PSC 2008
23rd International Power System Conference
بیست و سومین
کنفرانس بین المللی برق
98-F-PSS-0272

محاسبه حاشیه امنیت خطوط انتقال با دو دیدگاه قطعی و احتمالی در شبکه۱۳۲ کیلوولت مشهد

محسن قاینی — **موسسه آموزش عالی سجاد مشهد**
رضا قاضی — **دانشگاه فردوسی مشهد**
مصطفی رجبی مشهدی — **مرکز دیسپاچینگ شمال شرق کشور**
حمید موسوی — **مرکز دیسپاچینگ شمال شرق کشور**

با همکاری دفتر مرکزی تحقیقات برق منطقه‌ای خراسان

واژه‌های کلیدی: امنیت شبکه، مدیریت پرشدگی، خروج خط انتقال، حاشیه امنیت انتقال

چکیده

در این مقاله با استفاده از هر دو دیدگاه قطعی و احتمالی حاشیه امنیت خطوط انتقال محاسبه شده است. منظور از حاشیه‌ی امنیت انتقال، میزانی از ظرفیت انتقال است که برای حفظ امنیت شبکه نمی‌توان از آن استفاده نمود و از بوجود آمدن پرشدگی در شرایط بروز حادثه جلوگیری می‌کند و در واقع برای انجام مدیریت پرشدگی با در نظرگرفتن امنیت شبکه، دانستن این مقدار ضروری است. همچنین از این حاشیه‌ی امنیت انتقال می‌توان برای قیمت‌گذاری انتقال و مساله تخصیص هزینه‌های انتقال با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان استفاده نمود. برای محاسبه‌ی حاشیه امنیت با دیدگاه قطعی از معیار امنیت n-1 استفاده شده است و برای محاسبه با دیدگاه احتمالی تکنیک شبیه سازی مونت کارلو با استفاده از نرخ خروج اجباری(FOR[1]) بکار رفته است. . برای انجام مطالعات از شبکه ۱۳۲ کیلوولت مشهد استفاده شده است.

۱- مقدمه

با تجدید ساختار در صنعت برق و در نتیجه جداسازی تشکیلات برق تحولی در ساختارهای تشکیلاتی ایجاد گردید. امروزه حرکت سیستمهای قدرت به سوی فضاهای جدید اقتصادی و مدیریتی، فصل جدیدی در بهره‌برداری از این سیستمها باز کرده است. ارزیابی امنیت یکی از مسایل ضروری، کلیدی و چالش بر انگیز بهره‌برداران مستقل سیستم است. بهره‌برداران باید سیستم را در یک حالت اقتصادی و البته بدور از خطرات امنیتی بهره‌برداری کنند. درنظر گرفتن معیار و سطح امنیت شبکه بستگی به میزان محافظه‌کاری دارد اما باید توجه داشت که حداقل حاشیهٔ امنیت n-1 باید در نظر گرفته شود[۱]. بروز خاموشیهای گسترده در شمال آمریکا و کانادا در ۱۴ آگوست سال ۲۰۰۳ و دیگر خاموشیهای سال ۲۰۰۳ که در کشورهای انگلستان، سوئد، دانمارک و ایتالیا روی داد سبب شد تا بررسی و ارزیابی امنیت شبکه‌ی انتقال اهمیت ویژه‌ای پیدا کند و مطالعات زیادی به موضوع ارزیابی امنیت شبکه اختصاص داده شده است[۲].

