تعیین تعرفه قراردادهای انتقال با تخصیص منصفانه هزینه تراکم

امیر بشیان[1]
amir. bashian@gmail. com
مهرداد حجت[1]
mehrdad. hojat@gmail. com
محمد حسین جاویدی دشت بیاض[2]
h-javidi@ferdowsi. um. ac. ir
تکتم شریفیان عطار[3،1]
t. sharifian@krec. ir

۱. دانشجوی دوره تحصیلات تکمیلی - آزمایشگاه تخصصی مطالعات سیستم و تجدید ساختار
دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد
۲. استاد گروه برق - دانشکده مهندسی- دانشگاه فردوسی مشهد
۳. کارشناس استاندارد تجهیزات شرکت برق منطقه‌ای خراسان

واژه‌های کلیدی: تعرفه انتقال، قرارداد حمل[1]، تراکم

چکیده

در سیستم تجدید ساختار یافته قدرت، تخصیص منصفانه هزینه انتقال بین بازیگران بازار از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین دلیل قیمت دهی خطوط انتقال یکی از مسائل مهم صنعت برق می‌باشد. از دید مالک باید قیمت دهی به گونه‌ای باشد که تمام هزینه‌ها را پوشش دهد. از دید کاربر سیستم، قیمت دهی باید صرفه اقتصادی برای استفاده از سیستم را داشته باشد. در این مقاله سعی شده است روشی منصفانه برای قیمت دهی خطوط انتقال و به ویژه تعیین تعرفه قراردادهای حمل[1] در ساعات پیک و غیر پیک ارائه شود.

ایده این روش در نظر گرفتن تعرفه تراکم برای هزینه حمل در شرایطی است که قرارداد مذکور موجب تراکم در شبکه گردد. در این روش هزینه تراکم به تمامی کاربرانی که در ایجاد آن نقش دارند بر اساس میزان تأثیر گذاری آنها تخصیص پیدا می‌کند. برای این منظور، از روش عوامل توزیع استفاده شده است. در نهایت روش ارائه شده روی شبکه نمونه ۹ باسه پیاده‌سازی و نتایج شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن تعرفه تراکم، هزینه اضافی شبکه در نتیجه متراکم شدن شبکه پوشش داده می‌شود.

1. *Wheeling Contract*

روشی برای مدیریت تراکم در بازار برق ایران

امین رنجبران
عضو هیئت علمی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد گناباد
محمد صادق قاضی‌زاده
عضو هیئت علمی
دانشگاه صنعت آب و برق
ایران

واژه‌های کلیدی: بازار برق، قیمت گذاری پرداخت براساس پیشنهاد، مدیریت تراکم، هزینه فرصت از دست رفته

چکیده

در این مقاله روشی برای مدیریت تراکم با توجه به ساختار بازار ایران و قیمت گذاری پرداخت بر اساس پیشنهاد، ارائه شده است. در این روش پیشنهادی بازار در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول بازار بدون درنظرگرفتن قیود انتقال و براساس اولویت‌بندی واحدهای ارزان‌تر اجرا شده و واحدهای برنده مشخص می‌شوند. در مرحله دوم بازار با درنظرگرفتن قیود انتقال اجرا شده و به تولیدکنندگانی که در مرحله اول در بازار برنده شده‌اند ولی بخاطر محدودیت انتقال نتوانسته‌اند تولیدکنند، خسارتی تحت عنوان هزینه فرصت از دست رفته تعلق می‌گیرد. در مرحله دوم ما این هزینه را در تابع هدف درنظرگرفته‌ایم تا تغییر در آرایش تولید در زمانیکه در شبکه تراکم وجود دارد در کمترین هزینه انجام شود. نتایج شبیه‌سازی بروی یک شبکه ۳۹ شینه IEEE نشان داده شده است.

PSC 2010
25th International
Power System Conference

بیست و پنجمین
کنفرانس بین المللی برق

10-F-EPM-1792

تعیین تعرفه قراردادهای انتقال با تخصیص منصفانه هزینه تراکم

امیر بشیان[۱] amir.bashian@stu-mail.um.ac.ir
مهرداد حجت[۱] mehrdad.hojat@gmail.com
محمد حسین جاویدی دشت بیاض[۲] h-javidi@ferdowsi.um.ac.ir
تکتم شریفیان عطار[۱و۳] t.sharifian@krec.ir

۱- دانشجوی دوره تحصیلات تکمیلی - آزمایشگاه تخصصی مطالعات سیستم و تجدید ساختار - دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه برق - دانشکده مهندسی- دانشگاه فردوسی مشهد
۳- کارشناس استاندارد تجهیزات شرکت برق منطقه‌ای خراسان

واژه‌های کلیدی: تعرفه انتقال،قرارداد حمل (Wheeling Contract)، تراکم

چکیده

در سیستم تجدید ساختار یافته قدرت، تخصیص منصفانه هزینه انتقال بین بازیگران بازار از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین دلیل قیمت دهی خطوط انتقال یکی از مسائل مهم صنعت برق می‌باشد. از دید مالک باید قیمت دهی به گونه‌ای باشد که تمام هزینه‌ها را پوشش دهد. از دید کاربر سیستم، قیمت دهی باید صرفه اقتصادی برای استفاده از سیستم را داشته باشد. در این مقاله سعی شده است روشی منصفانه برای قیمت دهی خطوط انتقال و به ویژه تعیین تعرفه قراردادهای حمل[۱] در ساعات پیک و غیر پیک ارائه شود.

