنامه RCoPS

RCoPS برنامه‌ای چند بخشی جهت ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت می‌باشد. این برنامه تحت نرم افزار MatLab طراحی شده است. RCoPS از دو بخش کلی تشکیل می‌شود:

بخش اول: در بخش اول قابلیت اطمینان پست‌ها با کمک روش مینیمال کات‌ست بررسی می‌شود. در این بخش ساختار پست و اطلاعات قابلیت اطمینان تجهیزات آن بعنوان ورودی گرفته می‌شود. سپس با کمک روش مینیمال کات‌ست نرخ خرابی و زمان تعمیر پایانه‌های پست به همراه کات‌ست‌های با مد مشترک مشخص

می‌شوند. شکل (۵) ساختار برنامه RCoPS در بخش اول را نمایش می‌دهد.

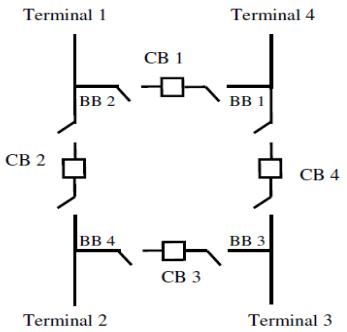


شکل (۵): فرآیند محاسبه قابلیت اطمینان هر پست در RCoPS

بخش دوم: در این بخش ابتدا با کمک پارامترهای قابلیت اطمینان بدست آمده برای پایانه‌های پست، پارامترهای قابلیت اطمینان خطوط انتقال اصلاح می‌شود. سپس قابلیت اطمینان شبکه در سطح HLII[1] محاسبه می‌شود. جهت محاسبه قابلیت اطمینان شبکه، بخش دوم RCoPS از دو زیر بخش کلی تشکیل می‌شود. در زیر بخش اول برای بدست آوردن شاخص قابلیت اطمینان انرژی انتظاری تأمین نشده EENS[2]، ابتدا برای هر شبکه دلخواه فرآیند مونت کارلو اجرا می‌گردد و خروجی‌های آن ذخیره می‌گردد. سپس در زیر بخش دوم خروجی‌های زیر بخش اول به عنوان ورودی‌های برنامه اصلی برای بدست آوردن EENS شبکه در نظر گرفته می‌شوند و شاخص قابلیت اطمینان EENS برای شبکه مورد نظر بدست می‌آید. از آنجا که هدف در این مقاله بررسی قابلیت اطمینان پست است، لذا عملکرد بخش دوم PCoPS در اینجا تشریح نشده است. اطلاعات بیشتر در مورد این بخش را می‌توان در مراجع [۱۵-۱۷] که توسط نویسندگان این مقاله منتشر شده مشاهده نمود.

۴-۲- ارزیابی قابلیت اطمینان پست مرسوم

شکل (۵) آرایش یک پست حلقوی را نمایش می‌دهد. اطلاعات قابلیت اطمینان تجهیزات پست در جدول (۳) آورده شده است.



شکل (۴): نمای تک خطی پست حلقوی

جدول (۳):اطلاعات قابلیت اطمینان تجهیزات پست [۱]

	(F/yr) Active failure rate	(F/yr) Passive failure rate	(F/yr) Total failure rate	(Hr) Repair time	(Hr) Switching time
Circuit breaker	0.0066	0.0005	0.0071	72	1
Bus bar	-	-	0.022	10	-

این پست شامل چهار ترمینال، چهار مدارشکن و چهار باس‌بار است. با اجرای برنامه RCoPS مینیمال کاتست‌های هر یک از پایانه‌های پست و شاخص‌های قابلیت اطمینان آن‌ها محاسبه می‌شود. جدول (۴) مینیمال کاتست‌های پایانه ۱ را نمایش می‌دهد. این جدول مطابق با خروجی برنامه RCoPS طراحی شده است. در این جدول خرابی باس‌بارها، خرابی پسیو مدار شکن‌ها و خرابی اکتیو آن‌ها مد نظر قرار گرفته است. اعداد ۱ در جدول به معنی مشارکت خرابی‌های رخ داده در هر کاتست می‌باشد. بعنوان مثال کاتست ۵ ناشی از خرابی همزمان باس‌بار ۱ و خرابی پسیو مدارشکن ۲ می‌باشد. ستون انتهایی در جدول ۴ بیانگر عدد دهدهی معادل با عدد دودویی هر کاتست می‌باشد که معرف آن کاتست خواهد بود.

