

ارائه‌ی شاخصی کمی برای ارزیابی مستمر ریسک بهره‌برداری سیستم قدرت

غلامرضا کوهساری^۱، روزبه کارنده^۲، مهرداد حجت^۳، محمدحسین جاویدی^۴ و ابولفضل وطن‌دوست^۵

^۱ گروه برق دانشگاه فردوسی مشهد، koohsari.gh@stu-mail.um.ac.ir

^۲ گروه برق دانشگاه فردوسی مشهد، ro.karandeh@stu-mail.um.ac.ir

^۳ گروه برق دانشگاه فردوسی مشهد، me.hojjat@stu-mail.um.ac.ir

^۴ گروه برق دانشگاه فردوسی مشهد، h-javidi@ferdowsi.um.ac.ir

^۵ شرکت برق منطقه‌ای خراسان - دیسپاچینگ شمال شرق، m.vatandoost@yahoo.com

چکیده - با توجه به اهمیت امنیت سیستم‌های قدرت و نقش مهم بهره‌بردار و دیسپاچر در ارتقا امنیت سیستم‌های قدرت، بهبود اقدامات دیسپاچر در راهبری سیستم قدرت بسیار مهم و حیاتی است. ابزار مناسب در دست دیسپاچر می‌تواند به طور مستمر به او در بهبود وضعیت امنیت سیستم کمک کند. از جمله ابزارهای نرم‌افزاری از این دست، برنامه‌های تحلیل حوادث، الگوریتم‌های رتبه بندی ریسک حوادث و... هستند. یکی از ابزارهایی که می‌تواند به بهبود وضعیت ریسک سیستم قدرت کمک شایانی کند، شاخصی کمی از وضعیت ریسک بهره‌برداری شبکه در هر لحظه است. این شاخص کمی که اندازه‌ی آن متناسب با ریسک بهره‌برداری شبکه در هر لحظه، تغییر می‌کند، می‌تواند راهنمایی برای دیسپاچر باشد تا به کمک آن، بتواند بهبودهای جزئی در بهره‌برداری ایمن شبکه ایجاد کند. در این مقاله پس از بررسی شاخص‌های موجود در این زمینه، به نقش عدم قطعیت کارکرد تجهیزات شبکه در ریسک بهره‌برداری شبکه اشاره می‌شود. همچنین برای اولین بار شاخصی برای ریسک شبکه با استفاده از نرخ خروج اجباری تجهیزات ارائه می‌شود. در پایان این شاخص پیشنهادی برای شبکه‌ی انتقال خراسان سفارشی شده و کارکرد آن در دیسپاچینگ شمال شرق کشور آزموده شده است.

کلید واژه - رتبه‌بندی حوادث، شاخص ریسک مستمر بهره‌برداری، نرخ خروج اجباری.

این عوامل، شیوه‌ی بهره‌برداری و توزیع بار بین خطوط شبکه است. دیسپاچر در یک شبکه‌ی قدرت با اقدامات مناسب و بهبود شرایط بارگیری خطوط و... می‌تواند به بهبود امنیت شبکه کمک کند. به این منظور، دیسپاچر نیاز به شاخصی متناظر با وضعیت کنونی شبکه دارد تا بتواند بهبودهایی حتی جزئی در بهره‌برداری ایمن شبکه را مشاهده کند. به بیان دیگر، دیسپاچر با در دست داشتن این شاخص در هر لحظه، می‌تواند بازخورد مناسب را از عملکرد خود دریافت کرده و سعی در بهبود آن داشته باشد.

همچنین وجود یک شاخص معتبر از وضعیت ریسک بهره‌برداری شبکه در شرایط کار مشخص شبکه، می‌تواند به رتبه بندی قابل‌اعتمادتر حوادث، در تحلیل حوادث شبکه کمک کند.

۲ - ویژگی‌های شاخص ارزیابی ریسک شبکه

چنانچه در مقدمه گفته شد، شاخص مورد نظر باید تابعی از شرایط کنونی شبکه باشد و با استفاده از اطلاعات به‌هنگام شبکه

۱ - مقدمه

امنیت سیستم قدرت از جنبه‌های متفاوتی از جمله؛ اقتصادی، اجتماعی، فنی و حتی سیاسی حائز اهمیت است. از این‌رو همواره سعی مهندسين بهره‌بردار شبکه‌های قدرت در راستای بهبود و ارتقای امنیت و پایداری سیستم‌های قدرت بوده است. از طرفی با آزادسازی رقابت در صنعت برق، امکان سرمایه‌گذاری بالا و غیرسودآور در سیستم قدرت از بین رفته است و لذا حاشیه‌ی امنیت در بهره‌برداری شبکه کاهش یافته است [۱]. در این شرایط بهره‌بردار شبکه‌ی قدرت با استرس زیادی برای حفظ امنیت شبکه، مواجه خواهد بود [۲].