ایده این روش در نظر گرفتن تعرفه تراکم برای هزینه حمل در شرایطی است که قرارداد مذکور موجب تراکم در شبکه گردد. در این روش هزینه تراکم به تمامی کاربرانی که در ایجاد آن نقش دارند بر اساس میزان تأثیر گذاری آنها تخصیص پیدا می‌کند. برای این منظور، از روش عوامل توزیع استفاده شده است. در نهایت روش ارائه شده روی شبکه نمونه ۹ باسه پیاده سازی و نتایج شبیه سازی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن تعرفه تراکم، هزینه اضافی شبکه در نتیجه متراکم شدن شبکه پوشش داده می‌شود.

۱- مقدمه

تجدید ساختار صنعت برق را با مسائل جدیدی از جمله حق انتقال روبرو کرده است. یکی از اهداف تجدید ساختار در صنعت برق کم کردن هزینه تولید انرژی و ارائه سرویس-های بهتر به مصرف کنندگان بوده است[۱]. پس از تجدید ساختار سیستم قدرت، خطوط انتقال در معرض توجه بیشتری قرار گرفته اند. همچنین، در سیستم تجدید ساختار یافته، قرار دادهای دو طرفه افزایش روزافزونی داشته که توجه به دریافت حق انتقال این قراردادها اهمیت زیادی پیدا کرده است[۲].

سؤال مهم این است که: چگونه می‌توان برای ایجاد خطوط انتقال جدید انگیزه ایجاد کرد؟ هزینه زیاد سرمایه‌گذاری توسعه خطوط انتقال از کجا باید تأمین می‌شود؟

تا کنون روش‌های مختلف قیمت‌دهی برای محاسبه هزینه حمل ارائه شده است. اما تعریف قرارداد حمل چیست؟

قرارداد حمل(wheeling contract) به معنی استفاده از خط انتقال یک مالک برای خریداران و فروشندگان دیگر انرژی می‌باشد.

قرارداد حمل در واقع به انتقال انرژی از یک شبکه انتقال واسط برای انتقال توان بین یک خریدار و یک فروشنده دیگر تلقی می‌شود. پس هر قرارداد حمل در واقع شامل سه عضو؛ فروشنده، خریدار و یک یا چند واسط حمل می‌باشد. به واسطه ها در ازای انتقال توان پول پرداخت می‌شود [۶].

روشهای زیادی برای ارزیابی هزینه قراردادهای حمل ارائه شده است. اکثر روشهای ارائه شده بر دو اصل اساسی شامل: مقدار ظرفیت انتقالی به کار گرفته شده و هزینه ظرفیت انتقال استوار می‌باشند.

قرارداد حمل می‌تواند تأثیرات زیادی در شبکه انتقال واسط[1] داشته باشد. این تأثیرات ممکن است افزایش تلفات، ایجاد تراکم «congestion» ، انحراف از توان تولیدی بهینه در شبکه میانی و یا حتی ترکیبی از همه اینها باشد [۱۰و۱۲].

قرارداد حمل می‌تواند یک جانبه یا چند جانبه باشد. روش قیمت‌گذاری برای حالت چند جانبه به نوع قرارداد منعقد شده بستگی مستقیم دارد. توجه به این نکته ضروری است که در قراردادهای چند جانبه، واسطه حمل سعی می‌کند مقدار توان تولیدی شبکه خود را در مقدار بهینه ثابت نگه دارد و تلفات تحمیل شده به شبکه باید توسط خریداران و فروشندگان تأمین شود. قراردادهای حمل را، که عبارت اند از تزریق در یک یا چند باس شبکه و دریافت از یک یا چند باس دیگر، می‌توان به صورت زیر طبقه بندی کرد[۳]:

۱. **نقطه به نقطه**[2]: در این حالت تزریق و بازیابی هر دو در یک شبکه قرار دارند. تزریق کننده‌ها می‌توانند تولید کننده مستقل[3] باشد.

۲. **نقطه تزریق به شبکه داخلی**[4]: در این حالت تزریق از یک شبکه خارجی انجام شده و بازیابی توان در شبکه داخلی انجام می‌شود.

۳. **نقطه دریافت از شبکه داخلی**[5]: در این حالت مصرف کننده می‌تواند در شبکه خارجی قرار گیرد. ولی تولید در شبکه داخلی قرار دارد.

در روش ارائه شده در این مقاله، هزینه انتقال به دو قسمت هزینه ظرفیت انتقال و هزینه تراکم تقسیم خواهد شد. برای تخصیص منصفانه تر هزینه انتقال از عوامل توزیع استفاده شده است. ابتدا، هزینه ظرفیت انتقال با استفاده از روش MW-Mile و با در نظر گرفتن عوامل توزیع محاسبه می‌شود، سپس با اعمال قرارداد حمل به سیستم، هزینه تراکم ناشی از این قرارداد به طرفین قرارداد به صورت منصفانه ای تخصیص پیدا خواهد کرد.

