شاخص ریسک احتمالی امکانی جدید مبتنی بر تجربیات بهره‌برداران

میثم مکاری[۱]، محمدحسن مرادی[۲]، محمد عابدینی[۳]

۱- معاونت راهبری شبکه برق کشور-شرکت مدیریت شبکه برق ایران-تهران-ایران

M.Mokari.eng@basu.ac.ir

۲- استاد، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه بوعلی سینا- همدان- ایران (نوسینده مسئول)

mhmoradi@basu.ac.ir

۳- استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه آیت ا... بروجردی، بروجرد، ایران

m.abedini@abru.ac.ir

چکیده: ریسک عدم اطمینان در مورد پیامد انجام فعل یا ترک فعل تعریف شده است. روش مرسوم تخمین ریسک در شبکه قدرت ضرب پیامد در احتمال وقوع یک پیشامد می‌باشد. اما از آنجاکه احتمال رخداد پیشامدها در شبکه‌های قدرت اغلب ناچیز است، حتی در پیشامدهای با پیامد زیاد (مانند خاموشی‌های سراسری) ریسک با استفاده از روش مرسوم صفر یا نزدیک به صفر تخمین زده می‌شود . این موضوع مطلوب نمی‌باشد چراکه هشدار لازم جهت اتخاذ تصمیمات پیشگیرانه به بهره‌برداران را نمی‌دهد. بعلاوه، عدم قطعیت‌ها در شبکه قدرت (مانند تولید نیروگاه‌های بادی) نیز می‌توانند باعث ایجاد ریسک بهره‌برداری در شبکه گردند که باید در کمی‌سازی ریسک نظر گرفته شوند. همچنین مقدار ریسک محاسبه شده برای بهره-برداران باید قابل فهم باشد تا بتوانند عکس‌العمل مناسبی در قبال آن نشان دهند. لذا با نظر سنجی از خبرگان صنعت برق کشور و با استفاده از روش دلفی-فازی در این مقاله، شاخص ریسک احتمالی-امکانی جدیدی از ترکیب پیامد و احتمال پیشامدها و با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های شبکه قدرت معرفی شده است که به تمامی چالش‌های ذکر شده پاسخ می‌دهد. شاخص ریسک پیشنهادی با روش ضرب مرسوم مقایسه شده است و نتایج بیان می‌دارد که روش پیشنهادی می‌تواند ریسک شبکه را بهتر تخمین بزند.

کلمات کلیدی: شاخص ریسک، عدم قطعیت، دلفی-فازی

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]

۱- مقدمه

در تعریف عام ریسک، احتمالی است که یک کنش یا بی‌کنشی منجر به زیان و پیامدهای ناخوشایند و ناخواسته شود. همچنین، ریسک عدم اطمینان در مورد نتیجه یک عمل یا احتمال بالفعل شدن یک خطر نیز تعریف شده‌است. لذا همانطورکه از تعریف‌ها مشخص است، ریسک از ترکیب احتمال وقوع خطر و پیامد آن تعریف می‌شود. ریسک با عدم قطعیت تفاوت دارد. در واقع، ریسک موقعیت از دست دادن یک منفعت و یا رخداد خطر می‌باشد اما عدم قطعیت شرایطی را بیان می‌دارد که درباره آینده اطلاعاتی نداریم یا اطلاعات به اندازه کافی دقیق نمی‌باشند. همچنین با انجام اقدامات پیشگیرانه ریسک قابل کنترل است اما عدم قطعیت قابل کنترل نمی‌باشد.

با این حال، ریسک یک متغیر پنهان است به این معنی که نمی‌توان آن را مستقیم اندازه‌گیری کرد و باید آن را از اطلاعات آماری گذشته اندازه‌گیری نمود. دو تعریف مهم در امر اندازه‌گیری ریسک اهمیت دارد[۱]:

۱- تعریف اول -شاخص ریسک: روشی ریاضی برای محاسبه و کمی‌سازی ریسک است.

۲- تعریف دوم- اندازه ریسک: عددی است که میزان ریسک را بیان می‌دارد و از محاسبه شاخص ریسک بدست می‌آید.

شاخص ریسک، تابعی ریاضی است که از ترکیب پیامد و احتمال وقوع خطر، ریسک کمی می‌شود. اندازه ریسک برد آن تابع می‌باشد و میزان ریسک پیش رو را مشخص می‌نماید[۲]. با این حال ریسک یک متغیر کیفی است و برای آنکه توسط بهره‌برداران قابل فهم شده و در قبال ریسک‌های مختلف عکس العمل‌های متفاوت اتخاذ نمایند، باید کمی شود که همانطور که بیان شد، توسط شاخص ریسک انجام می‌شود. شرط یک شاخص ریسک مناسب پیروی از معیار انسجام است. آرتزنر چهار شرط مهم زیر را برای انسجام شاخص ریسک بیان نموده است [۱]:

۱- یکنواختی : با افزایش پیامد و یا احتمال وقوع پیشامد، ریسک نیز باید افزایش بیابد.

۲- تغییرناپذیری: اگر خروج تجهیزی باعث ایجاد پیامد در شبکه نگردد، هرچند محتمل باشد، ریسک آن صفر است.

۳- همگنی: اگر پیامد دو تجهیز با احتمال وقوع یکسان، مشابه افزایش یا کاهش پیدا کند شاخص ریسک نیز باید برای آن دو تجهیز یکسان تغییر نماید.

۴- جمع‌پذیری: اگر ریسک کل شبکه مدنظر باشد، بزرگ‌ترین ریسک محاسبه‌شده، ریسک شبکه در نظر گرفته می‌شود. هرچند می‌توان به منظور محاسبه ریسک یک ناحیه یا کل شبکه، از مجموع ریسک تک تک تجهیزات استفاده نمود.

جهت پایش زمان-واقعی امنیت در سیستم قدرت، ارائه شاخص کمی از شرایط ریسک در شبکه به بهره‌بردار سیستم قدرت ضروری می‌باشد. همانطورکه بیان شد، این شاخص باید دربردارنده نتایج پیشامدسنجی، احتمال خروج تجهیزات و شدت عواقب ناشی از خروج تجهیز باشد. در شرایطی که هم احتمال رخداد پیشامد (Probability) و هم میزان تخطی از قیود امنیت شبکه یا پیامد (Deviation) بالا باشد، شاخص ریسک نیز باید بزرگ باشد. ازاین رو شاخص ریسک در اکثر مراجع به‌صورت ضرب احتمال در پیامد در نظر گرفته شده است. اما از آنجاکه احتمال وقوع پیشامدها در شبکه قدرت ناچیز می‌باشد (عددی نزدیک به صفر) ریسک محاسبه شده توسط روش ضرب در کاربردهای عملی، اغلب نزدیک به صفر تخمین زده می‌شود. این موضوع به ویژه در حوادث با پیامد بالا و احتمال وقوع پایین (مانند خاموشی سراسری) اهمیت پیدا می‌کند. که تخمین ریسک نزدیک به صفر، منجربه نادیده گرفته شدن پیشامد توسط بهره‌برداران شده و شبکه را در معرض خطر قرار می‌دهد.

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]

همچنین، سطوح مختلف ریسک باید برای بهره‌برداران دارای معنی مشخصی باشد. این سطوح تعیین کننده نوع عکس-العلمل بهره‌برداران جهت کنترل و یا کاهش ریسک در شبکه با استفاده از ابزارهایی مانند حذف بار و یا جاجایی بار/ تولید می-باشد که بر بهره‌وری سیستم تاثیر گذار است. با استفاده از روش‌های مرسوم ضرب، تخمین ریسک انجام شده به تفسیر هرباره در شرایط مختلف بهره‌برداری و برای شبکه‌های مختلف دارد و باید به صورت ویژه تعیین و به طور دائم بروز رسانی شود.

بعلاوه، عدم قطعیت‌ها در شبکه قدرت (به مانند توان منابع تجدید پذیر) نیز می‌تواند سرمنشاء ریسک در شبکه قدرت باشد. این عدم قطعیت‌ها با ایجاد اختلاف بین مقدار پیش‌بینی شده (برنامه‌ریزی شده) و مقدار واقعی باعث ایجاد ریسک در شبکه شوند. لذا در شاخص‌های تخمین ریسک باید در نظر گرفته شوند.

