

تخصیص ارزش - محور هزینه‌های خدمات انتقال برق

مجید روستایی^۱ محمد کاظم شیخ‌الاسلامی^۲

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس

m.roustaei@modares.ac.ir

۲- استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس

aleslam@modares.ac.ir

چکیده: با افزایش سطح رقابت در بازار برق، ضرورت پیاده‌سازی یک روش جامع جهت تخصیص هزینه‌های خدمات انتقال بیشتر شده است. در یک شبکه انتقال، تنها بخشی از ظرفیت برای انتقال توان (جهت استفاده تجاری) استفاده می‌شود و بخش قابل توجهی از آن برای حاشیه امنیت سیستم (جهت حفظ پایایی) اختصاص می‌یابد؛ بنابراین بایستی در روش تخصیص هزینه، نقشهای تجاری و پایایی تجهیزات انتقال توأمان لحاظ شود. تاکنون روش‌های متعددی برای تخصیص هزینه خدمات انتقال برق پیشنهاد شده است؛ اما در این روشها، سهم کاربران غالباً بر اساس میزان استفاده فیزیکی تعیین می‌شود و توجهی به ارزش اقتصادی ظرفیت انتقال نشده است. در این مقاله، روشی ارزش-محور برای قیمت‌گذاری خدمات انتقال پیشنهاد گردیده و با تعریف ظرفیتهای «تجاری» و «پایایی» برای تجهیزات انتقال، هر دو نقش مذکور لحاظ شده است. در روش پیشنهادی، ظرفیت تجهیزات بر اساس ارزش تجاری و پایایی آنها به دو بخش تقسیم می‌شود و هزینه خدمات انتقال تنها به کسانی تخصیص داده می‌شود که از حضور تجهیزات سود برده‌اند و یا در تخصیص ظرفیت لازم برای پایایی شبکه سهم دارند. روش پیشنهادی با کمک یک شبکه ۳ شینه تشریح و بر روی شبکه ۲۴ شینه استاندارد IEEE پیاده‌سازی شده و با روش بیالک مقایسه شده است.

کلمات کلیدی: بازار برق، خدمات انتقال، تخصیص هزینه، قیمت‌گذاری، ارزش محور، ظرفیت تجاری، پایایی.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۱/۱۰/۲۳

تاریخ قبول مشروط: ۱۳۹۲/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۰۸

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر محمد کاظم شیخ‌الاسلامی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: تهران - بزرگراه جلال آل احمد - پل نصر - دانشگاه تربیت مدرس - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

۱- مقدمه

در محیط رقابتی بازار برق، تخصیص مناسب هزینه خدمات انتقال برق به بهره‌برداری کارآمد، سرمایه‌گذاری کافی در بخش های تولید و انتقال و همچنین جبران مناسب‌تر هزینه‌های انتقال منجر می‌شود. مهمتر از اینها، تخصیص هزینه خدمات انتقال بایستی عادلانه و دارای ضمانت اجرایی باشد. پیشنهاد چنین روشی بسیار مشکل است و تحقیقات صورت گرفته در این زمینه نشان می‌دهد که هنوز اجماعی عمومی برای این موضوع وجود ندارد [۱].

سرشکن کردن هزینه‌های انتقال به کلیه مصرف‌کنندگان که در سیستم‌های سنتی برق مرسوم بود، چندان عادلانه نیست و بدیهی است در یک محیط رقابتی، سیاست‌گذاری تخصیص هزینه‌های انتقال بایستی در جهت کاهش یا حذف هزینه‌های عمومی^۱ و مبتنی بر تخصیص هزینه به ذینفعان^۲ انتقال باشد [۲]-[۴]. هزینه‌های انتقال بایستی به کسانی تخصیص داده شود که در یک محدوده برنامه‌ریزی یا بهره‌برداری، از تجهیزات انتقال مربوطه منتفع می‌گردند [۵].

از سوی دیگر، تجهیزات انتقال در پایایی^۳ کل سیستم نقش بسزایی دارند؛ بر اساس گزارش «شورای پایایی آمریکای شمالی»^۴، حدود ۳۵٪ شبکه آتی انتقال آمریکای شمالی در سطح ۲۰۰ کیلوولت و بالاتر برای تأمین نیازهای پایایی شبکه می‌باشد [۶].

با توجه به تقاضای روزافزون مصرف برق و افزایش سطح رقابت در این حوزه، چنانچه زیرساختهای انتقال با افزایش رشد بار و سطح رقابت در بازار برق گسترش داده نشود، پایایی سیستم دچار مخاطره خواهد شد. اما حفظ پایایی تنها یکی از عوامل توسعه شبکه انتقال محسوب می‌شود و عوامل دیگری همچون توسعه نیروگاه‌های جدید (خصوصاً بر پایه انرژی‌های تجدیدپذیر)، کاهش هزینه‌های تولید، بهبود قیمت‌ها در بازار برق و سیاست‌های حاکم بر بازار نیز از محرکه‌های توسعه شبکه می‌باشند [۷]؛ اما توسعه مناسب شبکه انتقال، مستلزم استفاده از روش‌های قیمت‌گذاری مناسب‌تر و عادلانه‌تری می‌باشد تا انگیزه سرمایه‌گذاری در توسعه شبکه انتقال را افزایش دهد.

روش‌های مختلفی برای تخصیص هزینه‌های انتقال پیشنهاد شده است و مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ مهمترین روش‌های تخصیص هزینه‌های انتقال عبارتند از: مگاوات‌مایل^۵، تمبر پستی^۶، مسیر قراردادی^۷، ظرفیت استفاده‌نشده انتقال^۸، عوامل

توزیع^۹، ردیابی کرشن^{۱۰} و بیالک^{۱۱} و سایر روش‌های مرسوم دیگر [۸ و ۱].

در تحقیقات اخیر، نمونه‌های دیگری از تخصیص هزینه‌های انتقال بررسی و پیشنهاد شده است که اغلب توسعه روش‌های قبلی و خصوصاً مبتنی بر ردیابی توان می‌باشند. [۹] روش جدیدی برای تخصیص هزینه‌های انتقال ارائه می‌دهد که بر اساس میزان استفاده از شبکه انتقال می‌باشد و مبنای آن، شارش توان در تجهیزات است. در [۱۰] روش دیگری پیشنهاد شده است که مبنای آن ماتریس امپدانس شبکه و اصلاح آن برای تخصیص هزینه انتقال است. این روش‌ها را می‌توان در دسته روش‌های ردیابی طبقه‌بندی کرد. در تحقیق مشابه دیگری نیز، ردیابی شارش توان در خطوط مبنای تخصیص هزینه قرار گرفته است [۱۱]. روش‌های پیشنهادی مذکور، در عین سادگی قابل استفاده در شبکه‌های مختلف می‌باشند اما مبنای کار اغلب آنها، معمولاً ردیابی توان حقیقی در شبکه و تعیین سهم هر کدام از بارها و ژنراتورها از عبور توان می‌باشد ولی منافع اقتصادی بازیگران لحاظ نشده است.