در این مقاله، در بخش دوم، روشهای مختلف قیمت دهی انتقال مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرد. در قسمت سوم، روش عوامل توزیع به صورت مختصر بیان می‌شود. در بخش چهارم، روش جدید ارائه شده برای تعیین تعرفه انتقال با تخصیص منصفانه تراکم بین بازیگران بازار در ساعات پیک و غیر پیک به تفکیک توسط عوامل توزیع بیان می‌گردد. در نهایت و در بخش پنجم، روش ارائه شده روی شبکه نمونه ۹ باسه پیاده سازی و نتایج شبیه سازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- روشهای قیمت دهی انتقال:

روشهای مختلفی برای قیمت دهی خطوط انتقال بیان شده است با اینحال هنوز، روش دقیقی برای استفاده بهینه از خطوط در محیط تجدید ساختار یافته ارائه نشده است..

این روشها را می‌توان به صورت زیر تقسیم بندی نمود:

- روش قیمت دهی پیوندی[6]
- روش قیمت دهی حدی[7]

یک روش کامل قیمت‌دهی باید ۴ خاصیت مهم زیر را داشته باشد: [۷و۸]

۱- شفاف بودن عملکرد

۲- پوشش دادن هزینه سرمایه‌گذاری

[1] Wheeler
[2] Point-to-point
[3] IPP
[4] Inter connected-system-point
[5] Point-inter connected system
[6] Embedded cost method
[7] Marginal cost method

۳- قابلیت بهره برداری مفید از شبکه
۴- عادلانه و قابل قبول بودن برای کاربران شبکه

روش قیمت دهی حدی نمی‌تواند خاصیت ۱ و ۲ را ارضاء کند و به همین خاطر، روشهای قیمت دهی پیوندی به آن ارجح هستند. خاصیت مهم روشهای قیمت دهی پیوندی این است که می‌توانند هزینه کل شبکه را براساس تعداد کاربری آن تخصیص دهند. همچنین، می‌توانند هزینه سرمایه‌گذاری را پوشش دهند. نکته قابل توجه در روشهای قیمت دهی پیوندی این است که در آن یک روش عادلانه برای تخصیص انتقال قائل می‌شود و مالکین خط نمی‌تواند هزینه اضافی به وسیله قدرت بازار دریافت کنند. با اینحال از آنجایی که کل هزینه انتقال را دریافت می‌کنند، سرویس‌دهی بهتری انجام می‌دهند[۵]. . ولی این روش ایراداتی هم دارد که از آن جمله می‌توان به عدم مشخص کردن کاربری زیاد یا کم از تجهیزات شبکه اشاره کرد. نکته مهم این است که هیچ کدام از دو گروه روش ذکر شده، هزینه تلفات و هزینه تراکم را بررسی نمی‌کنند.

روشهای قدیمی تمبرپستی، مسیر قرارداد و مگاوات مایل از جمله روشهای قیمت دهی پیوندی می‌باشند که دوتای اول نیازی به محاسبات پخش بار ندارند ولی روش مگاوات مایل نیاز به پخش بار دارد. اخیراً چند روش جدید برای embedded cost ارائه شده است. از جمله این روشها، روش MVA-mile می‌باشد. در این روش باید پخش بار AC انجام شود و بجای توان اکتیو باید توان حقیقی را مدنظر قرار دهیم تا اثر توان راکتیو در قراردادهای حمل ملحوظ شود[۵ و ۱۴].

روشهای دیگری هم در مقالات جدیدتر ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روشهای ردیابی که تأثیر هر ژنراتور یا بار را در یک خط نشان می‌دهند اشاره کرد. ولی در این روشها به معکوس کردن یک ماتریس با مرتبه بالا(به تعداد باسهای شبکه) نیازمندیم. در مرجع ۷ که در سال ۲۰۰۹ ارائه شده است در مورد تشخیص مسیر قرارداد و قیمت‌دهی قراردادهای حمل بحث شده است. با این روش می‌توان هزینه سرمایه‌گذاری خطوط انتقال را تا حد زیادی جبران کرد. این روش اساساً می‌تواند بیشتر ضعف‌های روش MW-mile را پوشش دهد. از جمله می‌توان به نکات زیر اشاره کرد:

- شفافیت قیمت: این روش به این دلیل که می‌تواند مسیر دقیق را مشخص کند کارایی بیشتری نسبت به روش‌های پیشین برای تعیین قیمت دارد و عادلانه‌تر می‌باشد.
- بازیابی هزینه سرمایه‌گذاری: از نظر بازیابی هزینه سرمایه‌گذاری که از دید مالک خط بسیار مهم است، این روش با روش MW-mile برابری می‌کند.
- بهره‌برداری مؤثر از شبکه الکتریکی: به وسیله این روش هزینه wheeling با افزایش فاصله بیشتر خواهد شد که باعث می‌شود که از قراردادهایی با مسیر طولانی صرفنظر شود.

همچنین در سالهای اخیر روشی که به روش عوامل توزیع معروف است نیز ارائه شده است. در قسمت زیر به تشریح این روش می‌پردازیم.

۳- روش عوامل توزیع:

این عوامل براساس پخش بارهای خطی محاسبه می‌شوند. از این عوامل برای تعیین تأثیر تولید و بارها روی توان انتقالی خطوط استفاده می‌شود. این عوامل می‌توانند به طور مؤثر نحوه استفاده از سیستم انتقال را نشان دهند[۹].