جدول (۴):مینیمال کاتست‌های پایانه ۱

	BB1	BB2	BB3	BB4	CB1 Pass	CB2 Pass	CB3 Pass	CB4 Pass	CB1 Act	CB2 Act	CB3 Act	CB4 Act	Dec
CS1	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲
CS2	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۲۵۶
CS3	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۵۱۲
CS4	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹
CS5	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۳
CS6	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴
CS7	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۸
CS8	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱۰۲۵
CS9	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲۰۵۶

با توجه به اعداد دهدهی معادل با هر کاتست، مینیمال کاتست‌های همه پایانه‌ها در جدول (۵) آورده شده است.

جدول (۵):مینیمال کاتست‌های پایانه‌ها و قابلیت اطمینان آن‌ها

پایانه اول				پایانه دوم			
CS	λ	R	U	CS	Λ	R	U
۲	۰.۰۲۲	۱۰	۰.۲۲	۸	۰.۰۲۲	۱۰	۰.۲۲
۲۵۶	۰.۰۰۶۶	۱	۰.۰۰۶۶	۵۱۲	۰.۰۰۶۶	۱	۰.۰۰۶۶
۵۱۲	۰.۰۰۶۶	۱	۰.۰۰۶۶	۱۰۲۴	۰.۰۰۶۶	۱	۰.۰۰۶۶
۹	۰.۰۰۶۷	۵	۰.۰۳۳۶	۶	۰.۰۰۶۷	۵	۰.۰۳۳۶
۳۳	۰.۰۰۰۷۲	۸.۷۸	۰.۰۰۶۳	۶۶	۰.۰۰۰۷۲	۸.۷۸	۰.۰۰۶۳
۲۴	۰.۰۰۰۷۲	۸.۷۸	۰.۰۰۶۳	۳۶	۰.۰۰۰۷۲	۸.۷۸	۰.۰۰۶۳

[1] Hierarchical Level II (HLII)
[2] Expected Energy Not Supplied (EENS)

۴۸	۰.۰۰۰۰۳۳	۳۶	۰.۰۰۱۲	۹۶	۰.۰۰۰۰۳۳	۳۶	۰.۰۰۱۲
۱۰۲۵	۰.۰۰۱۳	۰.۹	۰.۰۰۱۲	۲۶۰	۰.۰۰۱۳	۰.۹	۰.۰۰۱۲
۲۰۵۶	۰.۰۰۱۳	۰.۹	۰.۰۰۱۲	۲۰۵۰	۰.۰۰۱۳	۰.۹	۰.۰۰۱۲
پایانه سوم				پایانه چهارم			
CS	λ	R	U	CS	Λ	R	U
۴	۰.۰۲۲	۱۰	۰.۲۲	۱	۰.۰۲۲	۱۰	۰.۲۲
۱۰۲۴	۰.۰۰۶۶	۱	۰.۰۰۶۶	۲۵۶	۰.۰۰۶۶	۱	۰.۰۰۶۶
۲۰۴۸	۰.۰۰۶۶	۱	۰.۰۰۶۶	۲۰۴۸	۰.۰۰۶۶	۱	۰.۰۰۶۶
۹	۰.۰۰۶۷	۵	۰.۰۳۳۶	۶	۰.۰۰۶۷	۵	۰.۰۳۳۶
۶۵	۰.۰۰۰۷۲	۸.۷۸	۰.۰۰۶۳	۱۳۰	۰.۰۰۰۷۲	۸.۷۸	۰.۰۰۶۳
۱۳۶	۰.۰۰۰۷۲	۸.۷۸	۰.۰۰۶۳	۲۰	۰.۰۰۰۷۲	۸.۷۸	۰.۰۰۶۳
۱۹۲	۰.۰۰۰۰۳۳	۳۶	۰.۰۰۱۲	۱۴۴	۰.۰۰۰۰۳۳	۳۶	۰.۰۰۱۲
۲۶۴	۰.۰۰۱۳	۰.۹	۰.۰۰۱۲	۵۱۶	۰.۰۰۱۳	۰.۹	۰.۰۰۱۲
۵۱۳	۰.۰۰۱۳	۰.۹	۰.۰۰۱۲	۱۰۲۶	۰.۰۰۱۳	۰.۹	۰.۰۰۱۲