مرجع [۱۲]، روشی برای تخصیص هزینه خدمات انتقال با کمک قیمت‌گذاری گرهی ارائه کرده است که در آن، بجای قیمت‌های ثابت محلی (LMP)^{۱۲} از الاستیسیته قیمت در هر گره استفاده شده است و محاسبات آن بر اساس منافع ناشی از اختلاف قیمت در دو سوی خطوط می‌باشد. در بازارهای نامتمرکز^{۱۳}، دو مفهوم قیمت‌گذاری با عناوین «تعرفه نقطه به نقطه»^{۱۴} و «تعرفه نقطه اتصال»^{۱۵} کاربرد دارد. تعرفه نقطه به نقطه با کمک پخش بار محاسبه شده و روشی است که بر مبنای تراکنش توان^{۱۶} تعریف می‌گردد (مانند روش مگاوات‌مایل)، اما در روش نقطه اتصال، موقعیتهای جغرافیایی بازیگران در تخصیص هزینه اهمیتی ندارد (مانند روش تمبر پستی) [۱۳].

اغلب روش‌های قیمت‌گذاری، سهم هر بازیگر (استفاده‌کننده انتقال) را بر اساس میزان استفاده در حالت نرمال تعیین می‌کنند و کارکرد پایایی لحاظ نمی‌شود. معمولاً این نکته فراموش می‌شود که بخشی از ظرفیت شبکه انتقال برای الزامات پایایی شبکه است؛ هرچند در برخی روش‌های پیشنهادی، پایایی نیز لحاظ شده است [۱۴ تا ۱۹]، اما اغلب تحقیقاتی که پایایی را لحاظ کرده‌اند، تنها به تخصیص هزینه بر اساس پایایی اکتفا کرده‌اند که فقط جنبه نظری دارد؛ این روش‌ها به تنهایی قابل استفاده در شبکه‌های انتقال نمی‌باشد و در صورت استفاده، از روش‌های دیگر ناعادلانه‌تر است. در این میان تعداد تحقیقاتی که هر دو



جنبه تجاری و پایایی را در نظر گرفته‌اند، انگشت شمارند. در عمده‌ترین مقالاتی که پایایی را لحاظ کرده‌اند، [۱۵] روشی احتمالاتی بر اساس شاخص‌های پایایی برای تخصیص هزینه پیشنهاد داده است. برای این منظور، میزان استفاده هر بازیگر از شبکه انتقال در شرایط بهره‌برداری نرمال تعیین شده و با کمک شاخصهای مبتنی بر حساسیت، چارچوبی برای تخصیص هزینه پیشنهاد شده است. این تحقیق، دارای چارچوب مناسبی است اما تخصیص هزینه در آن، تنها بر اساس پایایی می‌باشد. در تحقیقات دیگر نیز، وضعیت مشابهی حکمفرماست [۱۴، ۱۷، ۱۸ و ۱۹]. در این بین، [۱۶] جزء معدود تحقیقاتی است که هر دو جنبه استفاده تجاری و پایایی را توأمان لحاظ کرده است. اما در تحقیق مذکور، تنها بر اساس بازارهای با ساختار دوجانبه^{۱۷} اقدام شده است و برای بازارهای با ساختار متمرکز^{۱۸} قابل تعمیم نیست. در سالهای اخیر، روش‌هایی بر اساس معیارهای اقتصادی تر پیشنهاد شده است؛ در یکی از تحقیقات [۲۳]، تخصیص هزینه بر اساس هزینه‌های حدی بلندمدت (LRMC)^{۱۹} پیشنهاد شده است و در موردی دیگر، هزینه‌های انتقال بر اساس ضرایب بهبودیافته توزیع بار به بازیگران تخصیص داده شده است [۲۴].

بطور کلی، اغلب روشهای قیمت‌گذاری، سهم هر بازیگر را بر اساس میزان استفاده و نه ارزش استفاده تعیین می‌کنند؛ بررسی تحقیقات منتشرشده در این حوزه، بیانگر نوعی خلأ برای تخصیص هزینه انتقال بر اساس ارزش آن می‌باشد؛ روشی که بتواند علاوه بر لحاظ کردن نقش تجاری شبکه انتقال، نقش پایایی آن را نیز لحاظ و تفکیک نماید و بطور معقول‌تری، هزینه‌ها را تخصیص دهد.

نوآوری و ایده این مقاله، در دو موضوع است: اولاً، نحوه تخصیص هزینه به صورت ارزش-محور و ثانیاً، لحاظ کردن هر دو نقش تجاری و پایایی ظرفیت شبکه انتقال در تخصیص هزینه خدمات آن. از دیدگاه یک بازیگر (استفاده‌کننده شبکه انتقال)، خدمات انتقال نوعی خدمت است که برای وی سود به همراه دارد (ارزش تجاری دارد). بنابراین بدیهی است کسانی باید هزینه‌های شبکه را بپردازند که بیشتر از آن منتفع شده‌اند؛ اما نه بر مبنای مقدار استفاده که بر مبنای ارزش استفاده. به عبارت دیگر، عادلانه‌تر آن است که هزینه‌های انتقال به صورت ارزش محور تخصیص داده شود و از سوی دیگر، برای حفظ پایایی شبکه، به بخشی از ظرفیت تجهیزات نیازمندیم و ضروریست هزینه این ظرفیت (پایایی) نیز توأمان تخصیص داده شود.

در ادامه، روش پیشنهادی در چند زیر بخش تشریح می‌گردد. در بخش دوم توضیحاتی برای سمت تخصیص هزینه داده

خواهد شد. در بخش سوم، روش پیشنهادی و روابط آن معرفی می‌گردد و در بخش چهارم بر روی شبکه سه‌شینه نمونه پیاده سازی و تشریح می‌گردد و نهایتاً بر روی شبکه ۲۴ شینه IEEE آزمایش و با روش ردیابی بیالک مقایسه خواهد شد.

۲- تخصیص هزینه به مصرف‌کننده یا تولیدکننده

یکی از موارد مطرح در تخصیص هزینه‌های انتقال، سمت تخصیص هزینه می‌باشد؛ اینکه کدام یک از دو سمت «تولید» و «بار»، مسئول پرداخت هزینه‌های انتقال است. در نهایت هزینه‌های تولید و انتقال از مشتریان نهایی اخذ خواهد شد، اما با وجود روشهای متعدد تخصیص هزینه انتقال، نحوه تخصیص می‌تواند بر عملکرد بازار و یا برنامه‌ریزی توسعه تأثیرگذار باشد، خصوصاً در بازارهای با رقابت بیشتر که قیمت‌های نهایی اختلاف چندانی با هزینه‌های مربوطه ندارند.

بر اساس دستورالعمل «انجمن تنظیم انرژی فدرال» (FERC)^{۲۰}، تعیین سمت تخصیص هزینه استفاده از تجهیزات انتقال (به بار یا تولید)، به تحلیل و تفسیر ما از شبکه انتقال مربوطه بستگی دارد؛ اینکه ذینفعان خدمات انتقال در آن چه کسانی هستند. بهرحال باید تخصیص هزینه بر اساس میزان سودی که بازیگران می‌برند باشد [۱۹].

در عمل، اغلب روش‌های متداول مورد استفاده در بازارهای برق، با استدلال بر این تفسیر (متداول صنعت برق سنتی) که نهایتاً مصرف‌کننده بایستی هزینه تولید و انتقال را بپردازد، تخصیص هزینه به سمت بار را مبنای کار قرار داده‌اند، هرچند که در تحقیقات آکادمیک، غالباً تخصیص به سمت تولید در نظر گرفته شده است.