۲.۱ - مرور مراجع

در مرجع [۳]، با توجه به توابع PDF مربوط به عدم قطعیت‌های موجود در شبکه، حالت کلی از شاخص ریسک شامل مجموع ضرایب ارائه شده است. این شاخص در رابطه زیر آورده شده‌است:

$$Risk=\int_{-\infty}^{\infty} Pr(v_j).Risk(v_j)dv_j \qquad [۱]$$

که، Pr تابع توزیع احتمالی ولتاژ در باس j، $Risk(v_j)$ ریسک تجهیز برای یک ولتاژ معین می‌باشند. این رابطه برای انحراف ولتاژ از قیود فرمول نویسی شده و برای سایر ریسک‌ها قابل تغییر می‌باشد. در [۴] مسئله پخش توان بهینه مبتنی بر ریسک با هدف کاهش اثرات اجتماعی ارائه شده‌است. در این مرجع ریسک توسط روش کنترل هزینه بهینه و با لحاظ اثرات اجتماعی عدم قطعیت‌ها کمی شده است. شرایط آب و هوایی و تجهیزات در فرمول نویس مسئله درنظر گرفته شده‌است.

در مرجع [۵]، از ضرب پیامد در احتمال وقوع پیشامد برای محاسبه ریسک استفاده شده‌است. در این مرجع ریسک از مجموع ضرب احتمال وقوع پیشامدها در پیامد آن‌ها برای محسابه شاخص ریسک شبکه به صورت زیر استفاده شده‌است:

$$R=\sum_{j=1}^{n_j}\sum_{i=1}^{n_i} P(C_i).P(S_j).Q(C_i,S_j) \qquad [۲]$$

که، R ریسک شبکه، $P(C_i)$ احتمال وقوع i امین پیشامد، n_i تعداد پیشامدها، $P(S_j)$ احتمال i امین حالت بهره‌برداری سیستم، n_j تعداد حالات سیستم، $Q(C_i,S_j)$ پیامد وقوع پیشامد i در حالت بهره‌بردرای j می‌باشد. حالت بهره‌برداری سیستم، وضعیت تجهیزات مختلف شبکه مانند ساختار شبکه، میزان بار، آرایش واحدها و احتمال اجرای اقدمات پیشگیرانه ایجاد می-باشد.

در [۶]، مدلی جدید و تصادفی به منظور برنامه‌ریزی ولتاژی پیشگیرانه مبتنی بر ریسک در سیستم قدرت ارائه شده‌است. عدم قطعیت تولید نیروگاه بادی در نظر گرفته شده و از روش ایجاد سناریو برای تخمین عدم قطعیت‌ها بهره برده شده است. در این مرجع، ریسک با استفاده از ایده ارزش در معرض ریسک محاسبه می‌شود.

در مرجع [۷]، شاخص ریسک از ضرب احتمال وقوع حالت بهره‌برداری در پیامد محاسبه شده‌است:

$$R=\sum_{i=1}^{n_s}(\pi_s*PL_s) \qquad [۳]$$

که، n_s تعداد سناریوها، π_s احتمال وقوع هر سناریو، PL_s مقدار تخطی از قیود یا پیامد هر سناریو می‌باشد. تعداد سناریوها با استفاده از روش ایجاد سناریو، برای عدم قطعیت تولیدات تجدید پذیر و پیش بینی بار ایجاد شده‌است.

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]

در مرجع [۲]، شاخصی برای محاسبه ریسک شبکه برق سراسری کشور ارائه شده است که با استفاده از احتمال خروج تجهیز و میزان پیامد آن‌هاریسک را تخمین زده و اثر ناچیز بودن احتمال وقوع پیشامدها را حذف می‌نماید. شاخص ارئه شده در این مرجع، با در نظر گرفتن روابط و ضرایب موجود طبق تجزیه و تحلیل آماری نقاط کار مختلف شبکه در بازه‌های زمانی متفاوت به دست آمده است. در [۸]، با استفاده از شبیه‌سازی مونت-کارلو روشی جهت تخمین ریسک ناشی از پیشامدها و عدم قطعیت‌های در شبکه قدرت ارائه شده‌است. شاخص ریسک پیشنهاد شده در برنامه‌ریزی بهینه‌توان راکتیو با هدف کمینه نمودن ریسک در شبکه بکار گرفته شده‌است. در [۹]، برنامه‌ریزی بهینه توان راکتیو زمان-واقعی چند هدفه مبتنی بر ریسک توزیع شده مقاوم ارائه شده است تا توازن بین هزینه بهره‌برداری و ریسک را ایجاد و امنیت ولتاژی باس‌ها را حتی زمانی که توزیع متغیرهای تصادفی به خوبی مشخص نباشد در محدوده قابل قبول حفظ نماید. در این مرجع ریسک صرفا برای عدم قطعیت‌های موجود در شبکه تخمین زده می‌شود و امید ریاضی توابع هدف که از محاسبه چندین سناریو ایجاد شده برای متغیرهای تصادفی محاسبه می‌شود به عنوان ریسک در نظر گرفته و کمینه می‌شود.

در [۱۰]، فرمولی جهت تخمین ریسک ناپایداری ولتاژ در شبکه قدرت ارائه شده است که اثر ناچیز بودن احتمال وقوع پیشامدها را حذف می‌نماید. روش ارائه شده ار این مرجع همچنین عدم قطعیت منابع تجدید پذیر و پیش‌بینی بار را در تخمین ریسک در نظر می‌گیرد. در [۱۱]، مدلی برای OPF غیر متمرکز مبتنی بر ریسک با قید امنیتی ارائه شده‌است. در مدل ارائه شده، عدم قطعیت تولید توان نیروگاه بادی، نیروگاه خورشیدی و مصارف گرمایشی شبکه در نظر گرفته و ریسک شبکه را با در نظر گرفتن احتمال خروج تجهیزات شبکه و شبکه گازرسانی با استفاده از روش ضرب تعیین می‌نماید.

۲.۱ - نوآوری مقاله

مرور منابع و مراجع شکاف‌های زیر را در تخمین ریسک بیان می‌دارد:

۱- نیاز به روشی جهت تخمین ریسک می‌باشد که با ترکیب احتمال و پیامد وقوع پیشامدها اثر ناچیز بودن احتمال وقوع پیشامدها در شبکه قدرت را حذف نماید.

۲- مقدار شاخص ریسک تخمین زده شده توسط بهره‌برداران قابل فهم و درک بوده و اثر بکارگیری در شبکه‌های قدرت گوناگون با مقادی مختلف احتمال وقوع پیشامد را حذف نماید.

بر این اساس در این مقاله روشی احتمالی-امکانی ارائه شده است که با استفاده از روش دلفی-فازی ضمن نظر سنجی از بهره‌برداران (بهره‌برداران شبکه برق کشور) اثر ناچیز بودن احتمال وقوع پیشامدها را حذف نموده و عدم قطعیت‌های موجود در شبکه را در محاسبه ریسک در نظر می‌گیرد. در ضمن با توجه به نظر سنجی از بهره‌برداران (در تعیین حدود ریسک) مقدار نهایی بدست آمده با تجربیات بهره‌برداران سازگارتر بوده و برای آن‌ها قابل فهم‌تر می‌باشد. لذا شاخص پیشنهادی به تمامی کاستی‌های ذکر شده پاسخ می‌دهد. در این مقاله ریسک انحراف ولتاژ ازمقدار برنامه‌ریزی شده و اضافه بار تجهیزات مورد مطالعه قرار گرفته است در حالی که روش پیشنهادی به راحتی برای ریسک‌های دیگر در شبکه قدرت قابل تعمیم است.

