

تأثیر شاخصهای قابلیت اطمینان بر روی هزینه برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه فیدرهای توزیع با در نظر گرفتن اهمیت آنها

هادی قاسم آبادی، علی پیروی

دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

مشهد، ایران

Ghasemabadi.hadi@gmail.com, peyravi@um.ac.ir

ناشی از بروز اشکال در شبکه توزیع می‌باشند [۱]. با این حال کارهای پژوهشی و تحقیقاتی انجام شده و مقالات منتشر شده مربوط به این بخش به مراتب کمتر از شبکه تولید و انتقال است [۲].

نرخ خروج و مدت زمان قطعی مشترکین به وسیله‌ی یک تعمیر و نگهداری صحیح کاهش می‌یابد و بهره برداران روش‌های مختلفی را برای تعمیرات و نگهداری تجهیزات استفاده می‌کنند [۳]، که این روش‌ها سبب کاستن اثرات ناشی از خرابی تجهیزات خواهند شد که به طور کلی به دو دسته: تعمیرات و نگهداری اصلاحی^۱ و تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه^۲ تقسیم بندی می‌شوند [۴].

به تعمیرات و نگهداری اصلاحی، روش کار تا خرابی^۱ نیز گفته میشود چرا که هیچ عمل تعمیر و نگهداری بر روی تجهیز انجام نمیگردد تا زمانی که تجهیز دچار مشکل شده و خطا کند. این روش بسیار ناکارآمد میباشد و با توجه به جریمه‌های در نظر گرفته شده برای عدم سرویس رسانی، این روش پتانسیل این را دارد که این گونه جریمه‌ها را به سیستم تحمیل کند. همان طور که از نام تعمیر و نگهداری پیشگیرانه پیداست اقدامات و فعالیت انجام شده در این روش پیش از آنکه وسیله خطا کند و منجر به هزینه‌های اضافی گردد انجام میگردد و در نتیجه به بهبود وضعیت آن تجهیز و همچنین موجب تأخیر در رخداد خطای بعدی میگردد. تعمیرات و

چکیده — فیدر توزیع نقش کلیدی در بهبود قابلیت اطمینان سیستم توزیع دارد. برای حفظ قابلیت اطمینان سیستم توزیع در سطح مطلوب، باید فیدرها مورد بازرسی و تعمیرات و نگهداری قرار بگیرند. بازرسی و تعمیرات فیدرها امری هزینه‌بردار است و بودجه لازم برای انجام آن محدود میباشد. از طرفی بعضی از فیدرها در شبکه نسبت به سایر فیدرها از نقطه نظر شاخصهای مختلف اهمیت بیشتری دارند. روش ارائه شده یک فرمول خطی عدد صحیح مختلط برای برنامه‌ریزی بلندمدت تعمیرات و نگهداری فیدرهای توزیع با لحاظ کردن اهمیت آنها است. روش انجام شده بر مبنای ریسک و مدل جداسازی شاخص - های ریسک خطا در شبکه توزیع است. برای بررسی تأثیر شاخصهای قابلیت اطمینان بر روی هزینه برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری، آنالیز حساسیت بر روی شاخصهای قابلیت اطمینان انجام میگردد.

واژه‌های کلیدی — اهمیت فیدر؛ برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری؛

شاخصهای قابلیت اطمینان؛ شبکه توزیع

۱. مقدمه

امروزه استفاده از انرژی الکتریکی تبدیل به یکی از اساسیترین پایه‌های جامعه مدرن شده است و با پیشرفته شدن وسایل برقی جدید، نیاز به تغذیه با درجه قابلیت اطمینان بالا افزایش چشمگیری یافته است. از طرفی آمار نشان میدهد که بیش از ۸۰٪ قطعی‌های اتفاق افتاده در شبکه های قدرت

¹ - Corrective Maintenance

² - Preventive Maintenance

³ - Run To Failure

نگهداری پیشگیرانه خود شامل تعمیرات و نگهداری بر مبنای زمان (TBM)، تعمیرات و نگهداری بر مبنای وضعیت (CBM) و تعمیرات و نگهداری با محوریت قابلیت اطمینان (RCM) می‌شود. تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه بر مبنای ریسک یک روش دیگر و پیشرفته RCM است. ریسک به صورت حاصل ضرب وابسته به زمان احتمال خطای وسیله و عواقب آن خطا تعریف می‌شود. اطلاعات وضعیت برای تخمین احتمال خطای وسیله استفاده می‌شود. انتخاب و زمان بندی اعمال تعمیرات و نگهداری همزمان و با استفاده از الگوریتمهای بهینه سازی انجام می‌شود. چرا که میزان کاهش به وجود آمده در ریسک وابسته به زمانی است که یک عمل تعمیرات و نگهداری پیاده سازی شود [۵]. از نظر تابع هدف و مدل رضی مسئله برنامه ریزی تعمیرات و نگهداری در سه جهت توسعه داده شده است.

