



معرفی روشی ارزش محور مبتنی بر آنالیز ریسک برای ارزیابی شاخص قابلیت انتقال توان در فضای تجدید ساختاریافته صنعت برق

دکتر حبیب رجبی مشهدی
استادیار گروه برق-دانشگاه
فردوسی مشهد
h_mashhadi@um.ac.ir

مسعود اصغری قراخیلی
کارشناس ارشد مهندسی برق- گرایش
قدرت
masoud_asghari@yahoo.com

چکیده- مساله تعیین شاخص قابلیت انتقال توان بین باسها و یا نواحی مختلف، در فضای تجدیدساختار یافته صنعت برق از اهمیت فراوانی نسبت به گذشته برخوردار شده است. در فضای جدید با معرفی بازارهای رقابتی برای انرژی الکتریکی، خرید و فروش برق برپایه این مکانیزم صورت می‌گیرد. استراتژی‌های متفاوت و متغیر قیمت دهی فروشندگان و خریداران برق، عدم قطعیت در میزان تقاضا و حوادث مختلف شبکه به عنوان عوامل اصلی عدم قطعیت در میزان توان عبوری خطوط انتقال می‌باشند. این عوامل منجر گردیده است که شبکه انتقال در شرایط متغیرتر و بحرانی تر مورد بهره برداری قرار گیرد. از این رو بررسی و محاسبه مطلوب شاخص قابلیت انتقال توان بسیار با اهمیت تر و اثرگذارتر از گذشته دنبال می‌شود. در این مقاله روشی جدید مبتنی بر آنالیز ریسک و تحلیل سود و زیان جهت تعیین شاخص قابلیت انتقال توان معرفی می‌گردد که بهره بردار سیستم را قادر می‌سازد که به جای استفاده از روش‌های محافظه کارانه از روشی ارزش محور و متناسب با سازوکارهای موجود برای تعیین شاخص قابلیت انتقال توان استفاده نماید.

کلیدواژه- قابلیت انتقال توان، آنالیزریسک، تحلیل سودوزیان، هزینه فرصت از دست رفته، بارزدایی، پیشامدهای اتفاقی، پخش بار بهینه.

۱-مقدمه

در فضای جدید رقابتی، انرژی الکتریکی به عنوان یک کالا مورد خرید و فروش قرار می‌گیرد. خطوط انتقال در این محیط نقش کلیدی را ایفاء می‌کنند. این بخش در کنار ایجاد ارتباط بین خریدار و فروشنده انرژی الکتریکی باید با ایجاد شرایطی برای دسترسی آزاد، زمینه ایجاد فضای رقابتی کامل را بوجود آورد و در واقع بعنوان دستهای پنهان بازار برای انتخاب کاراترین و مناسبترین تولید کننده جهت تامین بار مورد نیاز عمل نماید [۱و۲].

تجربیات بدست آمده از سالیان اخیر نشان می‌دهد که معرفی بازار رقابتی برق و دسترسی آزاد بازیگران بازار، موجب بهره برداری از شبکه انتقال در شرایط متغیرتر و بحرانی تر گردیده است. با توجه به ضرورت شناخت مطلوب محدودیت‌ها و قابلیت‌های شبکه‌ی انتقال در ایجاد دسترسی آزاد و غیر تبعیضی بازیگران بازار به شبکه انتقال،

از اواسط دهه ۸۰ صنعت برق دستخوش تغییرات ساختاری وسیع، سریع و برگشت ناپذیری گردیده است. ایده اصلی در این تغییرات ساختاری، جداسازی بخش‌های تولید، انتقال و توزیع با هدف ایجاد نوآوری، افزایش کارایی اقتصادی، جذب سرمایه‌های بخش خصوصی از طریق فضای رقابتی حاکم بر خرید و فروش برق و همچنین گسترش خصوصی سازی می‌باشد [۱].

تغییر ساختار در هر دو بعد رقابتی کردن فضای خرید و فروش برق و خصوصی سازی در کشورهای مختلف صنعتی و در حال توسعه در دهه گذشته به شیوه‌های مختلف متناسب با ساختارهای تعریف شده و پتانسیل‌های موجود کشورها دنبال شده است [۱و۲].

