

برنامه ریزی توسعه شبکه انتقال به منظور افزایش رقابت و کاهش انرژی تامین نشده

<p>محمود فتوحی استاد دانشکده برق دانشگاه صنعتی شریف</p>	<p>حیب رجبی مشهدی استادیار گروه برق دانشگاه فردوسی مشهد</p>	<p>غلامرضا کامیاب دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران و واحد گناباد</p>
<p>با همکاری دفتر تحقیقات و استانداردها - برق منطقه ای خراسان</p>		

واژه‌های کلیدی: برنامه ریزی توسعه انتقال، سیستمهای قدرت تجدید ساختار شده

چکیده

شبکه انتقال در سیستمهای قدرت تجدید ساختار شده نقش کلیدی در فراهم نمودن فضای رقابتی جهت خرید و فروش انرژی ایفاء می کند. با رشد بارهای الکتریکی، برنامه ریزی توسعه انتقال باید به موقع و به یک شیوه مناسب انجام گیرد. تجدید ساختار صنعت برق، برخی از اهداف برنامه ریزی توسعه انتقال را تغییر داده است. در این مقاله، برنامه ریزی توسعه انتقال با هدف کمینه سازی هزینه های ایجاد رقابت و انرژی تامین نشده مد نظر قرار دارد. به همین منظور ابتدا هزینه عدم رقابت و هزینه انرژی تامین نشده ناشی از قیود خطوط انتقال برای طرحهای ممکن تعریف و محاسبه می شود. سپس مجموع هزینه سرمایه گذاری، هزینه عدم تامین انرژی و هزینه ناشی از عدم رقابت برای انتخاب طرح بهینه استفاده می گردد. ویژگی روش پیشنهادی نسبت به روشهای موجود این است که اولاً برای عملیاتی شدن بسیار ساده است و نیاز به اطلاعات زیاد و محاسبات طولانی ندارد و ثانیاً تصویری از ترکیب هزینه های مختلف شامل هزینه های سرمایه گذاری، هزینه های عدم رقابت و هزینه های انرژی

توزیع نشده ناشی از قیود انتقال در برنامه ریزی توسعه انتقال ارائه می دهد. کارائی روش پیشنهادی بر روی یک سیستم قدرت تست ۶ باسه بررسی می گردد.

۱- مقدمه

یکی از اهداف مهم تجدید ساختار سیستمهای قدرت، ایجاد یک فضای رقابتی در صنعت برق می باشد. شبکه انتقال در سیستمهای قدرت تجدید ساختار شده نقش کلیدی در فراهم نمودن فضای رقابتی جهت خرید و فروش انرژی ایفاء می کند. در یک محیط رقابتی، همه شرکت کنندگان باید امکان دسترسی بدون تبعیض به شبکه انتقال را داشته باشند. با رشد بارهای الکتریکی، برنامه ریزی توسعه انتقال باید به موقع و به یک شیوه مناسب انجام گیرد؛ تجدید ساختار صنعت برق، برخی از اهداف برنامه ریزی توسعه انتقال را تغییر داده است. در مرجع [۱] اهداف و شیوه های بکار رفته برای برنامه ریزی توسعه انتقال در سیستمهای قدرت تجدید ساختار شده مرور شده است. مهمترین اهداف برشمرده شده در برنامه ریزی توسعه انتقال در سیستمهای قدرت تجدید ساختار شده،

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

سرمایه گذاری در نظر گرفته شده بود در تکمیل آن مقاله، تحقیق حاضر را در جهت تکمیل هدف مزبور یعنی تامین رقابت دنبال نموده ایم. در این تحقیق علاوه بر هزینه سرمایه گذاری توسعه انتقال، هزینه های عدم ایجاد رقابت کافی و هزینه های انرژی تامین نشده ناشی از قیود خطوط انتقال در نظر گرفته شده اند.

در مقاله حاضر ما معیار مستقیم و مشخصی برای رقابت تعریف می کنیم بطوریکه مزیت ژنراتورها را در تولید توان در نظر می گیرد یعنی ابتدا تولید ژنراتورهایی که هزینه کمتری دارند مورد استفاده قرار می گیرند. بدین ترتیب تمامی تولید کنندگان به دنبال تولید با حداقل هزینه خواهند بود که این موضوع سبب رقابت در کاهش هزینه های تولید برای فروش با قیمت پائین تر می گردد.