۲. پارامترهای قابلیت اطمینان المانهای شبکه

برای هر یک از المانهای شبکه توزیع، می‌توان تعدادی پارامتر قابلیت اطمینان تعریف کرد. شاخصهایی باید تعریف شوند که نمایش کاملی از رفتار و پاسخ سیستم ارائه کند. به منظور انعکاس دقت و اهمیت خاموشی سیستم، شاخصهای قابلیت اطمینان زیر تعریف میشوند.

۲.۱. شاخص میانگین دفعات قطع سیستم SAIFI^۱

این شاخص، متوسط دفعات قطع تغذیه برای هر مشترک در هر سال است. SAIFI معیاری است برای تعیین آنکه چند خاموشی بلند مدت به ازای هر مصرف کننده در طول یک سال رخ داده است. به ازای تعداد ثابتی مصرف کننده، شاخص SAIFI با توجه به رابطه (۱) تعریف می‌شود. در این رابطه N_i تعداد مشترکین و λ_i نرخ خرابی مشترک i ام است.

$$SAIFI = \frac{\sum_i \lambda_i \times N_i}{\sum_i N_i} \quad (1)$$

۲.۲. شاخص میانگین مدت قطع سیستم SAIDI^۲

SAIDI معیاری است که تعداد ساعات خاموشی بلند مدت را به ازای هر مصرف کننده در طول یک سال نشان می‌دهد. این شاخص متوسط قطع تغذیه هر مشترک در سال را نشان می‌دهد و در رابطه (۲) تعریف شده است. در این رابطه U_i مدت خروج و سالانه بار i ام و N_i تعداد مشترکین است.

$$SAIDI = \frac{\sum_i U_i \times N_i}{\sum_i N_i} \quad (2)$$

- حداقل کردن هزینه تعمیرات و نگهداری
- حداکثر کردن قابلیت اطمینان
- حداقل کردن هزینه کلی

در نوع اول تابع هدف به صورت حداقل کردن هزینه تعمیرات و نگهداری تعریف می‌شود [۶]؛ و قابلیت اطمینان به صورت یک قیاسی و سطح حداقل خواسته شده تعریف می‌شود. در روش دوم استراتژی بهینه سازی تعمیرات و نگهداری طوری تعیین می‌شود که قابلیت اطمینان سیستم حداکثر شود [۷] و [۸]. در روش سوم در کنار هزینه تعمیرات و نگهداری، هزینه های قابلیت اطمینان (هزینه فرکانس و مدت قطعی مصرف کننده) نیز به تابع هدف اضافه می‌شود [۹] و [۱۰].

قابلیت اطمینان و هزینهها با تعمیرات و نگهداری رابطه‌های بسیار نزدیک دارند. اگر تعمیرات و نگهداری به ندرت انجام گیرد بالطبع خطاها و خروج المانهای سیستم زیاد می‌شود و اگر بیش از اندازه و زیاد انجام گیرد، هزینه زیاد و بدون توجیهی برای سیستم در بر خواهد داشت. بنابراین لازم است که یک تعادل بین هزینه انجام تعمیرات و نگهداری و هزینه وقوع قطعی برقرار شود. در این مقاله برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم، فیدرهای توزیع به دو دسته فیدرهای مهم و غی مهم تقسیم شده‌اند. چرا که ضروری است که در برنامه ریزی تعمیرات و نگهداری یعنی فیدری که برای مثال بهارستان بزرگی را تغذیه می‌کند و فیدری که چند مشترک خانگی را تغذیه می‌کند، تفاوت قائل شد. اهمیت فیدرها از نقطه نظر شاخصهای مهم مانند