در این جدول علاوه بر مینیمال کات‌ست‌ها، اطلاعات قابلیت اطمینان هر کات‌ست نیز آورده شده است. پارامترهای قابلیت اطمینان هر کات‌ست با توجه به رابطه (۲) محاسبه شده‌اند. همانطور که در جدول (۵) دیده می‌شود به دلیل تقارن پست، اطلاعات قابلیت اطمینان پایانه‌ها نیز مشابه می‌باشد. از پارامتر قابلیت اطمینان میانگین زمان خارج بودن در سال (U) مشخص است که در پست داده شده باس‌بارها بیشترین مشارکت در خرابی پایانه‌ها را دارند. باید دقت نمود که با توجه به آرایش پست و نیز اطلاعات قابلیت اطمینان تجهیزات، میزان مشارکت تجهیزات در خروج پایانه‌ها می‌تواند متفاوت باشد. جهت محاسبه پارامترهای قابلیت اطمینان پایانه‌های هر پست ابتدا مینیمال کات‌ست‌های با مد مشترک که رخ دادن آنها باعث از دست رفتن چند پست می‌شود را بدست می‌آوریم. جدول (۶) مینیمال کات‌ست‌های با مد مشترک را نشان می‌دهد.

جدول (۶):کات‌ست‌های با مد مشترک

	CS	T_i	T_j	Λ	r	U
۱	۲۵۶	۱	۴	۰.۰۰۶۶	۱	۰.۰۰۶۶
۲	۵۱۲	۱	۲	۰.۰۰۶۶	۱	۰.۰۰۶۶
۳	۹	۱	۳	۰.۰۰۶۷	۵	۰.۰۳۳۶
۴	۱۰۲۴	۲	۳	۰.۰۰۶۶	۱	۰.۰۰۶۶
۵	۶	۲	۴	۰.۰۰۶۷	۵	۰.۰۳۳۶
۶	۲۰۴۸	۳	۴	۰.۰۰۶۶	۱	۰.۰۰۶۶

خرابی پایانه‌ها با توجه به رابطه (۳) محاسبه می‌شود. در واقع در نمودار قابلیت اطمینان هر پایانه فرض می‌شود که کات‌ست‌ها المان‌های سری می‌باشند. جدول (۷) اطلاعات قابلیت اطمینان پایانه‌های پست ناشی از مینیمال کات‌ست‌های تکی را نمایش می‌دهد.

جدول (۷): قابلیت اطمینان پایانه‌ها ناشی از کات‌ست‌های تکی

T	Λ	R	U	Probability
۱	۰.۰۲۶۱	۹.۰۶	۰.۲۳۶۲	۰.۰۰۰۰۲۷
۲	۰.۰۲۶۱	۹.۰۶	۰.۲۳۶۲	۰.۰۰۰۰۲۷
۳	۰.۰۲۶۱	۹.۰۶	۰.۲۳۶۲	۰.۰۰۰۰۲۷
۴	۰.۰۲۶۱	۹.۰۶	۰.۲۳۶۲	۰.۰۰۰۰۲۷

۴-۳- ارزیابی قابلیت اطمینان پست بدون اپراتور

همانطور که در بخش ۳-۲ ذکر گردید، پارامترهای قابلیت اطمینان تجهیزات با بهره‌برداری از راه دور پست تحت تأثیر قرار می‌گیرد. لذا انتظار می‌رود که با اعمال اتوماسیون مناسب، سرکشی منظم اپراتور سیار به پست، نظارت مستمر مرکز دیسپاچینگ به پست و اعمال فرامین کنترلی مناسب توسط مرکز نرخ خرابی تجهیزات پست، زمان تعمیر و زمان سوئیچینگ کاهش یابد. میزان کاهش هر یک از این پارامترها بسته به کیفیت اجرای بهره‌برداری بدون اپراتور پست دارد. بعنوان مثال تجربه بهره‌بردار برق منطقه خراسان نشان می‌دهد که با بهره‌برداری پست بصورت بدون اپراتور، سرعت مانور بهره‌بردار در کنترل حوادث رخ داده در شبکه افزایش می‌یابد بگونه‌ای که دقت تشخیص بهره‌بردار از خرابی‌های جزئی به بیش از ۲ برابر افزایش و زمان مانور در حوادث و برگرداندن پست به شبکه به میزان یک پنجم زمان معمول رسیده است [۱۸]. این بدان معناست که در بسیاری از تجهیزات نرخ خرابی نصف شده و زمان تعمیر برای حوادثی که نیاز به تیم تعمیر حرفه ای ندارد کاهش چشمگیری دارد. در این مقاله پارامترهای قابلیت اطمینان λ، r و زمان سوئیچینگ تجهیزات برای پست بدون اپراتور به ترتیب با ضرائب ۰.۵، ۰.۸ و ۰.۲ اصلاح شده‌اند. جدول (۸) اطلاعات قابلیت اطمینان مینیمال کات‌ست‌های ترمینال اول را با در صورت بدون اپراتور بودن پست نشان می‌دهد.