طبق یک قاعده کلی، اغلب بهره‌برداران انتقال در ایالات متحده، صرفنظر از روش تخصیص هزینه، سمت بار را مسئول پرداخت هزینه‌های انتقال می‌دانند. در این میان، ژنراتورها تنها عهده‌دار پرداخت هزینه مربوط به تجهیزاتی می‌باشند که مستقیماً برای اتصال به شبکه از آنها استفاده می‌کنند. در اروپا، در ۱۳ کشور (مانند آلمان و اسپانیا)، کل هزینه خدمات انتقال به بار نسبت داده می‌شود و در ۱۲ کشور دیگر، هر دو سمت بار و تولید مسئول پرداخت هستند و سهم پرداخت بخش تولید از کل هزینه، از ۵٪ در لهستان تا ۳۵٪ در نروژ متغیر است. در کشورهای دیگر، شرایط مختلفی حاکم است؛ در استرالیا و سنگاپور، بارها ۱۰۰٪ مسئول پرداخت می‌باشند، در برزیل و کره جنوبی، بار و تولید بطور مساوی (۵۰٪) و در شیلی، سمت تولید ۸۰٪ و سمت بار ۲۰٪ هزینه‌های انتقال را پرداخت می‌کنند [۷].

در الگوریتم پیشنهادی در این مقاله، در بخش ظرفیت تجاری، بر اساس تخصیص به ذینفعان عمل شده است (که می‌توانند سمت بار یا تولید باشند) و در بخش ظرفیت پایایی با استفاده از یک ضریب وزنی، آزادی عمل برای تخصیص هزینه بر هر دو سمت (بار و تولید) وجود دارد اما در مطالعات موردی، از سهم مساوی (۵۰٪) استفاده شده است.

۳- تشریح روش پیشنهادی برای تخصیص هزینه

اگر ظرفیت انتقال محدود باشد به نحوی که برای انتقال انرژی از طریق یکی از تجهیزات انتقال دچار محدودیت شویم، تراکم^{۲۱} اتفاق می‌افتد که باعث اختلاف قیمت در بخش‌های مختلف شبکه می‌گردد و یکی از تبعات آن، تغییر سود بازیگران است. بنابراین تغییر ظرفیت تجهیزات انتقال، می‌تواند سود بازیگران را تغییر دهد. از دیدگاهی دیگر، پایایی سیستم قدرت به ظرفیت تجهیزات بستگی دارد و در صورت کمبود این ظرفیت، پایایی سیستم به مخاطره می‌افتد.

بنابراین ظرفیت تجهیزات انتقال را می‌توان به دو بخش «ظرفیت تجاری»^{۲۲} و «ظرفیت پایایی»^{۲۳} تقسیم کرد؛ هزینه‌های ظرفیت اول از طریق محاسبه فلو (نرمال) شبکه و تعیین سود بازیگران قابل بررسی و تخصیص است. اما ظرفیت دوم، اساساً در مواقع پیشامد مطرح شده و هزینه آن نیز معمولاً به تعداد بیشتری از بازیگران تخصیص داده می‌شود. تعیین دو ظرفیت فوق برای تجهیزات انتقال کاری بسیار پیچیده و مشکل است، ولی لحاظ کردن توامان هر دو بخش تجاری و پایایی در تخصیص هزینه نیز اجتناب‌ناپذیر است؛ بنابراین در روش پیشنهادی، با تعریف دو ظرفیت فوق سعی بر این است که چارچوب جامع‌تری برای تخصیص هزینه انتقال ارائه شود.

ظرفیت تجاری یک تجهیز انتقال، آن بخشی از ظرفیت آن تعریف می‌شود که در فرآیند تسویه بازار استفاده می‌شود؛ بنابراین از پخش بار بهینه قابل محاسبه است و می‌توان آن را به صورت فلو عبوری از تجهیز در شرایط نرمال تعریف نمود. مابقی ظرفیت تجهیز انتقال، که غالباً در شرایط پیشامد مورد استفاده قرار می‌گیرد، ظرفیت پایایی تعریف می‌گردد. در واقع اگر ظرفیت تجاری را کاهش دهیم، سود و زیان بازیگران مستقیماً تغییر می‌کند و اگر ظرفیت باقیمانده (که ظرفیت پایایی نامیده شده) را کاهش دهیم و یا حذف کنیم، پایایی سیستم به مخاطره می‌افتد. بنابراین:

$$S_R = S_{Max} - S_C \quad (1)$$

که:

S_{Max} : حداکثر ظرفیت تجهیز انتقال
 S_C و S_R : به ترتیب، ظرفیت تجاری و قابلیت اطمینان تجهیز انتقال

با تعریف فوق، میتوان گفت که $K\%$ از ظرفیت هر تجهیز انتقال تجاری و $(100-K)\%$ از آن برای پایایی است. در شرایط مختلف، K بین ۰ تا ۱۰۰ تغییر میکند و برای شرایط مرزی موارد زیر قابل تأمل است:

➤ اگر برای یک تجهیز انتقال، مقدار K برابر ۱۰۰ باشد، به معنای آن است که کل ظرفیت آن برای عبور توان در حالت نرمال استفاده شده است. بنابراین متراکم است و کل ظرفیت آن تجاری محسوب می‌شود. در واقع در این حالت، از جنبه‌های دیگر تجهیز صرفنظر کرده و صرفاً بر اساس منافع تجاری، هزینه‌های آن را به بازیگرانی تخصیص می‌دهیم که از وجود آن سود برده‌اند.

➤ اگر برای یک تجهیز انتقال، مقدار K برابر صفر باشد (عملاً امکان‌پذیر نیست)، به معنای آن است که در حالت نرمال هیچ توانی از آن عبور نمی‌کند. بنابراین کل ظرفیت آن برای پایایی لحاظ می‌شود و در واقع در این حالت فرض می‌گردد که هیچ بازیگری مستقیماً از وجود آن سود نبرده است و هزینه‌های آن را صرفاً بر اساس الزامات پایایی، به بازیگران تخصیص می‌دهیم.

در ادامه، الگوریتم پیشنهادی جهت تخصیص هزینه خدمات انتقال در دو بخش تجاری و پایایی تشریح می‌گردد.

۳-۱- تخصیص هزینه برای ظرفیت تجاری

برای ظرفیت تجاری انتقال، تخصیص هزینه خدمات انتقال به صورت ارزش-محور و بر اساس منافع استفاده‌کنندگان از ظرفیت هر تجهیز مبنای کار قرار گرفته است. با تعیین تأثیر هر کدام از تجهیزات بر میزان پرداختی مصرف‌کنندگان و یا درآمد تولیدکنندگان، سهم هر بازیگر از تجهیزات انتقال بدست می‌آید. در واقع بر اساس این مفهوم، سود بازیگران با و بدون حضور هر کدام از تجهیزات انتقال محاسبه و با هم مقایسه می‌شود تا ذینفعان وجود تجهیزات مذکور و سهم هر کدام مشخص شود. برای تشریح بهتر موضوع، روش پیشنهادی در چندین گام تشریح خواهد شد.

