No. F-15-AAA-0000

اولویت بندی طرح های توسعه شبکه فوق توزیع با بهره گیری از یک شاخص ریسک بهره برداری

چکیده — در شبکه‌های قدرت، رشد مصرف، افزایش تعداد مشترکین با بارهای حساس، تأخیر در بهره‌برداری به موقع از پروژه‌های توسعه‌ای، فرسودگی تجهیزات شبکه، محدودیت منابع مالی از یک سو و نیاز به تأمین برق مطمئن و پایدار مشتریان از سوی دیگر، منجر به تغییر شرایط بهره‌برداری و افزایش پیچیدگی و ریسک بهره‌برداری از این شبکه‌ها شده است. در صورت تعریف یک شاخص که در برگیرنده کلیه عوامل مهم و موثر بر روی ریسک بهره‌برداری شبکه از جمله نرخ خروج اضطراری، بارگذاری تجهیزات، قطع بار، انحراف ولتاژ و... باشد امکان اولویت‌بندی تجهیزات با ریسک بالا در شبکه فراهم می‌گردد. در این جا ریسک بهره‌برداری شبکه به ۴ ناحیه بحرانی، ریسک زیاد، ریسک کم و ایمن تقسیم‌بندی گردیده است و پس از محاسبه شاخص با توجه به قرارگیری تجهیز در یک ناحیه ریسک و محدودیت منابع مالی موجود، امکان اولویت‌بندی و ارائه راهکار اصلاحی در هر یک از موارد میسر گردیده است. در نهایت شاخص پیشنهادی بر روی بخشی از شبکه فوق توزیع خراسان پیاده‌سازی شده است.

واژه‌های کلیدی — شاخص ریسک بهره‌برداری؛ نرخ خروج اضطراری؛ بارگذاری تجهیزات؛ انحراف ولتاژ؛ قطع بار؛ اولویت‌بندی برنامه‌ریزی توسعه

۱. مقدمه

در سیستم‌های قدرت، احتمال از دست دادن هر یک از تجهیزات شبکه در هر لحظه در مواجهه با حوادث وجود دارد. از آنجایی که عواملی مانند آزادسازی صنعت برق، عدم وجود منابع مالی کافی در صنعت برق و غیره، امکان سرمایه‌گذاری بالا و غیر سودآور را در شبکه‌های انتقال و فوق توزیع از متولیان شبکه گرفته است، لذا شبکه‌های انتقال و فوق توزیع قدرت به سمت اشباع شدن و تراکم خطوط پیش می‌روند. در شبکه‌های قدرت با حجم بالای انتقال توان در اثر بروز حادثه، احتمال گسترش حادثه و یا قطع میزان بار بالایی به دلیل از دست دادن یکی از تجهیزات سیستم قدرت افزایش خواهد یافت. گسترش شبکه در طی این سال‌ها از یک سو و رشد فزاینده بار و نیاز مصرف در شبکه علی‌الخصوص در کلان شهرها از سوی دیگر، باعث خواهد شد در صورت بروز حادثه، میزان انرژی تأمین نشده در شبکه افزایش یابد. به عبارت دیگر اهمیت وقوع هر حادثه از نظر احتمال بروز خاموشی و یا افزایش ریسک بهره‌برداری در شبکه افزایش می‌یابد. بدین منظور اولویت‌بندی تجهیزات از نقطه نظر حساسیت و تأثیرگذاری بر روی بهره‌برداری شبکه نیازمند تعریف شاخص مناسبی می‌باشد که علاوه بر در نظرگیری عواملی نظیر شرایط بهره‌برداری و موقعیت جغرافیایی منطقه، نشان دهنده تأثیرپذیری شبکه از خروج آن تجهیز نیز باشد. در صورت تعریف یک شاخص ریسک بهره‌برداری در برگیرنده تمام موارد فوق، امکان دسته‌بندی تجهیزات فراهم می‌گردد و با توجه به محدودیت منابع مالی، اولویت‌بندی بهینه‌سازی تجهیزات، تغییر آرایش شبکه و همچنین برنامه‌ریزی

توسعه شبکه بر این اساس امکان‌پذیر خواهد شد. در این مقاله ابتدا به تعریف یک شاخص ریسک بهره‌برداری پرداخته شده است و سپس شاخص مورد نظر در بخشی از شبکه فوق توزیع خراسان محاسبه گردیده است. ریسک بهره‌برداری شبکه با نظر کارشناسان مربوطه به ۴ ناحیه بحرانی، ریسک زیاد، ریسک کم و ایمن تقسیم‌بندی گردیده است و در نهایت با توجه به اولویت‌بندی بر اساس شاخص تعریف شده، ناحیه ریسک هر یک از تجهیزات تعیین گردیده است. با توجه به ناحیه تعیین شده، امکان ارائه راهکارهای اصلاحی از جمله طرح‌های توسعه‌ای آینده، تغییر آرایش شبکه، تغییر در سیستم حفاظتی و سایر موارد وجود خواهد داشت، که در هر مورد باید مطالعه و بررسی دقیق فنی و اقتصادی جداگانه انجام پذیرد.