هدف اصلی این تحقیق، برنامه ریزی توسعه انتقال به منظور تامین رقابت و قابلیت اطمینان می باشد بطوریکه هزینه ایجاد رقابت و قابلیت اطمینان معقول باشد. لذا ابتدا تعریف مناسبی برای هزینه های رقابت و هزینه انرژی تامین نشده بعنوان شاخصی برای قابلیت اطمینان انجام می گیرد و سپس طرحی برای توسعه انتقال جستجو می شود که حداقل هزینه کل (شامل مجموع هزینه رقابت، هزینه انرژی تامین نشده ناشی از قیود انتقال و هزینه سرمایه گذاری) را داشته باشد و این طرح بعنوان طرح بهینه معرفی می گردد.

در بخشهای بعدی مقاله ابتدا هزینه عدم رقابت و هزینه انرژی تامین نشده معرفی می گردد. سپس روش پیشنهادی ارائه می شود. در بخش بعد، نتایج پیاده سازی روش پیشنهادی بر روی یک سیستم قدرت نمونه ارائه می شود. در انتهای مقاله هم نتایج حاصل از کل مقاله ارائه می گردد.

۲- هزینه عدم رقابت و انرژی تامین نشده ناشی از

سیستم انتقال

در سیستمهای قدرت تجدید ساختار شده، شبکه انتقال باید چنان باشد که باعث گرفتگی نشده و مانعی برای رقابت در بازار ایجاد نکند. یعنی قیود شبکه انتقال طوری باشند که در تعیین قیمت انرژی در بازار برق تاثیری نداشته باشند. قیمت برق عمدتاً توسط هزینه تولید، تعیین می شود. یعنی وقتی که

تشویق رقابت برای شرکت کنندگان در بازار برق، ایجاد دسترسی بدون تبعیض به تولید ارزان برای همه مشتریان، و ایجاد یک شبکه انتقال مستحکم (Robust) در مقابل همه عدم قطعیت ها می باشند. شیوه های برنامه ریزی توسعه انتقال به شیوه های قطعی و غیر قطعی تقسیم بندی شده اند و مزایا و معایب هر یک بیان گردیده اند. در این مرجع همچنین خلاصه برخی از تحقیقات انجام شده قبلی در زمینه برنامه ریزی توسعه انتقال در سیستمهای تجدید ساختار شده معرفی و مرور شده اند.

هدف اصلی برنامه ریزی توسعه انتقال در ساختار جدید صنعت برق این است که شبکه انتقال چنان توسعه یابد که قیود انتقال مانع رقابت نباشد و بلکه رقابت را تسهیل نماید. از طرفی شبکه توسعه یافته باید قابلیت اطمینان کافی را داشته باشد. اما توسعه شبکه انتقال با اهداف مزبور هزینه دارد بنابراین، این اهداف باید با کمترین هزینه سرمایه گذاری و بهره برداری برای شبکه انتقال تامین شوند.

عموما معیار رقابتی بودن براساس شبیه سازی بازار در نظر گرفته شده اند. مثلاً در مرجع [۲]، همواری پروفایل قیمت بعنوان یک معیار درجه رقابتی بودن بازار در نظر گرفته شده است که نیاز به شبیه سازی بازار و محاسبه تابع چگالی احتمال قیمت‌های حاشیه ای محلی (LMP's) دارد. در مرجع [۳]، هزینه کاهش رفاه عمومی ناشی از گرفتگی نسبت به هزینه توسعه انتقال بطور غیر مستقیم بعنوان معیاری برای رقابتی بودن استفاده شده است. منظور از رفاه تفاوت درآمد و هزینه است و منظور از رفاه عمومی، مجموع رفاه تولیدکنندگان، مصرف کنندگان و صاحبان خطوط انتقال می باشد. در این مقاله نیز برای محاسبه رفاه عمومی به شبیه سازی بازار و نحوه قیمت دهی و محاسبه قیمت‌های گرهی نیاز است. در مرجع [۴]، رفتار بازار در پترنهای محتمل بار و تولید شبیه سازی شده و برای انتخاب طرح توسعه ای که کمترین ریسک را داشته باشد استفاده می گردد.