1. Forced Outage Rate

یکی از مهمترین مسایلی که در امنیت شبکه باید مورد توجه قرار گیرد، بررسی اضافه بار روی خطوط است تا در صورت بروز پیشامد خطوط دچار پرشدگی نشوند. بنابراین امنیت شبکه رابطه‌ی نزدیکی با مدیریت پرشدگی خطوط انتقال خواهد داشت. مدیریت پرشدگی باید بنحوی صورت گیرد که نه تنها در شرایط عادی شبکه در خطوط پرشدگی وجود نداشته باشد، بلکه در شرایط اضطراری و در صورت خروج حداقل یک عنصر از شبکه نیز خطوط دچار پرشدگی نگردند و امنیت و پایداری شبکه حفظ گردد. در مرجع [۳] با استفاده از پخش بار بهینه مدیریت پرشدگی و محاسبه‌ی ظرفیت خطوط بنحوی صورت می‌گیرد تا در شرایط بروز حادثه از پایداری ولتاژ اطمینان کافی حاصل شود. بنابراین قرار دادن قسمتی از ظرفیت انتقال به عنوان حاشیه‌ی امنیت و قابلیت اطمینان یکی از ضروریات برنامه‌ریزی و بهره‌برداری سیستم قدرت می‌باشد تا در صورت بروز حوادث، شبکه دچار ناپایداری نگردد. لذا از وظایف مهم بهره‌برداران بازار آماده-سازی ظرفیت انتقال کافی برای پیاده‌سازی آرایشهای تولید و مصرف و همچنین حفظ امنیت شبکه مطابق با استانداردهای بهره‌برداری است[۴].

در این مقاله با بدست آوردن میزان اضافه بار ناشی از خروج خطوط و ژنراتورها میزان حاشیه امنیت مورد نیاز برای مدیریت پرشدگی در شبکه ۱۳۲ کیلوولت مشهد محاسبه شده است. همچنین از این حاشیه‌ی امنیت انتقال می‌توان برای قیمت‌گذاری انتقال و مساله تخصیص هزینه‌های انتقال با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان استفاده نمود.

۲- مدل خروج خط

۲-۱- دیدگاه قطعی

در دیدگاه قطعی ژنراتورها و خطوط انتقال بصورت قطعی از شبکه خارج شده و اثرات آنها بررسی می‌گردد. روشهای مختلفی را می‌توان بمنظور مدل کردن خروج ژنراتور و خط برای آنالیز حالت دائمی امنیت بکار برد. در مرجع [۵] برای مدل کردن خروج خط از مدل تزریق منابع استفاده شده است. در مرجع [۶] از روش اصلاح ماتریس امپدانس Z_{bus} برای مدل کردن خروج خط و ژنراتور استفاده شده است به این معنی که ماتریس امپدانس شبکه بگونه‌ای اصلاح گردد که خط یا ژنراتور مورد نظر در شبکه نباشد که در این مقاله نیز این روش بکار گرفته شده است. در اعمال روش فوق در مورد خروج خط مشکلی وجود ندارد اما در مورد خروج ژنراتور با مشکل منظور نشدن هزینه‌ی ثابت ژنراتور در محاسبات مواجه خواهیم بود لذا لازم است در هنگام خروج، هزینه‌ی ثابت ژنراتور در محاسبات منظور شود. این کار با اضافه نمودن هزینه‌ی ثابت ژنراتور یا ژنراتورهایی که از شبکه خارج می‌شوند به تابع هدف محقق می‌شود.

۲-۲- دیدگاه احتمالی

در این دیدگاه با درنظرگرفتن نرخ خروج برای ژنراتورها و خطوط و استفاده از تکنیک شبیه‌سازی مونت‌کارلو بررسیها بصورت احتمالی انجام می‌گیرد. تکنیک شبیه‌سازی مونت-کارلو بر پایه‌ی تولید عدد تصادفی بوده و یک روند تکراری دارد. میزان نرخ خروج هر خط و ژنراتور(FORوان یکی از داده‌های سیستم در اختیار است. ابتدا باید حالت وجود و یا عدم وجود برای هر عنصر(ژنراتور و خط) در هر بار تکرار برنامه مشخص گردد. روش کار به این صورت است که برای هر عنصر یک عدد تصادفی با تابع توزیع احتمال یکنواخت بین صفر و یک تولید می‌گردد و با مقایسه با FOR وجود یا عدم وجود عنصر در شبکه مشخص می‌گردد:

$$\begin{cases} if \quad RN < FOR \quad \text{Line or generator is out of service.} \\ if \quad RN > FOR \quad \text{Line or generator is in service.} \end{cases} \quad (۱)$$

که در آن RN[1] یک عدد تصادفی بین صفر ویک است. در این حالت ممکن است دو یا چند عنصر بطور همزمان نیز از شبکه خارج شود که میزان خروجها بستگی به مقادیر FOR دارد. در این الگوریتم هر چه تعداد تکرارها بیشتر باشد جواب واقعی-تر و منطقی‌تر خواهد بود.