امنیت سیستم قدرت به عواملی از جمله تجهیزات مورد استفاده در سیستم، طراحی سیستم، شرایط محیطی و جوی (چنانچه خطر از دست دادن یک خط انتقال در شرایط نامساعد جوی بسیار بیشتر است [۳]) و... بستگی دارد. یکی از مهمترین

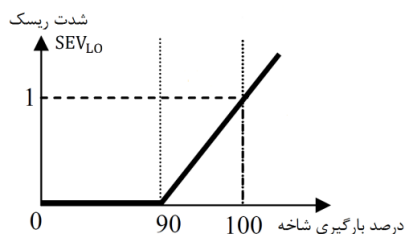
می‌شود. هر شاخه در شبکه دارای حد بارگیری مشخصی است. شاخه‌ها در بار کمتر از این حد، می‌توانند بدون هیچ مشکلی به مدت طولانی و بدون کاهش عمر مفیدشان بارگیری شوند. این حد بارگیری برای ترانسفرماتورها، همان توان نامی ترانسفرماتور است. در مورد خطوط انتقال این حد بسته به موقعیت خط در شبکه، متفاوت خواهد بود. این حد در مورد خطوط کوتاه، اغلب همان حد حرارتی خط انتقال است. حد بارگیری برای خطوط بلند، اغلب وابسته به شرایط دینامیکی شبکه است. در این موارد حد پایداری انتقال توان، بارگیری خط را محدود می‌کند [۵].

در مرجع [۳] مجموع درصد بارگیری خطوط به شکل رابطه‌ی (۱) به عنوان شاخص ارزیابی ریسک ارائه شده است.

$$Risk_{overload}^{system}(t) = \sum_{j=1}^{nPow} \left(\frac{I_j(t)}{I_j^{max}} \right)^{nPow} \quad (1)$$

در این رابطه $I_j(t)$ جریان شاخه‌ی j ام در لحظه‌ی t ، I_j^{max} حد نهایی بارگیری جریان شاخه‌ی j ام و $nPow$ تعداد شاخه‌هاست. $nPow$ یک عدد صحیح مثبت است. در این مرجع این عدد برابر ۸ در نظر گرفته شده است. برای ایجاد رابطه‌ی غیرخطی بین ریسک و جریان عبوری شاخه است. در واقع وجود توان ۸ در رابطه، باعث می‌شود تا حساسیت شاخص ریسک به تغییرات جریان شاخه، وقتی جریان شاخه نزدیک به حد بارگیری آن است، بیشتر شود.

در بخشی از مرجع [۶] نوع دیگری از تابع ریسک اضافه بار ارائه شده است که در آن، برای شاخه‌هایی که جریان آنها کمتر از ۹۰٪ جریان مجاز است، ریسک صفر در نظر گرفته می‌شود و پس از آن ریسک به طور خطی با افزایش جریان شاخه، افزایش خواهد یافت. شکل (۱) نمودار تغییرات ریسک را نسبت به درصد بارگیری خطوط نشان می‌دهد.



شکل ۱: رابطه‌ی بین شدت ریسک شاخه و درصد بارگیری شاخه [۶]

در این مرجع پس از محاسبه‌ی شدت ریسک برای تک‌تک شاخه‌ها، ریسک کلی شبکه به صورت حاصل جمع این ریسک‌ها محاسبه شده است (رابطه‌ی ۲). در این مرجع نیز حساسیت شدت خطر، وقتی جریان خط به نزدیکی بیشینه‌ی خود می‌رسد،

که توسط سیستم SCADA تهیه و جمع‌آوری می‌شود، وضعیت ریسک شبکه را به طور عددی، در هر لحظه بیان کند [۲]. از این جهت این شاخص با شاخص‌های ریسک مورد استفاده در برنامه‌ریزی توسعه‌ی شبکه، مانند میانگین انرژی تامین نشده (EENS)، امید ریاضی از دست دادن بار (LOLE) و... متفاوت خواهد بود. این شاخص‌ها برای یک شبکه، در طول مدتی نسبتاً طولانی و به طور میانگین، ریسک را ارزیابی می‌کنند. در حالیکه هدف شاخص ریسک، ارزیابی مستمر وضعیت بهره‌برداری شبکه است.