۲.شاخص‌های ارزیابی ریسک بهره‌برداری

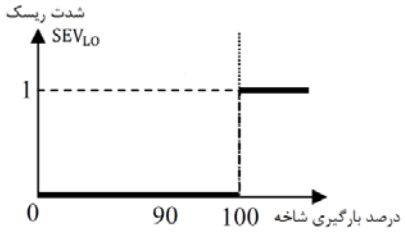
ریسک بهره‌برداری سیستم قدرت به عواملی از جمله تجهیزات مورد استفاده در سیستم، طراحی سیستم، شرایط محیطی و جوی و... بستگی دارد. یکی از مهمترین این عوامل، شیوه‌ی بهره‌برداری و توزیع بار بین خطوط شبکه است [۱]. بهره‌بردار در یک شبکه‌ی قدرت با اقدامات مناسب و بهبود شرایط بارگیری خطوط و... می‌تواند به کاهش ریسک بهره‌برداری شبکه کمک کند. شاخص‌های ریسک مورد استفاده در برنامه‌ریزی توسعه‌ی شبکه، مانند میانگین انرژی تامین نشده (EENS)، امید ریاضی از دست دادن بار (LOLE) و... با شاخص ریسک بهره‌برداری شبکه متفاوت خواهد بود. این شاخص‌ها برای یک شبکه، در طول مدتی نسبتاً طولانی و به طور میانگین، ریسک را ارزیابی می‌کنند. در حالی که هدف شاخص ریسک بهره‌برداری، ارزیابی مستمر وضعیت بهره‌برداری شبکه است [۲ و ۳].

شاخص‌ها به طور کلی به دو گروه قطعی و احتمالی تقسیم می‌شوند. امروزه اکثر محققان به این نتیجه رسیده‌اند که با توجه به عدم قطعیت‌های فراوان موجود در سیستم قدرت که دارای علل گوناگونی می‌باشند، استفاده از شاخص‌های قطعی نمی‌تواند به تنهایی تمام اطلاعات مورد نیاز جهت آگاهی از سطح امنیت و قابلیت اطمینان در شبکه را بدهد [۴].

در [۵] مدل خروج تجهیزات شبکه بر اساس شرایط بهره‌برداری و به صورت متغیر با زمان ارائه شده است، که می‌تواند به خوبی منعکس کننده‌ی تغییرات آب و هوایی و سایر شرایط بهره‌برداری باشد. در این مقاله همچنین ثابت شده است که برای ارزیابی ریسک شبکه باید از عدم دسترس‌پذیری لحظه‌ای و وابسته به زمان استفاده کرد.

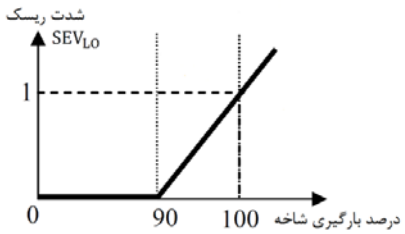
شاخص دیگری که در [۶] به آن اشاره شده است، شاخص انحراف ولتاژ از ولتاژ نامی است. با استفاده از این شاخص، در صورتی که انحراف ولتاژ در یک گره از یک آستانه‌ی مشخص بیشتر باشد، به عنوان ریسک در نظر گرفته می‌شود و در نهایت مقدار کل این ریسک در شبکه محاسبه می‌گردد.

شکل دیگری از تابع شدت ریسک در [۷] ارائه شده که در شکل (۱) نشان داده شده است. در این جا تا زمانی که بارگیری خط زیر ۱۰۰٪ مقدار نامی باشد شدت ریسک، صفر و مادامی که بارگیری بیش از مقدار نامی گردد میزان ریسک ۱ خواهد شد.



شکل ۱: رابطه‌ی بین درصد بارگیری خط و ریسک بهره‌برداری [۷]

با توجه به این که تابع شدت ریسک در [۷] یک تابع دو مقداری بوده لذا به طور کامل نمی‌تواند بیانگر شدت ریسک بهره‌برداری باشد. در [۸] نوع دیگری از تابع ریسک اضافه بار ارائه شده است که در آن، خطوطی که بار آن‌ها کمتر از ۹۰٪ جریان نامی خط است، ریسک صفر در نظر گرفته می‌شود و پس از آن ریسک به طور خطی با افزایش بار خط، افزایش خواهد یافت. شکل (۲) نمودار تغییرات ریسک را نسبت به درصد بارگیری خطوط نشان می‌دهد.