⁴ - Time Based Maintenance

⁵ - Condition Based Maintenance

⁶ - Reliability Centered Maintenance

⁷ - System Average Interruption Frequency Index

⁸ - System Average Interruption Duration Index

۳. الویتبندی فیدرها

انجام تعمیرات و نگهداری فیدرها یکی از راه‌های ممکن برای رسیدن به بهره‌برداری بهینه و افزایش قابلیت اطمینان شبکه توزیع می‌باشد. برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه توزیع با توجه به گستردگی شبکه، زیاده بودن فیدرها، محدودیت‌های اقتصادی و اجرایی موجود، دسته‌بندی فیدرها برای شناسایی فیدرهای مهم از نقطه نظر شاخص‌های مختلف، امری ضروری است برای شناسایی فیدرهای مهم شبکه، جهت اولویت‌دهی از فیدرهای شبکه با توجه به فاکتورهای مهم و قابل دسترس مختلف تشکیل می‌شود. از جمله این فاکتورهای مهم می‌توان به موارد زیر اشاره نمود، که عبارتند از نوع مشترک، بار فیدر، طول فیدر، وسعت فیدر، نرخ خرابی و وضعیت مانوری. البته ذکر این نکته ضروری است که تمامی فاکتورهای فوق ارزش یکسانی در تشکیل جهت الویت فیدرها ندارند. به همین منظور برای وزن دادن به آن‌ها از ضریب خاص مربوط به آن فاکتور استفاده می‌شود. با استفاده از رابطه (۳) و (۴) می‌توان به درجه اهمیت فیدرها نسبت به یکدیگر رسید [۱۲].

$$FMI_i = \sum_{j=1}^k \alpha_j \times \left(\frac{\beta_{ij}}{\max(\beta_{ij})} \times 100 \right) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^k \alpha_j = 1 \quad (4)$$

در رابطه فوق FMI_i شاخص اهمیت فیدر i و β_{ij} ویژگی فیدر i و α_j وزن اختصاص داده شده به ویژگی j می‌باشند.

۴. تأیید انجام تعمیرات بر روی شاخص ریسک

ریسک بالا به معنی قابلیت اطمینان پایین و بالعکس است. ریسک مدیریت ریسک دارای مفاهیم گسترده‌ای است. نرخ خطا (λ) احتمال خطای یک وسیله خاص را توصیف می‌کند، یا تعداد دفعاتی در سال که انتظار می‌رود یک وسیله خطا کند. نرخ خطا در سطح اجزاء تعریف می‌شود. نرخ خطای کلی یک وسیله $\lambda_{tot}(t)$ می‌تواند به چندین نرخ خطای مختلف تجزیه شود.

$$\lambda_{tot}(t) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (5)$$

که در آن $\lambda_i(t)$ نرخ خرابی i ام منتج از i امین شاخص ریسک و N تعداد کل شاخص‌های ریسک اثرگذار هستند

۵. تعیین استراتژی بهینه تعمیرات و نگهداری

بلندمدت پیشگیرانه

برای کم‌تر کردن هزینه‌ها تابع هدف برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری، رابطه (۶) به همراه محدودیت‌های مختلف و با در نظر گرفتن اهمیت فیدرها پیشنهاد می‌شود. تابع هدف و قیود مسئله یک فرمول دارای ساختار برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط است.

۵.۱. تابع هدف

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{NF} \sum_{n=1}^{Ndf} ((MC_i^n(t) \times I_i^n(t) + FC_i^n(t) \times \lambda_i^n(t)) \times (1+dr)^{-t} \quad (6)$$

همان‌طور که در رابطه (۶) نشان داده شده است، تابع هدف از جنس هزینه‌های تحمل‌شده به شرکت‌های توزیع است و از دو بخش تشکیل شده است، بخش اول آن که $(MC_i^n(t) \times I_i^n(t))$ است از هزینه نگهداری و متغی تصمیم‌گیری دودویی تشکیل شده است. متغی تصمیم‌گیری دودویی زمانی یک است که نگهداری مربوطه انجام شده باشد درغی این صورت صفر است. بخش دوم تابع هدف نیز مربوط به هزینه‌های تعمیر می‌باشد که در نرخ خرابی مجزا شده فیدر i در دوره t که به آخرین زمان نگهداری انجام شده بستگی دارد، ضرب شده است.