در اکثر ساختارهای پیشنهادی جهت ایجاد این سازوکار مقرر گردید بهره بردار سیستم قابلیت انتقال توان بین نقاط مختلف ناحیه‌ی کنترلی خود را محاسبه نماید و در بازه‌های زمانی تعیین شده در یک سایت اطلاع رسانی مشخص برای دسترسی متقاضیان شبکه انتقال قرار دهد [۳].

با توجه به استانداردهای مختلف، قابلیت انتقال توان برابر است با حداکثر توانی که می‌توان بین دو ناحیه (باس) انتقال داد بدون اینکه هیچ یک از قیود بهره برداری شبکه نقض گردد. [۳-۵]. قیود حرارتی خطوط، ولتاژ باس ها، پایداری ولتاژ و پایداری شبکه به عنوان قیود بهره برداری در ارزیابی قابلیت انتقال توان مدنظر قرار می‌گیرند [۳-۶].

عموما سیاست بهره بردار شبکه برای تامین امنیت شبکه در دو قالب اقدامات پیشگیرانه و یا اصلاحی پیگیری می‌شود [۷]. بهره برداری پیشگیرانه به این نحو است که متغیرهای سیستم در شرایط وقوع پیشامدها بدون هیچ اقدامی اصلاحی در محدوده‌ی مجاز خود قرار داشته باشند؛ بنظر می‌رسد که روش‌های پیشنهادی برای در نظر گرفتن پیشامدها از دیدگاه پیشگیرانه تبعیت می‌نمایند [۳-۷].

اما نکته‌ی بسیار مهم این است که هر پیشامد خروج اجباری خطوط انتقال دارای دو مولفه‌ی مهم می‌باشد که باید هر دو مولفه مورد توجه قرار گیرد. این دو مولفه شامل نرخ وقوع پیشامد و میزان اثرگذاری آن بر شرایط امنیت شبکه می‌باشد. در نظر نگرفتن هر کدام از این دو مولفه می‌تواند موجب شود که جواب مساله به سمت پاسخی نامطلوب (محافظه کارانه و یا پر ریسک) هدایت شود؛ از یک سو در نظر نگرفتن احتمال وقوع پیشامد می‌تواند منجر به تعیین محافظه کارانه قابلیت‌های انتقال شبکه شود و ظرفیت شبکه را برای تامین امنیت سیستم در مقابل پیشامدی با نرخ وقوع کم محدود نماید و از سوی دیگر در نظر نگرفتن شدت اثر یک پیشامد نیز اساسا نمی‌تواند اطلاعات مناسبی از اثرپذیری قابلیت انتقال شبکه از وقوع پیشامد را در خود داشته باشد.

ایده اصلی در این مقاله در نظر گرفتن اثر پیشامدها با توجه به نرخ وقوع آنها در تعیین قابلیت انتقال توان برای پرهیز از دیدگاه محافظه کارانه موجود در روشهای موجود می‌باشد. در این مقاله سعی می‌شود که روشی ارزش محور به جای

روش محافظه کارانه‌ی و ریسکی گذشته معرفی گردد. در روش پیشنهادی سعی شده است با مدل بندی و بررسی مناسب سود ناشی از انتقال توان و همینطور هزینه‌های ناشی از آن (در شرایط عادی و وقوع پیشامدها) به کمک آنالیز سود- زیان به تعیین یک عدد با معنی و ارزش محور برای شاخص قابلیت انتقال پرداخته شود.

۲- فرمول بندی مساله تعیین قابلیت انتقال توان

در ابتدا فرضیاتی که در این مقاله در نظر گرفته شده که چهارچوب قیود مساله را تعیین می‌نماید، بیان می‌گردد. به مانند اکثر مقالات در این مقاله نیز فرض می‌شود که شبکه در شرایط پایداری مطلوبی بسر می‌برد و در واقع با توجه به فرضیات فوق قید حرارتی، پایداری خطوط و اندازه‌ی ولتاژ باس‌های بار بعنوان عوامل محدودکننده‌ی انتقال در نظر گرفته می‌شود. با توجه به مطالب ذکر شده مساله ارزیابی قابلیت انتقال توان بصورت زیر فرمول بندی می‌شود.