ما در سال گذشته در همین کنفرانس، یک روش ابتکاری برای برنامه ریزی توسعه انتقال به منظور تامین حداکثر رقابت ارائه نمودیم [۶]، از آنجائیکه در مقاله مزبور فقط هزینه های

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

داشته باشیم بطوریکه قیود شبکه انتقال و قیود واحدهای تولید برقرار باشند. در این حالت برای برقراری قیود انتقال ممکن است مجبور به بارزدائی شویم. مجموع هزینه تولید در این حالت را C_2 و کل بار تغذیه شده این حالت را D_2 می‌نامیم.

حالت ۳ (حالت ایده آل شبکه انتقال با تامین تقاضای حالت واقعی): در این حالت هیچ قیدی برای شبکه انتقال در نظر نمی‌گیریم و پخش بار بهینه را انجام می‌دهیم ولی میزان تقاضا را به میزان بار تامین شده در حالت واقعی (حالت ۲) کاهش می‌دهیم. یعنی میزان تولید واحدهای تولید را چنان تعیین می‌کنیم که کمترین هزینه تولید را داشته و تقاضای مصرف در آن دوره به میزان تقاضای تامین شده در حالت ۲ باشد و قیود واحدهای تولید هم برقرار باشند. مجموع هزینه تولید در این حالت را C_3 می‌نامیم و کل بار تغذیه شده این حالت همان D_2 می‌باشد.

حال هزینه انرژی تامین نشده ناشی از قیود خطوط انتقال در حالت واقعی (حالت ۲) نسبت به حالت ایده آل (حالت ۱) را بصورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$CNS = \left(\frac{C_1}{D_1}\right)(D_1 - D_2)t_{load} \quad (1)$$

در رابطه فوق CNS هزینه انرژی تامین نشده ناشی از قیود خطوط انتقال است. نسبت $\frac{C_1}{D_1}$ ، نسبت مجموع هزینه به مجموع بار در حالت ایده آل است که متوسط قیمت هر واحد توان در حالت ایده آل را بدست می‌دهد. عبارت $(D_1 - D_2)$ اختلاف توان تغذیه شده حالت ایده آل و حالت واقعی می‌باشد. در رابطه (۲)، اختلاف توان فوق در قیمت حالت ایده آل و در مدت برقراری بار t_{load} ضرب شده است و حاصل اختلاف هزینه انرژی در حالت واقعی نسبت به حالت ایده آل را می‌دهد که ما هزینه انرژی تامین نشده (CNS) نامیده ایم.

اکنون هزینه عدم رقابت ایجاد شده را بصورت اختلاف هزینه های حالت (۲) و حالت (۳) تعریف می‌کنیم. زیرا ممکن است در حالت واقعی (۲) بعلاوه برقراری قیود انتقال، علاوه بر کاهش بار، تولید کننده ها در حداکثر مزیت استفاده نشده باشند و در نتیجه عدم رقابت ایجاد شده باشد و هزینه تامین

کمترین هزینه تولید را داشته باشیم قاعدتا از حداکثر مزیت تولیدکنندگان استفاده نموده ایم و کمترین قیمت را هم خواهیم داشت. همچنین شبکه انتقال باید چنان باشد که سبب بار زدائی نشود و حداکثر تقاضا را تامین کند. یعنی به خاطر قیود شبکه انتقال مجبور به بارزدائی نباشیم. چنین شبکه انتقالی را شبکه ایده آل، می‌نامیم. در عمل محدودیتهای شبکه انتقال، ممکن است سبب تغییر قیمت برق بازار و خارج کردن آن از حالت رقابتی شده و یا حتی سبب بارزدائی در برخی از نقاط گردد. شبکه ای که محدودیتهای آن موجب تغییر قیمت بازار شود را شبکه واقعی (غیر ایده آل) نامگذاری می‌کنیم. بدیهی است برای نزدیک نمودن یک شبکه انتقال واقعی به یک شبکه انتقال ایده آل نیاز به سرمایه گذاری می‌باشد. در صورت عدم سرمایه گذاری کافی، محدودیتهای شبکه انتقال واقعی، سبب کاهش رقابت و افزایش قیمت انرژی می‌شوند. همچنین سبب افزایش بارزدائی شده و انرژی فروخته شده کم می‌شود و در حقیقت انرژی تامین نشده افزایش می‌یابد. بنابراین در حقیقت عدم سرمایه گذاری کافی در توسعه شبکه انتقال و نداشتن شبکه انتقال ایده آل، باعث افزایش دو نوع هزینه می‌شود که آنها را هزینه عدم رقابت و هزینه انرژی تامین نشده می‌نامیم.