۵.۲. قیود مسئله

$$\sum_{i=1}^{NF} \sum_{n=1}^{Ndf} (MC_i^n(t) \times I_i^n(t) + FC_i^n(t) \times \lambda_i^n(t)) \leq MB(t) \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{NF} \sum_{n=Minor, Major}^{Ndf} (WH_i^{n,M} \times I_i^n(t) + WH_i^{n,R} \times \lambda_i^n(t)) \leq WH(t) \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{NF} \sum_{n=TreeTr \min g}^{Ndf} (WH_i^{n,M} \times I_i^n(t) + WH_i^{n,R} \times \lambda_i^n(t)) \leq WH_n(t) \quad (9)$$

$$\sum_{n=Minor, Major} I_i^n(t) \leq 1 \quad (10)$$

$$\lambda_i^n(t) \geq DFR_i^n(Initial) \times I_i^n(t) \quad (11)$$

$$\lambda_i^n(t) \geq DFR_i^n(m) \times \left(1 - \sum_{r=0}^{m-1} I_i^n(t-r) \right) \quad (12)$$

$$\forall i = 1, \dots, NF \quad \forall t = 1, \dots, T.$$

توجه به این که هدف رسیدن به استراتژی بهینه زمانبندی تعمیرات و نگهداری با بالاترین میزان قابلیت اطمینان با توجه به قیود تعمیرات میباشد، اهمیت فیدرها در قیود قابلیت اطمینان لحاظ می‌شود تا با کاهش قطعی فیدرهای مهم و همچنین حفظ زمان و تعداد قطعی فیدرهای غیر مهم در بازه معقول، قابلیت اطمینان شبکه افزایش یافته و از طرفی با کمترین هزینه به بهینه‌ترین حالت رسید.

قیود قابلیت اطمینان برای فیدرهای مهم و غیر مهم جدا تعریف می‌شوند. برای تعیین بازه زمانی مناسب تعمیرات و نگهداری پیشنهادی با توجه به لحاظ کردن اهمیت فیدرها، شاخص‌های قابلیت اطمینان SAIFI و SAIDI برای فیدرهای با الویت بالا، مقادیر کمتری را نسبت به شاخص‌های قابلیت اطمینان فیدرهای غیر مهم به خود اختصاص می‌دهند. از طرفی برای جلوگیری از اعمال جریمه به شرکت‌های توزیع، شاخص‌های قابلیت اطمینان مذکور برای فیدرهای غیر مهم در مقدار قابل قبول تعیین می‌گردند. قیود مربوط به شاخص‌های قابلیت اطمینان فیدرهای مهم در رابطه (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است.

$$\sum_{j=1}^{N_{imp}} \sum_{n=1}^{Ndf} \left(\frac{NC_j^{n,M}}{NC} \times I_j^n(t) + \frac{NC_j^{n,F}}{NC} \times \lambda_j^n(t) \right) \quad (13)$$

$$\leq SAIFI_{imp}(t)$$

$$\sum_{j=1}^{N_{imp}} \sum_{n=1}^{Ndf} \left(\left(\frac{\sum_{s=1}^{NC_s^{n,M}} AD_{j,k}^{n,PO}}{NC} \right) \times I_j^n(t) + \left(\frac{\sum_{s=1}^{NC_s^{n,F}} AD_{j,k}^{n,UO}}{NC} \right) \times \lambda_j^n(t) \right) \leq SAIDI_{imp}(t) \quad (14)$$

$\forall j =$ Number of important feeders

برای فیدرهای غیر مهم هم قیود قابلیت اطمینان در روابط (۱۵) و (۱۶) نشان داده شده است.

$$\sum_{z=1}^{N_{uimp}} \sum_{n=1}^{Ndf} \left(\frac{NC_z^{n,M}}{NC} \times I_z^n(t) + \frac{NC_z^{n,F}}{NC} \times \lambda_z^n(t) \right) \quad (15)$$

$$\leq SAIFI_{uimp}(t)$$

$$\sum_{z=1}^{N_{uimp}} \sum_{n=1}^{Ndf} \left(\left(\frac{\sum_{s=1}^{NC_s^{n,M}} AD_{z,k}^{n,PO}}{NC} \right) \times I_z^n(t) + \left(\frac{\sum_{s=1}^{NC_s^{n,F}} AD_{z,k}^{n,UO}}{NC} \right) \times \lambda_z^n(t) \right) \leq SAIDI_{uimp}(t) \quad (16)$$

$\forall z =$ Number of unimportant feeders

معمولاً قیود اقتصادی از اصلی‌ترین محدودیت‌ها در برنامه ریزی تعمیرات و نگهداری می‌باشند. توجه به این نکته ضروری است که نابرابری مقدار هزینه‌ها از بودجه تعریف شده بیشتر گردد. رابطه (۷) قیود بودجه در برنامه‌ریزی تعمیرات را نشان می‌دهد.