با توجه به مطالب بالا شاخص مورد اشاره زمانی سودمند است که بتوان در هر لحظه آن را محاسبه کرد، لذا باید امکان محاسبه‌ی سریع شاخص وجود داشته باشد [۴]. به عبارت دیگر برای محاسبه‌ی شاخص، نباید محاسبات به هنگام، زمان‌بر و سنگین باشند. تنها در این صورت است که دیسپاچر در زمان مناسب از بحرانی شدن وضعیت شبکه مطلع می‌شود و بهبودهای لحظه‌ای را تشخیص می‌دهد. همچنین شاخص ارائه شده نباید دارای اطلاعات جزئی و سردرگم کننده باشد. شاخص باید به سادگی و روشنی، وضعیت کلی شبکه را در یک عدد منطقی خلاصه نماید.

۳- بررسی شاخص‌های ریسک موجود

در مرجع [۴] نویسنده به دنبال ارائه‌ی یک شاخص عددی نشانگر ریسک بهره‌برداری شبکه، به تحلیل حوادث در شبکه پرداخته است و ریسک بهره‌برداری را برآیند شدت خرابی (Severity) تمام حوادثی که می‌تواند در شبکه رخ دهد، معرفی می‌کند. در این روش برای محاسبه‌ی شاخص مورد نظر، تعداد زیادی حادثه باید بررسی شوند و برای هر حادثه، تابع شدت خطا، که به اضافه بار خطوط و انحراف ولتاژ باس‌ها بستگی دارد، محاسبه می‌شود.

دیگر شاخص‌های ارائه شده در مراجع علمی برای اندازه‌گیری ریسک بهره‌برداری یک شبکه را می‌توان در دو دسته‌ی کلی شاخص‌های اضافه بار خطوط و شاخص‌های انحراف ولتاژ باس‌ها دسته‌بندی کرد. این شاخص‌ها در بسیاری از موارد برای تحلیل و رتبه‌بندی حوادث به کار رفته‌اند.

۳-۱ - شاخص‌های اضافه بار

دسته‌ی مهمی از شاخص‌های نشان‌دهنده‌ی ریسک، شاخص‌های اضافه بار شاخه‌های شبکه هستند. شاخه‌های شبکه به خطوط انتقال و ترانسفرماتورهای قدرت در شبکه، اطلاق

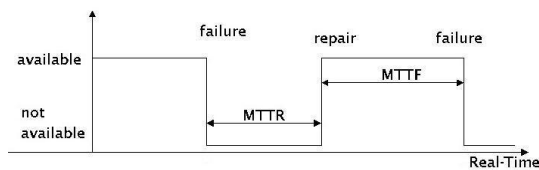
بیشتر می‌شود.

اهمیت بیشتری دارد و انحراف ولتاژ آن برای سیستم ریسک بیشتری دارد.

$$Risk_{overload}^{system}(t) = \sum_{j=1}^{N_{br}} SEV_{LO}(I_j(t)) \quad (2)$$

۴ - نقش عدم قطعیت کارکرد تجهیزات در ریسک بهره‌برداری

منشا ریسک موجود در عملکرد سیستم قدرت، عدم قطعیت در کارکرد صحیح تجهیزات سیستم است. اگر تجهیزات سیستم قدرت بدون خرابی و به درستی عمل کنند، بهره‌برداری از سیستم قدرت بدون ریسک خواهد بود. بنابراین در ارزیابی ریسک سیستم، باید احتمال خرابی تجهیزات سیستم در نظر گرفته شود. برای بیان عدم قطعیت کارکرد یک تجهیز شاخص‌های زیادی همچون نرخ خروج اجباری (Force Outage Rate - FOR)، دسترس‌پذیری، میانگین مدت تا خرابی (MTTF)، میانگین مدت تا تعمیر (MTTR) و... وجود دارد. برای هر تجهیز می‌توان نمودار شکل (۳) را برای مدت زمان کارکرد صحیح و خرابی آن رسم کرد.