هزینه عدم رقابت و هزینه انرژی تامین نشده را به کمک انجام پخش بار بهینه در سه حالت زیر محاسبه می‌کنیم:

حالت ۱ (حالت ایده آل شبکه انتقال با تامین حداکثر تقاضا): در این حالت هیچ قیدی برای شبکه انتقال در نظر نمی‌گیریم و پخش بار بهینه را انجام می‌دهیم. یعنی میزان تولید واحدهای تولید را چنان تعیین می‌کنیم که کمترین هزینه تولید را داشته و حداکثر تقاضای مصرف در آن دوره را تامین نموده و قیود واحدهای تولید هم برقرار باشند. مجموع هزینه تولید در این حالت را C_1 و مجموع بار تغذیه شده در همه باسها در این حالت را D_1 می‌نامیم.

حالت ۲ (حالت واقعی شبکه انتقال): این حالت، حالت واقعی شبکه انتقال است که قیود شبکه انتقال را در نظر می‌گیریم و پخش بار بهینه را انجام می‌دهیم. یعنی میزان تولید واحدها را چنان تعیین می‌کنیم که کمترین هزینه تولید را

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

برای هر طرح، در هر پریود پخش بار بهینه را در حالت‌های ایده آل و واقعی (۱)، (۲) و (۳) مطابق تعاریف بخش (۲) انجام می‌دهیم و هزینه‌های عدم رقابت و انرژی تامین نشده را با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌کنیم. در حالت‌های (۱) و (۳) که شبکه انتقال ایده آل فرض می‌شود و بار زدائی اتفاق نمی‌افتد؛ تابع هدف پخش بار بهینه، مجموع هزینه‌های تولید است که باید حداقل شود و قیود آن رعایت حدود میزان تولید واحدهای تولید و برابری مجموع تولید با مجموع مصرف است. در این حالت بیان ریاضی پخش بار بهینه بصورت زیر است:

$$\text{Minimize } F = \sum_{i=1}^{Ng} c_i(p_{g_i}) \quad (3a)$$

$$\text{Subject to: } \sum_{i=1}^{Ng} p_{g_i} = \sum_{i=1}^{Nbus} p_{d_i} \quad (3b)$$

$$p_{g_i}^{\min} \leq p_{g_i} \leq p_{g_i}^{\max} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, Ng \quad (3c)$$

که

p_{g_i} توان اکتیو تولیدی ژنراتور i ؛

p_{d_i} بار اکتیو در باس i ؛

$c_i(p_{g_i})$ تابع هزینه تولید ژنراتور i ؛

$p_{g_i}^{\max}$ و $p_{g_i}^{\min}$ بترتیب حداقل و حداکثر توان اکتیو تولیدی ژنراتور i ؛

Ng تعداد ژنراتورها و

$Nbus$ تعداد باسها می‌باشند.

در حالت (۲) که شبکه انتقال واقعی در نظر گرفته می‌شود و بار زدائی نیز ممکن است داشته باشیم؛ بیان ریاضی پخش بار بهینه بصورت زیر است:

$$\text{Minimize } F = \sum_{i=1}^{Ng} c_i(p_{g_i}) - k \left(\sum_{i=1}^{Nbus} p_{d_i} \right) \quad (4a)$$

Subject to:

$$p_{g_i} = p_{d_i} + \sum_{k \in \Omega_i} p_{Line_k} \quad i = 1, \dots, Nbus \quad (4b)$$

$$p_{Line_i} = \frac{(\delta_{s_i} - \delta_{e_i})}{x_i} \quad i = 1, \dots, Nl \quad (4c)$$

$$p_{g_i}^{\min} \leq p_{g_i} \leq p_{g_i}^{\max} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, Ng \quad (4d)$$

تقاضا افزایش یافته باشد. لذا هزینه تامین تقاضای حالت واقعی (C_2) را با هزینه تامین تقاضای حالت واقعی با شبکه انتقال ایده آل (C_3) مقایسه می‌کنیم و این اختلاف هزینه را بعنوان هزینه عدم رقابت بصورت زیر معرفی می‌کنیم:

$$CNC = (C_2 - C_3)t_{load} \quad (2)$$

در رابطه فوق CNC هزینه عدم رقابت ایجاد شده است و بقیه متغیرها قبلا معرفی شده است.