1. Random Number

۳- پخش بار بهینه

برای بررسی تاثیرات خروج خطوط و محاسبات مربوط به توان خطوط و قیمت باسها از پخش بار بهینه استفاده شده است. مسالهٔ پخش بار بهینه، یک مسالهٔ بهینه سازی غیرخطی است که بصورت کلی رابطه‌ی (۲) قابل بیان است:

$$\begin{aligned} &\textbf{Min} && f(x) \\ &\textbf{Subject to:} && g(x)=0 \\ & && h(x)<0 \\ & && x_{min}<x<x_{max} \end{aligned} \qquad (۲)$$

تابع هدف را می توان ماکزیمم کردن رفاه اجتماعی در نظر گرفت ولی چون در این مقاله فقط سمت تولید مورد بحث است، تابع هدف، مینیمم کردن هزینهٔ تولید درنظر گرفته شده است:

$$\textbf{Min} \quad C=\sum_{i=1}^{N_g} C_i(P_{g_i}) \qquad (۳)$$

قیود مساوی در مساله، مربوط به روابط پخش توانهای اکتیو و راکتیو در باس‌ها می‌باشد که برای باس i بصورت زیر قابل بیان است:

$$P_{gi}-P_{di}-\sum_{j=1}^{n}|V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij}+\delta_j-\delta_i)=0 \qquad (۴)$$

$$Q_{gi}-Q_{di}+\sum_{j=1}^{n}|V_i||V_j||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij}+\delta_j-\delta_i)=0 \qquad (۵)$$

قیود نامساوی مربوط به حدود توان تولیدی ژنراتورها، حدود اندازهٔ ولتاژ، حدود زاویهٔ ولتاژ و حداکثر توان قابل انتقال خطوط است که بصورت زیر قابل بیان است:

$$P_{gi}^{min} \le P_{gi} \le P_{gi}^{max} \qquad (۶)$$

$$Q_{gi}^{min} \le Q_{gi} \le Q_{gi}^{max} \qquad (۷)$$

$$V_i^{min} \le V_i \le V_i^{max} \qquad (۸)$$

$$\delta_i^{min} \le \delta_i \le \delta_i^{max} \qquad (۹)$$

$$|S_{ij}| \le |S_{ij}^{max}| \qquad (۱۰)$$

پخش بار بهینه تاکنون با روشهای متعدد کلاسیک و هوشمند حل شده است. در این مقاله از روش کلاسیک جهت حل مساله استفاده شده است.

۴- محاسبه‌ی حاشیه‌ی امنیت

اطلاعات مربوط به سیستم انتقال برای بازیگران بازار از اهمیت زیادی برخوردار است که یکی از این اطلاعات می‌تواند حاشیه‌ی امنیت انتقال باشد. منظور از حاشیه‌ی امنیت انتقال، میزانی از ظرفیت انتقال است که برای حفظ امنیت شبکه نمی‌توان از آن استفاده نمود و از بوجود آمدن پرشدگی در شرایط بروز حادثه (خروج خطوط و ژنراتورها) جلوگیری می‌کند. در واقع برای انجام مدیریت پرشدگی با در نظرگرفتن امنیت شبکه، دانستن این مقدار ضروری است. حاشیه امنیت را با دو دیدگاه قطعی و احتمالی می‌توان محاسبه نمود.

حاشیه امنیت وابستگی زیادی به الگوی بار و تولید دارد و با تغییر بار و تولید تغییر خواهد کرد. اگر نگاه به حاشیه امنیت از دید بهره برداری باشد که می بایست برای هر ساعت انجام شود و می توان داده های مثلا روز قبل را برای اطلاع بازیگران قرار داد در این حالت فقط دیدگاه قطعی کاربرد دارد چون دیدگاه احتمالی زمان بر خواهد بود. اما اگر با دید برنامه ریزی(مثلا برای تعمیات و نگهداری) به محاسبه حاشیه امنیت نیاز باشد می توان محاسبات را با هر دو دیدگاه قطعی و احتمالی انجام داد که در حالت قطعی می توان از پیک بار در مدت مورد مطالعه و در دیدگاه احتمالی می توان بار را بصورت احتمالی مدل نمود و از FOR خطوط برای مدلسازی آنها استفاده نمود.