ساعات کار برای تعمیر، رفع خرابی و همچنین اعمال نگهداری جزئی و کلی برای شرکت‌های توزیع محدود می‌باشند. از آنجا که ساعات کاری تعمیر و نگهداری جزئی و کلی متفاوت از ساعات کاری هرسکاری درختان می‌باشند، قید ساعات کاری هرسکاری به صورت جدا در نظر گرفته می‌شود. قید ساعات کاری مربوط به تعمیر و نگهداری جزئی و کلی را در رابطه (۸) مشاهده می‌کنید در حالی که قید ساعات کاری مربوط به هرس کاری در رابطه (۹) آمده است.

بعضی از شرکت‌ها می‌توانند استراتژی خاصی را برای تعمیرات بلندمدت خود اتخاذ کنند تا تصمیم‌شان، منجر به کاهش هزینه‌هایشان گردد. قیودی که در رابطه (۱۰) در نظر گرفته شده است، تضمین می‌کند که تعمیرات و نگهداری جزئی و کلی در یک سال دوره خاص با هم انجام نگیرد.

تجهیزات مدام در حال فرسودگی هستند و نرخ خرابی آن‌ها به مرور زمان افزایش می‌یابد. فرض شد که یک دوره ۱۰ ساله به اندازه کافی بلندمدت است که بتوان برای کل آن دوره یک نرخ خرابی ثابت و برای سال‌های بعد، نرخ خرابی را به صورت پله‌ای افزایش داد. با انجام تعمیرات و نگهداری مربوط به هر یک از خطاهای جزئی، کلی و خطاهای پوشش‌گنای و درختان، نرخ خرابی مربوطه کاهش و به مقدار اولی باز خواهد گشت. در نتیجه ارتباط بین انجام شدن و نشدن عملیات تعمیر و نگهداری با کاهش افزایش نرخ خرابی، قیود دیگری از مسئله را به وجود می‌آورد. روابط (۱۱) و (۱۲) این ارتباط را به خوبی برقرار می‌کنند.

۵.۳. لحاظ کردن اهمیت فیدرها در قیود قابلیت اطمینان

قیود ذکر شده در بالا همگی به نوعی برای استراتژی بهینه تعمیرات و نگهداری لازم هستند ولی کافی نیستند چرا که درصد رضایت مشترکین از عملکرد شرکت توزیع به مدت زمان و تعداد دفعات قطعی (قیود قابلیت اطمینان) که به آن‌ها تحمیل شده است، بستگی دارد. ارضای قیود قابلیت اطمینان نیازمند شناخت کافی از شبکه و اجزای مورد نظر است. برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه باید توجه بیشتری به فیدرهای مهم نمود چرا که قطعی فیدرهای مهم می‌تواند هزینه‌های زیادی به همراه داشته باشد. با

جدول ۱: مقایسه زمانبندی تعمیرات و نگهداری روش پیشنهادی با

برنامه ریزی تعمیرات و نگهداری روش مرجع [۱۱]

NF	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
year	1	2	3	4	5							

لازم به ذکر است که شاخصهای قابلیت اطمینان SAIDI و SAIFI مرجع [۱۱] به ترتیب $0.6 f/yr$ و $2 hr/yr$ برای هر مشترک در نظر گرفته شده‌اند و این در حالی است که همین شاخصها برای فیدرهای مهم روش پیشنهادی به ترتیب $0.5 f/yr$ و $1/25 hr/yr$ به ازای هر مشترک محاسبه شده است. که ملاحظه می‌گردد با تغییر SAIDI و SAIFI و یا به عبارتی افزایش قابلیت اطمینان شبکه (کاهش شاخصهای مذکور) روند کلی برنامه زمانبندی تعمیرات و نگهداری تغییر کرده است.

هزینه روش پیشنهادی زمانبندی تعمیرات و نگهداری ۸۱۱/۳۲۶۵۹۳ دلار می‌باشد. در مقایسه با هزینه مرجع [۱۱] که ۳۲۱۰۸۶ دلار می‌باشد به میزان ناچیز $1/68$ درصد افزایش یافته است که با توجه به در نظر گرفتن اهمیت فیدرها در روش پیشنهادی و افزایش قابلیت اطمینان شبکه امری طبیعی می‌نماید. لازم به ذکر است که برای افزایش قابلیت اطمینان SAIFI از 0.6 به 0.5 کاهش یافته است که در واقع میزان خرابیها برای هر ۵ سال ۳ خرابی به هر ۵ سال $2/5$ خرابی کاهش یافته است همچنین برای شاخص SAIDI نیز از مقدار ۲ به $1/25$ مدت زمان خاموشی به ازای هر مشترک کاهش یافته است.