جدول (۸): قابلیت اطمینان کات‌ست‌های پایانه اول در پست بدون اپراتور

پایانه اول			
CS	Λ	r	U
۲	۰.۰۱۱	۹	**۰.۰۹۹**
۲۵۶	۰.۰۰۳۳	۰.۲۰	۰.۰۰۰۶۶
۵۱۲	۰.۰۰۳۳	۰.۲۰	۰.۰۰۰۶۶
۹	۰.۰۰۱۸۲	۴.۵	۰.۰۰۸۲
۳۳	۰.۰۰۰۱۸۲	۷.۹	۰.۰۰۱۴
۲۴	۰.۰۰۰۱۸۲	۷.۹	۰.۰۰۱۴
۴۸	7.84e-06	۳۲.۴	۰.۰۰۰۲۵
۱۰۲۵	۰.۰۰۰۳	۰.۱۹۶	5.942e-05
۲۰۵۶	۰.۰۰۰۳	۰.۱۹۶	5.942e-05

جدول (۹) قیاسی بین اطلاعات قابلیت اطمینان پایانه‌های پست بدون اپراتور با پست مرسوم ناشی از کات‌ست‌های تکی را نمایش می‌دهد.

جدول (۹): قابلیت اطمینان پایانه‌ها ناشی از کات‌ست‌های تکی

	Λ	R	U	Probability
پست مرسوم	۰.۰۲۶۱	۹.۰۶	۰.۲۳۶۲	۰.۰۰۰۰۲۷
پست بدون اپراتور	۰.۰۱۲	۸.۵۳	۰.۱۰۲۲	۰.۰۰۰۰۱۲

همانطور که در این جدول مشخص است، در پست حلقوی مورد مطالعه، با بهره‌برداری از راه پست احتمال از دست دادن پایانه‌های پست به میزان ۵۶٪ کاهش و میانگین زمان خارج بودن پست در سال به میزان ۵۷٪ بهبود یافته‌اند. *این به معنای آن است در پست مورد مطالعه سطح قابلیت اطمینان پست بصورت بدون اپراتور بیش از دو برابر سطح قابلیت اطمینان پست با بهره‌برداری مرسوم می‌باشد.*

۵- نتیجه

یک سیستم قدرت متشکل از تعداد زیادی پست فوق توزیع و انتقال است که عملکرد صحیح پست‌ها متضمن عملکرد صحیح

سیستم قدرت است بنابراین حداقل نمودن قطعی مشترک ناشی از حوادث پست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. اعمال فرآیند اتوماسیون، بستری مناسب جهت بهره‌برداری بدون اپراتور (بهره‌برداری از راه دور) از پست‌های فوق توزیع و انتقال ایجاد نموده است. از طرفی پارامترهای قابلیت اطمینان تجهیزات و نهایتاً شاخص‌های قابلیت اطمینان پست متأثر از فرآیند بهره‌برداری از را دور (بهره‌برداری بدون اپراتور) پست‌های فوق توزیع و انتقال می‌گردد.

در این مقاله با ارائه یک راهکار دو مرحله‌ای ابتدا نشان داد شده که با بهره‌برداری پست بصورت بدون اپراتور، سرعت مانور بهره‌بردار در کنترل حوادث رخ داده در شبکه افزایش می‌یابد بگونه‌ای که دقت تشخیص بهره‌بردار از خرابی‌های جزئی المان‌ها به بیش از ۲ برابر افزایش و زمان مانور در حوادث و برگرداندن پست به شبکه به میزان یک پنجم زمان معمول رسیده است. سپس نشان داده شد که سطح قابلیت اطمینان پست بدون اپراتور نسبت به پست مرسوم ۵۷٪ بهبود داشته است.