۴-۱- محاسبه‌ی حاشیه امنیت با دیدگاه قطعی

برای محاسبه‌ی حاشیه امنیت با دیدگاه قطعی از معیار امنیت n-1 استفاده می‌شود. برای این منظور ابتدا OPF در حالت پایه(بدون خروج) اجرا می‌گردد و توان خطوط در حالت پایه بدست آورده می‌شود. سپس یک‌به‌یک ژنراتورها و همچنین خطوط انتقال از شبکه خارج شده و تغییرات توان بر روی خطوط محاسبه می‌شود. شاخص تاثیر خروج بر روی توان خطوط بصورت رابطه‌ی (۱۱) تعریف می‌گردد:

$$R_{i,k}=\begin{cases} |LPF_{i,k}|-|LPF_i| & |LPF_{i,k}|>|LPF_i| \\ 0 & |LPF_{i,k}|\le|LPF_i| \end{cases} \qquad (۱۱)$$

که در آن $LPF_{i,k}$ توان جاری شده در خط i بعد از خروج عنصر(ژنراتور یا خط) k و LPF_i توان خط i در حالت پایه (بدون خروج) است. پس از اینکه این شاخص برای خروج تمامی ژنراتورها و خطوط بدست آمد، حاشیه‌ی امنیت با استفاده از رابطه‌ی (۱۲) قابل محاسبه است:

$$TSM_i = \underset{k=1}{\overset{n}{Max}}(R_{i,k}) \qquad (۱۲)$$

که در آن n تعداد عناصر سیستم و TSM^1_i حاشیه‌ی امنیت انتقال مورد نیاز برای خط i با معیار امنیت n-1 است.

۴-۲- محاسبه‌ی حاشیه امنیت با دیدگاه احتمالی

محاسبه‌ی حاشیه امنیت به عوامل مختلفی همچون سطح بار، پیشنهاد قیمت یا منحنی هزینه‌ی ژنراتورها و نرخ خروج خطوط و ژنراتورها وابسته است و با توجه به وجود عدم قطعیت در این عوامل، محاسبه‌ی احتمالی حاشیه‌ی امنیت انتقال دقیقتر خواهد بود. در این تحقیق فقط عدم قطعیت مربوط به نرخ خروج عناصر در نظر گرفته می‌شود، به این ترتیب که با در نظر گرفتن نرخ خروج برای ژنراتورها و خطوط و با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی مونت کارلو برای تعدادی مشخص OPF برای شبکه‌ی مورد نظر اجرا می‌گردد و در هر بار تکرار توان خطوط بدست می‌آید و نسبت به حالت پایه مقایسه شده و اضافه بار روی خطوط با استفاده از رابطه‌ی (۱۳) محاسبه می‌گردد:

$$PR_{i,k} = \begin{cases} |PLPF_{i,k}| - |LPF_i| & |PLPF_{i,k}| \rangle |LPF_i| \\ 0 & |PLPF_{i,k}| \le |LPF_i| \end{cases} \qquad (۱۳)$$

که در آن:

$PR_{i,k}$: میزان اضافه بار روی خط iام در تکرار kام.

LPF_i : توان حالت پایه برای خط iام.

$PLPF_{i,k}$: توان خط iام در تکرار kام.

حال به تعداد تکرار برنامه، داده برای اضافه بار هر خط داریم که می‌توان برای آن احتمالهای تجمعی متعدد را محاسبه کرد و نمودارهای آماری مختلفی را ترسیم نمود که در بخش نتایج شبیه‌سازی بررسی خواهد شد.