۲- تئوری مسئله

۱.۲ انحراف ولتاژ

کنترل ولتاژ با استفاده از منابع مگاواری موجود در شبکه پیش از وقوع پیشامدها و پس از آنها همواره یکی از اهداف بهره‌برداران شبکه می‌باشد. با این حال افزایش تقاضا و یا وقوع پیشامدها می‌تواند نیاز به توان راکتیو در شبکه را افزایش دهد

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]

که در صورت عدم تامین مناسب آن افت ولتاژ به وقوع خواهد پیوست. افت ولتاژ در شبکه‌های قدرت به محدوده عادی، قابل قبول و اضطراری تقسیم می‌شود. محدوده ولتاژ عادی در اغلب شبکه‌ها ٪۲ ± در نظر گرفته می‌شود. دراین محدوده نیاز به اقدام جهت کنترل ولتاژ نمی‌باشد. لذا، قرارگیری ولتاژ در این محدوده ریسک صفر را به‌همراه دارد. ولتاژ قابل قبول که در آن اپراتورها با توجه به شرایط شبکه و تقاضا اقدام به اصلاح ولتاژ به داخل محدوده مجاز می‌نمایند، ٪۵ ± در نظر گرفته می‌شود که ریسک بهره‌برداری کم را بهمراه دارد. این محدوده در اکثر شبکه‌ها بیشتر از محدوده قابل قبول اما برای مدت زمان محدود (اغلب حدود ۲۰ دقیقه) لحاظ می‌گردد. محدوده ولتاژ اضطراری در این مقاله ٪۱۰ ± در نظر گرفته شده‌است. باتوجه به این نکته که، در مراجع و شبکه‌های قدرت مختلف، محدوده‌های بیان شده متفاوت است، می‌توان آن‌ها را دارای ابهام دانست و به صورت فازی بیان نمود. برای محاسبه انحراف ولتاژ از رابطه زیر استفاده شده‌است:

$$VD=|1-V_{load}| \qquad [۴]$$

که، VD انحراف ولتاژ، V_{load} ولتاژ در باس‌های مصرف کننده بر حسب پریونیت می‌باشد. با توجه به انحراف ولتاژ از مقدار ایده‌آل ۱ پریونیت بازه ولتاژ مجاز، قابل قبول و اضطراری تقسیم بندی می‌شوند و توابع عضویت فازی آن مشخص می‌شود.

۲.۲ اضافه بار تجهیزات

خروج بدون برنامه‌ریزی تجهیزات شبکه ممکن است منجر به اضافه بار باقی تجهیزات در شبکه شود. این اضافه‌بار می‌تواند عملکرد رله‌های حفاظتی را در پی داشته باشد و سناریو خروج آبشاری را کلید بزند. با این حال هر اضافه‌باری نیز ریسک قابل توجهی ایجاد نمی‌نماید. دلیل این موضوع این است که عملکرد رله‌های اضافه بار خطوط با تاخیر همراه می‌باشد لذا بهره‌برداران فرصت برای انجام اقدامات اصلاحی دارند. اضافه‌بار کمتر از حدود ٪۱۲۰ مقدار نامی، اضافه بار اضطراری نامیده می‌شود. در این شرایط بهره‌برداران حدود ۲۰ دقیقه زمان دارند تا بار شاخه‌ها را کنترل نمایند. اضافه بار بیش از آن معمولاً با عملکرد سریعتر رله‌های حفاظتی همراه است و زمان جهت انجام اقدام اصلاحی به اندازه کافی وجود ندارد. برهمین اساس در روش امکانی پیشنهادی، توابع عضویت اضافه بار تجهیزات در این مقاله تعریف می‌شوند. در روش پیشنهادی، بارگذاری تجهیزات کمتر از ٪۸۰ مورد توجه نبوده و اضافه بار تلقی نمی‌شود که ریسک برای این سطح از بارگذاری تجهیزات‌ها، صفر در نظر گرفته می‌شود.

بار تجهیزات بیش از ۸۰ درصد اغلب مورد توجه بهره‌برداران واقع می‌شود چراکه در صورت وقوع پیشامدهای دیگر ممکن است اضافه بار تجهیزات را به همراه داشته باشد. لذا، بارگذاری بین ۸۰ تا ٪۱۲۰ در محدوده بارگذاری اضطراری در نظر گرفته شده‌است. بیش از ۱۲۰درصد بارگذاری تجهیزات می‌تواند عملکرد سریع تجهیزات حفاظتی را در پی داشته باشد. مقدار بارگذاری تجهیزات در شبکه می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$FV=\frac{S_{flow}}{S_{rated}} \qquad [۵]$$

که، FV اضافه‌بار تجهیز، S_{flow} توان ظاهری عبوری از تجهیز و S_{rated} ظرفیت آن می‌باشد.

۳.۲ روش دلفی-فازی

دلفی-فازی، روشی توسعه یافته از روش دلفی است که در آن از اطلاعات آماری مثلثی شده برای تعیین فاصله بین سطوح و اجماع نظر خبرگان استفاده می‌شود. این روش بر اساس ایده‌ای توسعه یافته است که از سوال، تکرار، بازخورد کنترل شده و ناشناس بودن پاسخ‌ها، استفاده می‌کند.

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]

این روش مراحل زیر را دارد:

- از خبرگان سوال می‌شود که دیدگاه خود را به صورت مجزا از هم راجع به موضوع ارائه کنند.
- سپس آنالیز آماری روی نظرات آن‌ها انجام می‌شود.
- این اطلاعات آماری به خبرگان منتخب انتقال داده می‌شود تا در صورت صلاحدید نظرات خود را اصلاح نمایند.
- تخمین آن‌ها مجدداً آنالیز آماری می‌شود.
- این اطلاعات دوبار به خبرگان ارسال می‌شود تا در صورت تمایل نظرات خود را اصلاح نمایند. این روند آنقدر تکرار می‌شود تا پاسخ قابل قبول و پایداری ایجاد شود.

۴.۲ عدم قطعیت در سیستم‌های قدرت

عدم قطعیت درشبکه‌های قدرت را به دو دسته کلی فنی و اقتصادی دسته‌بندی نموده‌اند[۱۲]. عدم قطعیت‌های فنی شامل:

۱) بهره‌برداری: مانند بار مصرفی و تولیدات تجدید پذیر است
۲) توپولوژی شبکه: مانند خروج ناگهانی و بدون‌برنامه‌ریزی تجهیزات (پیشامدها)

دراین مقاله عدم قطعیت‌های فنی شبکه مد نظر بوده است و در مسئله لحاظ شده‌اند. به منظور بهبود کیفیت و افزایش دقت برنامه‌ریزی، باید مدل‌سازی این عدم قطعیت‌ها دربرنامه‌ریزی‌های سیستم‌های قدرت صورت پذیرد. این مدلسازی ها را می‌توان به ۳ دسته عمده تقسیم نمود:

۱) روش احتمالی
۲) روش امکانی
۳) روش ترکیبی

۵.۲ عدم قطعیت وقوع پیشامدها

برای محاسبه ریسک پیشامدها، نیاز به محاسبه احتمال وقوع آن‌ها می‌باشد. به منظور محاسبه احتمال وقوع پیشامدها یا همان عدم قطعیت وقوع پیشامدها، از اطلاعات آماری گذشته تجهیزات استفاده می‌شود. نرخ خروج اضطراری[1](FOR) که مقداری بین ۰ و ۱ دارد، در ساده‌ترین حالت از مدل دوحالته درمدار و خارج از مدار تجهیزات محاسبه می‌شود. با استفاده از این مدل، احتمال در دسترس نبودن (یا خارج از مدار بودن) هر تجهیز قابل محاسبه است. به لحاظ ریاضی، متوسط بلند مدت در دسترس نبودن هر تجهیز در سیستم قدرت از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$U = \frac{\lambda}{\mu+\lambda} \qquad [۶]$$

که، U در دسترس نبودن تجهیز، λ نرخ شکست و μ نرخ تعمیر می‌باشد. اطلاعات در شبکه‌های قدرت در یک بازه چندساله ذخیره و بعد از متوسط‌گیری مورد استفاده واقع می‌شوند.

[1] Forced Outage Rate

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]

۶.۲ عدم قطعیت تولیدات پراکنده

به منظور مدلسازی احتمالی عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر از توابع توزیع چگالی احتمال (PDF) برای آن‌ها استفاده می‌شود. در این مقاله عدم قطعیت تولید توان نیروگاه بادی در نظر گرفته شده است. عدم قطعیت تولید توان نیروگاه بادی به دلیل وجود عدم قطعیت در سرعت باد می‌باشد. برای مدلسازی عدم قطعیت سرعت باد اغلب از توابع PDF ویبول و یا رایلی استفاده می‌شود. در رابطه (۷) تابع توزیع رایلی برای سرعت باد ارائه‌شده است:

$$PDF=(\frac{v}{c^2})e^{[-(\frac{v}{\sqrt{2}c})^2]} \qquad [۷]$$

v سرعت باد می‌باشد و c پارامتر مقیاس که از اطلاعات آماری گذشته بدست می‌آید.