(۱)

$$\min - P_{transit}$$

s.t :

$$P_i^p - P_i^p = V_i^p \sum_{j=1}^{N_b} V_j^p (G_{ij}^p \cos \theta_{ij}^p + B_{ij}^p \sin \theta_{ij}^p) = 0 \quad i = 1, \dots, N_b$$

$$Q_{gi}^p - Q_i^p = V_i^p \sum_{j=1}^{N_b} V_j^p (G_{ij}^p \sin \theta_{ij}^p - B_{ij}^p \cos \theta_{ij}^p) = 0 \quad i = 1, \dots, N_b$$

$$V_i^{p \min} \leq V_i \leq V_i^{p \max} \quad i = 1, \dots, N_b$$

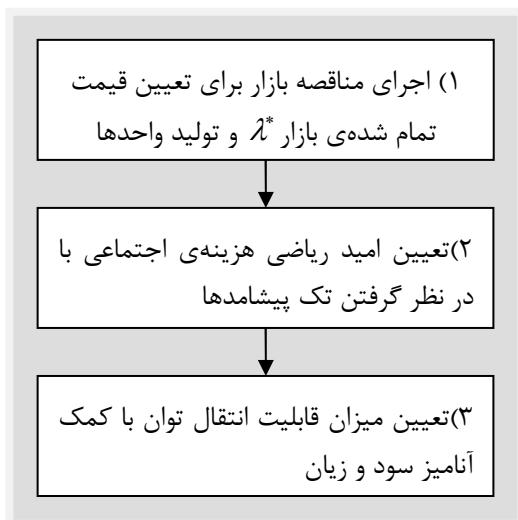
$$|S_i| \leq S_i^{\max} \quad i = 1, \dots, N_l$$

$$p = 0 \quad \text{Normal State}$$

$$p = 1, \dots, N_l \quad \text{Single Contingency}$$

که در آن $P_{transit}$ برابر با مقدار قابلیت انتقال است. P_{di} و P_{gi} به ترتیب برابر با توان اکتیو تولیدی و مصرفی باس i می‌باشد. Q_{di} و Q_{gi} به ترتیب برابر با توان راکتیو تولیدی و مصرفی در باس i می‌باشد. V_i نیز برابر با اندازه‌ی ولتاژ در باس i می‌باشد. S_i برابر با توان ظاهری عبوری از خط l می‌باشد. $G_{ij} + jB_{ij}$ هم برابر با ادمیتانس خط بین باس i و j می‌باشد. N_b و N_l نیز بترتیب برابر با تعداد خط و باس شبکه می‌باشد. بالانویس p به مفهوم پیشامدهای مختلف است؛ مقدار صفر آن برای در نظر گرفتن حالت عادی شبکه بدون وقوع پیشامد است و مقادیر دیگر نیز برای وقوع تک پیشامدهای خروج خطوط انتقال در نظر گرفته شده است.

گذاری گردیده‌اند. از این رو مطالعات ارزش محور در این شرایط بسیار با اهمیت می باشد.



شکل (۱): الگوریتم روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی به کمک آنالیز امید ریاضی احتمال وقوع پیشامدها و همچنین هزینه‌ی ناشی از آن در نظر گرفته می شود. امید ریاضی مقدار میانگین هزینه‌ی مورد انتظار ناشی از وقوع پیشامدها را نشان می دهد. تفاضل سود ناشی از انتقال توان و امید ریاضی هزینه اقدامات اصلاحی ناشی از انتقال توان را به عنوان تابع هدف مساله در نظر می گیریم. معادلات پخش بار به عنوان قیود تساوی مساله در نظر گرفته می شود و قیود ماکزیمم توان انتقالی مجاز خطوط و اندازه‌ی ولتاژ باس ها به عنوان قیود نامساوی در نظر گرفته می شود. روش پیشنهادی تعیین قابلیت انتقال توان از سه گام تشکیل می گردد که الگوریتم آن به صورت زیر می باشد:

گام اول

در گام اول به تعیین شرایط اولیه پرداخته می شود. با اجرای مناقصه‌ی بازار انرژی، علاوه بر نحوه‌ی تخصیص تولید ژنراتورها، قیمت بسته شده‌ی بازار نیز بدست می آید. در واقع نتایج بدست آمده نحوه‌ی پخش بار بر روی شبکه‌ی انتقال را تعیین می نماید. در بسیاری از بازارهای انرژی بهره بردار سیستم مسئولیت اجرای بازار انرژی را نیز برعهده دارد (نظیر بازار کشورهای اسکانندیناوی) و یا مسئولیت این دو بخش بصورت مجزا می باشد (بازار کالیفرنیا).

اگر در مساله فوق صرفاً شرایط عادی مورد توجه قرارگیرد و پیشامدها مدنظر قرار نگیرد، این مدل فرمول بندی به تعیین قابلیت انتقال توان در شرایط خوش‌بینانه می پردازد. این روش در سیستم هایی مورد استفاده قرار می گیرد که از دیدگاه اقدامات اصلاحی برای حفظ امنیت شبکه استفاده می نمایند؛ به این نحو که در این دیدگاه از اقدامات اصلاحی نظیر تغییر آرایش تولید و توپولوژی شبکه و بارزدایی و ... برای رفع مشکلات پیش آمده در شرایط وقوع پیشامدها و کنترل متغیرهای مساله استفاده می شود (مدل پخش بار بهینه (OPF))

اگر در فرمول بندی (۱) علاوه بر در نظر گرفتن شرایط نرمال، شرایط وقوع تک پیشامدها هم در نظر گرفته شود؛ مطابق با این فرمول بندی، مقدار قابلیت انتقال طوری تعیین می گردد که شرایط امنیت بهره برداری شبکه در حالت نرمال و پیشامدها تامین گردد. این فرمول بندی به نظر می رسد که به نتیجه محافظه کارانه منجر گردد و مشی عملکرد پیشگیرانه را دنبال نماید؛ بدان مفهوم که شاخص قابلیت انتقال طوری تعیین می گردد که در اثر بروز هر پیشامد بدون نیاز به عملکرد اصلاحی شبکه قادر باشد در محدوده‌ی ایمنی خود باقی بماند. از آنجایی که به احتمال زیاد شبکه در شرایط نرمال مورد بهره برداری قرار می گیرد عدم استفاده از مقدار قابل توجهی از شبکه‌ی انتقال برای پیشامدهایی با احتمال وقوع ناچیز می تواند منجر به تخصیص نامناسب قابلیت ها گردد (مدل پخش بار بهینه مقید به قیود امنیتی (SSOPF)).

۳- معرفی روش ارزش محور برای تعیین شاخص قابلیت انتقال توان

برای پرهیز از نگاه محافظه کارانه و پر ریسک موجود در تعیین قابلیت انتقال توان شبکه‌ی انتقال در ساختارهای معرفی شده قبلی، در این بخش روشی ارائه می گردد که هم احتمال وقوع پیشامد را در نظر می گیرد و هم شدت اثر گذاری آن بر قابلیت انتقال شبکه. روش پیشنهادی به کمک پخش بار بهینه و با منطبق تحلیل سود و زیان به یافتن مقداری مناسب و ارزش محور برای قابلیت انتقال می پردازد. بازار ترکیبی مدل متمرکز و قراردادهای چند طرفه در مطالعه‌ی این بخش در نظر گرفته شده است [۱]. در این ساختار انرژی الکتریکی و خدمات مربوط به آن ارزش