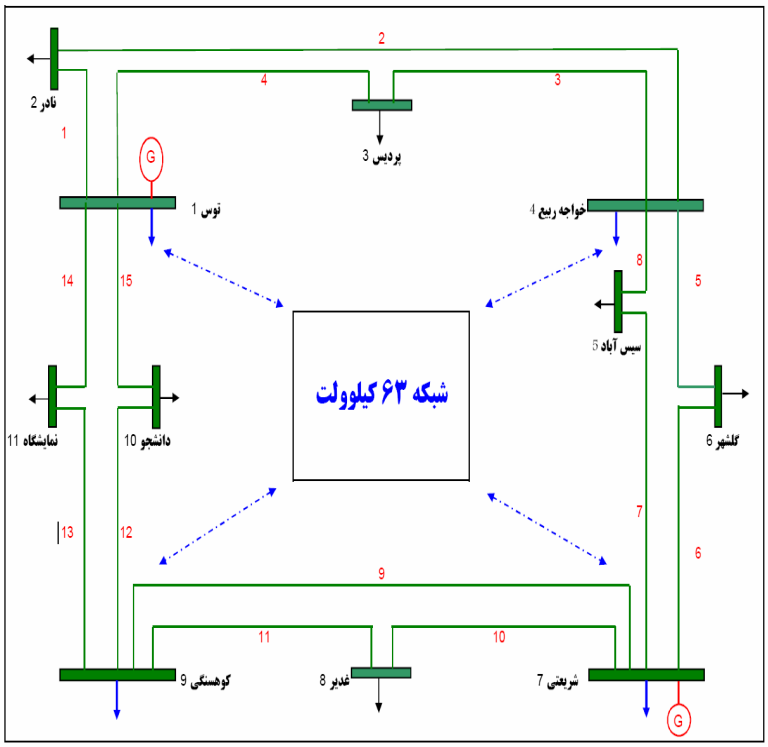
۵- نتایج شبیه‌سازی

۵-۱- شبکه مورد مطالعه

برای انجام مطالعات از شبکه ۱۳۲ کیلوولت مشهد استفاده شده است که اطلاعات آن به کمک دفتر دیسپاچینگ شمال شرق کشور گردآوری و ویرایش شده است. شبکه فوق توزیع و انتقال مشهد دارای دو سطح ولتاژ ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت می باشد که شبکه ۱۳۲ در پیرامون شهر پخش شده و شبکه ۶۳ در نواحی داخلی شهر توزیع شده است. همانطورکه در شکل۱ نیز مشاهده می شود شبکه۶۳ کیلوولت مشهد از طریق ۴ پست توس, شریعتی, خواجه ربیع و کوهسنگی با شبکه۱۳۲ کیلوولت مشهد در ارتباط است.

شبکه۱۳۲ مشهد دارای ۱۱ باس بوده که اطلاعات بار باسها مربوط به ساعت ۲۰:۴۵ روز دوشنبه ۸۶/۴/۱۱ در جدول۱ ضمیمه مقاله درج شده است. لازم به توضیح است که در محاسبه بار هر باس تاثیر شبکه ۶۳ و همچنین سایر خطوط ارتباطی با این شبکه(ارتباط مشهد با سایر نقاط استان از طریق۱۳۲) نیز لحاظ شده است. در این شبکه فقط در دو باس توس و شریعتی نیروگاه وجود دارد. نیروگاه توس دارای ۴ واحد از نوع بخار است و نیروگاه شریعتی دارای ۶ واحد گازی کوچک و یک بلوک سیکل ترکیبی شامل دو واحد گازی و یک واحد بخار بوده که مشخصات واحدها در جدول۲ ضمیمه مقاله آمده است. این شبکه دارای ۱۵ خط ارتباطی است که مشخصات فنی خطوط نیز در جدول۳ ضمیمه آورده شده است. ظرفیت کلیه خطوط 250MVA قرار داده شده است که مربوط به حد حفاظتی است(از روی ضرایب CT بدست آمده است).