۳- روش پیشنهادی برای برنامه ریزی توسعه انتقال

روشی که برای برنامه ریزی توسعه انتقال پیشنهاد می‌کنیم بر این مبنا است که مجموع هزینه سرمایه گذاری و هزینه‌های ناشی از عدم رقابت و هزینه‌های انرژی تامین نشده حداقل گردد. روش پیشنهادی را تحت مراحل زیر بیان می‌کنیم:

(a) تعیین پترنهای مختلف بار:

در طول مدت بهره برداری از شبکه انتقال مطمئنا تقاضای مصرف ثابت نیست. لذا طول دوره بهره برداری را به پریودهای مختلف تقسیم می‌کنیم بطوریکه در هر پریود یک پترن (توزیع) مشخصی از تقاضای مصرف را در باسها داشته باشیم. یعنی در هر پریود میزان مصرف هر یک از باسها مشخص و ثابت است. طول پریودهای مختلف لزوما با هم مساوی نیستند. طول هر پریود مجموع تمام زمانهایی است که میزان تقاضای ثابتی را داریم.

(b) تعیین طرحهای توسعه ممکن:

کلید طرحهای توسعه انتقال که امکان پذیر است را تشکیل می‌دهیم. در هر طرح توسعه ممکن است هیچ یا یک و یا چند خط جدید برای شبکه انتقال داشته باشیم. برای هر طرح توسعه ممکن (طرح ژام)، مراحل بعدی را انجام می‌دهیم.

(c) محاسبه هزینه عدم رقابت و انرژی تامین نشده ناشی از قیود خطوط انتقال در هر پریود برای هر طرح:

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

$$C_j = CIN_j + \sum_{t=1}^{Nt} (CNC_{j,t} + CNS_{j,t}) \quad (5)$$

CIN_j مجموع هزینه های سرمایه گذاری طرح j ام؛

$CNC_{j,t}$ هزینه عدم رقابت در پریود t ام برای طرح j ام؛

$CNS_{j,t}$ هزینه انرژی تامین نشده در پریود t ام برای طرح

j ام؛

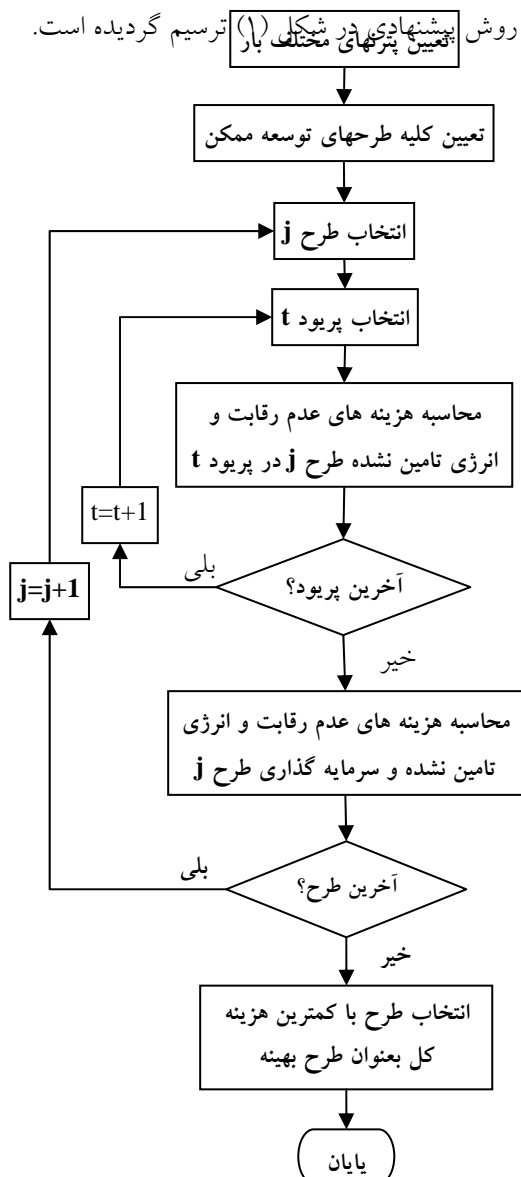
Nt تعداد پریودها؛

و C_j مجموع هزینه های طرح j ام می باشد.

اکنون طرحی که کمترین هزینه فوق را دارد بعنوان بهترین

طرح معرفی می کنیم.