توجه به قیود امنیتی شبکه در شرایط نرمال و وقوع پیشامدها حداقل می‌گردد. فرمول بندی بهینه سازی مساله بصورت زیر می‌باشد:

$$(3) \quad EVSC(0) = \min \left(\sum_{p=0}^{N_i} PROB^p \cdot \left(\sum_{j=1}^{NG} \rho_j \cdot G_j^p + LS^p + OC^p \right) \right)$$

s.t:

$$P_i^p - P_i^p = V_i^p \sum_{j=1}^{N_b} V_j^p (G_{ij}^p \cos \theta_{ij}^p + B_{ij}^p \sin \theta_{ij}^p) = 0 \quad i = 1, \dots, N_b$$

$$Q_{gi}^p - Q_i^p = V_i^p \sum_{j=1}^{N_b} V_j^p (G_{ij}^p \cos \theta_{ij}^p - B_{ij}^p \sin \theta_{ij}^p) = 0 \quad i = 1, \dots, N_b$$

$$V_i^{pmin} \leq V_i \leq V_i^{pmax} \quad i = 1, \dots, N_b$$

$$|S_l| \leq S_l^{max} \quad l = 1, \dots, N_l$$

$$p = 0 \quad \text{Normal State}$$

$$p = 1, \dots, N_l \quad \text{Single Contingency}$$

در مساله فوق در واقع امید ریاضی تابع هزینه اجتماعی حداقل می‌گردد. بالانویس P بیانگر شرایط مختلف بهره برداری است که شامل شرایط عادی و وقوع تک پیشامدها می‌باشد. در تابع هدف داریم که شبکه طوری مورد بهره برداری قرار گیرد که امید ریاضی مجموع کلیه هزینه های مربوط به بارزدایی و هزینهی فرصت از دست رفته و هزینهی تامین توان مصرفی حداقل گردد. مقدار هزینهی بارزدایی رابطه‌ی (۳) توسط رابطه‌ی زیر تعیین می‌گردد:

$$(4) \quad LS^p = \sum_{i=1}^N LS_i^p$$

$$LS_i^p = C_i (P_{di}^o - P_{di}^p) \quad \text{if } P_{di}^p \leq P_{di}^o$$

که در آن LS_i^p برابر با مقدار هزینه متحمل شده ناشی از عدم تامین بار در باس i در شرایط p می‌باشد و همچنین LS^p برابر با مجموع هزینهی ناشی از عدم تامین بار در شرایط p است. C_i هم هزینهی مربوط به عدم تامین بار در باس i می‌باشد که در واحد دلار بر مگوات ساعت می‌باشد. مقدار هزینه فرصت از دست رفته استفاده شده در رابطه‌ی (۳) بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$(5) \quad OC^p = \sum_{i=1}^{NG} OC_i^p$$

$$OC_i^p = (\lambda^* - \rho_i) \cdot (G_i^o - G_i^p) \quad \text{if } G_i^p \leq G_i^o$$

در بازار برق کالیفرنیا (Power Exchange (PX)) مسئول اجرای مناقصه‌ی بازار می‌باشد و بدون در نظر گرفتن قیود بهره برداری شبکه قیمت بسته شده‌ی بازار و توان تولیدی واحدها را تعیین می‌نماید. در این حالت قیمت بسته شده‌ی بازار برابر با قیمت آخرین واحد برنده شده می‌باشد که با λ^* نشان داده می‌شود. نحوه‌ی تولید واحدهای تولیدی به بهره بردار مستقل شبکه اعلام می‌گردد. برنامه‌ی بهینه سازی که توسط PX برای تعیین قیمت بازار و میزان تولید واحدها مورد استفاده قرار می‌گیرد بصورت زیر می‌باشد [۱]:

$$(2) \quad \min \sum_{j=1}^{NG} \rho_j \cdot G_j$$

s.t:

$$\sum_{j=1}^{NG} G_j = D$$

$$G_i^{min} \leq G_i \leq G_i^{max}$$

که در آن G_j و ρ_j به ترتیب برابر با قیمت پیشنهادی و مقدار تولید واحد تولیدی j می‌باشند و D نیز برابر با بار مورد نیاز شبکه می‌باشد. مقادیر G_i^{min} و G_i^{max} به ترتیب برابر حد بالا و پایین تولید واحد i می‌باشد.