1. Transmission Security Margin



شکل ۱- دیاگرام تک خطی شبکه ۱۳۲ کیلوولت مشهد

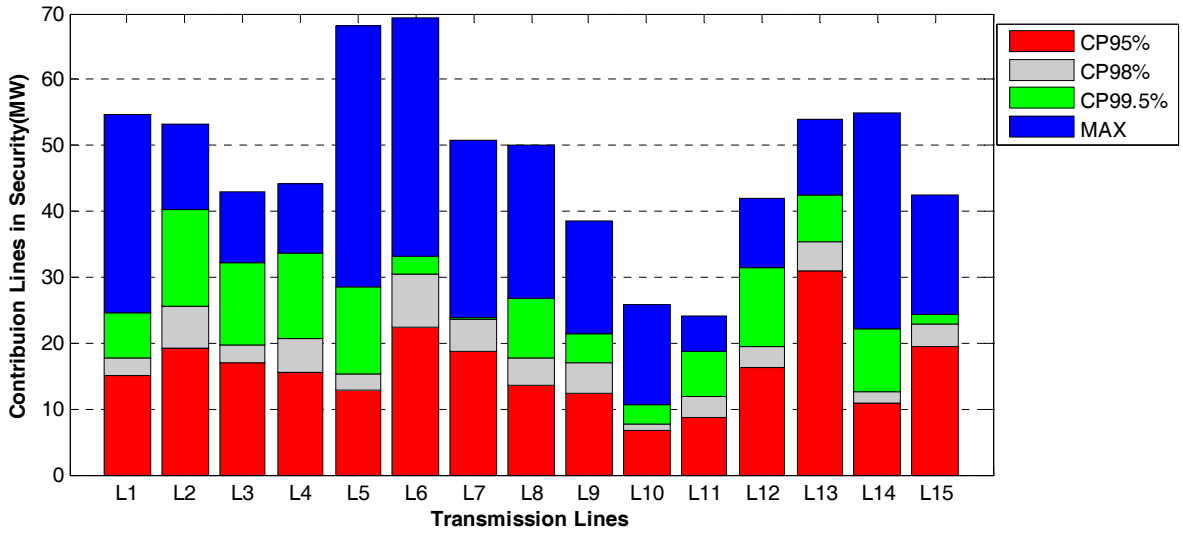
۵-۲- محاسبه حاشیه امنیت انتقال

برای انجام محاسبات سیستم و بدست آوردن اضافه بار روی خطوط از الگوریتم OPF در محیط نرم افزار MATLAB استفاده شده است. برای محاسبه حاشیه امنیت در دیدگاه قطعی ابتدا خطوط را یک به یک خارج کرده و حاشیه‌ی امنیت را با استفاده از رابطه‌ی۱۲ بدست می‌آوریم و یکبار دیگر ژنراتورها را خارج کرده و محاسبات انجام می‌گیرد و در نهایت بین دو مقدار بدست آمده ماکزیمم گرفته می‌شود که نتایج در جدول۱ درج شده است. نتایج نشان می‌دهد که خروج خطوط حاشیه‌ی امنیت بیشتری در مقایسه با خروج ژنراتور نیاز دارند و فقط در دو مورد (خطوط۹و۱۰) خروج ژنراتورها حاشیه‌ی امنیت بیشتری نسبت به خروج خطوط دارند. خروج واحدهای توس تاثیری در توان خطوط ندارند چون با ارزان تر بودن برق نیروگاه توس نسبت به شریعتی، توسط سایر واحدهای توس تامین می‌گردد و به همین دلیل خطوط که با نیروگاه توس ارتباط دارند از خروج ژنراتورها تاثیری نمی پذیرند. بیشترین اضافه بار ۷۰ مگاوات است که مربوط به خط شریعتی-گلشهر است ولی با توجه به توان خط در حالت پایه ماکزیمم توان روی خط ۱۵۰ مگاوات است که هنوز تا پرشدگی فاصله دارد. در دیدگاه احتمالی از الگوریتم شبیه سازی مونت کارلو مقادیر استفاده شده که به ترتیب برای ژنراتورها و خطوط ۰/۰۵ و ۰/۰۰۱ در نظر گرفته شده است. مشاهده می‌شود که مقادیر FOR برای ژنراتورها در مقایسه با خطوط خیلی بیشتر است. بنابراین پیش‌بینی می‌شود که مقادیر احتمالی برای حاشیه‌ی امنیت بیشتر توسط ژنراتورها تعیین و تحمیل گردند. در دیدگاه قطعی معیار امنیت n-1 مورد نظر بود حال آنکه در دیدگاه احتمالی امکان خروج همزمان چند عنصر نیز وجود دارد. همچنین در این دیدگاه علاوه بر مقادیر ماکزیمم بررسی احتمالهای تجمعی نیز می‌تواند مفید باشد. در جدول۱ علاوه بر مقادیر ماکزیمم، احتمال تجمعی ۹۹/۵، ۹۸ و همچنین ۹۵ درصد نیز آورده شده است.