شکل ۳: یک دوره‌ی تناوب خرابی برای یک تجهیز [۸]

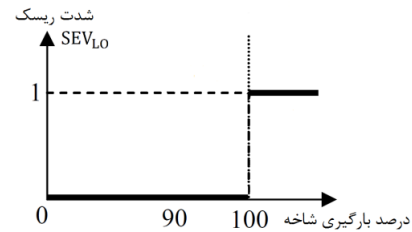
نرخ خروج اجباری یک تجهیز با استفاده از سابقه‌ی عملکرد تجهیز و خرابی‌های آن و بر اساس رابطه‌ی (۴) محاسبه می‌شود و بیانگر احتمال خرابی آن تجهیز در یک سرکشی تصادفی است. از لحاظ کیفی هرچه نرخ خروج اجباری یک تجهیز بزرگتر باشد، احتمال خرابی آن تجهیز بیشتر است.

$$FOR = \frac{MTTR}{MTTR + MTTF} \quad (4)$$

برای روشن شدن چگونگی تاثیر نرخ خروج اجباری بر روی شاخص ریسک بهره‌برداری سیستم، مثال زیر از دو بهره‌برداری متفاوت یک سیستم ساده را در نظر بگیرید [۹].

شبکه‌ی دو باسه‌ی شکل (۴) را در نظر بگیرید که یک باس تولیدکننده و یک باس مصرف‌کننده دارد. این دو باس توسط دو خط انتقال به یکدیگر متصل شده‌اند که در مجموع 100MW توان را از باس تولیدکننده به باس مصرف‌کننده انتقال می‌دهند. همچنین فرض می‌کنیم حدود مجاز این دو خط برابر 100MW است و توان انتقالی از این خطوط، مستقل از راکتانس آنها، به وسیله‌ی جابجاگر فاز (Phase Shifter) کاملاً قابل کنترل است.

در مرجع [۴] نیز شکل دیگری از تابع شدت ریسک ارائه شده که در شکل (۲) نشان داده شده است. در این شاخص، مادامی که جریان شاخه در محدوده‌ی مجاز خود است شدت ریسک شاخه، صفر و در غیر این صورت یک است و ریسک کلی شبکه، مانند رابطه‌ی (۲)، مجموع ریسک شاخه‌هاست.



شکل ۲: رابطه‌ی بین شدت ریسک شاخه و درصد بارگیری شاخه [۴]

۳ - شاخص‌های انحراف ولتاژ باس‌ها

دسته‌ی دیگر شاخص‌های ریسک در مراجع علمی، به انحراف ولتاژ باس‌ها از ولتاژ نامی آنها، به عنوان عامل بالا برنده‌ی ریسک بهره‌برداری اشاره می‌کنند. این شاخص در رابطه‌ی (۳) نشان داده شده است [۷].

$$Risk_{voltage}^{system}(t) = \sum_{k=1}^{N_{bus}} J_k(t) \times P_k(t) \quad (3)$$

که در آن:

$$J_k(t) = \begin{cases} \left(|\Delta V_k(t)| - S_k \right)^\eta & \text{if } |\Delta V_k(t)| > S_k \\ J_k(t) = 0 & \text{if } |\Delta V_k(t)| \leq S_k \end{cases}$$

$$\Delta V_k(t) = \frac{V_k(t) - V_n}{V_n}$$

در این رابطه V_k ولتاژ باس k ام، V_n ولتاژ نامی باس k ام، P_k توان عبوری از باس k ام، N_{bus} تعداد باس‌های شبکه، η یک عدد صحیح مثبت (مانند آنچه در مورد $nPow$ در بخش ۳-۱ گفته شد) و S_k آستانه‌ی انحراف ولتاژ است. این آستانه معمولاً ۰.۲٪ ولتاژ نامی باس در نظر گرفته می‌شود. این بدان معناست که انحراف کمتر از ۰.۲٪ ولتاژ، هیچ خطری برای سیستم نخواهد داشت [۵]. انحراف ولتاژ در تمام باس‌های یک سیستم قدرت، ریسک بهره‌برداری را به یک اندازه بالا نمی‌برد. در واقع باس‌های یک شبکه، اهمیت یکسان ندارند. در رابطه‌ی (۳) این موضوع در نظر گرفته شده است. ضریب P_k در این رابطه بیانگر اهمیت باس k ام است. هرچه توان عبوری از یک باس بیشتر باشد، باس