مقادیر این پارامترها از پایش طولانی مدت سرعت باد در یک منطقه قابل محاسبه است. با استفاده از روش‌هایی مانند تطبیق نمودار[۲] می‌توان این پارامترها را تخمین زد[۱۳]. دراین مقاله مقادیرV و C با توجه به اطلاعات مراجع [۱۴] به ترتیب ۶ و ۲ در نظر گرفته شده‌اند.

۷.۲ عدم قطعیت دیماند مصرفی

برنامه‌ریزی توان راکتیو شبکه‌های قدرت نیازمند دانستن مقدار بار شبکه در مدت‌زمان برنامه‌ریزی می‌باشد. ازآنجاکه پیش‌بینی همواره همراه با عدم قطعیت است، نیازمند مدل‌سازی آن می‌باشیم. به‌منظور مدل‌سازی عدم قطعیت بار از تابع توزیع نرمال و یا گوسی استفاده می‌شود[۱۲]. بدین منظور فرض می‌شود که مقدار متوسط و انحراف معیار بار مشخص باشد. حداکثر انحراف معیار مجاز ۳ درصد در اکثر شبکه‌های قدرت لحاظ می‌گردد.

۸.۲ فرآیند تولید سناریو

به منظور حل مسائل با متغیرهای تصادفی، فرآیند گسسته‌سازی و تولید سناریو از تابع چگالی احتمالی پیوسته انجام می‌شود که به آن فرآیند تولید سناریو گویند. در این روش تابع توزیع چگالی احتمال پیوسته با استفاده از تعدادی سناریو به توزیع گسسته تخمین زده می‌شود. سپس برای هریک از سناریوها مسئله به صورت قطعی حل شده و با استفاده از میانگین‌گیری مقدار امید ریاضی متغیرها و یا توابع مورد نظر یافت می‌شود. ویژگی‌های آماری[۳]متغیرهای تصادفی را می‌توان به راحتی محاسبه نمود. این موضوع استفاده از روش‌هایی که بجای توابع توزیع چگالی احتمال از گشتاورهای متغیر تصادفی استفاده می‌نمایند، جذابتر نموده است. لذا، روش تطبیق گشتاور[۴] برای تولید سناریو مورد توجه واقع شده‌است. این روش با استفاده از گشتاورهای متغیرهای تصادفی سناریوهایی را تخمین می‌زند و نیازی به PDF متغیر تصادفی ندارد.

۱.۸.۲ روش تطبیق گشتاور جهت تولید سناریو

روش تطبیق گشتاور جهت گسسته‌سازی و تولید سناریو متغیرهای تصادفی استفاده می‌شود. این روش از ویژگی آماری (گشتاورها) جهت تخمین تابع توزیع چگالی احتمال بجای تابع دقیق توزیع چگالی احتمالی استفاده می‌کند و سناریوهای را با تعداد دلخواه از آن تولید می‌نماید[۱۵]. بدین منظور یک مسئله بهینه‌سازی تعریف می‌شود که در آن تابع هدف حداقل‌سازی فاصله بین خصوصیات آماری توزیع پیوسته و توزیع گسسته برازش شده مقید به قیودی که مجموع وزن‌هایی داده شده به

[2] Curve Fitting
[3] Statistical properties
[4] Moment Matching

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]

هریک از گشتاورها ۱ باشد، تعریف می‌شود. هرچه تعداد گشتاورهای بیشتر شود، دقت تخمین افزایش پیدا خواهد کرد. در این مقاله، میانگین، واریانس، کشیدگی و چولگی به عنوان ویژگی‌های آماری متغیر تصادفی استفاده شده‌است. مسئله بهینه-سازی به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\min \sum_{k\epsilon K} \omega_k (f_k(x,\pi)\text{-}VAL_k)^{۲}$$
$$\text{s.t.} \quad \sum_{v\in\gamma} \pi_v = 1$$
$$\pi_v \geq ۰ \quad v\in\gamma \qquad [۸]$$

که در آن، f_k، تابع ریاضی ویژگی آماری، k ویژگی آماری، K مجموعه همه ویژگی‌های آماری، ω_k ضرایب وزنی هر یک از ویژگی‌های آماری، v بردار خروجی‌های (سناریوها)، x بردار تحقق متغیرهای تصادفی، π بردار احتمال خروجی‌ها و VAL مقدار ویژگی‌آماری k می‌باشد. با فرض اینکه توزیع پیوسته متغیرهای تصادفی از هم مستقل باشند حداقل تعداد سناریوها برای تخمین با خطای ناچیز از رابطه زیر بدست می‌آید[۱۵]:

$$\text{تعداد ویژگی‌ها} \sim (D+۱)y\text{-}۱ \qquad [۹]$$

که، D ابعاد سناریوها و y تعداد خروجی‌ها می‌باشد. در این مقاله، تعداد متغیرهای تصادفی با توزیع پیوسته ۲ (سرعت باد و پیش‌بینی نیاز مصرف شبکه) می‌باشد. لذا، D برابر ۲ محاسبه می‌شود (ضرب ۲ متغیر تصادفی در یک بازه زمانی). تعداد ویژگی‌های آماری نیز ۸ محاسبه می‌گردد (ضرب ۲ متغیر تصادفی، ۱بازه زمانی و ۴ گشتاور). بنابراین از رابطه بالا حداقل تعداد سناریوها ۴ بدست می‌آید. به منظور بدست آموردن نتایج دقیق‌تر ۵ سناریو برای هر متغیر تصادفی در نظر گرفته شده-است. لذا تعداد کل سناریوها ۲۵(۵ سناریو برای هرکدام از سرعت باد و عدم قطعیت دیماند مصرفی) محاسبه می‌شود.

۲.۸.۲ کاهش تعداد سناریوها

افزایش تعداد سناریوها، ناشی از افزایش تعداد متغیرهای تصادفی و یا بازه زمانی، قابلیت پیگیری[5] را کاهش و زمان انجام محاسبات را افزایش می‌دهد. در این شرایط استراتژی بکار گرفته شده در مراجع انتخاب زیر مجموعه‌ای از سناریوهاست که معرف خوبی از همه سناریوها باشند که به این عمل کاهش تعداد سناریوها گفته می‌شود. روش انتخاب سریع پیش‌رو (FFS)[6] که روشی ساده و شناخته شده‌است به منظور کاهش تعداد سناریوها استفاده می‌شود. مراحل این روش به شرح زیر است:

مرحله ۱- با فرض i=۱ ، فاصله بین دو سناریو از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\delta_{k,l} = \eta(\beta_k, \beta_l),\ k,l = ۱,\ldots,K \qquad [۱۰]$$

برای هر سناریو فاصله کل وزن دهی شده محاسبه شود:

$$z_l = \sum_{k=۱,k\neq u}^{N} \gamma_k \delta_{k,l} \qquad [۱۱]$$

سناریوهای با کمترین z_l یافته شود.

$$l_۱ = \arg\min_{l\in\{۱,\ldots,K\}} z_l \text{ and set } J=\{۱,\ldots ۱K\}\backslash l. \qquad [۱۲]$$

[5] Tractability
[6] Fast Forward Selection

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]

مرحله ۲- با فرض i=i+۱، رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\delta^{i}_{k,l}=\eta\left(\beta^{i-1}_{k},\beta^{i-1}_{l}\right)k,\ l\in J^{i-1} \qquad [۱۳]$$

فاصله کل وزن‌دهی شده محاسبه می‌شود:

$$z^{i}_{l}=\sum_{k\in J^{i-1}\setminus l}\gamma_{k}\delta^{i}_{k,l},\ l\in J^{i-1} \qquad [۱۴]$$

سناریو l_i که کمترین فاصله را ایجاد می‌کند بیابید:

$$l_{i}=\arg\min_{l\in J^{i-1}} z^{i}_{l} \qquad [۱۵]$$

و J را بروزرسانی نمایید:

$$\text{update } J^{i}=J^{i-1}\setminus l_{i} \qquad [۱۶]$$

مرحله ۳- اگر تعداد سناریوهای انتخاب شده با تعداد سناریوهای مشخص شده توسط کاربر برابر است به مرحله ۴ برو اگر نه به مرحله ۲ بازگرد.