۶.۲. تأثیر شاخصهای قابلیت اطمینان بر روی هزینه

تعمیرات و نگهداری

در این بخش به بررسی تأثیر شاخصهای قابلیت اطمینان بر روی هزینه تعمیرات و نگهداری پرداخته می‌شود. همانطور که قبلاً عنوان شد در برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری شاخصهای قابلیت اطمینان SAIFI و SAIDI برای فیدرهای مهم به ترتیب $0.5 f/yr$ و $1/25 hr/yr$ در نظر گرفته شدند. برای بررسی تأثیر شاخصها بر روی هزینه تعمیرات و نگهداری مقادیر مختلفی برای شاخصها انتخاب می‌گردد. برای نمونه اول همانطور که در شکل (۱) نشان می‌دهد، مقدار شاخص SAIFI مقدار ثابت

۶. نتایج شبیهسازی

برای ارزیابی روش پیشنهادی از شبکه نمونه RBTS استفاده شده است. سیستم RBTS سیستم نمونه ای است که به منظور مقاصد آموزشی از طرف IEEE ارائه شده است [۱۳]. اطلاعات مربوط به برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری از این مرجع و همچنین باقی اطلاعات از مرجع [۱۱] گرفته شده است. از نرم افزار گمز (GAMS) برای انجام شبیه‌سازی استفاده و نتایج حاصله در این بخش آورده شده است.

شبکه مورد مطالعه ۱۱ فیدر دارد که فیدرهای شماره ۸، ۵، ۷ و ۱۱ به ترتیب با کسب امپدانسهای $0.34/82$ ، $0.61/78$ ، $0.7/74$ و $1.7/74$ بیشترین امپدانس کل را نسبت به سایر فیدرها کسب کرده‌اند و به عنوان فیدرهای مهم شبکه شناخته می‌شوند. باقی فیدرها از اهمیت کمتری برخوردار هستند و در اینجا به عنوان فیدرهای غی مهم شناخته می‌شوند.

۶.۱. تغییر استراتژی و هزینه تعمیرات و نگهداری

با در نظر گرفتن اهمیت فیدرها

برای نمونه یک دوره ۵ ساله برای استراتژی بهینه زمانبندی تعمیرات و نگهداری فیدرهای شبکه توزیع شبیه‌سازی شده است. برای حصول به این استراتژی شاخصهای قابلیت اطمینان SAIDI و SAIFI فیدرهای مهم به ترتیب $0.5 f/yr$ و $1/25 hr/yr$ و برای فیدرهای غیر مهم $1 f/yr$ و $2 hr/yr$ در نظر گرفته شده‌اند. برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری روش پیشنهادی با برنامه زمانبندی تعمیرات و نگهداری مرجع [۱۱] در جدول (۱) مقایسه شده است. در این جدول NF شماره فیدرها و A، B، C به ترتیب تعمیر و نگهداری جزئی، تعمیر و نگهداری کلی و هرسکاری می‌باشند، همچنین در این جدول علامت (x) انجام گرفتن برنامه ریزی تعمیرات و نگهداری در دوره ۵ سال مرجع [۱۱] و علامت (+) انجام گرفتن برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری روش پیشنهادی را نشان می‌دهند. با توجه به این جدول، برنامه ریزی تعمیرات نگهداری با توجه به لحاظ کردن اهمیت فیدرها دچار تغییر شده است. برای مثال با توجه به روش پیشنهادی، فیدر ۸ که یکی از فیدرهای مهم شبکه به شمار می‌رود، در سال اول نیاز به هرسکاری و در سال چهارم نیاز به تعمیر و نگهداری جزئی و هرسکاری دارد در حالیکه در روش مرجع [۱۱] در سال اول نیاز به تعمیرات جزئی دارد و در سالهای دوم و پنجم نیاز به هرسکاری دارد.