گام دوم

در گام دوم به تصحیح جدول برنامه‌ریزی شده‌ی پیشنهادی PX توسط ISO پرداخته می‌شود. بعد از ارائه‌ی جدول نحوه‌ی تخصیص تولید توان، ISO که مسئولیت حفظ امنیت شبکه را بر عهده دارد به ارزیابی امنیت شبکه در شرایط بهره برداری پیشنهاد شده می‌پردازد. اگر در شرایط بهره برداری پیشنهادی هیچ از قیود امنیت شبکه فعال نگردید، برنامه‌ی ارائه شده اجرا می‌گردد. در غیر اینصورت در حالتی که قیود امنیت شبکه نقض گردد، بهره بردار برنامه‌ی پیشنهاد شده توسط PX را اصلاح می‌نماید. تغییر در نحوه‌ی تخصیص توان واحدهای تولیدی و بارزدایی از اقدامات اصلاحی ISO برای اصلاح جدول اولیه بهره برداری در جهت تامین امنیت شبکه می‌باشد. برای در نظر گرفتن پیشامدها نیز در این سیستم فرض شده است از مصالحه ای بین دیدگاه پیشگیرانه و دیدگاه اصلاحی مبتنی بر معیار اقتصادی (اقتصادی ترین حالت ممکن) استفاده می‌شود. در این روش ساختار پخش بار بهینه استفاده می‌شود که در آن امید ریاضی هزینه اجتماعی با

$$\max (B(P_{transit}) - (\sum_{p=0}^{N_L} PROB_p \cdot (\sum_{j=1}^{NG} \rho_j \cdot G_j^p + LS^p + OC^p) - SCSC(0)))$$

s.t:

$$P_{gi}^p - P_{di}^p = V_i^p \sum_{j=1}^{N_b} V_j^p (G_{ij}^p \cos \theta_{ij}^p + B_{ij}^p \sin \theta_{ij}^p) = 0 \quad i=1, \dots, N_b$$

$$Q_{gi}^p - Q_{di}^p = V_i^p \sum_{j=1}^{N_b} V_j^p (G_{ij}^p \sin \theta_{ij}^p - B_{ij}^p \cos \theta_{ij}^p) = 0 \quad i=1, \dots, N_b$$

$$V_i^{pmin} \leq V_i^p \leq V_i^{pmax} \quad i=1, \dots, N_b$$

$$|S_l^p| \leq S_l^{pmax} \quad l=1, \dots, N_l$$

$p=0$ Nomal State

$p=1, \dots, N_L$ Single Contingency

۴- بررسی روش در یک شبکه‌ی قدرت

روش پیشنهاد شده بر روی شبکه‌ی ۶ باسه مورد امتحان قرار گرفته است [۸]. در ابتدا فرض می‌شود که سه واحد تولیدی برای شرکت در بازار انرژی پیشنهاد قیمت می‌دهند که پیشنهاد قیمت آنها در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱): پیشنهاد قیمت و محدودیت‌های تولید در شبکه‌ی ۶ باسه

Genco3	Genco2	Genco1	
۲۰	۱۹	۱۷	پیشنهاد قیمت (\$/MWh)
۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	حد بالای تولید (MW)
۰	۰	۰	حد پایین تولید (MW)

با اجرای مناقصه بازار توسط PX تعیین می‌گردد که واحد اول باید ۱۵۰ مگاوات تولید نماید و واحد دوم نیز ۶۰ مگاوات توان تولید نماید. تولید واحد گران قیمت سوم نیز صفر می‌باشد. به این ترتیب قیمت بسته شده‌ی بازار نیز برابر با \$/MWh ۱۹ می‌شود. در گام دوم به تعیین حداقل امید ریاضی هزینه‌ی اجتماعی در شرایط محتمل نرمال و وقوع پیشامدها پرداخته می‌شود. در شبکه ۶ باسه امید ریاضی حداقل هزینه‌ی اجتماعی برابر با ۳۸۸۴/۹۴ دلار بر ساعت می‌شود. واحد اول ۱۵۰ مگاوات و واحد دوم ۷۰ مگاوات تولید می‌نماید که شامل تامین مصرف و تلفات شبکه می‌باشد. در گام سوم به یافتن قابلیت انتقال توان با توجه به فرمول بندی (۶) می‌پردازیم. نتایج بدست آمده به عنوان یک مقدار که متناسب با شرایط بازار انرژی بدست می‌آید، می‌تواند دیدگاه ارزش محور بازار رقابتی را پیگیری نماید. برای حل الگوریتم پیشنهادی از جعبه ابزار بهینه سازی نرم افزار مطلب استفاده نموده‌ایم که از برنامه ریزی