گام ۱: مدلسازی فرآیند تسویه بازار

برای مدلسازی فرآیند تسویه بازار و یافتن قیمت (LMP) در گره‌های مختلف، از پخش‌بار بهینه مستقیم (DC-OPF) استفاده



شده است. در این میان، فرض بر این است که بارها غیر الاستیک بوده و بر این اساس، برای حداکثر کردن رفاه اجتماعی (جهت تسویه بازار)، کافی است هزینه تولید ژنراتورها حداقل شود [۸]. دلیل استفاده از پخش بار بهینه مستقیم برای مدلسازی فرآیند تسویه بازار این فرض است که محدودیت توان راکتیو در فرآیند تخصیص هزینه و قیمت گذاری خدمات انتقال لحاظ نمی شود و اساساً استفاده از پخش بار جریان متناوب، فقط بر پیچیدگی موضوع می افزاید. ضمناً برای مدلسازی واقعی تر، فرض بر این است که در شبکه مورد مطالعه، حد مشخصی از پایداری بر اساس معیار N-1 رعایت می شود و خروج تجهیزات مختلف، شبکه را ناپایدار نمی کند.

گام ۲: محاسبه پرداختی مصرف کنندگان و درآمد تولید کنندگان پرداختی مصرف کنندگان و درآمد تولید کنندگان با توجه به روابط (۲) و (۳) و بر اساس شرایط نرمال پایه بدست می آید:

$$DP_i = P_{Di} \times LMP_i \quad \forall i \in (1, 2, \dots, N_B) \quad (2)$$

$$GI_i = P_{Gi} \times LMP_i \quad \forall i \in (1, 2, \dots, N_G) \quad (3)$$

که:

P_{Di} : مجموع بار در گره i (MW)

DP_i : پرداختی بار در گره i (\$/h)

P_{Gi} : مجموع تولید در گره i (MW)

GI_i : درآمد تولید در گره i (\$/h)

LMP_i : قیمت محلی در گره i (\$/MWh)

N_B : تعداد گره ها (= تعداد بارها)

N_G : تعداد واحدهای تولیدی

گام ۳: تعیین سود (منافع) مصرف کنندگان و تولید کنندگان با خروج هر کدام از تجهیزات و تکرار گامهای ۱ و ۲، میزان پرداختی مصرف کنندگان و درآمد تولید کنندگان در شرایط جدید بدست می آید. بنابراین سود بازیگران از حضور یک تجهیز انتقال با محاسبه تفاوت بین شرایط نرمال و خروج و با کمک روابط (۴) و (۵) محاسبه می شود:

$$\Delta P_{D(i,j)} = \begin{cases} DP_i^{(o)} - DP_i^{(j)} & \text{if } DP_i^{(o)} > DP_i^{(j)} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$\Delta I_{G(i,j)} = \begin{cases} GI_i^{(o)} - GI_i^{(j)} & \text{if } GI_i^{(o)} > GI_i^{(j)} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

که:

$\Delta P_{D(i,j)}$: منافع مصرف کننده i از حضور تجهیز j (\$)

$\Delta I_{G(i,j)}$: منافع تولید کننده i از حضور تجهیز j (\$)

$DP_i^{(o)}$: پرداختی مصرف کننده i در شرایط نرمال (\$)

$DP_i^{(j)}$: پرداختی مصرف کننده i در شرایط خروج تجهیز j (\$)

$GI_i^{(o)}$: درآمد تولید کننده i در شرایط نرمال (\$)

$GI_i^{(j)}$: درآمد تولید کننده i در شرایط خروج تجهیز j (\$)

گام ۴: تعیین سهم بازیگران از ظرفیت تجاری

با توجه به گامهای ۱ تا ۳ فوق، تعیین سهم بازیگران از ظرفیت تجاری تجهیزات انتقال با کمک روابط (۶) و (۷) قابل محاسبه است:

$$C_{m,D(i,j)} = \frac{\Delta P_{D(i,j)}}{\sum_{k=1}^{N_B} (\Delta P_{D(k,j)}) + \sum_{k=1}^{N_G} (\Delta I_{G(k,j)})} \quad (6)$$

$$C_{m,G(i,j)} = \frac{\Delta I_{G(i,j)}}{\sum_{k=1}^{N_B} (\Delta P_{D(k,j)}) + \sum_{k=1}^{N_G} (\Delta I_{G(k,j)})} \quad (7)$$

که:

$C_{m,D(i,j)}$: سهم بار i از ظرفیت تجاری تجهیز j

$C_{m,G(i,j)}$: سهم تولید i از ظرفیت تجاری تجهیز j

۳-۲- تخصیص هزینه برای ظرفیت پایایی

برای ظرفیت پایایی انتقال، تخصیص هزینه خدمات انتقال لزوماً به تمامی بازیگران صورت نمی گیرد و حتی الامکان به بازیگرانی تخصیص داده می شود که سهم بیشتری در ظرفیت پایایی دارند.

گام ۵: محاسبه ضریب تأثیر خروج

برای محاسبه سهم بازیگران، از «ضریب تأثیر خروج» (OIF) [۲۴] و «نرخ خروج اضطراری» (FOR) [۲۵] استفاده شده است. بر اساس [۱۵]، ضریب تأثیر خروج (OIF) تجهیز ۱ به تجهیز ۲ عبارت است از تفاوت نسبی فلوی عبوری از تجهیز ۱ در اثر خروج تجهیز ۲. به عبارت دیگر، این ضریب، تأثیر خروج هر کدام از تجهیزات شبکه را بر تجهیزات دیگر نشان می دهد و مطابق با رابطه (۸) تعریف می شود:

$$OIF_{1,j} = \begin{cases} \frac{|f_1^{(j)}| - |f_1^{(o)}|}{|f_1^{(o)}|} & \text{if } |f_1^{(j)}| > |f_1^{(o)}| \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

که:

$OIF_{1,j}$: ضریب تأثیر خروج تجهیز j در اثر خروج تجهیز 1

$f_1^{(o)}$: توان عبوری از تجهیز 1 در شرایط خروج نرمال (MW)

$f_1^{(j)}$: ضریب تأثیر خروج تجهیز l در شرایط خروج تجهیز j (MW) (9)

ضریب استفاده (ردیابی توان) بار i از تجهیز k در شرایط نرمال

$U_{D(i,k)}^{(o)}$: ضریب استفاده (ردیابی توان) تولید i از تجهیز k در شرایط نرمال

W_D : ضریب وزنی سمت بار در تعیین سهم ظرفیت پایایی

W_G : ضریب وزنی سمت تولید در تعیین سهم ظرفیت پایایی

در روبرو فوق عبارات $U_{D(i,k)}^{(o)}$ و $U_{G(i,k)}^{(o)}$ ضریب استفاده هر بازیگر از تجهیزات انتقال را بر مبنای فلوی عبوری از آنها نشان می‌دهد که نشانگر سهم هر بازیگر از فلوی عبوری می‌باشد. این ضریب با کمک روش‌های ردیابی توان انتقالی قابل محاسبه است و برای نمونه، با کمک روش ردیابی بیالک (که به عنوان یک روش قیمت‌گذاری مشهور نیز استفاده می‌شود [1]) قابل محاسبه است. در روش ردیابی بیالک، ردیابی توان به یکی از دو سمت بار (پایین‌دست^{۲۶}) یا تولید (بالادست^{۲۷}) انجام می‌شود و برای اینکه بتوانیم هر دو سمت را لحاظ کنیم، از دو ضریب وزنی W_D و W_G استفاده شده است تا بتوان تخصیص هزینه را (بطور همزمان) به هر دو سمت انجام داد. در روش‌های متداول قیمت گذاری بر اساس ردیابی توان، معمولاً تخصیص هزینه، فقط به یک سمت انجام می‌شود [۱ و ۸].