۳-۱- عوامل عمومیت یافته توزیع تولید (GGDF)[1] ها یا عوامل D):

این عوامل تأثیر هر تولید را به توانهای حقیقی انتقال تعیین می‌کنند. بنابراین، می‌توانند منفی هم بشوند. به خاطر اینکه، این عوامل براساس مدل جریان مستقیم هستند می‌توان آنها را فقط برای توانهای حقیقی انتقال به کار برد. عوامل D به صورت زیر تعریف می‌شوند[۹] :

$$F_{l-k} = \sum_{i=1}^{N} D_{l-k,i} G_i$$
$$D_{l-k,i} = D_{l-k,r} + A_{l-k,i} \qquad (۱)$$
$$D_{l-k,r} = \left\{ F^{\circ}_{l-k} - \sum_{i=1}^{N} A_{l-k,i} G_i \right\} \sum_{i=1}^{N} G_i$$

[1] Generalized Generation Distribution Factors

F_{l-k}: کل توان انتقالی بین شینهای k,l

F°_{l-k}: توان انتقالی بین شینهای k,l از تکرار قبل

$D_{l-k,i}$: عامل D مربوط به خط واصل بین‌شینهای k,l به علت تغییر در تولید شین مرجع r

G_i: تولید کل درشین i

$A_{l-k,i}$: عوامل توزیع جابجایی در تولید (GSDF [1] یا عوامل A) مربوط به خط واصل بین‌شینهای k,l به علت تغییر در تولید شین i

GGDFها، استفاده کل (نه افزایشی) از تجهیزات شبکه انتقال حاصل از تزریقات موجود در شبکه را اندازه‌گیری می‌کنند.

۳-۲- عوامل عمومیت یافته توزیع بار (GLDF [2] یا عوامل C):

این عوامل بسیار شبیه GGDFها هستند. GLDFها، سهم هر بار روی توانهای انتقال خطوط را مشخص می‌کنند. همچنین، GLDFها بهای شبکه فوق توزیع در محدوده ناحیه خدماتی یک شرکت توزیع را مشخص می‌کنند. GLDFها یا عوامل C به صورت زیر تعریف می‌شوند[۹] :

$$C_{l-k,r}=\left\{F^{\circ}_{l-k}+\sum_{\substack{j=1\\ j\neq r}}^{N}A_{i-k,j}L_j\right\}/\sum_{j=1}^{N}L_j \qquad (۲)$$

$$C_{l-k.j}=C_{l-k,r}-A_{l-k,j} \qquad (۳)$$

$$C_{l-k.r}=\left\{F^{\circ}_{l-k}+\sum_{\substack{j=1\\ j\neq r}}^{N}A_{i-k,j}L_j\right\}/\sum_{j=1}^{N}L_j \qquad (۴)$$

F_{l-k}: کل توان حقیقی انتقال بین‌شین‌های k,l

F°_{l-k}: توان انتقال بین شینهای k,l از تکرار قبل

$C_{l-k,j}$: عامل C مربوط به خط واصل بین شینهای k,l به علت تقاضا در شین j

$C_{l-k,r}$: GLDF مربوط به خط و اصل بین شینهای k,l به علت بار در شین r

L_j: تقاضای کل درشین j

دقت کنیم که GLDF ها نیز به اساس پخش بار جریان مستقیم به دست می‌آیند.

۴- روش ارائه شده در این مقاله

در روش ارائه شده در این مقاله، هزینه انتقال به دو قسمت هزینه ظرفیت انتقال و هزینه تراکم تقسیم خواهد شد. برای تخصیص منصفانه تر هزینه انتقال از عوامل توزیع استفاده شده است. ابتدا هزینه ظرفیت انتقال با استفاده از روش MW-Mile محاسبه شده سپس با اعمال قرارداد حمل به سیستم، هزینه تراکم ناشی از این قرارداد به طرفین قرارداد به صورت منصفانه ای تخصیص پیدا خواهد کرد.

۴-۱- محاسبه هزینه ظرفیت:

در این روش برای محاسبه هزینه ظرفیت انتقال از رابطه زیر استفاده می‌کنیم[۹]:

$$TC_t = TC\cdot\frac{\sum_{k\in K}C_kL_kMW_{t,k}}{\sum_{t\in T}\sum_{k\in K}C_kL_kMW_{t,k}} \qquad (۵)$$

که در آن:

TC_t : هزینه تخصیص یافته به تبادل t

TC : هزینه کل تمام خطوط

L_k : طول خط k بر حسب مایل

C_k : هزینه به ازای هر مگاوات به ازای واحد طول خط

$MW_{t,k}$: توان انتقالی خط k به علت تبادل t

T : مجموعه تبادلها

K : مجموعه خطوط

با توجه به فرمول بالا، هر کدام از کاربران خط با توجه به میزان استفاده و تأثیر گذاری خود روی خطوط که به وسیله

[1] Generation Shift Distribution Factors
[2] Generalized Load Distribution Factors

عوامل توزیع محاسبه می‌شود، باید هزینه انتقال را پرداخت کنند.