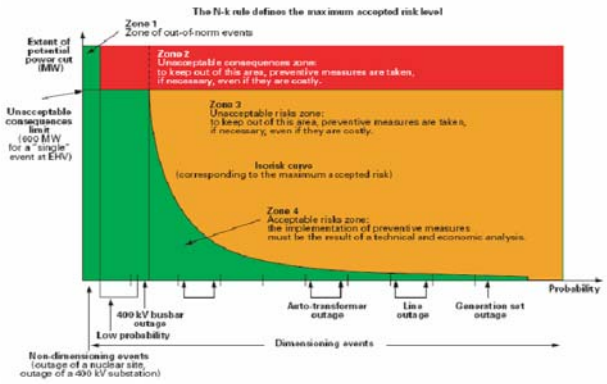
شکل ۲: رابطه‌ی بین درصد بارگیری خط و ریسک بهره‌برداری [۸]

در [۹] یک شاخص کمی برای ارزیابی مستمر ریسک بهره‌برداری کل شبکه خراسان پیشنهاد گردیده است که دو پارامتر اضافه بار خطوط و انحراف ولتاژ باس‌ها به صورت هم‌زمان در نظر گرفته شده است. در این مقاله یک عدد کمی به ریسک بهره‌برداری کل شبکه انتقال و فوق توزیع

اختصاص داده شده است. شاخص ارائه شده در این مقاله نسبی بوده و تحلیل اندازه‌ی آن بدون در نظر گرفتن اینکه شاخص برای چه شبکه‌ای و با چه مشخصاتی محاسبه شده است، امکان‌پذیر نمی‌باشد. همچنین این شاخص صرفاً نشان‌دهنده شدت ریسک کل شبکه پس از وقوع یک حادثه می‌باشد.

در فرانسه سعی بر این بود که قانون N-k که ماکزیمم سطح قابل تحمل ریسک را تعریف می‌کرد، اجرا شود. و این سطح ریسک توسط یک مقدار مرجع برابر حاصلضرب احتمال حادثه در مقدار توانی که قطع می‌شد، محاسبه می‌شد. این مقدار مرجع دیاگرام احتمال حوادث را به چهار ناحیه‌ی مجزا تقسیم می‌کند [۱۰] :

- ناحیه‌ی ریسک که در آن بهره‌بردار سیستم می‌پذیرد که طرح‌های پیشگیرانه را به کار گیرد
- ناحیه‌ی پیامدهای غیر قابل قبول
- ناحیه‌ی ریسک‌های غیر قابل قبول
- ناحیه‌ی ریسک‌های قابل قبول



شکل ۳: تقسیم‌بندی نواحی ریسک بهره‌برداری [۱۰]

در صورتی که تمامی تجهیزات سیستم قدرت بدون خرابی و به درستی عمل کنند، بهره‌برداری از سیستم قدرت بدون ریسک خواهد بود. در نتیجه عامل اصلی ریسک در سیستم قدرت به طور عمده، عدم قطعیت‌ها و رفتار احتمالی تجهیزات سیستم قدرت می‌باشد. این رفتار و عدم قطعیت در خرابی، خطا در تجهیزات، حوادث احتمالی منجر به قطع بار نیز باید در شاخص بهره‌برداری شبکه دیده می‌شود. لذا برای به دست آوردن یک شاخص کمی کارا برای ریسک، نیاز به در نظر گرفتن احتمال وقوع حوادث، خرابی تجهیزات و نیز شدت پیامدهای آن‌ها می‌باشد [۱۱ و ۱۲].

۳.تعریف شاخص

در بهره‌برداری از شبکه عوامل مهمی نظیر کاهش تلفات، کنترل فرکانس، تنظیم ولتاژ، میزان بارگذاری تجهیزات و... تأثیرگذارند، که در جهت بهینه‌سازی هر کدام اقدامات لازم باید صورت پذیرد. اما از آن جایی که در زمان وقوع حادثه مهمترین مسئله حفظ پایداری شبکه و بازگرداندن آن به حالت عادی می‌باشد لذا در نظرگیری تمامی عوامل فوق در آن زمان ضروری نمی‌باشد. برای مثال در زمان وقوع یک حادثه، کاهش تلفات کل سیستم در مقایسه با کاهش بارگذاری بیش از حد تجهیزات و یا در محدوده قرار دادن ولتاژ کلیه پست‌ها دارای اولویت نخواهد بود.