مرحله ۴- سناریوهای غیر منتخب که کمترین فاصله را دارند به منظور انتخاب سناریو l انتخاب شود که به آن $L(l)$ گویند. براین این منظور برای هر سناریو انتخاب نشده:

$$l(k)=\arg\min_{l\in\Omega}\delta\left(\beta_{k},\beta_{k}\right),\ k\in\{۱,\ldots,K\}\setminus\Omega \qquad [۱۷]$$

نزدیکترین سناریوها انتخاب می‌شود. احتمال وقوع سناریو l با جمع احتمال آن قبل از آنکه انتخاب شود و احتمال همه سناریوهای انتخاب نشده که به l نزدیک اند، بروز رسانی می‌شود:

$$q_{l}=p_{l}+\sum_{k\in L(l)}p_{k} \qquad [۱۸]$$

۳. روش پیشنهادی

با استفاده از روش دلفی-فازی و با نظر سنجی از ۱۰ نفر از بهره‌برداران شبکه برق کشور (خبرگان بهره‌برداری) به وسیله ترکیب پیامد و احتمال وقوع پیشامدها، حدود ریسک و قوانین فازی مشخص گردیده‌است. طبق نظر خبرگان این حدود به ریسک کم، متوسط و بالا دسته‌بندی شده‌است. برای ریسک مقدار عددی بین ۰ و ۱۰۰٪ درنظر گرفته شده است. FOR تجهیزات ۰ تا حداکثر ۰/۱۹٪ بر اساس اطلاعات شاخه‌های شبکه برق کشور در نظر گرفته شده‌است.

۱.۳ ریسک انحراف ولتاژ

انحراف ولتاژ از مقدار برنامه‌ریزی شده مطابق مطالب بیان شده در بخش ۱.۲ محاسبه می‌شود. امید ریاضی رابطه (۴) که برای سناریوهای مختلفی که برای عدم قطعیت تولید نیروگاه‌بادی و پیش‌بینی بار محاسبه می‌گردد، به عنوان پیامد پیشامدها در نظر گرفته می‌شود. جدول ۱ نتایج نظرسنجی از خبرگان (جهت اختصار نظر ۵ نفر از خبرگان آورده شده-است) برای حدود ریسک را ارائه می‌نماید. از نتایج این جدول، تابع عضویت ریسک مطابق شکل ۱ تعیین می‌گردد. مطابق مطالب بیان شده در بخش ۱.۲، تابع عضویت پیامد انحراف ولتاژ ناشی از وقوع پیشامدها ایجاد و در شکل ۲ نمایش داده-شده‌است. همچنین تابع عضویت نرخ خروج اضطراری تجهیزات (FOR) نیز با نظرسنجی از خبرگان در مورد حدود آن در

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]

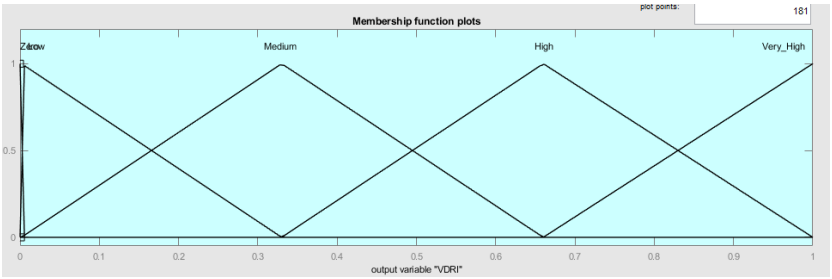
شکل ۳ نمایش داده شده‌است. جدول ۲ قوانین فازی را که با نظر سنجی از خبرگان و توسط روش دلفی-فازی تهیه شده نمایش می‌دهد. شکل ۴ منحنی سطحی ریسک انحراف ولتاژ را نمایش می‌دهد. همانطور که از جدول ۲ و شکل ۴ مشخص است، هنگامی‌که انحراف ولتاژ در محدوده ولتاژ عادی قرار می‌گیرد، ریسک انحراف ولتاژ صفر در نظر گرفته شده-است. در بازه ولتاژ قابل قبول ریسک در مقدار کم، متوسط و زیاد با توجه به احتمال وقوع پیشامدها در نظر گرفته شده-است و محدود ولتاژ اضطراری ریسک افزایش یافته است. همچنین حوادثی که احتمال وقوع بالا دارند اما پیامدی ندارند، ریسک صفر برای آن‌ها در نظر گرفته شده‌است. در نظر گرفتن مجزای انحراف ولتاژ متوسط و زیاد علاوه بر بهبود یکنواختی، تغییرناپذیری انتقال و همگنی شاخص، این مزیت را دارد که با توجه به رفتار غیرخطی شبکه قدرت، می‌توان رابطه افزایش ریسک با افزایش پیامد حوادث را به صورت غیرخطی لحاظ نمود.

۲.۳ ریسک اضافه‌بار تجهیزات

با توجه به مطالب بیان شده در بخش‌های ۲.۲ و ۱.۳، امید ریاضی رابطه (۵) محاسبه و سپس با ترکیب احتمال و پیامد، ریسک اضافه بار تجهیزات محاسبه می‌گردد. تابع عضویت اضافه‌بار تجهیزات که به عنوان پیامد پیشامدها در نظر گرفته می‌شود در شکل ۵ نمایش داده‌شده است. جدول ۳ قوانین نهایی فازی ریسک اضافه‌بار تجهیزات برگرفته از نظرسنجی انجام شده از خبرگان و شکل ۶ منحنی سطحی ریسک اضافه‌بار تجهیزات را نمایش می‌دهد. همانطورکه از جدول ۳ و شکل۶ مشخص است، ریسک اضافه بار تا بارگذاری ۸۰ درصد صفر در نظر گرفته شده است. در بازه اضافه‌بار اضطراری ریسک افزایش یافته و بیش از آن ریسک متناسب با احتمال وقوع پیشامدها افزایش بیشتری می‌یابد.

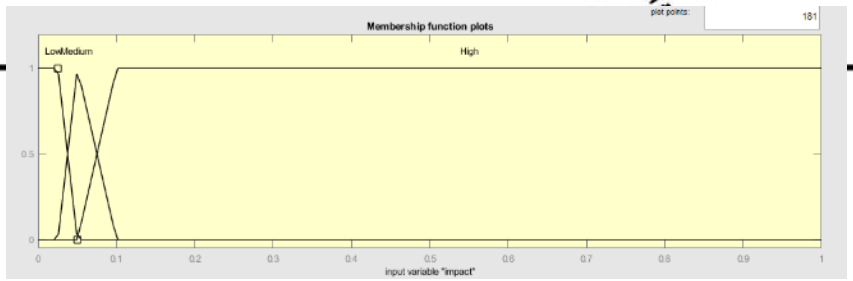
جدول . ۱ نتایج نظرسنجی درباره حدود ریسک

Operators number	Very-Low			Low			Medium			High			Very-High		
۱	۰	۰.۳۰	۰	۰.۵	۰.۳	۰.۵	۰.۷	۰.۵	۰.۷	۱	۰.۷	۱	۱	۰.۷	۱
۲	۰	۰.۲	۰	۰.۴	۰.۲	۰.۴	۰.۶	۰.۴	۰.۶	۰.۸	۰.۶	۱	۱	۰.۶	۱
۳	۰	۰.۵	۰	۰.۷۵	۰.۵	۰.	۰.۸۵	۰.۷۵	۰.۸۵	۱	۰.۸۵	۱	۱	۰.۸۵	۱
۴	۰	۰.۲۵	۰	۰.۵	۰.۲۵	۰.۵	۰.۷۵	۰.۵	۰.۷۵	۱	۰.۷۵	۱	۱	۰.۷۵	۱
۵	۰	۰.۲	۰	۰.۴	۰.۲	۰.۴	۰.۶	۰.۴	۰.۶	۰.۹	۰.۶	۱	۱	۰.۶	۱