در رابطه‌ی فوق λ^* برابر با قیمت بازار است که در گام اول تعیین می‌شود. ρ_j برابر با قیمت پیشنهادی واحد برنده‌ی i می‌باشد. G_i^0 برابر با مقدار توان تعیین شده برای تولید واحد i می‌باشد که از گام اول بدست می‌آید و همچنین G_i^p برابر با مقدار تولید بدست آمده توسط الگوریتم (۳) می‌باشد و مربوط به تولید کننده i ام در شرایط p ام می‌باشد. در واقع با توجه به رابطه‌ی (۵) مشاهده می‌شود که هزینه‌ی فرصت از دست رفته برابر با سودی است که تولید کننده‌ی i ام در شرایط اولیه‌ی بازار بدست می‌آورده است. نکته مهم این است که با توجه به تغییر آرایش تولید و احتمال حضور تولید کننده‌ی گران قیمت تر ممکن است قیمت بسته شدن بازار تغییر نماید، اما با توجه به مطالب گفته شده در مرجع [۷] می‌توان قیمت بسته شده‌ی بازار را برای تخصیص هزینه‌ی فرصت از دست رفته ثابت فرض نمود.

در حقیقت الگوریتم شکل (۱) شرایط بهره برداری را طوری انتخاب می‌نماید که امید ریاضی هزینه‌ی بهره برداری در حالت مانا و وقوع تک پیشامدها حداقل گردد.

گام سوم

در این مرحله به تعیین قابلیت انتقال توان پرداخته می‌شود. در تابع هدف تابع سود ناشی از انتقال توان از مقدار امید ریاضی هزینه ناشی از انتقال توان کسر می‌شود. امید ریاضی هزینه ناشی از انتقال توان برابر است با مقدار امید ریاضی هزینه حفظ امنیت شبکه با در نظر گرفتن انتقال توان بین دو باس مشخص منهای مقدار همین تابع بدون در نظر گرفتن انتقال توان بین دو باس (این مقدار در گام دوم توسط مساله‌ی بهینه سازی (۳) بدست می‌آید) تعیین می‌گردد. قیود امنیت شبکه در حالت نرمال و وقوع تک پیشامدها به عنوان قیود نامساوی مساله می‌باشد. معادلات پخش بار نیز به عنوان قیود تساوی مساله در نظر گرفته می‌شود. متغیرهای حالت اندازه و زاویه‌ی ولتاژ باس‌ها به غیر از باس مرجع می‌باشد و متغیرهای کنترلی شامل توان تولیدی ژنراتورها و بارهای سیستم می‌باشد. می‌توان گفت که در این الگوریتم درصدد یافتن قابلیت انتقال در دسترس غیر قابل قطع هستیم بطوری که با امکان لحاظ نمودن ارزش اقتصادی بارزدایی و تغییر آرایش سیستم، درصدد تامین آن می‌باشیم. فرم بهینه سازی بصورت زیر می‌باشد:

۵- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله با بررسی نقاط ضعف دیدگاه بهره برداری پیشگیرانه برای تعیین قابلیت انتقال توان وجود دارد. به ارائه روشی جدید برای محاسبه‌ی قابلیت انتقال توان پرداخته شده است. ویژگی اصلی این روش در نظر گرفتن نرخ وقوع پیشامدها مبتنی بر آنالیز ریسک در تعیین قابلیت انتقال توان می باشد. ویژگی دیگر این روش استفاده از آنالیز سود- زیان می باشد که منجر به یافتن قابلیت انتقال ارزش محور می گردد. متناسب با ساختار و قوانین متفاوت بازارها استفاده از این روش قابل تغییر می باشد. در واقع با استفاده از روش پیشنهادی علاوه بر تخصیص مطلوب تر قابلیت انتقال، تفاضل سود ناشی از انتقال و امید ریاضی هزینه‌ی ناشی از آن حداکثر می گردد.