الگوریتم روش پیشنهادی در شکل (۱) ترسیم گردیده است.



شکل (۱) الگوریتم روش پیشنهادی

$$P_{d_i}^{\min} \leq P_{d_i} \leq P_{d_i}^{\max} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, N_{bus} \quad (4e)$$

$$|P_{Line_i}| \leq P_{Line_i}^{\max} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, NI \quad (4f)$$

که

P_{Line_i} توان اکتیو عبوری از خط انتقال i ؛

$P_{Line_i}^{\max}$ حداکثر توان اکتیو قابل انتقال از خط انتقال i ؛

$P_{d_i}^{\min}$ و $P_{d_i}^{\max}$ بترتیب حداقل و حداکثر بار اکتیو در باس i ؛

Ω_k مجموعه خطوط متصل به باس k ؛

X_i راکتانس خط انتقال i ؛

δ_{s_i} و δ_{e_i} بترتیب زاویه ولتاژ باسهای ابتدا و انتهای خط

انتقال i ؛

NI تعداد خطوط انتقال؛

و k یک ضریب ثابت خیلی بزرگ است. بقیه متغیرها قبلا

معرفی شده اند.

در این حالت چنانکه در رابطه (4a) دیده می شود، تابع هدف

پخش بار بهینه، بصورت مجموع هزینه های تولید و مجموع

مصرف با یک ضریب هزینه منفی بزرگ (ضریب k) در نظر

گرفته شده است. لذا در صورتیکه بارزدائی داشته باشیم

مجموع بار کم می شود و چون ضریب آن بسیار بزرگ و

منفی می باشد، مقدار تابع هدف را شدید افزایش می دهد.

بنابراین پخش بار بهینه طوری صورت می گیرد که مجموع

هزینه های تولید حداقل شده و ضمناً حداقل بارزدائی را هم

داشته باشیم. قیود تساوی پخش بار بهینه در این حالت،

روابط (4b) و (4c) هستند که در حقیقت همان معادلات

پخش بار DC می باشند. قیود نامساوی پخش بار بهینه در این

حالت، شامل حدود میزان تولید واحدهای تولید (رابطه 4d)،

حدود حداقل و حداکثر باری که باید در هر باس تامین شود

(رابطه 4e)، و حد ظرفیت توان انتقالی از هر خط (رابطه 4f)

می باشد.

(d) انتخاب بهترین طرح:

هزینه کل هر طرح را از جمع هزینه های عدم رقابت و انرژی

تامین نشده در همه پریودها و هزینه سرمایه گذاری آن طرح

مطابق رابطه زیر بدست می آوریم:

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

در جدول (۱) اطلاعات خطوط موجود و خطوطی که بین باسهای قدیم و باسهای جدید قابل احداث اند و در جدول (۲) اطلاعات باسهای قدیم و جدید آمده است. توابع هزینه تولید باسهای تولید هم شرح زیر است:

جدول (۲) اطلاعات باسها سیستم قدرت مورد مطالعه

شماره باس	حداکثر تولید (Mw)	حداکثر مصرف (Mw)
۱	۱۵۰	۸۰
۲	۰	۲۴۰
۳	۳۶۰	۴۰
۴	۰	۱۶۰
۵	۰	۲۴۰
۶	۶۰۰	۰

$$Cg_1 = 230 + 11P_{g_1} + 0.0007P_{g_1}^2$$

$$Cg_2 = 230 + 10P_{g_1} + 0.0005P_{g_2}^2 \quad (6)$$

$$Cg_6 = 230 + 10P_{g_1} + 0.0004P_{g_6}^2$$

که

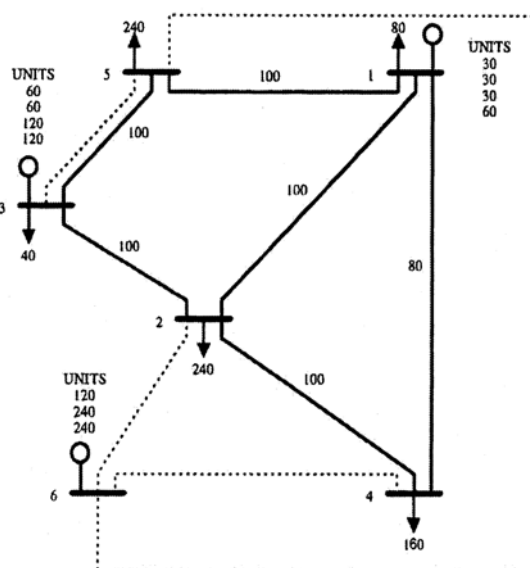
Cg_i هزینه تولید ژنراتورهای باس نام بر حسب دلار بر مگاوات و Pg_i توان اکتیو تولیدی ژنراتورهای باس نام بر حسب مگاوات می باشند.