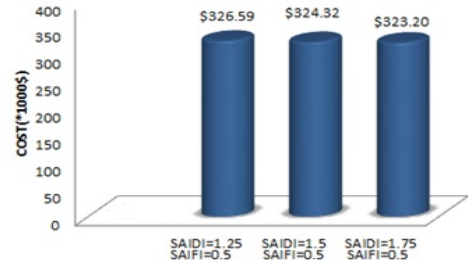
۷. نتیجه‌گیری

یکی از راه‌های افزایش سطح قابلیت اطمینان انجام فعالیت‌های تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه تجهیزات بخش توزیع انرژی الکتریکی می‌باشد. هدف این مقاله تشکیل یک تابع هدف با ارزش کمی کاهش ریسک با انجام تعمیرات و نگهداری بلند مدت فترهای توزیع و تلفاتی آن با هزینه‌های انجام آن و حداقل کردن این تابع هدف در دوره زمانی و در چارچوب محدودیت‌های بودجه و نیروی کار موجود سال‌انه می‌باشد در حالی که اهمیت فترها در آن لحاظ شده تا شاهد افزایش قابلیت اطمینان از طرف دیگر باشیم. استراتژی بهینه تعمیرات و نگهداری اتخاذ شده در مقایسه با استراتژی مرجع [۱۱] نشان می‌دهد که لحاظ کردن اهمیت فیدرها در برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری، برنامه‌ریزی را دقیقتر و دچار تغییر میکند و همچنین قابلیت اطمینان سیستم را افزایش می‌دهد. مقایسه قابلیت اطمینان و هزینه نیز با این مرجع انجام گرفت. در انتها آنالیز سود و هزینه و قیود قابلیت اطمینان نیز برای استراتژی مذکور انجام شد.

جدول ۲: لغتنامه

معادل فارسی	واژه انگلیسی
متوسط زمان قطعی دیده شده توسط k امین مشترک ناشی از n امین فعالیت تعمیر و نگهداری فتر i بر حسب ساعت	$AD_{i,k}^{n,PO}$
متوسط زمان قطعی دیده شده توسط k امین مشترک ناشی از n امین خطای رخ داده بر روی فتر i بر حسب ساعت	$AD_{i,k}^{n,UO}$
نرخ نزول	dr
m امین گام پله توزیع و اعلا استفاده شده در مدل نرخ خرابی جدا شده فتر i	$DFR_i^n(m)$
مقدار اولیه n امین نرخ خرابی جدا شده بر روی فتر i	$DFR_i^n(Initial)$
هزینه کل مرتبط با n امین خطای رخ داده بر روی فتر i در دوره t	$FC_i^n(t)$
متغی بانی که زمانی برابر ۱ است که n امین فعالیت تعمیر و نگهداری بر روی فتر i در دوره t انجام شده باشد و در غی این صورت صفر است.	$I_i^n(t)$
بودجه اختصاص شده به تعمیر و نگهداری در دوره t	$MB(t)$
هزینه کل مرتبط با n امین فعالیت تعمیر و نگهداری بر روی فتر i در دوره t	$MC_i^n(t)$
تعداد فترهای مهم	N_{imp}
تعداد فترهای غی مهم	N_{uimp}
تعداد مشترکین متأثر از قطعی فتر i	Ndf
تعداد کل مشترکین	NC

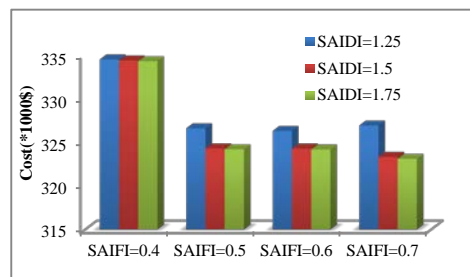
$0.5 f/yr$ و مقادیر متغیر برای شاخص SAIDI لحاظ شده است. با فرض ثابت ماندن شاخص SAIFI و افزایش مقدار SAIDI از $1/25 hr/yr$ به $1/75 hr/yr$ مقدار هزینه برنامه‌ریزی تعمیرات $1/0.3$ درصد کاهش یافته است.



شکل ۱: مقایسه هزینه برنامه‌ریزی تعمیرات، SAIFI ثابت و SAIDI متغیر برای نمونه دوم نتایج شکل (۲) حاکی از آن است که با فرض مقدار $1/25 hr/yr$ برای شاخص SAIDI و با 0.2 افزایش در مقدار شاخص SAIFI هزینه $2/75$ درصد کاهش یافته است.



شکل ۲: مقایسه هزینه برنامه‌ریزی تعمیرات، SAIDI ثابت و SAIFI متغیر برای نمونه سوم در شکل (۳) مقادیر SAIDI و SAIFI متغیر در نظر گرفته شده‌اند. برای مثال با افزایش SAIFI از $0.4 f/yr$ به $0.7 f/yr$ و کاهش مقدار SAIDI از $1/75 hr/yr$ به $1/25 hr/yr$ مقدار هزینه $2/2$ درصد کاهش یافته است.