۴-۲- محاسبه هزینه تراکم:

هنگام انعقاد قرارداد حمل، شبکه میانی دچار تغییراتی از جمله انحراف از تولید بهینه و تراکم بعضی از خطوط خواهد شد. لذا طبیعی است که واسطه حمل این هزینه را از طرفین قرارداد حمل اخذ کند. به همین منظور دوباره پخش بار بهینه[1] برای شبکه اجرا می‌شود تا میزان تولید جدید ژنراتورها و مقدار انحراف آنها از مقدار بهینه محاسبه شده و این هزینه‌ها به هزینه انتقال اضافه شود. سپس، اگر خطی دچار تراکم شود، باید هزینه تراکم نیز به صورت منصفانه به طرفین قرارداد تخصیص پیدا کند. لذا پس از محاسبه میزان تأثیر گذاری کاربران سیستم در خطوط متراکم به وسیله عوامل توزیع، این هزینه تراکم به وسیله رابطه زیر به تعرفه تراکم اضافه می‌شود:

$$TP = \frac{TC + CC}{P} \qquad (۶)$$

که در آن

TP : تعرفه حمل برای قرارداد مورد نظر

TC : هزینه ظرفیت انتقال

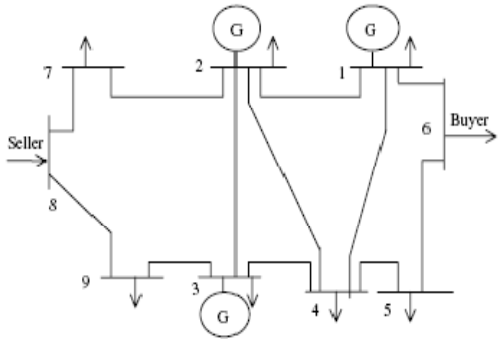
CC : هزینه تراکم

P : مقدار توان انتقالی قراردادی

با توجه به موارد ذکر شده می‌توان، با در نظر گرفتن تراکم، به محاسبه دقیق و عادلانه هزینه انتقال برای یک قرارداد حمل پرداخت. لازم به ذکر است که اگر خطوط وارد تراکم شوند هزینه انتقال در ساعات پیک و غیر پیک متفاوت خواهد بود. در قسمت بعد این روش را روی شبکه نمونه ۹ باسه مورد ارزیابی قرار می‌دهیم.

۵- پیاده سازی روش ارائه شده روی شبکه نمونه:

برای انجام مطالعه روی روش ذکر شده، از شبکه نمونه ۹ باسه (شکل ۱) استفاده شده است[۴]. اطلاعات شبکه نمونه در پیوست آورده شده است. فرض می‌شود که قرارداد حمل بین باس ۶ و ۸ منعقد شده و باس ۸ فروشنده و باس ۶ خریدار می‌باشد.



شکل ۱: شبکه نمونه ۹ باسه

۵-۱- محاسبه هزینه انتقال در ساعات پیک

فرض می‌شود که قراردادی به منظور مبادله قدرت به مقدار ۶۰ MW بین طرفین قرار داد منعقد شده است. با توجه به توپولوژی شبکه و انجام محاسبات، عوامل توزیع C و D به صورت جدول (۱) برای باسهای۶ و ۸ به دست می‌آید.

جدول(۱): عوامل توزیع مربوط به طرفین قرارداد Wheeling

خط	Cij,6	Dij,8
۲-۱	۰/۰۴۴۵۶۸	۰/۴۶۹۹۵
۴-۱	۰/۰۵۷۵۹۷	۰/۰۱۳۶۲۳
۶-۱	۰/۳۵۶۴۵۱	۰/۲۲۵۵۱۹
۳-۲	۰/۰۹۶۲۶۲	-۰/۱۱۸۱۳
۴-۲	۰/۰۵۰۵۷۵	۰/۲۱۶۱۰۲
۷-۲	۰/۱۶۵۰۱۳	-۰/۲۳۷۱۳
۴-۳	۰/۰۲۶۰۸۲	۰/۴۱۲۶۷۱
۹-۳	۰/۱۳۹۶۰۷	-۰/۴۶۸۶۲
۵-۴	-۰/۱۴۸۶۴-	۰/۳۰۸۱۸۸
۶-۵	-۰/۴۳۷۲۵	۰/۰۰۴۰۳۳
۸-۷	۰/۰۹۸۲۲۴	۰/۴۹۳۷۶۱
۹-۸	۰/۱۲۲۷۹۶	۰/۷۲۰۶۴۱

با توجه به مقادیر بالا و عوامل توزیع D برای ۳ ژنراتور موجود، مقدار سهم توان انتقالی هر کدام از باسهای دارای تزریق توان در شبکه به صورت جدول (۲) می‌باشد.