۳-۳- فرمول‌بندی نهایی تخصیص هزینه

در روش پیشنهادی برای تخصیص هزینه خدمات انتقال، ظرفیت تجهیزات به دو بخش تجاری و پایایی تقسیم شد. در بخش تجاری، بازیگرانی که به طور مستقیم از تجهیزات منتفع می‌شدند شناسایی و بر اساس سهمی که داشتند، تخصیص هزینه به آنها انجام شد. در بخش پایایی نیز، سهم بازیگران مختلف بر اساس نقش آنها در لزوم وجود ظرفیت پایایی تعیین شد. برای تکمیل فرآیند تخصیص هزینه، سهم نهایی بازیگران از کل ظرفیت انتقال با جمع وزنی دو سهم تجاری و پایایی بدست می‌آید. محاسبه سهم هر کدام از بازیگران سمت بار و تولید به ترتیب با روابط (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است:

(۱۳)

$$C_{D(i,j)} = \left(\frac{S_{Cj}}{S_{Cj} + S_{Rj}} \times C_{m,D(i,j)} \right) + \left(\frac{S_{Rj}}{S_{Cj} + S_{Rj}} \times C_{r,D(i,j)} \right)$$

(۱۴)

$$C_{G(i,j)} = \left(\frac{S_{Cj}}{S_{Cj} + S_{Rj}} \times C_{m,G(i,j)} \right) + \left(\frac{S_{Rj}}{S_{Cj} + S_{Rj}} \times C_{r,G(i,j)} \right)$$

گام ۶: محاسبه ضریب نسبی ارزیابی پایایی

با استفاده از تعریف فوق و با کمک نرخ خروج اضطراری هر کدام از تجهیزات، حاصلضرب دو مقدار فوق، «ضریب نسبی ارزیابی پایایی» را در اختیار قرار می‌دهد که تأثیر خروج هر تجهیز بر تجهیز دیگر را با لحاظ کردن احتمال خروج نشان می‌دهد و می‌توان آن را نرمالیزه کرد تا تجهیزات مختلف براحتی قابل مقایسه با هم باشند. محاسبات مذکور مطابق با روابط (۹) و (۱۰) قابل انجام است:

$$RREF_{lj} = OIF_{lj} \times FOR_j \quad (9)$$

$$NRREF_{lj} = \frac{RREF_{lj}}{\sum_{k=1}^{N_L} RREF_{lk}} \quad (k \neq l) \quad (10)$$

که:

FOR_j : نرخ خروج اضطراری تجهیز j

$RREF_{lj}$: ضریب نسبی ارزیابی پایایی خروج تجهیز l در خروج

تجهیز j

$NRREF_{lj}$: ضریب نسبی ارزیابی پایایی نرمالیزه‌شده خروج تجهیز l

در خروج تجهیز j

گام ۷: تعیین سهم بازیگران از ظرفیت پایایی

با استفاده از محاسبات روابط (۸) تا (۱۰) و ترکیب آنها با نتایج بخش بار، سهم هر بازیگر از ظرفیت پایایی مشخص می‌شود. در واقع برای خروج هر کدام از تجهیزات شبکه انتقال، تغییر فلوی تجهیزات دیگر به صورت احتمالاتی مطابق با روابط فوق بدست آمده است و با ضرب کردن «ضریب نسبی ارزیابی پایایی نرمالیزه شده» یا همان $NRREF$ در سهم هر بازیگر از فلوی تجهیزات، تخصیص هزینه پایایی بدست می‌آید [۱۵]. این محاسبه برای سمت بار و تولید، به ترتیب در روابط (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است:

$$C_{r,D(i,j)} = W_D \times \sum_{k=1, k \neq j}^{N_L} (NRREF_{jk} \times U_{D(i,k)}^{(o)}) \quad (11)$$

$$C_{r,G(i,j)} = W_G \times \sum_{k=1, k \neq j}^{N_L} (NRREF_{jk} \times U_{G(i,k)}^{(o)}) \quad (12)$$

که:

$C_{r,D(i,j)}$: سهم بار i از ظرفیت پایایی تجهیز j

$C_{r,G(i,j)}$: سهم تولید i از ظرفیت پایایی تجهیز j



که:

$C_D(i,j)$: سهم بار i از تخصیص هزینه تجهیز j

$C_G(i,j)$: سهم تولید i از تخصیص هزینه تجهیز j

SC_j : ظرفیت تجاری تجهیز j

SR_j : ظرفیت پایایی تجهیز j

جدول (۲): مشخصات خطوط شبکه سه شینه

خط	گره ۱	گره ۲	X (p.u.)	S _{Max} (MW)	FOR (h/year)
۱	۱	۲	۰/۲	۱۲۶	۲۴
۲	۱	۳	۰/۲	۲۵۰	۲۱
۳	۲	۳	۰/۱	۱۳۰	۱۵

قیمتهای گرهی (LMPs) برای حالت نرمال اولیه و خروج هر کدام از خطوط در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول (۳): قیمتتهای گرهی (\$/MWh)

گره	شرایط خروج خطوط		
	نرمال	خط ۱	خط ۲
گره ۱	۷/۵۰	۷/۵۰	۶/۰۰
گره ۲	۱۱/۲۵	۱۰/۰۰	۷/۵۰
گره ۳	۱۰/۰۰	۱۰/۰۰	۱۴/۰۰

جداول (۴) تا (۷)، به ترتیب فلوی عبوری از خطوط، تولید واحدها، درآمد واحدهای تولیدی و پرداختی مصرف کنندگان را در شرایط نرمال و خروج خطوط نشان می‌دهد.

جدول (۴): فلوی عبوری از خطوط (MW)

خط	شرایط خروج خطوط		
	نرمال	خط ۱	خط ۲
خط ۱	۱۲۶	۰	۱۲۶
خط ۲	۱۵۹	۲۵۰	۰
خط ۳	۶۶	-۶۰	۱۱۵

جدول (۵): تولید واحدهای نیروگاهی (MW)

واحد	شرایط خروج خطوط		
	نرمال	خط ۱	خط ۲
واحد A	۵۰	۱۵	۰
واحد B	۲۸۵	۲۸۵	۱۷۶
واحد C	۰	۰	۴۹
واحد D	۷۵	۱۱۰	۱۸۵

جدول (۶): درآمد واحدهای نیروگاهی (\$)

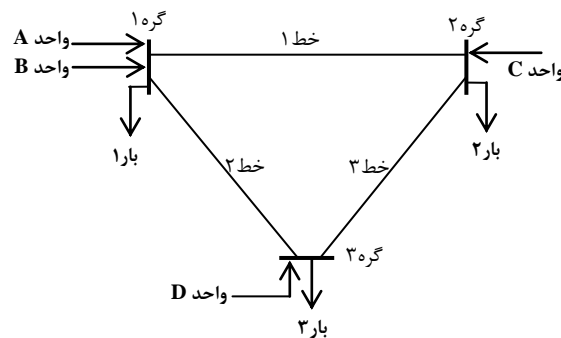
واحد	شرایط خروج خطوط		
	نرمال	خط ۱	خط ۲
واحد A	۳۷۵/۰	۱۱۲/۵	۰/۰
واحد B	۲۱۳۷/۵	۲۱۳۷/۵	۱۰۵۶/۰
واحد C	۰/۰	۰/۰	۶۸۶/۰
واحد D	۷۵۰/۰	۱۱۰۰/۰	۲۵۹۰/۰

۴- نتایج شبیه‌سازی

برای تشریح روش پیشنهادی، دو شبکه نمونه انتخاب شده است. الگوریتم پیشنهادی بر روی یک شبکه ۳ شینه ساده تشریح و برای مطالعه بیشتر، بر روی شبکه ۲۴ شینه IEEE آزمایش شده است. ضمناً در هر دو شبکه، نتایج روش پیشنهادی با نتایج روش ردیابی بیالک مقایسه شده است و فرض بر این است که در هر دو نمونه، پرداختی مصرف‌کنندگان (یا درآمد تولیدکنندگان) براساس حاصلضرب توان مصرفی (یا تولیدی) در قیمتتهای گرهی محاسبه می‌شود.