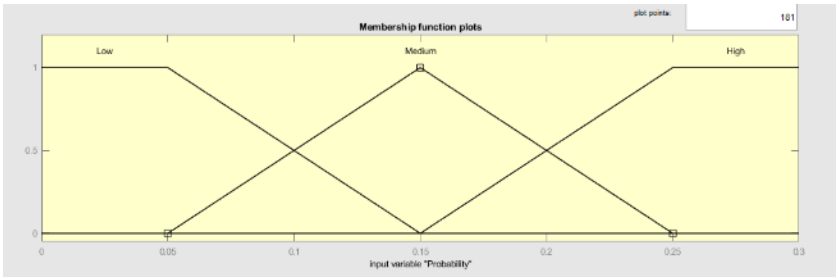


شکل ۱. تابع عضویت ریسک انحراف ولتاژ

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]



شکل ۲. تابع عضویت انحراف ولتاژ

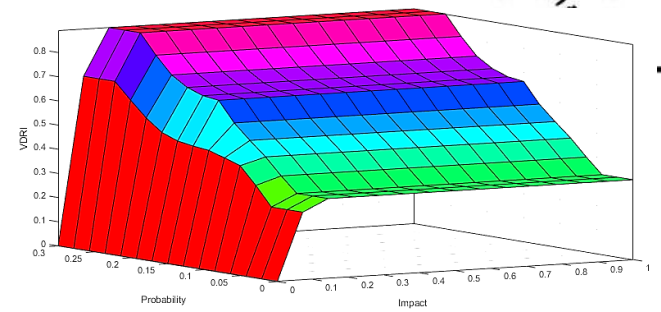


شکل ۳. توابع عضویت احتمال وقوع پیشامدها

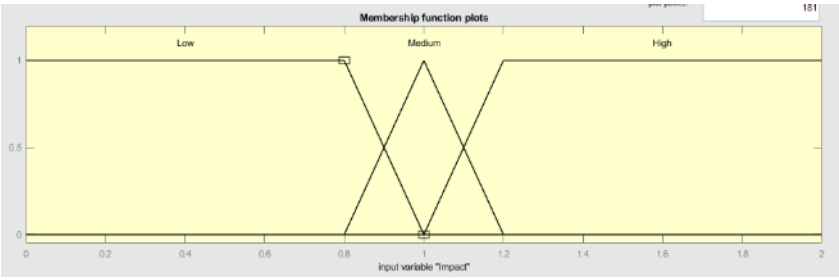
جدول ۲. جدول قوانین فازی ریسک انحراف ولتاژ

Risk	Probability	Impact	
Zero	Low	Low	۱
Low	Low	Medium	۲
Medium	Low	High	۳
Zero	Medium	Low	۴
Medium	Medium	Medium	۵
High	Medium	High	۶
Zero	High	Low	۷
High	High	Medium	۸
Very high	High	High	۹

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]



شکل ۴. منحنی سطح شاخص ریسک انحراف ولتاژ

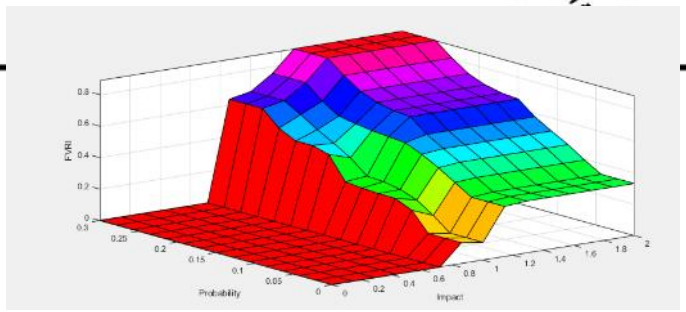


شکل ۵. تابع عضویت اضافه بار تجهیزات

جدول . ۳جدول قوانین فازی ریسک اضافه بار تجهیزات

Risk	Probability	Impact	
Zero	Low	Low	۱
Low	Low	Medium	۲
Medium	Low	High	۳
Zero	Medium	Low	۴
Medium	Medium	Medium	۵
High	Medium	High	۶
Zero	High	Low	۷
High	High	Medium	۸
Very high	High	High	۹

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]



شکل ۶ . منحنی سطح شاخص ریسک اضافه بار تجهیزات

۴. نتایج عددی و شبیه‌سازی

۱.۴ شبکه مورد مطالعه

روش پیشنهادی در این مقاله، بر روی شبکه تغییریافته IEEE-۳۰ باس آزمایش شده‌است. شبکه دارای ۳۰ باس، ۶ ژنراتور، ۴۱ شاخه (شامل شاخه‌های ترانسفورماتوری و غیرترانسفورماتوری) و ۹ جبرانساز می‌باشد. این شبکه با اتصال مزرعه بادی DFIG با ظرفیت ۵۶ مگاوات بر روی باس۲۰ نسبت به شبکه استاندارد تغییر یافته است (ضریب نفوذ نیروگاه بادی در شبکه حدود ۳۰٪ می‌باشد). اطلاعات این شبکه از نرم افزار Matpower ورژن ۶ دریافت شده‌است.

۲.۴ ایجاد سناریو و کاهش سناریوها

مطابق مطالب بیان شده در بخش ۱.۸.۲برای گسسته‌سازی و ایجاد سناریو متغیرهای تصادفی، از روش تطبیق گشتاور استفاده شده است. حل مسئله بهینه‌سازی غیرخطی و غیر محدب توسط روش COUENNE در نرم افزار GAMS انجام شده است. ضرایب وزنی گشتاورها یکسان در نظر گرفته شده‌اند تا هریک از ۴ گشتاور اثر یکسانی بر نقاط تخمینی داشته باشند. برای بدست آوردن گشتاورهای متغیرهای پیوسته از شبیه‌سازی مونت کارلو کمک گرفته شده‌است. با استفاده از تابع چگالی احتمال هریک از متغیرهای تصادفی تعداد ۱۰.۰۰۰ نقطه شبیه‌سازی شده و مقدار متوسط، واریانس، کشیدگی و چولگی آن محاسبه شده‌است. متوسط سرعت باد، ۵/۳ متر بر ثانیه، واریانس ۷/۷۸، کشیدگی ۰/۶ و چولگی ۳/۱۹ برای توابع ویبول بیان شده در بخش ۲.۶، محاسبه شده‌اند. برای تخمین گشتاورهای متغیر پیوسته بار نیز از روش مشابه کمک گرفته شده است. مقدار میانگین ۱، واریانس ۸/۸، کشیدگی۰/۰۲ و چولگی ۲/۹۳ محاسبه شده است. برای کاربردهای عملی این مقادیر از اطلاعات آماری سرعت باد و پیش بینی بار در هر منطقه بدست می‌آیند.

مقدار تابع هدف صفر یا نزدیک به صفر برای پاسخ‌های بدست آمده ثابت می‌کند که خصوصیات تابع گسسته تخمین زده شده به خصوصیات تابع پیوسته نزدیک است. مقدار تابع هدف برای تخمین سناریوهای سرعت باد به$۳/۹^{-۲۲}$ رسیده است که می‌توان آن را برابر صفر در نظر گرفت. جدول ۴ سناریوهای بدست آمده را نمایش می‌دهد. همانطور که مشخص است، سرعت باد و پیش بینی بار به ۵ نقطه گسسته با احتمال مربوطه تقسیم شده‌اند. به‌منظور کاهش زمان محاسبات، سناریوهای ایجاد شده برای سرعت باد و پیش بینی بار توسط روش انتخاب سریع پیشرو کاهش و تجمیع شده‌اند و نتایج در جدول ۵ نمایش داده شده‌است. در این جدول سناریوها و احتمال رخداد آن‌ها مشخص است. در روش انتخاب سریع پیشرو، تعداد سناریوها از قبل مشخص می‌باشد که در اینجا تعداد ۶ سناریو تعیین شده‌است. این تعداد به منظور حفظ تنوع در سناریوها و شبیه‌سازی

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]

شرایط مختلف سرعت باد و بار شبکه انتخاب شده است ضمن اینکه هدف اصلی از اجرای کاهش سناریو، غربالگری سناریوهای با نتایج نزدیک به هم برای جلوگیری از شبیه‌سازی آن‌ها و کاهش زمان محاسبات بوده است.