[1] OPF

جدول(۲) : تخصیص استفاده از شبکه انتقال با استفاده از عوامل توزیع

خط	هزینه خط (دلار)	Pij^{G8}	Pij^{G1}	Pij^{G2}	Pij^{G3}
۲-۱	۲۰۰	۲۸/۲	-۵/۳۹	۱۰۴/۴۵	۳۶/۴۷
۴-۱	۸۴۰	۰/۸۲	۵/۷۴	۱۲/۷۷	-۱۰/۸۸
۶-۱	۱۰۰۰	۱۳/۵۳	۳/۳۳	۳۹/۱۷	۱۷/۶
۳-۲	۷۶۰	-۷/۰۹	۱/۹	۹۲/۱۶	-۷۴/۱
۴-۲	۳۰۰	۱۲/۹۷	-۰/۳۴	۵۳/۶۲	۱۲/۹۲
۷-۲	۴۰۰	-۱۴/۲۳	۱/۷	۴۴/۲۶	-۳/۲۶
۴-۳	۳۲۰	۲۴/۷۶	-۱/۶۲	۳۵/۵۶	۶۱/۰۶
۹-۳	۱۲۰	-۲۸/۱۲	۱/۰۱	۶/۱۶	۳۱/۶۹
۵-۴	۶۰۰	۱۸/۴۹	۱/۴	۴۹/۱۲	۳۲/۰۱
۶-۵	۸۰	۰/۲۴	-۱/۲۶	-۱/۱۸	۳/۶۲
۸-۷	۲۸۰	۲۹/۶۳	۰/۶۶	-۰/۲۵	۲۷/۶۱
۹-۸	۳۸۰	۴۳/۲۴	۱/۳۳	۳۷/۳۳	-۶/۹
کل	۵۲۸۰	-	-	-	-

با توجه به مقادیر جدول (۲) هزینه ظرفیت انتقالی مربوط به قرار داد مورد نظر با توجه به رابطه(۵) بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$TC_t = TC \cdot \frac{\sum_{k\in K} C_k L_k MW_{t,k}}{\sum_{t\in T}\sum_{k\in K} C_k L_k MW_{t,k}} \qquad (7)$$

$$= 5280 \times \frac{81962}{81962+13721+230553+148714}$$

$$= 911.16 \frac{\$}{hr}$$

این عدد مربوط به هزینه ظرفیت انتقال می‌باشد که باید از طرفین قرارداد اخذ شود.

در این شبکه نمونه بدون انعقاد قرارداد حمل، هزینه تولید که از اجرای بازار به دست می‌آید، برابر ۵۵۲۶.۵۵ دلار بر ساعت می‌باشد. ولی با انعقاد قرار داد حمل، خط ۱-۶ که توانایی عبور ۶۰ MW توان را داراست، دچار تراکم شده و لذا برای رفع تراکم آن، هزینه تولید شبکه با انحراف از حالت بهینه به مقدار ۵۸۲۴.۴ دلار بر ساعت خواهد رسید.

با توجه به توضیحات ارائه شده در قسمت ۴-۲، این افزایش هزینه که به خاطر تراکم ایجاد می‌شود، باید فقط از طرفین قرارداد به صورت عادلانه اخذ شود. ار جدول (۱) ملاحظه می‌شود که ضریب توزیع بار خریدار و فروشنده قرارداد در توان عبوری خط مذکور به ترتیب برابر ۰/۳۵۶۴۵۱و ۰/۲۲۵۵۱۹ می‌باشد. بنابراین، خریدار مکلف است ۶۲٪ هزینه تراکم و فروشنده ۳۸٪ آن را پرداخت کند.

با توجه به محاسبات انجام شده، هزینه انتقال ناشی از هزینه ظرفیت و هزینه تراکم برابر است با:

$$TTC = TC + CC \qquad (8)$$

$$= 911.16 + 297.85 = 1209.01 \ \$/hr$$

که در رابطه (۸)، TTC هزینه کلی انتقال می‌باشد. با توجه به رابطه (۶)، تعرفه انتقال برای قرارداد مذکور برابر خواهد بود با:

$$TP = \frac{TC + CC}{P} = \frac{1209.01}{60} = 20.15 \frac{\$}{MWh} \qquad (9)$$

مبلغ محاسبه شده در رابطه (۹) را مالک شبکه انتقال واسط(Wheeler) از طرفین قرارداد دریافت می‌کند. لازم به ذکر است که این عدد، با توجه به سهم طرفین قرارداد از ظرفیت انتقالی و تراکم، باید بین آنها تقسیم شود. هزینه ظرفیت انتقال به صورت مساوی بین خریدار و فروشنده تقسیم شده و هزینه تراکم با توجه به سهم آنها از تراکم به طرفین تعلق می‌گیرد(جدول ۳).

جدول(۳) : تعرفه انتقال برای طرفین قرارداد Wheeling

تعرفه انتقال برای طرفین قرارداد ($\frac{\$}{MWh}$)		
تعرفه	خریدار	فروشنده
ظرفیت انتقال	۷.۵۹۳	۷.۵۹۳
تراکم	۳.۰۷	۱.۸۸
کلی انتقال	۱۰.۶۶۳	۹.۴۷۳

۵-۲- محاسبه هزینه انتقال در ساعات غیر پیک

در ساعات غیر پیک، خط ۱-۶ با توجه به اطلاعات بار، که در جدول (۷) ارائه شده است، کمتراز ۶۰ MW از خود عبور می‌دهد و شبکه دچار تراکم نمی‌شود. اطلاعات توان عبوری

خطوط و عوامل توزیع هر کدام از تزریقات در این حالت، در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول(۴) : عوامل توزیع محاسبه شده شبکه در حالت غیر پیک