شده است تا شاخص مفهوم خود را حفظ کند. به این ترتیب در صورتی که در یک شبکه بیشتر از تجهیزاتی استفاده شود که نرخ خروج اجباری بالایی دارند، شاخص ریسک متناظر با آن مقدار بزرگتری خواهد داشت.

$$Risk_{overload}^{system}(t) = \sum_{j=1}^{N_{br}} \left(\frac{I_j(t)}{I_j^{max}} \times \frac{FOR_j}{FOR} \right)^{nPow} \quad (6)$$

که در آن

$$\overline{FOR} = \frac{\sum_{s=1}^{N_{br}} FOR_s}{N_{br}}$$

با توجه به مثال ارائه شده‌ی قسمت قبل، اضافه شدن FOR در رابطه‌ی محاسبه‌ی ریسک می‌تواند نتایج منطقی‌تری را ارائه کند.

۵- شاخص پیشنهادی

برای در نظر گرفتن همزمان دو پارامتر اضافه بار خطوط و انحراف ولتاژ باس‌ها، می‌توان از شاخص رابطه‌ی (۷) که در تحلیل حوادث در بهره‌برداری سیستم‌های قدرت نیز بکار می‌رود، استفاده کرد.

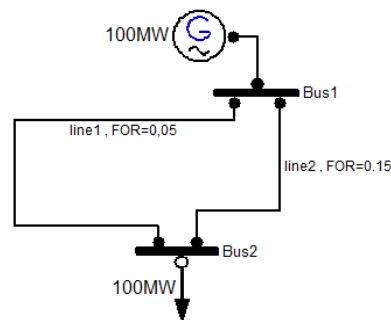
$$Risk_{overload}^{system}(t) = \alpha \sum_{j=1}^{N_{br}} \left(\frac{I_j(t)}{I_j^{max}} \times \frac{FOR_j}{FOR} \right)^{nPow} + \beta \sum_{k=1}^{N_{bus}} J_k(t) \times P_k(t) \quad (7)$$

متغیرهای موجود در رابطه‌ی (۷) را در توضیحات روابط (۳) و (۶) می‌توان یافت. در این رابطه عبارات شاخص ریسک اضافه‌بار و انحراف ولتاژ با ضرایب وزنی متفاوت با هم جمع می‌شوند. α ضریب وزن‌دهنده‌ی ریسک اضافه‌بار خطوط و β ضریب وزن‌دهنده‌ی ریسک انحراف ولتاژ باس‌ها در سیستم قدرت هستند. نسبت این دو ضریب باید به شیوه‌ای منطقی و متناسب با شرایط شبکه، تعیین شود. برای شبکه‌های فشرده با خطوط زیاد و کوتاه، تقریباً می‌توان از عبارت انحراف ولتاژ صرف نظر کرد و یا مقدار β را خیلی کوچکتر از α در نظر گرفت. از طرف دیگر در شبکه‌های با خطوط بلند و باس‌های بار دور از هم باید α و β را در حدود هم و یا برابر هم، در نظر گرفت [۱۰].

۶- اعتبارسنجی شاخص روی شبکه‌ی نمونه

شاخص ارائه شده در این مقاله نسبی بوده و بیان اندازه‌ی آن بدون در نظر گرفتن اینکه شاخص برای چه شبکه‌ای و با چه

یکی از این خطوط از مسیری کوهستانی با هوایی متغیر و شرایط جوی نامساعد عبور می‌کند (مانند خط 400KV نیشابور- توس-مشهد) و خط دیگر کوهستان مابین دو باس را دور می‌زند و از دشتی هموار با هوای نسبتاً معتدل عبور می‌کند (مانند خط 132KV نیشابور-مشهد). این تفاوت مسیر خطوط و شرایط جوی متفاوت، باعث می‌شود تا در خط کوهستانی خطاهای بیشتری رخ دهد و در نتیجه این خط، FOR بزرگتری داشته باشد. FOR خط کوهستانی 0.15 و FOR خط دیگر 0.05 است.



شکل ۴: شبکه‌ی دو باسه.