جدول۱ – مقادیر حاشیه‌ی امنیت در دیدگاههای قطعی و احتمالی

Line	From – To	توان خطوط در حالت پایه	حاشیه‌ی امنیت(TSM_i) با دیدگاه قطعی			حاشیه‌ی امنیت(TSM_i) با دیدگاه احتمالی			
			خروج خطوط	خروج ژنراتورها	Max	Max	CP99.5%	CP98%	CP95%
۱	توس- نادر	68.50	32.18	0	32.18	54.76	26.14	21.99	16.72
۲	نادر – خواجه ربیع	43.67	31.75	0	31.75	53,25	32.84	18.90	15.87
۳	خواجه ربیع- پردیس	14.65	34.56	0	34.56	43.03	23.73	22.07	19.21
۴	پردیس – توس	61.13	32.10	0	32.10	44.08	28.10	21.03	18.50
۵	خواجه ربیع- گلشهر	32.71	40.92	35.43	40.92	68.07	49.60	40.79	35.23
۶	گلشهر- شریعتی	89.06	39.59	27.70	39.59	69.51	46.16	30.97	23.47
۷	سیس آباد- شریعتی	70.02	50.79	29.94	50.79	50.79	27.25	20.91	17.67
۸	خواجه ربیع- سیس آباد	54.59	50.09	30.05	50.09	50.09	26.23	24.11	19.62
۹	شریعتی-کوهسنگی	49.98	25.72	32.20	32.20	38.45	21.08	17.95	14.52
۱۰	شریعتی-غدیر	47.61	25.72	29.18	29.18	25.72	14.87	12.60	10.38
۱۱	غدیر-کوهسنگی	21.95	24.20	22.87	24.20	24.20	17.38	17.00	13.68
۱۲	کوهسنگی- دانشجو	22.91	42.07	0	42.07	42.07	31.64	18.55	16.62
۱۳	کوهسنگی- نمایشگاه	38.49	36.72	0	36.72	54.05	27.49	17.21	15.06
۱۴	نمایشگاه-توس	82.97	37.15	0	37.15	55.04	38.25	21.74	15.27
۱۵	دانشجو-توس	65.94	41.76	0	41.76	42.50	32.20	19.31	14.67

با مقایسه مقادیر ماکزیمم در حالت قطعی و احتمالی مشخص می‌شود که برای بیشتر خطوط، مقادیر ماکزیمم در حالت احتمالی بیشتر از حالت قطعی است که این موضوع بدلیل خروج احتمالی همزمان چندین عنصر در حالت احتمالی است. از طرفی دیگر با مقایسه‌ی مقادیر احتمال تجمعی و مقدار ماکزیمم در حالت احتمالی در می‌یابیم که احتمال بروز مقادیر ماکزیمم خیلی کم است. دلیل این موضوع پایین بودن مقادیر FOR مربوط به خطوط که نقش تعیین‌کننده تری در مقایسه با ژنراتورها در حاشیه‌ی امنیت دارند، می‌باشد. برای مشاهده و مقایسه‌ی بهتر مقادیر ماکزیمم و احتمالهای تجمعی در حالت احتمالی شکل۲ ترسیم شده است.