۳.۱. فرمول‌بندی شاخص

در شبکه فوق توزیع عوامل عمده تأثیرگذار بر روی ریسک بهره‌برداری شبکه در اثر وقوع یک حادثه، میزان بارگذاری سایر تجهیزات ناشی از خروج یک تجهیز، انحراف ولتاژ پست‌های هم ناحیه با تجهیز خارج شده و همچنین میزان بار تأمین نشده سیستم بر اثر خروج آن تجهیز می‌باشد. در این جا سعی شده است هر سه مورد فوق در شاخص پیشنهادی گنجانده شود. لذا برای در نظرگیری عوامل ذکر شده تابع چند هدفه رابطه (۱) تعریف گردیده است که در آن علاوه بر دخالت نرخ خروج اضطراری تجهیزات شبکه، در جمله اول تعداد پست‌هایی که بارگذاری آن‌ها در اثر خروج آن تجهیز بیش از ۸۰٪ بار نامی خواهد شد آورده شده است. با توجه به این که در برخی تجهیزات بارگذاری بالای ۱۰۰٪ بسیار نامطلوب می‌باشد و ممکن با توجه به شرایط شبکه و تنظیمات حفاظتی سیستم، منجر به قطع بار گردد لذا برای تمایز حالت بارگذاری بالای ۱۰۰٪ تجهیزات، در جمله دوم میزان بارگذاری بیش از ۱۰۰٪ تجهیز به صورت تقریبی از میزان بار تأمین نشده سیستم در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است این میزان صرفاً به عنوان یک تخمین ابتدایی از امکان قطع بار می‌باشد و بار تأمین نشده سیستم در حالت واقعی ممکن است کاملاً متفاوت باشد. از آن جایی که محاسبه دقیق میزان بار تأمین نشده سیستم بر اثر خروج یک تجهیز نیازمند وجود اطلاعاتی نظیر قابلیت مانور شبکه توزیع، امکان بارگیری بیش از مقادیر نامی با زمان محدود از یک ترانسفورماتور قدرت، شرایط بهره-برداری، شرایط آب و هوایی و... می‌باشد، لذا به جهت ساده‌سازی و عدم

وجود کلیه اطلاعات فوق، بارگذاری بیش از ۱۰۰٪ مقدار نامی هر تجهیز به عنوان قطع بار در نظر گرفته شده است و حداکثر میزان بار تأمین نشده در این جا با این مقدار برابر در نظر گرفته شده است. در پست‌های شعاعی با خط تک مداره، در صورت قطع خط تغذیه‌ی پست، کل بار پست به عنوان LOL در نظر گرفته می‌شود. در جمله سوم تعداد پست‌های با انحراف ولتاژ بیش از حد تعیین شده، در حالت وقوع خطا آورده شده است.

$$I_i = FOR_i\left[(\frac{\sum SEV}{n}) + LOL + \frac{\sum k}{m}\right] \qquad (۱)$$

که در آن:

n: تعداد کل تجهیزات در ناحیه مورد مطالعه

m: تعداد کل باس‌ها در ناحیه مورد مطالعه

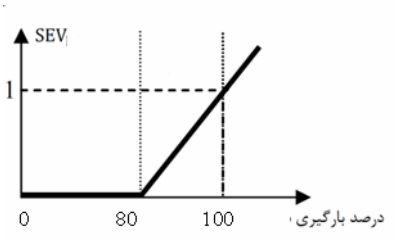
SEV: شکل (۴)

LOL رابطه (۲)

P_j توان نامی تجهیز

k: شکل (۵)

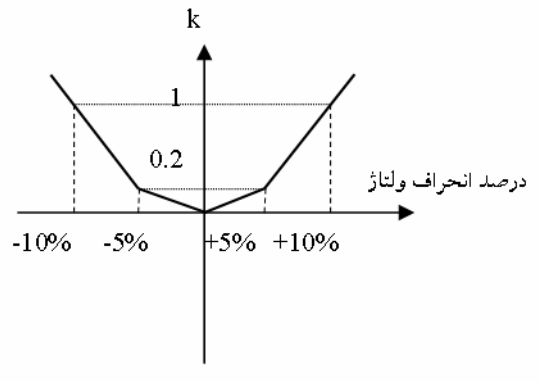
می‌باشد.