حال یک روش بهره‌برداری را در نظر بگیرید که در آن 20MW توان از خط ۲ (کوهستانی) و 80MW توان از خط ۱ عبور می‌کند. بر اساس شاخص‌های متداول اضافه بار شاخه‌ها که در بخش ۳-۱ به آنها اشاره شد، شاخص ریسک این حالت بهره‌برداری برابر است با:

$$Risk_{overload}^{system} = \left(\frac{20}{100} \right)^8 + \left(\frac{80}{100} \right)^8 = 0.1678 \quad (8)$$

همچنین حالت دیگری را در نظر بگیرید که در آن 80MW توان از خط ۲ (کوهستانی) عبور می‌کند و هر لحظه احتمال خروج خط و قطع عبور 80MW وجود دارد. و از خط ۱، 20MW توان عبور می‌کند. با استفاده از شاخص‌های ریسک ارائه شده در بخش ۳-۱، در این حالت نیز شاخص ریسک برابر 0.1678 خواهد بود! حال این سوال مطرح می‌شود که آیا این دو حالت بهره‌برداری از این سیستم، دارای ریسک و خطر بهره‌برداری یکسان هستند؟

به منظور لحاظ کردن ریسک ناشی از احتمال خرابی تجهیزات، اعم از خط انتقال و ترانسفرماتور، در بهره‌برداری شبکه، شاخص ریسک ارائه شده در بخش ۳-۱ را می‌توان با استفاده از نرخ خروج اجباری تجهیزات به صورت رابطه‌ی (۶) بهبود بخشید. به این منظور از FOR نسبی تجهیزات استفاده

شبکه‌ی خراسان که از کشور افغانستان عبور می‌کنند و به دلیل جنگ، در دوره‌ای خرابی زیادی داشته‌اند) در این موارد نیز باید به طور مشابه بالا عمل شود. در مورد اطلاعات on-line سیستم مانند جریان خطوط، توان عبوری، ولتاژ باس‌ها و... باید از اطلاعات صحت‌سنجی شده استفاده کرد. اطلاعات on-line ممکن است با خطا به مرکز دیسپاچینگ برسند. بنابراین باید از الگوریتم‌های تصحیح خطا که در برنامه‌های تخمین حالت استفاده می‌شوند، استفاده کرد [۱۰].

۴ ۶ - محاسبه‌ی شاخص

فرآیند محاسبه‌ی شاخص را می‌توان به دو بخش off-line و on-line تقسیم کرد. به این ترتیب سرعت محاسبه‌ی شاخص ریسک نیز افزایش خواهد یافت. اطلاعات خرابی تجهیزات و مدت آنها و همچنین دلیل وقوع خرابی هر کدام باید به دقت جمع‌آوری و FOR برای هر تجهیز به دقت محاسبه شود. این کار برای شبکه‌ی خراسان با استفاده از اطلاعات خرابی ۵ سال گذشته‌ی تجهیزات انجام شد. حدود مجاز بارگیری خطوط نیز برای خطوط و ترانسفرماتورها بر اساس بخش ۳-۱ محاسبه گردید. در این مقاله بازه‌ی ایمن تغییرات ولتاژ باس‌ها برابر ۲٪ ولتاژ نامی آنها در نظر گرفته شد. این محاسبات بخش off-line را تشکیل می‌دهند. سایر اطلاعات و محاسبات باید به صورت on-line و برای هر بار محاسبه‌ی شاخص، در لحظه محاسبه شوند. نتایج محاسبه‌ی شاخص‌های اضافه بار و انحراف ولتاژ در چهار وضعیت کم باری شبکه، پر باری شبکه، وقوع خطای خروج نیروگاه سیکل ترکیبی نیشابور در حالت پر باری شبکه و وقوع خطای خروج خط شیروان-بجنورد در شرایط پر باری شبکه در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): نتایج محاسبه‌ی شاخص ریسک اضافه بار و انحراف ولتاژ

شاخص	شاخص انحراف	شرایط شبکه
5.016E-07	5.816	کم باری
6.749E-06	2.902	پر باری
6.757E-06	3.168	خروج نیروگاه نیشابور
9.122E-06	3.713	خروج خط شیروان-بجنورد

در حالت پر باری نسبت به حالت کم باری به دلیل افزایش بار عبوری از خطوط، شاخص اضافه بار بزرگتر شده است. اما به دلیل روشن شدن واحدهای گازی در پر باری و کنترل ولتاژ در این واحدها، شاخص ولتاژ بهبود یافته است.