۴-۱- تشریح روش پیشنهادی بر روی شبکه ۳ شینه

شبکه سه‌شینه مورد مطالعه، دارای ۳ خط و ۴ واحد تولیدی می‌باشد که دیاگرام تک‌خطی آن در شکل (۱) و اطلاعات مربوط به تولید، بار و خطوط، در جداول (۱) و (۲) نشان داده شده است.



شکل (۱): دیاگرام تک‌خطی شبکه سه شینه

جدول (۱): داده‌های بار و تولید شبکه سه شینه

گره	وضعیت واحدهای تولیدی		وضعیت بار	
	شماره	P _{G(Max)} (MW)	شماره	P _D (MW)
۱	واحد A	۱۴۰	بار ۱	۵۰
	واحد B	۲۸۵		
۲	واحد C	۹۰	بار ۲	۶۰
۳	واحد D	۱۸۵	بار ۳	۳۰۰
مجموع		۷۰۰		۴۱۰

جدول (۷): پرداختی بارها (\$))

بار	شرایط خروج خطوط		
	خط ۱	خط ۲	خط ۳
بار ۱	۳۷۵/۰	۳۰۰/۰	۳۷۵/۰
بار ۲	۶۷۵/۰	۸۴۰/۰	۴۵۰/۰
بار ۳	۳۰۰۰/۰	۴۲۰۰/۰	۳۰۰۰/۰

برای محاسبات مربوط به ظرفیت پایایی، نتیجه محاسبه ضرایب استفاده (سهام بازیگران با روش ردیابی بیالک) در جدول (۱۰) و سهم بازیگران از تخصیص ظرفیت پایایی خطوط نیز که با توجه به روابط (۸) تا (۱۲) محاسبه گردیده، در جدول (۱۱) نشان داده شده است. در محاسبات، فرض بر این است که تخصیص هزینه بخش پایایی به طور مساوی بین دو سمت بار و تولید تقسیم می گردد و لذا $WG=WD=0$. ضمناً در روش پیشنهادی برای تخصیص هزینه ظرفیت پایایی، اگر خطی متراکم نباشد، مجموع سهم بازیگران برابر $1/100$ خواهد شد و چنانچه متراکم باشد، سهم تمامی بازیگران برابر صفر می گردد؛ چون ضریب تأثیر خروج (OIF) مربوط به کلیه خروجیهای سایر خطوط برابر صفر بدست می آید. از سوی دیگر، بر اساس روش پیشنهادی، کل ظرفیت خطوط متراکم به صورت تجاری لحاظ شده و به هر حال سهم بازیگران در پایایی لحاظ نمی گردد.

جدول (۸): سود بازیگران از ظرفیت تجاری خطوط (\$))

سود بازیگر	خط ۱	خط ۲	خط ۳
واحد A	۲۶۲/۵	۳۷۵	۰(-۱۸۷/۵)
واحد B	۰	۱۰۸۱/۵	۰
واحد C	۰	۰(-۶۸۶)	۰
واحد D	۰(-۳۵۰)	۰(-۱۸۴۰)	۲۵۰
بار ۱	۰	۰(-۷۵)	۰
بار ۲	۰(-۷۵)	۱۶۵	۰(-۲۲۵)
بار ۳	۰	۱۲۰۰	۰

جدول (۱۰): ضرایب استفاده (سهم بازیگران براساس روش بیالک)

ضرایب استفاده	خط ۱	خط ۲	خط ۳
واحد A	۰/۱۴۹۳	۰/۱۴۹۳	۰/۱۴۹۳
واحد B	۰/۸۵۰۷	۰/۸۵۰۷	۰/۸۵۰۷
واحد C	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
واحد D	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
مجموع (بالادست)	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
بار ۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
بار ۲	۰/۴۷۶۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
بار ۳	۰/۵۲۳۸	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
مجموع (پایین دست)	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰

جدول (۱۱): سهم بازیگران از تخصیص ظرفیت پایایی

سهم بازیگر	خط ۱	خط ۲	خط ۳
واحد A	۰/۰۰۰۰	۰/۰۷۴۶	۰/۰۷۴۶
واحد B	۰/۰۰۰۰	۰/۴۲۵۴	۰/۴۲۵۴
واحد C	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
واحد D	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
بار ۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
بار ۲	۰/۰۰۰۰	۰/۱۴۶۵	۰/۰۰۰۰
بار ۳	۰/۰۰۰۰	۰/۳۵۳۵	۰/۵۰۰۰

نهایتاً جدول (۱۲)، سهم بازیگران از تخصیص کامل هزینه انتقال را نشان می دهد که با توجه به روابط (۱۳) و (۱۴) محاسبه شده است.

سود ناشی از حضور خطوط (و ظرفیت تجاری آن) برای تولیدکنندگان و مصرف کنندگان که با توجه به روابط (۴) و (۵) محاسبه گردیده در جدول (۸) ارائه شده است:

همانطور که مشاهده می شود، تنها بازیگری که مستقیماً از حضور خط ۱ منتفع شده است، واحد A است و همچنین در مورد خط ۳ تنها دینفع، واحد D می باشد؛ ولی در مورد خط ۲، واحدهای A و B و بارهای ۲ و ۳ سود برده اند.

سهم بازیگران از تخصیص هزینه ظرفیت تجاری خطوط که با توجه به روابط (۶) و (۷) محاسبه گردیده، در جدول (۹) نشان داده شده است.