خط	توان عبوری(MW)	Dij,8	Dij^{G1}	Dij^{G2}	Dij^{G3}
۲-۱	۲	۰/۲۳۳۲۲۱	-۰/۳۱۴	۰/۲۹۹	۰/۱۸۸
۴-۱	۵۵/۱	۰/۱۲۱۵۸۷	۰/۳۳۱	۰/۰۳۱	-۰/۰۷۱
۶-۱	۵۹/۸	۰/۲۸۵۶۱۲	۰/۲۰۹	۰/۱۳۲	۰/۱۰۵
۳-۲	۳۲/۳	-۰/۰۶۴۷۴	۰/۱۰۱	۰/۲۶۳	-۰/۳۷۷
۴-۲	۲۱/۶	۰/۱۵۶۹۸۲	-۰/۰۲۶	۰/۱۵۵	۰/۰۶۳
۷-۲	۳۷/۲	-۰/۱۹۹۵۷	۰/۱۰۳	۰/۱۴	-۰/۰۰۵
۴-۳	۱۶/۲	۰/۲۸۹۹۲۳	-۰/۰۹۹	۰/۰۹۷	۰/۳۱۷
۹-۳	۲۴/۹	-۰/۴۶۲۳۵	۰/۰۶۳	۰/۰۲۶	۰/۱۷۴
۵-۴	۴۱/۷	۰/۲۸۱۰۵۹	۰/۰۶۷	۰/۱۴۳	۰/۱۷
۶-۵	۱/۳	۰/۰۵۵۲۸۲	-۰/۰۴۲	۰/۰۳۳	۰/۰۵۹
۸-۷	۲۳/۳	۰/۵۳۱۴۶۳	۰/۰۶۰۱	۰/۰۲۵	۰/۱۶۸
۹-۸	۳۵/۵	۰/۷۹۳۷۷۸	۰/۱۰۱	۰/۱۳۸	-۰/۰۰۶

با توجه به محاسبات انجام شده هزینه ظرفیت انتقال در این حالت برابر است با:

$$TC_t = TC \cdot \frac{\sum_{k\in K} C_k L_k MW_{t,k}}{\sum_{t\in T}\sum_{k\in K} C_k L_k MW_{t,k}} \qquad (10)$$

$$= 5280 \times \frac{82936}{82936+46835+133963+237456}$$

$$= 873.72 \frac{\$}{hr}$$

و با توجه به رابطه (۶) تعرفه انتقال برای این قرارداد در حالت کم باری برابر

$$TP = \frac{TC}{P} = \frac{873.72}{60} = 14.56 \frac{\$}{MWh} \qquad (11)$$

می‌باشد که شبکه انتقال واسط از طرفین قرارداد دریافت می‌کند. هزینه ظرفیت انتقال به صورت مساوی بین خریدار و فروشنده تقسیم می‌شود. در نتیجه، هرکدام از طرفین قرارداد باید ۶.۷۴ $/MWh برای انتقال توان پرداخت کنند. ملاحظه می‌شود که در ساعات غیر پیک هزینه انتقال کاهش زیادی نسبت به ساعات پیک دارد. علت اصلی این امر عدم ایجاد تراکم در خطوط می‌باشد.

۶- نتیجه گیری:

قیمت گذاری صحیح انتقال میتواند بهره برداری مؤثر از بازارهای برق را ترویج داده و سرمایه گذاری تولید و خطوط انتقال را تشویق کند. روش قیمت دهی حدی خطوط انتقال نمی تواند تمام هزینه های جاری و سرمایه گذاری خطوط انتقال را پوشش دهد. به همین دلیل روشهای قیمت دهی پیوندی ترویج بیشتری یافته است. در این مقاله، ابتدا روشهای مختلف قیمت دهی انتقال مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. سپس، نحوه قیمت دهی در حالت وقوع تراکم اصلاح و با توجه به مقدار سهم بازیگران از تراکم، تعرفه انتقال مشخص می‌شود. همچنین، تعیین تعرفه حمل در ساعات پیک و غیر پیک در یک شبکه نمونه مورد مقایسه قرار گرفت. می توان با افزایش هزینه انتقال در ساعات پیک، کاربران را تشویق کرد که بار خود را به ساعات غیر پیک انتقال دهند.

۷- پیوست:

جدول(۵): اطلاعات خطوط شبکه نمونه

شماره خط	باسهای منتهی به خط	R(p.u)	X(p.u)	Y(p.u)
۱	۲-۱	۰/۰۴۲	۰۱۶۸	۰/۰۴۱
۲	۴-۱	۰/۰۳۱	۰/۱۲۱	۰/۰۳۱
۳	۶-۱	۰/۰۵۳	۰/۲۱	۰/۰۵۱
۴	۳-۲	۰/۰۳۱	۰/۱۲۶	۰/۰۳۱
۵	۴-۲	۰/۰۸۴	۰/۳۳۶	۰/۰۸۲
۶	۷-۲	۰/۰۵۳	۰/۲۱	۰/۰۵۱
۷	۴-۳	۰/۰۵۳	۰/۲۱	۰/۰۵۱
۸	۹-۳	۰/۰۵۳	۰/۱۲۶	۰/۰۵۱
۹	۵-۴	۰/۰۳	۰/۱۲۶	۰/۰۳۱
۱۰	۶-۵	۰/۰۳۱	۰/۱۲۶	۰/۰۳۱
۱۱	۸-۷	۰/۰۳	۰/۱۲۶	۰/۰۳۱
۱۲	۹-۸	۰/۰۱۵	۰/۰۵۱۳	۰/۰۱۵