برای انتخاب درست مقادیر α و β با توجه به شرایط شبکه‌ی خراسان، شاخص ریسک در حالات متفاوت کارکرد

مشخصاتی (توان تولیدی و انتقالی در شبکه، طول خطوط، FOR تجهیزات، تعداد تجهیزات و سایر مشخصات ذاتی شبکه) محاسبه شده است، بی‌معنی خواهد بود. به عبارت دیگر این شاخص در هر شبکه محدوده‌ی تغییرات مشخصی، متناظر با آن شبکه دارد. بنابراین برای کاربرد شاخص در یک شبکه، باید حدود تغییرات این شاخص برای بهره‌بردار و یا دیسپاچر شبکه دارای مفهوم باشد. برای این منظور باید از اطلاعات گذشته‌ی سیستم استفاده کرد. در حالات مختلف کارکرد شبکه (کم باری، میان باری، پر باری، حادثه و...) در گذشته می‌توان شاخص ریسک بهره‌برداری را محاسبه و از آن برای معنی دار کردن اندازه‌ی شاخص در آینده استفاده کرد.

در این بخش از مقاله شاخص ریسک پیشنهادی برای شبکه‌ی انتقال خراسان در شرایط مختلف محاسبه شده است، تا علاوه بر اعتبار سنجی شاخص در شرایط مختلف شبکه، به ملاحظات عملی در محاسبه‌ی این شاخص نیز اشاره شود.

۴ ۶ - مشخصات شبکه‌ی نمونه

شبکه‌ی انتقال خراسان، شامل تمام شبکه‌ی انتقال موجود در محدوده‌ی جغرافیایی سه استان خراسان رضوی، شمالی و جنوبی در شمال شرق کشور می‌باشد. ۸ نیروگاه که شامل ۴۹ واحد تولیدی هستند، با مجموع توان نصب شده‌ی ۵۱۰۲ مگاوات بارهای این شبکه را تغذیه می‌کنند. در این شبکه ۲۵۶۵km خط ۴۰۰KV، ۱۰۰۸۶km خط ۱۳۲KV و ۸۲۷km خط ۶۳KV و یک خط ۲۳۰KV وجود دارد. در مجموع ۲۴۷ خط، ۲۶۸ ترانسفرماتور و ۱۷۱ باس در این شبکه وجود دارد.

۴ ۶ - ملاحظات مهندسی در محاسبه‌ی شاخص

در گردآوری اطلاعات لازم برای محاسبه‌ی شاخص ریسک، در برخی موارد باید ملاحظات و قضاوت‌های مهندسی را در استفاده از اطلاعات بکار برد. به عنوان مثال در جمع‌آوری اطلاعات خرابی و محاسبه‌ی FOR تجهیزات باید پس از محاسبه، مقادیر FOR تجهیزات بررسی شوند. گاهی پس از بروز یک خرابی در یک تجهیز به دلیل عدم نیاز فوری به تجهیز و یا مشغولیت گروه تعمیرات در جای دیگر و یا سایر دلایل غیر فنی، طول دوره‌ی تعمیرات یک تجهیز بسیار طولانی می‌شود. در این موارد باید در محاسبه FOR اصلاحات مناسب لحاظ گردد. همچنین ممکن است برای برخی از تجهیزات در یک دوره، به دلایل غیر فنی و محیطی خرابی‌های زیادی رخ داده است. اما امروزه این دلایل برطرف شده‌اند. (مانند دو خط ۱۳۲KV

۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله در ابتدا لزوم استفاده از یک شاخص ریسک بهره‌برداری مستمر و پویا برای راهبری شبکه‌های امروزی انتقال توان بیان گردید و پس از آن به بررسی شاخص‌های موجود پرداخته شد. با توجه به مطالب بخش ۴، شاخص‌های موجود برای اولین بار با استفاده از نرخ خروج اجباری تجهیزات شبکه بهبود داده شد. همچنین در قسمت ۶ این شاخص ریسک مستمر بهره‌برداری برای شبکه‌ی خراسان سفارشی شده و در شرایط مختلف آزموده و کارایی آن سنجیده شد. پژوهش بعدی در این زمینه می‌تواند به بررسی تاثیر شرایط جوی و محیطی بر ریسک بهره‌برداری بپردازد.