جدول۴. سناریوهای ایجاد شده توسط روش تطبیق گشتاور

Probability	Load %	Probabilit	Wind Speed
۰/۱۵	۱/۰۵۳	۰/۵۲۵	۴/۷
۰/۲۰۶	۰/۹۸۸	۰/۰۲۳	۱/۲۸۳
۰/۲۷۶	۱	۰/۰۱۲	۰/۴۳۶
۰/۱۵۶	۰/۹۴۹	۰/۱۶	۳/۵۲
۰/۲۱۲	۱/۰۱۱	۰/۲۸	۱۰/۵

جدول۵ . نتایج کاهش سناریو توسط روش انتخاب سریع پیشرو

Probability	Load %	Wind Speed (m/s)
۰/۱۲۳	۱	۰/۴۳۶
۰/۱۷	۱/۰۱۱	۳/۵۲
۰/۱۷۴	۰/۹۸۸	۴/۷
۰/۱۲۷	۰/۹۴۹	۱/۲۸۳
۰/۲۲۶	۱	۴/۷
۰/۱۸	۱/۰۵۳	۱۰.۵

۳.۴ مقایسه شاخص ریسک پیشنهادی با روش مرسوم ضرب احتمال در پیامد

در این بخش به مقایسه نتایج محاسبه شاخص ریسک پیشنهادی با روش مرسوم ضرب پرداخته شده‌است. جدول ۶ نتایج محاسبه ریسک را برای شرایط مختلف (کران بالا و پایین احتمال و پیامد) نشان می‌دهد. همانطورکه از نتایج جدول ۶ مشخص است، هرگاه پیامد صفر باشد، در هر دو روش مقدار ریسک صفر نمایش داده می‌شود که با قانون دوم آرتزنر بیان شده در فصل دوم سازگار است. اما، هنگامی که احتمال وقوع (نرخ خروج اضطراری) صفر است و پیامد ۱۰۰٪، روش ضرب ریسک صفر را بیان می‌دارد.

مقدار ریسک صفر باعث نادیده گرفتن این پیشامد با پیامد سنگین توسط بهره‌برداران می‌شود در حالی که پیامدهایی مانند خاموشی سراسری، نا پایداری ولتاژ و... نباید نادیده گرفته شوند که احتمال رخداد پایین یا حتی صفر آن به معنی عدم امکان وقوع آن نیست. در روش پیشنهادی باتوجه به فازی سازی انجام شده طبق نظر خبرگان، ریسک این حالت ۵۰٪ است که در رده ریسک متوسط قرار می‌گیرد. همچنین حوادثی که پیامدی ایجاد نمی‌نمایند هرچند مکرراً تکرار می‌شوند، در روش ریسکی نیز ایجاد نمی‌کنند، درحالی که در روش ضرب مقدار ریسکی (که می‌تواند قابل توجه باشد) ایجاد خواهند نمود. این موضوع می‌تواند بهره‌وری سیستم را کاهش دهد چراکه بهره‌برداران باید صرفاً برای حوادثی اقدام پیشگیرانه (تغییر یا جابجایی تولید یا بار) انجام دهند که واقعا در شبکه ریسک ایجاد نمایند. . همچنین، در حالتی که پیامد و احتمال هر دو مقدار میانه ۵۰

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]

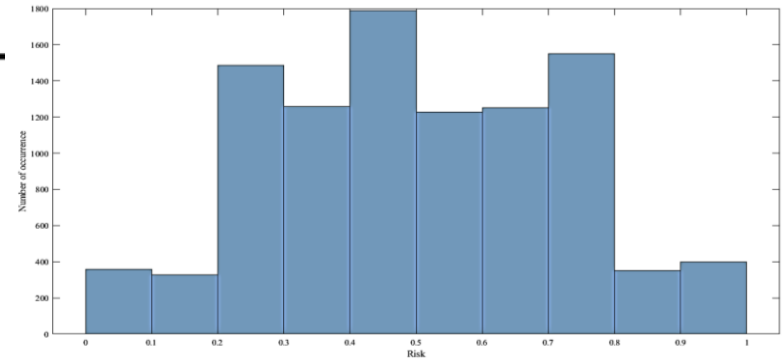
درصد را دارند روش ضرب، ریسک ۲۵٪ و روش پیشنهادی ۵۰٪ را محاسبه می‌کند. در این مورد با توجه به پیامد و احتمال ۵۰٪ ریسک با مقدار ۵۰٪ نیز با کاربردهای بهره‌برداری عملی سازگارتر است.بعلاوه، با توجه به اینکه در تعیین حدود ریسک و قوانین فازی از خبرگان نظر سنجی شده است، هر مقدار عددی ریسک برای بهره‌برداران دارای معنی و مفهومی است که متناسب با آن اقدام به اتخاذ تصمیم در بهره‌برداری از شبکه می‌نماید

به منظور انجام مطالعات بیشتر، با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو، تعداد ۱۰۰۰۰ نمونه برای احتمال و پیامد تخمین زده شده‌است. توابع چگالی احتمال برای احتمال رخداد پیشامد و پیامد، نرمال با مقدار میانگین برابر با متوسط مقدار ممکن هر یک (۰/۵) در نظر گرفته شده‌است. شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب هیستوگرام ریسک محاسبه شده برای روش پیشنهادی و روش ضرب را نمایش می‌دهند. برای روش پیشنهادی هیستوگرام در قیاس با روش ضرب به منحنی نرمال نزدیکتر است. این موضوع می‌تواند به دلیل آنکه پیامد و احتمال هردو از تابع توزیع چگالی احتمال نرمال پیروی می‌کنند منطقی باشد. مقدار میانگین ریسک برای روش پیشنهادی ۰/۵۰۴ محاسبه شده و زمان انجام محاسبات ۳۷۸ ثانیه بوده است. از طرفی مقدار متوسط برای روش ضرب ۰/۲۵۳ بوده و زمان انجام محاسبات ۰/۲ ثانیه است. مشخصاً زمان انجام محاسبات در روش ضرب بسیار کمتر بوده اما این روش می‌تواند باعث تخمین کمتر در مقدار ریسک گردد چراکه مقدار متوسط آن با توجه به تعریف احتمال و پیامد باید نزدیک به میانگین یعنی ۰/۵ باشد.

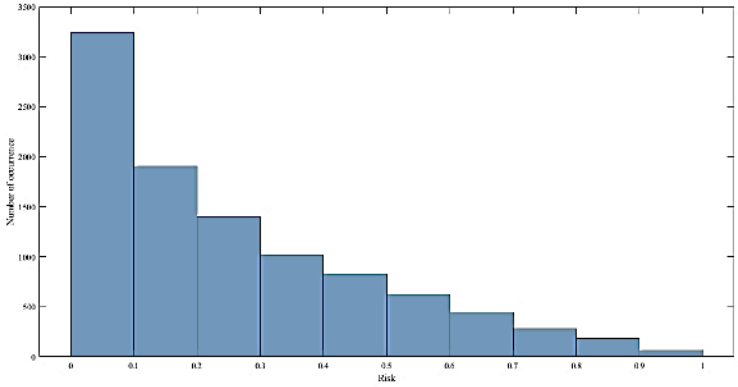
جدول۶. مقایسه شاخص ریسک پیشنهادی و روش ضرب

Impact	FOR	Proposed Risk Index	Product Method
۰	۰	۰	۰
۰	۱	۰	۰
۱	۰	۰.۵	۰
۱	۱	۱	۱
۰.۵	۰.۵	۰.۵	۰.۲۵

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]



شکل۷. هیستوگرام شاخص ریسک برای روش پیشنهادی



شکل ۸. هیستوگرام شاخص ریسک برای روش ضرب

۴.۴ شبیه‌سازی در شبکه ۳۰ باس

شبکه تغییر یافته IEEE-30 باس به منظور بررسی روش پیشنهادی بکار گرفته شده‌است. برای مطالعه آنالیز پیشامد و بررسی ریسک پیشامدها در این شبکه، پیشامدهای خروج خطوط شماره۴۱،۳۷،۳۶،۳۹،۳۸،۴۴ نیروگاه‌های ۳،۴،۶ مورد شبیه‌سازی واقع شده‌اند. نرخ خروج اضطراری برای پیشامدها به ترتیب زیر لحاظ شده‌است:

FOR=[۰.۰۷۸ ۰.۰۱۵۶۰ ۰.۰۹۱ ۰.۰۰۹ ۰.۱۴ ۰.۰۰۷ ۰.۱۹ ۰.۱۴ ۰.۱۸ ۰.۱ ۰.۰۵ ۰.۰۵]

جدول ۷ نتایج محاسبه ریسک انحراف ولتاژ شبکه با استفاده از روش پیشنهادی و روش ضرب را نمایش می‌دهد. همانطور که از نتایج مشخص می‌باشد، روش پیشنهادی متوسط ریسک را ۰.۵۳ تخمین زده است که در حدود ریسک متوسط به بالا طبقه بندی می‌گردد. این درحالی است که روش ضرب مقدار ۰.۰۲۹۲ را نمایش می‌دهد که معادل ریسک کم در شبکه می‌باشد. باتوجه به اینکه لیست پیشامدها بر اساس آنالیز پیشامد تهیه شده و شامل پیشامدها با بیشترین پیامد در شبکه می‌باشد و متوسط مقدار نرخ خروج اضطراری نیز ۰.۱۵ لحاظ شده است (که برابر مقدار میانه نرخ خروج اضطراری در شبکه می‌باشد) نتایج بدست آمده برای روش پیشنهادی می‌تواند با معیارهای بهره‌برداری عملی سازگارتر باشد. روش ضرب می‌تواند با کم تخمین زدن ریسک در شبکه باعث عملکرد اشتباه بهره‌برداران شده و در نتیجه شاخص‌های کیفی بهره‌برداری و بهره‌وری سیستم کاهش یابد. همچنین در روش پیشنهادی بهره‌برداران مطابق شناخته خود از شبکه اقدام به تعیین حدود ریسک می‌نمایند. لذا ریسک شبکه (که در اینجا برابر با مقدار ۰.۹۶۱۴ می‌باشد) برای آن‌ها دارای مفهومی است که مطابق با آن عکس

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]

العمل نشان می‌دهند. جدول ۸ نتایج تخمین ریسک اضافه بار تجهیزات را نمایش می‌دهد. نتایج مشابهی برای ریسک اضافه بار تجهیزات قابل استنباط می‌باشد.

جدول ۷. مقایسه تخمین ریسک انحراف ولتاژ توسط روش پیشنهادی و ضرب در شبکه ۳۰ باسه

	Max Risk	Min Risk	Mean Rsik
روش پیشنهادی	**۰.۶۹۱۴**	**۰.۳۳**	۰.۵۳
روش ضرب	**۰.۰۴۸۵**	**۰.۰۰۱**	۰.۰۲۹۲

جدول ۸. مقایسه تخمین ریسک اضافه بار تجهیزات توسط روش پیشنهادی و ضرب در شبکه ۳۰ باسه

	Max Risk	Min Risk	Mean Rsik
روش پیشنهادی	**۰.۶۵۲۹**	**۰.۱۹۸**	۰.۳۵
روش ضرب	**۰.۹**	**۰.۰۱۶۱**	۰.۱۷

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله شاخص ریسک احتمالی-امکانی جدیدی مبتنی بر نظر خبرگان (با استفاده از روش دلفی-فازی) ارائه شد که می‌تواند کاستی‌های روش مرسوم ضرب احتمال در پیامد را پوشش دهد. نتایج شاخص پیشنهادی با روش مرسوم ضرب مقایسه گردید. از نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که :

۱- شاخص ریسک پیشنهادی در این مقاله می‌تواند معایب شاخص‌های پیشین را پوشش دهد ضمن آنکه با کاربردهای بهره‌برداری عملی سازگارتر باشد.

۲- مقدار محاسبه شاخص ریسک پیشنهادی از آنجاکه مبتی بر نظر خبرگان می‌باشد، می‌تواند برای آن‌ها قابل فهم باشد.

۳- شاخص ریسک پیشنهادی منعطف است و می‌تواند متناسب با نیازهای بهره‌برداری هر شبکه تعریف و مورد استفاده واقع شود.

۴- استفاده از شاخص پیشنهادی جهت تخمین ریسک شبکه می‌تواند بهره‌وری سیستم را افزایش دهد چراکه خطر ناشی از وقوع پیشامدها را در شبکه به بهره‌برداران بهتر بازمی‌تاباند.

مراجع:

[1] Danielsson, J. 2011. Financial risk forecasting: The theory and practice of forecasting market risk with implementation in R and Matlab. John Wiley & Sons.

[۲] مکاری، میثم، امینی، سعید، قلعه‌ای منفرد زنجانی، محسن و درفشیان مرام، مهدی، ۱۳۹۸، بررسی ریسک احتمالاتی پیشامدها در شبکه برق کشور، ۳۴ امین کنفرانس بین المللی مهندسی برق، تهران، ایران، آبان.

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]

[3] Fu. W., McCally, J. D. 2001. Risk Based Optimal Power Flow. Porto Power Tech Conference, September 2001, Portugal

[4] Jianing. L., Shizhao. H., Dong. Ch., Bo. Li. 2013. A Dispatching Operation Risk Assessment Method Based on Real-time Probabilistic Model. IEEE International Conference of IEEE Region 10, TENCON.

[5] Wenyuan, Li. 2014. Risk Assessment of Power Systems: Models, Methods, and Applications, Second Edition. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Published by John Wiley & Sons, Inc.

[6] Rabiee. A., Souroudi. A., Keane. A. 2015. Risk-Averse preventive voltage control of AC/DC power systems including wind power generation. IEEE Transaction on Sustainable Energy, 10-1109/ TSTE. 2451511.

[7] Mohseni-Bonab, S. M., Rabiee, A., Mohammadi Ivatloo, Behnam. 2017. Multi-Objective Optimal Reactive Power Dispatch Considering Uncertainities in the Wind Integrated Power System. Springer International Publishing, 10-1007/978-3-319-51118_12.

[8] M.Mokari, M.H.Moradi, 2020, Security Constraint Optimal Reactive Power Dispatch under Uncertainty in a wind integrated Power System, UPEC, 2020, 978-1-7281-1078

[9] Lei. P., Wang. Wu. C. Q., Yan. M. 2021. Risk Based distributionally Robust Reral-Time Dispatch Considering Voltage Security. IEEE Transaction on Sustainable Energy, Volume: 12, Issue:1.

[۱۰] محمد حسن مرادی، میثم مکاری، محمد عابدینی، بررسی عدم قطعیت‌های فنی در شبکه قدرت با هدف بهبود پایداری ولتاژ و کاهش تلفات سیستم با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی SPEA-II، نشریه علمی پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، سال یازدهم، شماره ۱ بهار ۱۴۰۱.

[11] Kalajahi. S. M, S. Seyedi, H. Tohidi, S. Mohammadi-Ivatloo, B. Decentralized Risk-Based Security-Constraint Optimal Power Flow in Interconnected Multi-Carrier microgrids. IET Generation, Transmission & Distribution. 2022, 832-855.

[12] Rezaee Jordehi, A. 2018. How to deal with uncertainties in electric power systems? A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 96. 145–155.

[13] Perez, I. A., Sanchez, M. L., Garcia, M. A. 2007. Weibull wind speed distribution: Numerical consideration and use with sodar data. Journal of Geophysical Research, VOL. 112, D20112, doi:10.1029/2006/2006JD008278.

[14] جانباز قبادی، غلامرضا ، ۱۳۹۸، پتانسیل سنجی انرژی بادی جهت تعیین مکان بهینه برای احداث توربین‌های بادی در استان مازندران. مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه گلستان، سال نهم، شماره مسلسل سی و چهار، زمستان صفحه ۲۰۹-۲۲۴.

[15] V. Azizi, G. Hu, M. Mokari, 2020, A two-stage stochastic programming model for multi-period reverse logistics network design with lot-sizing, Computers & Industrial Engineering, Vol.143, Page No. 106397.

[Downloaded from nqpc.ir on 2024-05-19]