شکل ۴: رابطه‌ی بین درصد بارگیری تجهیز و ریسک بهره‌برداری

$$LOL = \begin{cases} \dfrac{\sum_{i \neq j} (loading_j - 1)P_j}{P_{base}} & loading_j > 1 \\ 0 & loading_j \leq 1 \end{cases} \qquad (۲)$$

$$P_{base} = 1000MW$$



شکل ۵: رابطه‌ی بین درصد انحراف ولتاژ و ریسک بهره‌برداری

۳.۲. ضرایب وزنی

همان طور که در رابطه (۱) مشاهده می‌شود تمامی جملات شاخص تعریف شده به صورت پریونیت بیان گردیده‌اند و لذا کل شاخص بدون واحد می‌باشد. با توجه به درجه اهمیت متفاوت جملات شاخص، نیاز به تعریف ضرایب وزنی برای آن‌ها ضروری است. با توجه به اهمیت تجربه بهره‌بردار سیستم، این ضرایب با استفاده از روش AHP و بر اساس تجربه برخی از کارشناسان مرکز دیسپاچینگ شمال شرق به دست آورده شده است. ضرایب وزنی به دست آمده برای هر یک از جمله‌های تابع چند هدفه رابطه (۱) به ترتیب عبارتند از:

$$w_1 = 0.5813,\ w_2 = 0.3016,\ w_3 = 0.1171 \qquad (۳)$$

در نتیجه رابطه (۱) به صورت زیر تغییر می‌نماید:

$$Index_i = FOR_i\left[w_1(\frac{\sum SEV}{n}) + w_2(LOL) + w_3(\frac{\sum k}{m})\right] \qquad (۴)$$

۳.۳. شبکه مورد مطالعه

این شاخص برای ارزیابی شبکه فوق توزیع تعریف گردیده است. شبکه فوق توزیع برق منطقه‌ای خراسان دارای بیش از ۱۵۰ پست فوق توزیع عمومی و اختصاصی می‌باشد [۱۳]. لذا گستردگی شبکه و استفاده از تعداد کل پست‌ها و یا تعداد کل تجهیزات در مخرج جملات شاخص تعریف شده، باعث کوچک شدن این کسرها و در نتیجه کاهش تفاوت بین تجهیزات مختلف است. لازم به ذکر است از آن جایی که این مطالعه در سطح ولتاژ فوق توزیع صورت می‌پذیرد معمولاً تأثیر خروج تجهیزات صرفاً در ناحیه‌ای که آن تجهیز واقع شده است دیده می‌شود. برای مثال خروج یکی از خطوط یا ترانسفورماتورهای شبکه فوق توزیع جنوب خراسان تأثیر

چندانی بر روی ولتاژ پست‌های فوق توزیع خراسان شمالی نخواهد داشت، لذا با توجه به گستردگی شبکه فوق توزیع خراسان، در این مطالعه خراسان به ۴ ناحیه تقسیم‌بندی شده است که عبارتند از مشهد، شمال خراسان، مرکز خراسان و جنوب خراسان که در هر ناحیه پست‌های انتقال تغذیه کننده شبکه فوق توزیع در جدول (۱) آورده شده است. این تقسیم‌بندی صرفاً به دلیل تعداد زیاد تجهیزات شبکه و کاهش حجم محاسبات صورت پذیرفته است.

جدول ۱- ناحیه‌بندی شبکه خراسان

ردیف	ناحیه	نام پست‌های انتقال ۴۰۰ کیلوولت
۱	مشهد	ابوطالب، توس، فردوسی
۲	شمال خراسان	اسفراین، شیروان، سربداران
۳	مرکز خراسان	نیشابور، تربت جام، شادمهر، مدرس
۴	جنوب خراسان	قائنات، بیرجند، کاوه، گلشن

شاخص پیشنهادی در این مقاله بر روی ناحیه مرکز خراسان پیاده‌سازی گردیده است. ناحیه مرکز خراسان دارای ۴ پست انتقال ۴۰۰ کیلوولت و ۳۳ پست فوق توزیع ۱۳۲ کیلوولت عمومی می‌باشد. با توجه به عدم وجود اطلاعات پست‌های اختصاصی از جمله نرخ خروج تجهیزات و... این موارد در شبیه‌سازی ایده‌آل در نظر گرفته شده‌اند.

شبیه‌سازی مورد نظر بر روی شبکه خراسان با اطلاعات زمان پیک بار مورخ ۹۳/۰۵/۰۵ به میزان ۳۳۶۴ مگاوات و تولید ۳۷۸۹ مگاوات صورت پذیرفته است [۱۴].

نرخ خروج اضطراری تجهیزات شبکه با استفاده از اطلاعات ۷ ساله ورود و خروج تجهیزات بر اساس خروج خودکار و اضطراری ثبت شده در گزارش ورود و خروج تجهیزات مرکز دیسپاچینگ شمال شرق استخراج گردیده است [۱۵].