جدول (۹): سهم بازیگران از تخصیص ظرفیت تجاری

سهم بازیگر	خط ۱	خط ۲	خط ۳
واحد A	۱/۰۰۰۰	۰/۱۳۲۹	۰/۰۰۰۰
واحد B	۰/۰۰۰۰	۰/۳۸۳۳	۰/۰۰۰۰
واحد C	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
واحد D	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
بار ۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
بار ۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۵۸۵	۰/۰۰۰۰
بار ۳	۰/۰۰۰۰	۰/۴۲۵۳	۰/۰۰۰۰

جدول (۱۲): سهم بازیگران از تخصیص کامل هزینه‌های انتقال

سهم بازیگر	خط ۱	خط ۲	خط ۳
$C_{T,G(i,j)}$	واحد A	۰/۱۱۱۷	۰/۰۳۶۷
	واحد B	۰/۳۹۸۶	۰/۲۰۹۴
	واحد C	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
	واحد D	۰/۰۰۰۰	۰/۵۰۷۷
$C_{T,D(i,j)}$	بار ۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
	بار ۲	۰/۰۹۰۵	۰/۰۰۰۰
	بار ۳	۰/۳۹۹۲	۰/۲۴۶۲
مجموع	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰

مهمترین نتایج اخذشده از پیاده‌سازی روش پیشنهادی تخصیص هزینه بر روی شبکه سه شینه عبارتند از:

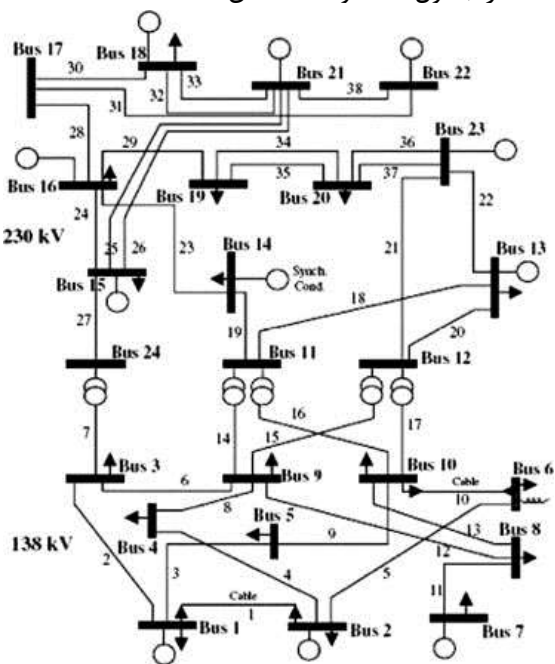
- خط ۱ در شرایط نرمال متراکم است. بنابراین ۱۰٪ ظرفیت آن تجاری محسوب شده و هزینه آن تنها به واحد A تخصیص داده شده است؛ تنها بازیگری که از وجود خط ۱ بطور مستقیم سود برده است.
- خطوط ۲ و ۳ متراکم نبوده اما نقش مهمی در شرایط پیشامد دارند. بنابراین برخورد کاملاً تجاری با آنها عادلانه نیست.
- بار ۱ و واحد C سهمی در ظرفیت تجاری و یا پایایی ندارند و لذا تخصیص هزینه به آنها اشتباه است و در روش پیشنهادی نیز سهمی به آنها تخصیص داده نشده است. بار ۱ مستقیماً از واحدهای A و B تأمین می‌شود و از شبکه انتقال در شرایط نرمال یا پیشامد استفاده نمی‌کند. واحد C نیز در شرایط نرمال، تولیدی ندارد و در زمان پیشامد نیز (تنها در صورت خروج خط ۲) تولید خواهد داشت که تمامی آن به مصرف بار ۲ روی همان گره می‌رسد و در هر حال، استفاده‌ای از شبکه نمی‌کند.
- بطور کلی در مقایسه با سایر روشهای اشاره‌شده (و خصوصاً روش‌های ردیابی توان که متداول‌ترند)، روش پیشنهادی عادلانه‌تر است. برای مثال بر طبق جداول (۳) و (۸)، حضور خط ۳ (در مقایسه با حذف آن) قیمت‌های گره‌های ۱ و ۳ را تغییر نداده و تنها قیمت گره ۲ را افزایش می‌دهد و از این حضور، تنها واحد D سود برده است که به واسطه حضور خط ۳ تولید

بیشتری را با قیمت بالاتر می‌فروشد. برطبق روش پیشنهادی (جدول (۹))، تنها واحد D در تخصیص هزینه ظرفیت تجاری خط فوق سهم دارد و حتی با لحاظ کردن ظرفیت پایایی، سهم این بازیگر همچنان بیش از ۵۰٪ از هزینه خط است (جدول (۱۲)). اما در روش بیالک (جدول (۱۰))، سهم این بازیگر در هزینه خط مذکور صفر می‌باشد.

۴-۲- آزمایش بر روی شبکه ۲۴ شینه IEEE

در این بخش، نتایج پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی شبکه ۲۴ شینه IEEE^{۲۸} [۱۹] ارائه شده است. شبکه ۲۴ شینه دارای ۳۸ شاخه (خط و ترانسفورماتور) و ۳۲ واحد نیروگاهی است که دیگرام تک‌خطی آن در شکل (۲) و کلیه اطلاعات شبکه‌ای مورد نیاز آن از [۲۰] اخذ شده است. ضمناً فرض بر این است که نرخ خروج اضطراری کلیه اتصالات برابر با ۲۴ ساعت در سال می‌باشد.

نتایج پخش بار شبکه پایه، قیمت‌های گرهی و فلوی عبوری از شاخه‌ها در جداول (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است.



شکل (۲): دیگرام تک‌خطی شبکه ۲۴ شینه

جدول (۱۳): نتایج تسویه بازار در شبکه ۲۴ شینه

گره	بار (MW)	تولید (MW)	قیمت گرهی (\$/MWh)
۱	۱۸۴	۱۰۸	۲۱/۴۱۱۸
۲	۱۸۴	۹۷	۲۱/۴۱۱۸
۳	۰	۱۸۰	۲۱/۴۱۱۸
۴	۰	۷۴	۲۱/۴۱۱۸
۵	۰	۷۱	۲۱/۴۱۱۸
۶	۰	۱۳۶	۲۱/۴۱۱۸
۷	۳۰۰	۱۲۵	۲۰/۰۷۰۳
۸	۰	۱۷۱	۲۱/۴۱۱۸
۹	۰	۱۷۵	۲۱/۴۱۱۸
۱۰	۰	۱۹۵	۲۱/۴۱۱۸
۱۱	۰	۰	۲۱/۴۱۱۸
۱۲	۰	۰	۲۱/۴۱۱۸
۱۳	۵۹۱	۲۶۵	۲۱/۴۱۱۸
۱۴	۰	۱۹۴	۲۱/۴۱۱۸
۱۵	۱۹۷	۳۱۷	۲۱/۴۱۱۸
۱۶	۱۵۵	۱۰۰	۲۱/۴۱۱۸
۱۷	۰	۰	۲۱/۴۱۱۸
۱۸	۱۳۹/۵	۳۳۳	۲۱/۴۱۱۸
۱۹	۰	۱۸۱	۲۱/۴۱۱۸
۲۰	۰	۱۲۸	۲۱/۴۱۱۸
۲۱	۱۳۹/۵	۰	۲۱/۴۱۱۸
۲۲	۳۰۰	۰	۲۱/۴۱۱۸
۲۳	۶۶۰	۰	۲۱/۴۱۱۸
۲۴	۰	۰	۲۱/۴۱۱۸

جدول (۱۴): فلو عبوری نرمال در شبکه ۲۴ شینه

خط	گره ۱	گره ۲	ظرفیت (MW)	فلوی عبوری (MW)
۱	۱	۲	۱۷۵	-۳
۲	۱	۳	۱۷۵	۲۴
۳	۱	۵	۱۷۵	۵۵
۴	۲	۴	۱۷۵	۳۹
۵	۲	۶	۱۷۵	۴۵
۶	۳	۹	۱۷۵	-۳۲
۷	۳	۲۴	۴۰۰	-۱۲۳
۸	۴	۹	۱۷۵	-۳۵
۹	۵	۱۰	۱۷۵	-۱۶
۱۰	۶	۱۰	۱۷۵	-۹۱
۱۱	۷	۸	۱۷۵	۱۷۵
۱۲	۸	۹	۱۷۵	-۴
۱۳	۸	۱۰	۱۷۵	۸
۱۴	۹	۱۱	۴۰۰	-۱۰۰
۱۵	۹	۱۲	۴۰۰	-۱۴۶
۱۶	۱۰	۱۱	۴۰۰	-۱۲۴
۱۷	۱۰	۱۲	۴۰۰	-۱۷۰