بهره‌برداری پست بصورت بدون اپراتور و حضور تیم اپراتور سیار، باعث سرکشی مداوم به پست‌ها می‌شود. لذا انتظار می‌رود که برنامه تعمیر نگهداری پست‌های بدون اپراتور متفاوت از برنامه تعمیر نگهداری پست‌های مرسوم باشد. از طرفی بهبود قابلیت اطمینان پست باعث افزایش سطح قابلیت اطمینان شبکه تولید و انتقال برق نیز می‌شود. بررسی میزان افزایش قابلیت اطمینان شبکه در حضور پست‌های بدون اپراتور نیز موضوعی است که می‌تواند مورد توجه محققین قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان از شرکت برق منطقه خراسان، بخصوص دیسپاچینگ شمال‌شرق کشور بدلیل همکاری مداوم در انجام این تحقیق و قرار دادن تجربیات خود در اختیار محققین کمال تشکر و قدردانی را دارند.

مراجع

[1] Rajesh U Nighot, *Incorporating Substation and Switching Station Related Outages in Composite System Reliability Evaluation*, M.S. Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, 2003.

[۲] جمعی از نویسنگان ، **استاندارد سیستم‌های اتوماسیون پست‌های انتقال و فوق توزیع**، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو، دی ماه ۱۳۸۶.

[3] D. Nack, *Reliability of substation configuration*, 2005. [online] Available: http://www.ee.iastate.edu/~jdm/ee653/substation_reliability.pdf

[4] P. Choonhapran, *Application of high voltage circuit breakers and development of aging model*. PhD thesis, University of Darmstadt, Department of Electrical and Computer Engineering, Darmstadt, Germany, 2007.

[5] Zongyu Liu, *Reliability Analysis of Breaker Arrangements in High Voltage Stations: A Fault Tree Approach*, M.S. Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2008.

[6] Hua Yang, *Incorporating Station Related Maintenance And Aging Outages In Composite System Reliability Evaluation*, M.S. Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, 2005.

[7] Abbasghorbani, M.; Mashhadi, H.R., "Circuit breakers maintenance planning for composite power systems," Generation, Transmission & Distribution, IET , vol.7, no.10, pp.1135,1143, October 2013

[8] Abbasghorbani, M. , Rajabi Mashhadi, H. , Damchi, Y. : 'Reliability-centred maintenance for circuit breakers in transmission networks', *IET Generation, Transmission & Distribution,* 2014.

[9] Stefania C. , Santi A. Rizzo, Ehab F. El-Saadany, Mohammed Essam, and Yasser M. Atwa. 'Reliability Assessment of Distribution Systems Considering Telecontrolled Switches and Microgrids', *IEEE Transactions On Power Systems*, Vol. 29, No. 2, March. 2014.

[10] R.Billinton and R.N.Allan, *Reliability Evaluation of Engineering Systems Concepts and Techniques* (second edition), Plenum Press, New York and London, 1992.

[11] R.Billinton and R.N.Allan, *Reliability Evaluation of Power Systems*, Plenum Press, 1996.

[12] R. Billinton and W. Li, *Reliability evaluation of electric power systems using Monte Carlo simulation method*, 1st Edition Plenum Press, New York 1994.

[13] CEA Equipment Reliability Information System, *Forced outage performance of transmission equipment*, 1995-1999, Canadian Electric Association, Canada.

[14] Johnny Vikesjö, *Reliability Comparison between Different 400 kV Substation Designs*, M.S. Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2008.

[15] B. Adineh, H. Rajabi Mashhadi, M. E. Hajiabadi, *Determining Appropriate Buses and Networks for Applying Demand Side Management Programs by Structural Analysis of EENS*, Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering (IJEEE), 2014.

[16] M. Hosseinpour, H. Rajabi Mashhadi, M. E. Hajiabadi, *Propose a Novel Probabilistic Model for Wind Farms in Reliability Assessment of Power System*, Journal of Zhejiang University Science C (Computers & Electronics), vol. 14, no. 6, pp. 464-474. 2013.

[۱۷] بهروز آدینه، حبیب رجبی مشهدی، محمد ابراهیم حاجی‌آبادی، **اولویت‌بندی باس‌ها جهت اعمال برنامه‌های مدیریت مصرف از دیدگاه قابلیت اطمینان (مورد مطالعاتی: شبکه ۴۰۰ کیلوولت خراسان)**، بیست و هشتمین کنفرانس بین المللی برق(PSC)، آبان ۱۳۹۲.

[۱۸] جمعی از نویسنگان، **ارزیابی فنی و اقتصادی بهره‌برداری بدون اپراتور از پست‌های فوق توزیع و انتقال** ، شرکت برق منطقه خراسان، دانشگاه فردوسی مشهد، تابستان ۱۳۹۲.