به منظور سهولت کار میزان تقاضا را در تمام دوره بهره برداری که ۲۰ سال است، ثابت و برابر حداکثر تقاضا فرض می کنیم. بنابراین فقط یک پریود داریم. فرض می کنیم هر یک از خطوط جدول (۱)، تا دو مدار قابل افزایش باشد. بنابراین خطوط موجود هر کدام دو حالت مختلف و خطوط جدید هر کدام سه حالت مختلف ایجاد می کنند. با این فرض، مجموعه طرحهای توسعه ممکن را تشکیل می دهیم که $1728 (= 2^6 * 3^3)$ طرح مختلف بدست می آید زیرا در این سیستم ۶ خط موجود و سه خط جدید داریم.

برای هر طرح، در هر پریود پخش بار بهینه را با شبکه های انتقال ایده آل و واقعی یعنی حالت‌های (۱)، (۲) و (۳) مطابق

۴- بررسی موردی روش پیشنهادی برای یک سیستم قدرت نمونه

روش پیشنهادی این مقاله، برای یک سیستم قدرت ۶ باسه تست (سیستم Garver) که در اکثر مقالات از جمله مرجع [۵] مطرح شده، مورد استفاده قرار گرفته است. شکل (۲) دیاگرام تک خطی این شبکه را نشان می دهد. شایان ذکر است که در این شکل خطوط مقطع، نشان دهنده خطوط انتقال جدید و خطوط توپر نشان دهنده خطوط انتقال موجود شبکه می باشند.



شکل (۲) دیاگرام سیستم قدرت مورد مطالعه

جدول (۱) اطلاعات خطوط سیستم قدرت مورد مطالعه

شماره خط	(از- به)	ظرفیت (Mw)	سوسپتانس (مهر)	هزینه (میلیون دلار)
۱	۲-۱	۱۰۰	۲,۵	۴
۲	۴-۱	۸۰	۱,۶۷	۶
۳	۵-۱	۱۰۰	۵,۰	۲
۴	۳-۲	۱۰۰	۵,۰	۲
۵	۴-۲	۱۰۰	۲,۵	۴
۶	۵-۳	۱۰۰	۵,۰	۲
۷	۶-۲	۱۰۰	۳,۳۳	۳
۸	۶-۴	۱۰۰	۳,۳۳	۳
۹	۶-۵	۷۸	۱,۶۴	۶,۱

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول (۴): ساختار ۵ طرح توسعه با کمترین هزینه

کد طرح	تعداد مدارهای هر خط				
	خط ۱	خط ۲	خط ۳	خط ۴	خط ۵
۱۳۲	۱	۱	۱	۲	۱
۹۹۶	۲	۱	۱	۲	۱
۴۲	۱	۱	۱	۲	۱
۹۸۶	۲	۱	۱	۲	۱
۱۲۲	۱	۱	۱	۲	۱

تعاریف و روابط بخش (۲) به کمک جعبه ابزار Optimization نرم افزار Matlab و با استفاده از دستور fmincon انجام دادیم و هزینه های عدم رقابت و انرژی تامین نشده را با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه نمودیم. سپس مجموع هزینه های سرمایه گذاری و هزینه های عدم رقابت و انرژی تامین نشده را برای هر طرح محاسبه کردیم. بیان نتایج محاسبات برای همه ۱۷۲۸ طرح در اینجا ممکن نیست؛ فقط نتایج ۵ طرحی که کمترین هزینه کل را دارند در جدول (۳) آورده ایم.