شکل ۳: مقایسه هزینه برنامه‌ریزی تعمیرات، SAIDI متغیر و SAIFI متغیر

- [10] P. Kuntz, R. Christie, and S. Venkata, "A reliability centered optimal visual inspection model for distribution feeders," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 16, no. 4, pp. 718–723, Oct. 2001.
- [11] A. Abiri-Jahromi, M. Fotuhi-Firuzabad, and E. Abbasi, "An efficient mixed-integer linear formulation for long-term overhead lines maintenance scheduling in power distribution systems," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 24, no. 4, pp. 2043–2053, Oct. 2009.
- [12] M. Sadeghian, A. Afshar, G. Gharehpatian and S.O. mousavi, "20kv feeders ranking distribution network city of sari in order to optimal operation and automation," *9th Electric Power Distribution Conference.*, Apr. 2004 (in Persian).
- [13] R.N. Allan, R. Billinton, I. Sjarief, L. Goel, and K.S. So, "A reliability test system for educational purposes basic distribution system data and results," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 6, no. 2, pp. 813–820, May 1991.

تعداد مشترکین متأثر با توجه به n امین فعالیت تعمیری و نگهداری بر روی فیدر مهم J	$NC_j^{n,M}$
تعداد مشترکین متأثر با توجه به n امین خطای رخ داده بر روی فیدر مهم J	$NC_j^{n,F}$
تعداد مشترکین متأثر با توجه به n امین فعالیت تعمیری و نگهداری بر روی فیدر غی مهم Z	$NC_z^{n,M}$
تعداد مشترکین متأثر با توجه به n امین خطای رخ داده بر روی فیدر غی مهم Z	$NC_z^{n,F}$
تعداد فیدرهای در نظر گرفته شده در برنامه تعمیراتی	NF
دوره برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری بلند مدت	T
تعداد ساعات کار در دسترس در دوره t برای فعالیت‌های نگهداری جزئی و کلی و تعمیراتی خطاهای جزئی و کلی	$WH(t)$
تعداد ساعات کار در دسترس در دوره t برای هرس-کاری لی رفع خطاهای مربوط به پوشش گلی	$WH_{ii}(t)$
تعداد ساعات کار لازم برای n امین فعالیت تعمیر و نگهداری بر روی فیدر i بر حسب ساعت	$WH_i^{n,M}$
تعداد نفر ساعات کار لازم برای n امین خطای رخ داده بر روی فیدر i بر حسب ساعت	$WH_i^{n,R}$
n امین نرخ خرابی جدا شده فیدر i در دوره t که به آخرین باری که n امین فعالیت تعمیری و نگهداری بر روی فیدر انجام شده است، بستگی دارد.	$\lambda_i^k(t)$

منابع

- [1] R. Billinton and R. N. Allan, *Reliability Evaluation of Power Systems*, 2nd ed. New York: Plenum, 1996.
- [2] L. Bertling, R. Allan, R. Eriksson, "A Reliability-centered asset maintenance method for assessing the impact of maintenance in power distribution systems", *IEEE Trans. On Power Sys.* vol. 20, no. 1, Feb. 2005, pp 75-82.
- [3] J. Endreyini et al, "The present status of maintenance strategies and the impact of maintenance on reliability", *IEEE Trans on Power Sys.* vol. 16, no. 4, pp. 638-646, Nov. 2001.
- [4] R. Billinton and R.N. Allan, *Reliability Evaluation of Engineering Systems*. New York: Plenum, 1992.
- [5] Risk Based Maintenance Allocation and Scheduling for Bulk Transmission System Equipment Power systems engineering research center, 2003.
- [6] J. Moon and et al, "Time varying failure rate extraction in electric power distribution equipment", *PMAPS*, Stockholm, Sweden, 2006.
- [7] W. Li and J. Korczynski, "A reliability-based approach to transmission maintenance planning and its application in BC hydro system," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 19, no. 1, pp. 303–308, Jan. 2004.
- [8] J. Meeuwse, W. Kling, and W. Ploem, "The influence of protection system failures and preventive maintenance on protection systems in distribution systems," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 12, no. 1, pp. 125–133, Jan. 1997.
- [9] J. Edrenyi, G. J. Anders, and A. M. L. da Silva, "Probabilistic evaluation of the effect of maintenance on reliability—An application," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 13, no. 2, pp. 576–583, May 1998.