جدول(۶) : اطلاعات ژنراتورهای شبکه نمونه

Generator	$C(P_g)=A.P_g^2+B.P_g+C$ ($/hr)			Q_{gmax} (MVar)	Q_{gmin} (MVar)	P_{gmax} (MW)	V (p.u)
	A	B	C				
1	/۰۰۱۵۶ ۰	/۹۲ ۷	۵۶ ۱	۸۰۰	۸۰۰ –	۱۰۰ ۰	۱/۰۶
2	/۰۰۱۹۴ ۰	/۸۵ ۷	۳۱ ۰	۱۰۰	-۹۰	۴۰۰	/۰۴۵ ۱
3	/۰۰۴۸۲ ۰	/۹۷ ۷	۷۸	۱۰۰	-۹۰	۴۰۰	۱/۰۱

جدول (۷) : اطلاعات بار شبکه نمونه

حالت	بار	باس ۱	باس ۲	باس ۳	باس ۴	باس ۵	باس ۷	باس ۹
پیک	اکتیو(MW)	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۶۰	۶۰
	راکتیو(MW)	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۲۰	۲۰
غیر پیک	اکتیو(MW)	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۴۰	۵۰	۵۰
	راکتیو(MW)	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰

۸- مراجع:

[1] Bin Liu, Yafang Liu and Tsuginon Inaba; A New Wheeling Price Calculation Method Considering Transmission Line Congestion and Loss Costs; 2004 lntematlonal Conference on Power System Technology,Singapore, 21-24 November 2004.

[2] S P Zhu ;Some Considerat ions on Transmission Services Concerning Optimizing Wheeling Parties' Benefits; IEEE Catalogue No. 95TH8130.

[3] E. Handschin, L. Muller, T. Nikodem, R. Palma; Comparison of Pricing Methodologies for Wheeling Transactions in Liberalised Energy Supply Systems; Paper accepted for presentation at the International Conference on Electric Utility Deregulation and City University, London, 4-7 April 2000.

[4] Yousefi, G.R, Seifi, H; Wheeling charges with consideration of consumer load modeling; Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES , Publication Year: 2004 , Page(s): 168 - 173 vol 1.

[5] M. Majidi Q, M. S. Ghazizadeh, S. Afsharnia; A Novel Approach to Allocate Transmission Embedded Cost Based on MW-Mile Method under Deregulated Environment; 2008 IEEE Electrical Power & Energy Conference.

[6] Mohammad Yusri Hassan; MW-Mile Charging Methodology for Wheeling Transaction; A thesisn submitted for thr degree of doctor of Philosophy at the university of Strathclyde,june 2004.

[7] Hiromu Hamada, Hideo Tanaka, Ryuichi Yokoyama; Wheeling Charge Based on Identification of Transaction Paths in Deregulated Power Markets; Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2009 Proceedings of the 44th International Publication Year: 2009 .

[8] R. Gnanadass and N. P. Padhy; A New Approach for Transmission Embedded Cost Allocation in Restructured Power Market ;Journal of Energy & Environment 4 (2005) 37 – 47.

۹- محمد شاهیده پور،حاتم یمین، زوی لی،"عملیات بازار در سیستم‌های الکتریکی قدرت"،مترجمان: حسین سیفی، غلامرضا یوسفی، میر محسن پدرام، دانشگاه تربیت مدرس،۱۳۸۴.

[10] Ji Wang,Furong Li; Optimal economic environmental dispatch considering wheeling charge;Universities Power Engineering Conference, 2004. UPEC 2004. 39th International, Publication Year: 2004, Page(s) : 398 - 401 Vol. 1.

[11] Pornthep Panyakaew and Parnjit Damrongkulkamjorn, ;Optimal Loss Allocation of Multiple Wheeling Transactions in a Deregulated Power System;5th International Conference on Electrical and Computer Engineering ICECE 2008, 20-22 December 2008, Dhaka, Bangladesh.

[12] T. Nakashima, T. Niimura, IS. Okada, R. Yokoyama, N. Okada; Multiple-Impact Assessment of Wheeling and Independent Power Producers In a De-Regulated Power System; Electrical and Computer Engineering, 1998. IEEE Canadian Conference on , Publication Year: 1998 , Page(s): 89 - 92 vol.1.

[13] M. P. Abdullah, M. Y. Hassan and F. Hussin; Congestion Cost Allocation in a Pool-Based Electricity Market; 2nd IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08), December 1-3, 2008, Johor Baharu, Malaysia.

[14] Ching-Tzong Su, Ji-Horng Liaw; Power Wheeling Pricing Using Power Tracing and MVA-KM Method; Paper accepted for presentation at PPT 2001 2001 IEEE Porto Power Tech Conference 10^{th} -13^{th} September, Porto, Portugal.

۱۵- دنیل اس.کرشن،گوران استربک،"اقتصاد سیستم قدرت"، مترجمان: کارشناسان دبیرخانه هیات تنظیم بازار برق ایران، دبیرخانه هیأت تنظیم بازار برق،۱۳۸۶.