جدول (۳): ۵ طرح توسعه با کمترین هزینه

کد طرح	هزینه سرمایه‌گذاری	هزینه عدم تامین انرژی	هزینه عدم رقابت	مجموع هزینه ها
۱۳۲	۴۳,۲۰	۱۶۵,۹۶۷	۲,۵۲۹	۲۱۱,۶۹۶
۹۹۶	۴۷,۲۰	۱۶۵,۷۸۸	۲,۵۲۷	۲۱۵,۵۱۵
۴۲	۴۰,۲۰	۱۸۸,۲۰۷	۲,۹۳۲	۲۳۱,۳۴۰
۹۸۶	۳۸,۱۰	۱۹۱,۱۵۵	۲,۹۶۹	۲۳۲,۲۲۴
۱۲۲	۳۴,۱۰	۱۹۵,۱۸۲	۳,۰۲۰	۲۳۲,۳۰۲

هزینه ها بر حسب میلیون دلار هستند.

۵- نتایج

در این مقاله برنامه ریزی توسعه انتقال با هدف بهینه سازی هزینه های ایجاد رقابت و انرژی تامین نشده مد نظر قرار داشت. لذا ابتدا شبکه انتقال بدون در نظر گرفتن قیود، بعنوان شبکه انتقال ایده آل تعریف گردید و سپس با استفاده از نتایج بخش بار بهینه بر روی شبکه انتقال ایده آل و واقعی در حالت‌های مختلف، هزینه عدم رقابت و هزینه انرژی تامین نشده برای طرح‌های ممکن تعریف شد. سپس مجموع هزینه سرمایه گذاری و هزینه عدم تامین انرژی ناشی از قیود انتقال و هزینه ناشی از عدم رقابت برای انتخاب طرح بهینه معرفی شد و کارائی روش پیشنهادی بر روی یک سیستم قدرت تست ارائه گردید. روش پیشنهادی برای عملیاتی شدن بسیار ساده است و نیاز به اطلاعات زیاد و محاسبات طولانی ندارد. همچنین روش پیشنهادی، تصویری از ترکیب هزینه های مختلف شامل هزینه های سرمایه گذاری، هزینه های عدم رقابت و هزینه های انرژی توزیع نشده ناشی از قیود انتقال در برنامه ریزی توسعه انتقال ارائه می دهد که در تصمیم گیری برای انتخاب طرح نهائی کمک می نماید.

در جدول (۳)، کد طرح‌های با کمترین هزینه و همچنین هزینه سرمایه گذاری، هزینه عدم تامین انرژی ناشی از قیود انتقال، هزینه عدم رقابت و مجموع هزینه های هر طرح بیان شده است. ساختار این پنج طرح در جدول (۴) ارائه گردیده است که تعداد مدارهای هر خط را نشان می دهد. چنانکه در جدول (۳) ملاحظه می شود در روش پیشنهادی هزینه های سرمایه گذاری، هزینه های عدم تامین انرژی ناشی از قیود انتقال، و هزینه های عدم رقابت به تفکیک محاسبه و بیان می شود. بنابراین با محاسبه درصد هر یک از این هزینه ها در مجموع هزینه هر طرح می توان یک تصویر درستی از ترکیب هزینه های هر طرح بدست آورد که این تصویر می تواند در تصمیم گیری برای انتخاب طرح نهائی برای توسعه انتقال کمک موثری نماید.

۶- مراجع

- [1] M. Oloomi Buygi, H. M. Shanechi, G. Balzer and M. Shahidehpour, "Transmission Planning Approches in Restructured Power Systems" *IEEE Bologna. Power Tech Conference.*, Bologna, Italy, June 23-26.
- [2] M. Oloomi Buygi, H. M. Shanechi, and M. Shahidehpour, "Market-Based Transmission expansion planning", *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 19, No. 4, Nov. 2004, PP. 2060-2067.
- [3] P. Attaviryanupap, A. Yokoyama, "Transmission Expansion Planning in the Deregulated Power system Considering Social Welfare and Reliability Criteria", Conference & Exhibition, Asia and Pacific Dalian, China.
- [4] R. Fang, and D. J. Hill, "A New Strategy for Transmission Expansion in Competitive Electricity Markets," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, pp. 374-380, Feb. 2003.
- [5] L. L. Garver, "Transmission Network Estimation using linear programming," *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-89, no. 7, pp. 1688-1697, Sept./Oct. 1970.

[۶] غلامرضا کامیاب، حبیب رجیبی مشهدی، "یک استراتژی و روش جدید برای توسعه انتقال در ساختار رقابتی صنعت برق"، بیستمین کنفرانس بین‌المللی برق ایران، تهران، آبان ماه ۱۳۸۴.