۴.اعتبارسنجی شاخص پیشنهادی در شبکه واقعی

با توجه به این که عمر کلیه تجهیزات شبکه و همچنین کیفیت آن‌ها یکسان نمی‌باشد لذا در بازه زمانی که نرخ خروج تجهیزات شبکه محاسبه شده است ممکن است نرخ خروج اضطراری یک تجهیز صفر به دست آمده باشد. با توجه به رابطه (۴) میزان کمی شاخص محاسبه شده صفر خواهد شد. برای مثال در شبکه مورد مطالعه نرخ خروج اضطراری خط تربت جام- شیخ جامی در دوره ۷ ساله مورد بررسی بر اساس اطلاعات ثبت شده در سایت دیسپاچینگ صفر به دست آمده است در حالی که نتایج شبیه‌سازی خروج این خط، نمایانگر اهمیت آن می‌باشد.

۴.۱. اصلاح شاخص پیشنهادی

با توجه به موارد فوق، صفر بودن نرخ خروج اضطراری در یک بازه زمانی، به معنی عدم احتمال خروج تجهیز ناشی از حوادث آتی نمی‌باشد. لذا در محاسبه شاخص پیشنهادی بر روی شبکه واقعی، نرخ خروج اضطراری حذف شده است و این نرخ در ادامه به صورت دیگری در نظر گرفته شده است. لذا در شبکه واقعی مناسب‌تر است رابطه (۴) به صورت رابطه (۵) محاسبه گردد.

$$Index_i^{mdf} = \left[w_1(\frac{\sum SEV}{n}) + w_2(LOL) + w_3(\frac{\sum k}{m}) \right] \quad (۵)$$

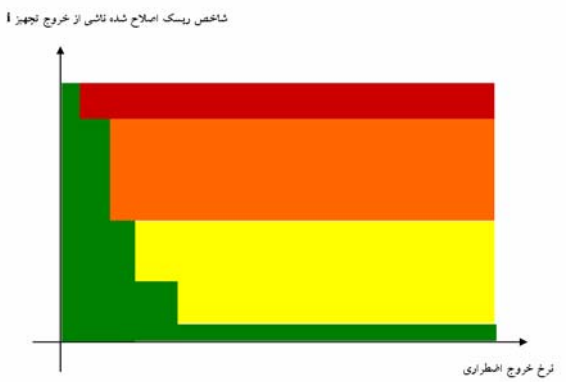
۴.۲. در نظرگیری نرخ خروج اضطراری تجهیزات

با توجه به رابطه (۵) شاخص محاسبه شده برای هر تجهیز هر چه بزرگتر باشد به معنای ریسک بهره‌برداری بالاتر شبکه ناشی از خروج آن تجهیز می‌باشد.

در صورتی که ریسک بهره‌برداری شبکه ناشی از خروج هر تجهیز بر اساس احتمال خروج آن تجهیز در سال یا نرخ خروج اضطراری آن، در یک منحنی ترسیم گردد و این منحنی دارای نواحی به صورت زیر باشد:

- ناحیه‌ی پیش‌آمدهای بحرانی
- ناحیه‌ی بهره‌برداری شبکه با ریسک زیاد
- ناحیه‌ی بهره‌برداری شبکه با ریسک کم
- ناحیه‌ی بهره‌برداری ایمن شبکه

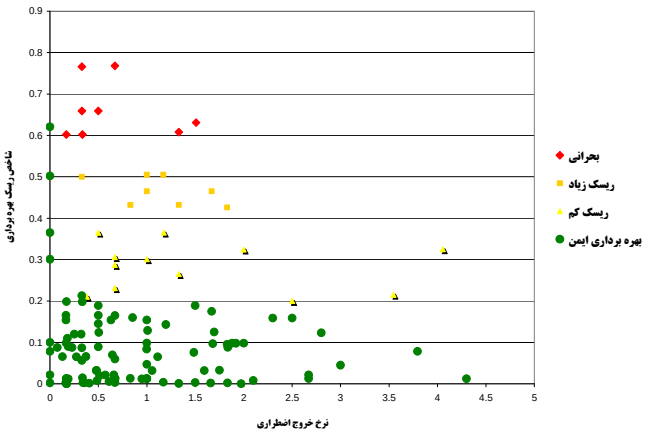
آن‌گاه در صورت تعیین حد و مرز ریسک بهره‌برداری شبکه، امکان دسته‌بندی و اولویت‌بندی حوادث یا خروج تجهیزات وجود خواهد داشت. با توجه به شرایط شبکه خراسان و نظر کارشناسان ذی ربط حد منحنی مذکور به دست آورده شده است. منحنی پیشنهادی برای شبکه خراسان به صورت شکل (۶) می‌باشد که در آن نواحی ذکر شده در بالا به ترتیب با رنگ‌های قرمز، نارنجی، زرد و سبز نشان داده شده‌اند.