شکل۲– مقادیر ماکزیمم و احتمالهای تجمعی حاشیه امنیت انتقال در حالت احتمالی

۶- نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از هر دو دیدگاه قطعی و احتمالی حاشیه امنیت خطوط انتقال محاسبه شده است. برای انجام مدیریت پرشدگی با در نظرگرفتن امنیت شبکه، دانستن این مقدار ضروری است. همچنین از این مقدار حاشیه‌ی امنیت انتقال می‌توان برای قیمت‌گذاری انتقال و مساله تخصیص هزینه‌های انتقال با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان استفاده نمود. مقادیر ماکزیمم حاشیه امنیت انتقال در حالت احتمالی بیشتر از حالت قطعی است که این موضوع بدلیل خروج همزمان چندین عنصر در حالت احتمالی است. از طرفی دیگر با مقایسه‌ی مقادیر احتمال تجمعی و مقدار ماکزیمم در حالت احتمالی در می‌یابیم که احتمال بروز مقادیر ماکزیمم خیلی کم است. نتایج برای شبکه ۱۳۲ کیلوولت مشهد نشان می دهد که این شبکه با معیار n-1 ایمن است و با خروج یک عنصر از شبکه هیچ خطی دچار پرشدگی نمی‌شود.

۷- مراجع

[1] O. Gjerde and et all, “Congestion management: The system operators challenge to balance transmission transfer capacity with an acceptable security level”, CIGRE/IEEE International Symposium, Page(s):120 – 127, December 2005.

[2] “Final Report on August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations,” Tech. Rep. Canada-U.S. Power System Outage Task Force, Natural Resources Canada, Ottawa, 2004.

[3] A. J. Conejo, F. Milano, R. G. Bertrand, “Congestion Management Ensuring Voltage Stability”, IEEE Transactio on Power Systems, Vol. 21, No. 1, pp. 357-364, February 2006.

[4] "Electric Power System Operating Standards", CIGRE JWG C2/C5-05, Paris Session, August 2004.

[5] A. Ozdemir, J. Y. Lim, C. Singh, "Post-Outage Reactive Power Flow Calculations by Genetic Algorithms: Constraint Optimization Approach", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 20, No. 3, pp. 1266-1272, August 2005.

[6] E. G. Preston, M. L. Baughman, W. M. Grady, "A New Model for Outaging Transmission Lines in Large Electric Networks", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 2, pp. 412-418, May 1999.

۸- ضمیمه

در ضمیمه مقاله اطلاعات مربوط به شبکه ۱۳۲ کیلوولت مشهد آورده شده است.

جدول۱- اطلاعات باسها

شماره باس	نام باس	توان اکتیو (MW)	توان راکتیو (MVar)
1	توس	346	194
2	نادر	22	10
3	پردیس	48	10
4	خواجه ربیع	128.5	62.5
5	سیس آباد	12.5	8.5
6	گلشهر	40	45
7	شریعتی	153	67
8	غدیر	24	10
9	کوهسنگی	113.5	65
10	دانشجو	36	25
11	نمایشگاه	40	19

جدول۲- اطلاعات واحدهای تولیدی

نیروگاه	نوع واحد	تعداد واحد	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Qmax (Mvar)	Qmin (Mvar)	قیمت پیشنهادی (Rials/MWh)
توس	بخاری	4	150	70	187.5	-187.5	52600
شریعتی	گازی	6	23.6	5	27.87	-27.87	59940
	گازی- سیکل ترکیبی	2	123.2	0	-107.4	154	52520
	بخاری- سیکل ترکیبی	1	100	0	-57.4	125	

جدول۳- اطلاعات خطوط

شماره خط	باسهای مرتبط	R (pu)	X (pu)	ظرفیت نامی (MVA)
1	توس- نادر	0.0071	0.023	250
2	نادر - خواجه ربیع	0.0076	0.0246	250
3	خواجه ربیع- پردیس	0.0045	0.0159	250
4	پردیس - توس	0.0119	0.0397	250
5	خواجه ربیع- گلشهر	0.0049	0.0158	250
6	گلشهر- شریعتی	0.006	0.0196	250
7	سیس آباد- شریعتی	0.0061	0.0197	250
8	خواجه ربیع- سیس آباد	0.0048	0.0157	250
9	شریعتی-کوهسنگی	0.0089	0.041	250
10	شریعتی-غدیر	0.0088	0.0408	250
11	غدیر-کوهسنگی	0.001	0.0048	250
12	کوهسنگی-دانشجو	0.0055	0.0256	250
13	کوهسنگی-نمایشگاه	0.0049	0.0227	250
14	نمایشگاه-توس	0.0041	0.0189	250
15	دانشجو-توس	0.00	0.0283	250