۷- مراجع

- [1] Loi Lei Lai, " Power system Restructuring and Deregulation: Trading, Performance, and Information Technology", Copyright, 2001 by John Willey & Sons ltd.
- [2] M.Hunealt, F.D.Galiana, G.Gross, "A Review of Restructuring in the Electricity Business", *13th Power System Computation Conference (PSCC)*, June28-July 2nd, 1999.
- [3] Gravener, M.; Nwankpa, C.; Yeoh, T.S., "ATC Computational Issues", *Proceeding of the 32nd Hawaii International Conference on System Science*, 1999.
- [4] "Available Transfer Capability Definition and Determination", North American Electric Reliability Council (NERC), June 1996.
- [5] Transmission Transfer Capability Task Force, "Transmission Transfer Capability", North American Electric council (NERC), Princeton, New Jersey, May 1995.
- [6] ETSO, "Definitions of transfer capabilities in liberalized electricity markets", Final Report .April 2001. Available online at www.etso-net.org (DRPT2004) April, Hong Kong, 2004.
- [7] Audomvongseeree, K., Yokoyama, A., "Risk based TTC Evaluation by Probabilistic Method", *IEEE Bologna Power Tech Conference*, June 2003, Bologna, Italy.
- [8] A.j.Wood, B.F.Wollenbergh, *Power Generation, Operation, and Control*, John Wiley & Sons Inc., New York, 2th edition, 1996.

غیرخطی تریبی برای حل مساله‌ی بهینه سازی غیر خطی استفاده می نماید. نتایج بدست آمده در جدول (۲) آمده است. احتمال خروج اجباری خطوط انتقال را برای هر خط ۱٪ در نظر گرفته شده است.

جدول (۲): قابلیت انتقال توان شبکه‌ی ۶ باسه در حالات مختلف (مگاوات)

تعیین ATC به روش پیشنهادی	تعیین ATC SSCOFP	تعیین ATC OPF	باس مقصد	باس مبدا
۳۴/۹۳	۱۸/۰۱	۷۵/۷۶	۴	۱
۵۷/۷۲	۱۷/۸۵	۷۳/۸۰	۴	۲
۷۶/۶۸	۱۶/۵۳	۱۰۲/۱۲	۶	۲
۵۹/۶۹	۱۶/۵۰	۱۰۷/۲۴	۶	۳

مقادیری که در جدول (۲) آمده است بیانگر قابلیت انتقال توان از دیدگاه مختلف می باشد. در ستون سوم قابلیت انتقال توان به نحوی تعیین گردیده است که در آن قابلیت انتقال برای شرایط نرمال بدون خروج هیچکدام از خطوط محاسبه شده است. این مقدار خوشبینانه تلقی می گردد و تخصیص آن برای انتقال توان می تواند در اثر وقوع پیشامد منجر به نقض قیود امنیت شبکه گردد. در ستون چهارم نگاه بدبینانه منجر به تعیین مقادیر این ستون گردیده است. در این حالت محدودکننده ترین حالت بدون در نظر گرفتن نرخ وقوع آنها برای تعیین قابلیت انتقال در نظر گرفته می شود. اما در ستون ششم مقادیر بدست آمده بر اساس روش پیشنهادی می باشد. دو ویژگی اصلی این روش، یکی در نظر گرفتن احتمال وقوع پیشامدها می باشد و دیگری نیز شناسایی ارزش محور قابلیت انتقال توان با در نظر گرفتن قوانین مرسوم در بازار رقابتی می باشد. همانطور که از مقایسه‌ی نتایج ستون ۴ و ۵ دیده می شود، انتخاب تابع هدف پیشنهادی موجب افزایش قابلیت انتقال قابل تخصیص گردیده است در عین حالی که تفاضل سود و زیان این انتخاب نیز حداکثر می باشد. ذکر این نکته ضروری است که نتایج بدست آمده متناسب با تغییر قوانین و مقادیر فرضی قابل تغییر می باشد.