سپاسگزاری

در پایان از مدیریت و کارکنان محترم شرکت برق منطقه‌ای خراسان و دیسپاچینگ شمال شرق کشور برای همکاری صمیمانه و بی دریغ، در انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

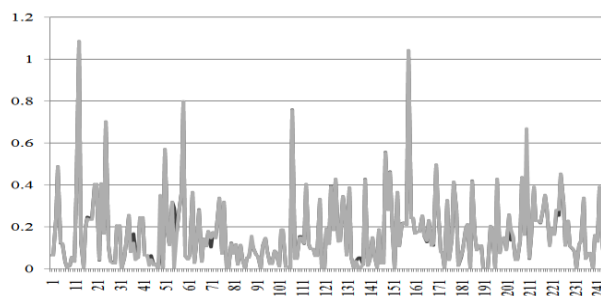
- [۱] دنیل اس. کرشن، گوران استربک، "اقتصاد سیستم قدرت"، انتشارات دبیرخانه هیئت تنظیم بازار برق، چاپ دوم، آبان ۱۳۸۶.
- [2] Ming Ni and B. James D. McCalley and Vijay Vittal and Scott Greene and Tayyib Tayyib, "Software Implementation of Online Risk-Based Security Assessment" *IEEE Trans. On Power Systems*, Vol. 18, No. 3, pp. 1165-1172, 2003.
- [3] L. Ning and W. Wu, B. Zhang, "A Condition based Power System Operational Risk Assessment method" *The International Conference on Electrical Engineering*. 2009.
- [4] 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.
- [5] Prabha Kundur, Neal J. Balu, Mark G. Lauby, *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, Jan 1, 1994.
- [6] 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.
- [7] P. L. Noferi and L. Paris, "Effects Of Voltage And Reactive Power Constraints On Power System Rellability" *IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-94, No. 2, pp. 482-490, 1975.
- [8] <http://www.doeben-henisch.de/fh/I-RT/I-RT-TH/VL3/i-rt-vl-v13.html>
- [9] Roy Billington, *Power System Reliability Evaluation*, Gordon And Beach. Pub., 1970.
- [10] A. Wood and B. Wollenberg, *Power System Generation, Operation and Control*, 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, 1996.

شبکه برای مقادیر متفاوت α و β محاسبه شد و بهترین و معنی‌دارترین نتایج از مقادیر $\alpha=0.8$ و $\beta=0.2$ بدست آمد. نتایج در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): شاخص ریسک برا مقادیر متفاوت α و β

$\alpha=0.8$ $\beta=0.2$	$\alpha=0.5$ $\beta=0.5$	$\alpha=0.2$ $\beta=0.8$	شرایط شبکه
0.2439	0.5274	0.8109	کم باری
0.6916	0.6193	0.5470	پر باری
0.7014	0.6427	0.0583	خروج نیروگاه نیشابور
0.9276	0.8191	0.7107	خروج خط شیروان-بجنورد

اندازه‌ی شاخص در حالت خروج نیروگاه نیشابور در شبکه‌ی خراسان نسبت به حالت قبل از آن تغییر چندانی نکرده است. این امر به این دلیل است که در این شبکه ظرفیت نصب شده، بسیار بیشتر از بار است و با خروج این نیروگاه سایر نیروگاه‌های پراکنده در شبکه به راحتی کمبود تولید را جبران کرده‌اند. شکل (۵) درصد بارگیری خطوط را برای حالت قبل از خطا و پس از آن نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود تغییر چندانی در بارگیری خطوط و شرایط شبکه بروز نکرده است. در این حالت تنها به دلیل عدم تزریق توان راکتیو و کنترل ولتاژ در باس‌های مجاور شاخص ولتاژ کمی بیشتر شده است.



شکل (۵): درصد بارگیری خطوط در دو حالت پر باری (نمودار مشکی پشت) و خروج نیروگاه نیشابور (نمودار خاکستری جلو)

در حالت قطع خط کلیدی شیروان-بجنورد ولتاژ باس‌های مجاور به شدت افت کرده و در پی آن شاخص ولتاژ بالا رفته است. اما به دلیل مصارف کوچک باس‌های اطراف آن شاخص اضافه بار افزایش زیادی نداشته است و در مجموع شاخص افزایش یافته است.

همچنین در حالات دیگر کارکرد شبکه مشاهده می‌شود که شاخص ریسک شبکه به شکلی منطقی، متناسب با بحرانی تر شدن شرایط شبکه، افزایش یافته است. شاخص ریسک برای حالات دیگری با تغییرات جزئی در شبکه محاسبه شده است و تغییرات شاخص نیز متناسب با آنها مشاهده شده است.