شکل ۶: شاخص ریسک بهره‌برداری بر اساس نرخ خروج اضطراری هر تجهیز

۵.نتایج شبیه‌سازی

بر اساس تحلیل تک حادثه‌ای شبکه بر مبنای محاسبه پخش بار در نرم-افزار DIgSILENT، میزان بارگذاری هر یک از تجهیزات بر اثر خروج یک تجهیز خاص و میزان افت ولتاژ و یا اضافه ولتاژ پست‌های شبکه بر اثر خروج آن تجهیز به دست آورده شده است. پس از انجام شبیه‌سازی‌های لازم، شاخص پیشنهادی اصلاح شده برای هر یک از تجهیزات شبکه فوق توزیع (خطوط و ترانسفورماتورها) محاسبه شده است. نتایج محاسبه در شکل (۷) آورده شده است.



شکل ۷: نتایج محاسبه شاخص بر روی ناحیه مورد مطالعه

با توجه به تعریف ارائه شده و تقسیم‌بندی صورت پذیرفته نواحی ریسک شبکه می‌توان راهکارهای پیشنهادی برون رفت از هر یک از حالات را به صورت زیر بیان نمود.

در صورت قرارگیری تجهیز در ناحیه قرمز، صرفاً توسعه شبکه به عنوان راهکار پیشنهادی برون رفت از شرایط ایجاد شده می‌باشد. برای مثال در پست تایباد ترانس‌های قدرت دارای بارگذاری حدود ۸۰٪ در وضعیت عادی شبکه می‌باشند. در شرایط اضطراری و خروج یک ترانسفورماتور، کاهش بارگذاری بالای ترانس دیگر صرفاً با قطع بار امکان امکان‌پذیر است. از آن جایی که امکان مانور بخش کمی از بار بر روی سایر پست‌های منطقه وجود دارد، میزان قطع بار بسیار زیاد خواهد بود. لذا با توجه به رشد بار در سال‌های آتی، راهکار پیشنهادی جهت کاهش ریسک بهره‌برداری، احداث پست جدید در منطقه و مانور بخشی از بار این پست بر روی آن می‌باشد.

در صورت قرارگیری تجهیز در ناحیه نارنجی، در صورت امکان تغییر آرایش شبکه و یا اضافه شدن حفاظت ویژه در شبکه به عنوان راهکار پیشنهادی کوتاه مدت اصلاح وضعیت موجود در آن ناحیه پیشنهاد می‌گردد.

در صورت قرارگیری تجهیز در ناحیه زرد، ممکن است با انجام برخی تنظیمات و یا تغییرات بر روی تجهیزات سیستم حفاظتی، امکان رفع مشکل وجود داشته باشد. برای مثال در مدار آوردن اتوریکلوزر (AR) در پست-های T-off با در نظرگیری شرایط و الزامات فنی، احتمال قطع بار در شبکه را بر اثر وقوع اتصالی گذرا کاهش خواهد داد.

راهکارهای ارائه شده فوق صرفاً جنبه پیشنهادی دارد و هر مورد نیازمند بررسی و مطالعه دقیق‌تر و در نظرگیری تمامی جوانب امر می‌باشد.

۶.نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده است، یک نقطه (خط شیخ جامی– تربت جام) با این که مقدار شاخص ریسک محاسبه شده آن بیش از ۰.۶ می‌باشد اما با توجه به این که نرخ خروج اضطراری تجهیز در بازه زمانی ۷ ساله‌ی جمع‌آوری داده‌ها صفر بوده است در ناحیه بهره‌برداری ایمن شبکه قرار گرفته است. حال آن که با خروج این خط، خط تربت جام– نیل شهر تا ۱۰۵٪ بارگذاری و ۵ پست منطقه دارای افت ولتاژ بیش از ۱۰٪ خواهند شد. که این امر تأییدی بر اصلاح صورت گرفته بر روی شاخص پیشنهادی می‌باشد. در جدول (۲) تجهیزات قرار گرفته در ناحیه قرمز آورده شده است.

جدول ۲– فهرست تجهیزات ناحیه مرکز خراسان در ناحیه قرمز ریسک بهره-برداری

ردیف	نام تجهیز	مقدار شاخص	نرخ خروج اضطراری در سال*
۱	ترانسفورماتور T_1 تایباد	۰.۷۶۸	۰.۶۷
۲	ترانسفورماتور T_2 تایباد	۰.۷۶۸	۰.۳۳
۳	ترانسفورماتور T_1 کاشمر	۰.۶۵۹	۰.۵

۴	ترانسفورماتور T_2 کاشمر	۰.۶۵۹	۰.۳۳
۵	ترانسفورماتور T_1 خلیل	۰.۶۰۸	۱.۳۳
۶	تربت جام- نیل شهر	۰.۶۳۱	۱.۵۱
۷	تربت حیدریه- شادمهر مدار ۷۰۱	۰.۶۰۲	۰.۱۷
۸	تربت حیدریه- شادمهر مدار ۷۱۰	۰.۶۰۲	۰.۳۴

* در مورد خطوط نرخ خروج اضطراری به ازای هر کیلومتر خط محاسبه شده است

لازم به ذکر است به تعداد تجهیزاتی که در این ناحیه قرار گرفته‌اند شبکه نیاز به توسعه ندارد و ممکن است با یک راهکار یا توسعه در یک بخش مشکل سایر تجهیزات نیز بر طرف گردد. برای مثال پست کاشمر و پست خلیل هر دو در ناحیه قرمز وجود دارند اما هر یک از گزینه‌های زیر هر دو پست را از حالت بحرانی خارج خواهد ساخت.

۱) تکمیل پست خلیل

۲) توسعه ترانس سوم در پست کاشمر

۳) احداث پست جدید در منطقه

شاخص ریسک بهره‌برداری ارائه شده در این مقاله و همچنین ناحیه-بندی ریسک شبکه از دیدگاه کارشناسان ذی ربط، امکان تصمیم‌گیری صحیح‌تری از نیازهای توسعه‌ای شبکه ارائه می‌نماید. اما صرف اتکا بر همین شاخص در خصوص برنامه‌ریزی توسعه کافی نیست و سایر موارد از جمله نرخ رشد بار منطقه، شرایط اجتماعی، سیاسی و جغرافیایی و غیره نیز باید در مطالعه موردی هر یک از گزینه‌ها در نظر گرفته شود.

با توجه به محدودیت منابع مالی موجود، شاخص ارائه شده اولویت-بندی طرح‌های برنامه‌ریزی توسعه آینده را نیز امکان‌پذیر می‌سازد، اما همان-طور که در قبل بیان شد، اتخاذ تصمیم در هر مورد نیازمند مطالعه خاص و در نظرگیری کلیه جوانب فنی و اقتصادی می‌باشد.

منابع

[1] Rahmani, M. ; Romero, R.A. ; Rider, M.J., "Risk/investment-driven transmission expansion planning with multiple scenarios", IET Generation, Transmission & Distribution Journal, vol. 7, issue 2, pp. 154-165, 2013

[2] Roy Billington, 'Power System Reliability Evaluation", Gordon And Beach. Pub., 1970

[3] Lopez, S. ; Aguilera, A. ; Blanco, G., "Transmission Expansion Planning under Uncertainty: An Approach based on Real Option and Game Theory against Nature", IEEE Transaction, vol. 11, issue 1, pp. 566-571, 2013

[۴] ون یوان لی، مترجمین محمود فتوحی، داوود فرخزاد و صابر نوری زاده، "ارزیابی ریسک در سیستم‌های قدرت- الگوها، روش‌ها، کاربردها"، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۰

[5] L. Ning, W. Wu, B. Zhang, “A Condition based Power System Operational Risk Assessment method” The International Conference on Electrical Engineering 2009

[6] P. L. Noferi - L. Paris, “Effects Of Voltage And Reactive Power Constraints On Power System Reliability” IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-94, no. 2, MarchlApril 1975

[7] Ming Ni and B. James D. McCalley and Vijay Vittal and Tayyib Tayyib, “Online Risk-Based Security Assessment” IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 18, No. 1, pp. 258-265, 2003

[8] Marayati Marsadek and Azah Mohamed and Zulkifi Mohd. NorpiahA, “Assessment and classification of line overload risk in power systems considering different types of severity functions” WSEAS Trans. On Power Systems, Vol. 5, issue 3, pp. 182-191, 2010

[۹] غلامرضا کوهساری، روزبه کارنده، مهرداد حجت، محمدحسین جاویدی، ابوالفضل وطن‌دوست. "ارائه شاخص کمی برای ارزیابی مستمر ریسک بهره‌برداری سیستم قدرت"، بیستمین کنفرانس مهندسی برق ایران، تهران- ایران ۱۳۹۱

[10] Technical Report RTE, "Memento of Power System Reliability", 2005

[11] Technical Report NERC, "Reliability Concepts", Dec. 2007

[12] Lei Guo, Qiwie Qiu, Jian Liu, Yu Zhou, Linglei Jiang, "Power transmission risk assessment considering component condition". Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, Springer, vol 2, issue 1, pp. 50-58, Jan 2014

[۱۳] سایت آمار شرکت برق منطقه‌ای خراسان

[۱۴] گزارش پیک شبکه، سایت معاونت بهره‌برداری برق منطقه‌ای خراسان، گزارشات امور دیسپاچینگ، سال ۱۳۹۳

[۱۵] گزارش ورود و خروج تجهیزات شبکه، سایت معاونت بهره‌برداری برق منطقه‌ای خراسان، گزارشات امور دیسپاچینگ، سال ۱۳۹۳