ادامه جدول (۱۴): فلوی عبوری نرمال در شبکه ۲۴ شینه

۱۸	۱۱	۱۳	۵۰۰	-۲۴۶
۱۹	۱۱	۱۴	۵۰۰	۲۲
۲۰	۱۲	۱۳	۵۰۰	-۱۶۳
۲۱	۱۲	۲۳	۵۰۰	-۱۵۴
۲۲	۱۳	۲۳	۵۰۰	-۸۳
۲۳	۱۴	۱۶	۵۰۰	-۱۷۲
۲۴	۱۵	۱۶	۵۰۰	-۷۱
۲۵	۱۵	۲۱	۵۰۰	-۸۶
۲۶	۱۵	۲۱	۵۰۰	-۸۶
۲۷	۱۵	۲۴	۵۰۰	۱۲۳
۲۸	۱۶	۱۷	۵۰۰	-۷۳
۲۹	۱۶	۱۹	۵۰۰	-۱۱۵
۳۰	۱۷	۱۸	۵۰۰	۵۱
۳۱	۱۷	۲۲	۵۰۰	-۱۲۴
۳۲	۱۸	۲۱	۵۰۰	-۷۱
۳۳	۱۸	۲۱	۵۰۰	-۷۱
۳۴	۱۹	۲۰	۵۰۰	-۱۴۸
۳۵	۱۹	۲۰	۵۰۰	-۱۴۸
۳۶	۲۰	۲۳	۵۰۰	-۲۱۲
۳۷	۲۰	۲۳	۵۰۰	-۲۱۲
۳۸	۲۱	۲۲	۵۰۰	-۱۷۶

روی شین ۸ می‌باشند که متصل یا در نزدیکی یکی از دو سمت خط ۱۰ می‌باشند. بر اساس روش پیشنهادی، هزینه‌های خط ۱۰ بیش از همه به واحدهای تولیدی روی شین ۷ (با سهم ۵۲٪) تخصیص داده شده است؛ اما بر اساس روش ردیابی بیالک، هزینه های خط مذکور بیش از همه به واحدهای روی شینهای ۱۳ و ۲۳ با سهم ۵۶٪ و ۲۲٪ (در ردیابی بالادست) و بار روی شین ۶ با سهم ۱۰۰٪ (در ردیابی پایین دست) تخصیص داده شده است.

تخصیص هزینه خط ۱۱:

خط ۱۱ بین شین های ۷ و ۸ قرار دارد و تنها اتصالی است که شین ۷ را به مابقی شبکه متصل می‌کند. بر اساس نتایج پخش بار بهینه، بار و تولید روی شین ۷ به ترتیب ۱۲۵ و ۳۰۰ مگاوات است و از این رو خط ۱۱ اضافه تولید (۱۷۵ مگاوات) روی شین را در حداکثر ظرفیت به مابقی شبکه وصل می‌کند. این خط متراکم است و بر اساس الگوریتم پیشنهادی، ۱۰۰٪ ظرفیت آن تجاری محسوب می‌شود که بایستی هزینه آن به ذینفعان تجاری تخصیص یابد. اگر خط ۱۱ از مدار خارج شود، تنها قیمت گرهی شین ۷ از ۲۰/۰۷۰۳ به ۱۷/۹۷۴۰ (دلار بر مگاوات ساعت) کاهش می‌یابد و قیمت‌های گرهی مابقی شینها بطور مشابه از ۲۱/۴۱۱۸ به ۲۹/۵۹۰۰ (دلار بر مگاوات ساعت) افزایش می‌یابد. بنابراین مورد انتظار است که هزینه‌های خط ۱۱ بیش از همه به واحدهای تولیدی متصل به شین ۷ و بارهای روی سایر شینها

برای تشریح بهتر، نتایج تخصیص هزینه برای سه خط ۱۰، ۱۱ و ۲۱ در جدول (۱۵) نشان داده شده است که به صورت سهم هر بازیگر (بار و تولید) از هزینه‌های خطوط مذکور می‌باشد. سه خط مذکور، به دلیل ساختار شبکه و چیدمان بار و تولید، کارکردی متفاوت با هم داشته و تقریباً نمایندگان سه دسته از اتصالات در این شبکه می‌باشند.

تخصیص هزینه خط ۱۰:

خط ۱۰ بین شینهای ۶ و ۱۰ قرار دارد؛ حداکثر ظرفیت آن ۱۷۵ مگاوات و فلوی عبوری از آن در شرایط نرمال ۹۱ مگاوات می‌باشد. با حذف این خط، تولید واحدهای نیروگاهی و قیمت‌های گرهی تمامی شینها به جز شین ۷ بدون تغییر می‌ماند. قیمت گرهی در شین ۷ در شرایط نرمال ۲۰/۰۷۰۳ و در شرایط خروج خط ۱۰ برابر ۲۰/۰۲۹۵ می‌گردد. با خروج خط ۱۰، واحدهای تولیدی متصل به شین ۷ درآمد کمتری خواهند داشت؛ پس حضور این خط باعث افزایش سود واحدهای تولیدی متصل به شین ۷ و ثابت ماندن سود سایر بازیگران شده است. لذا معقولانه است که انتظار داشته باشیم سهم واحدهای تولیدی مذکور در هزینه‌های خط بیشتر از سایر بازیگران باشد.

از سوی دیگر، در شرایط پیشامد (خروج سایر خطوط)، بازیگران مختلفی از حضور خط مذکور منتفع می‌شوند که عمده ترین آنها واحدهای تولیدی روی شینهای ۲، ۱۳ و ۲۳ و بارهای

تخصیص یابد؛ چرا که به واسطه خط مذکور، واحدهای متصل به شین ۷، دارای تولید بالاتر و در قیمت بالاتری شده‌اند و بارهای روی سایر شین‌ها، به دلیل قیمت‌های گرهی کمتر، پرداختی کمتری دارند. ضمناً با نگاهی به نتایج، مشاهده می‌شود که با

جدول (۱۵): سهم بازیگران از هزینه های خطوط ۱۰، ۱۱ و ۲۱ در شبکه ۲۴ شینه

بازیگر	گره	سهم هر بازیگر بر اساس روش پیشنهادی								
		سهم ظرفیت تجاری			سهم ظرفیت پایایی			سهم نهایی		
		خط ۱۰	خط ۱۱	خط ۲۱	خط ۱۰	خط ۱۱	خط ۲۱	خط ۱۰	خط ۱۱	خط ۲۱
واحد ۱	۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۲	۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۳	۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۴	۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۵	۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۶	۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۷	۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۸	۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۹	۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۱۰	۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۱۱	۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۱۲	۱۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۱۳	۱۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۱۴	۱۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۱۵	۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۱۶	۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۱۷	۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۱۸	۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۱۹	۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۲۰	۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۲۱	۱۶	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۲۲	۱۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۲۳	۲۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۲۴	۲۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۲۵	۲۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۲۶	۲۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۲۷	۲۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۲۸	۲۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۲۹	۲۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۳۰	۲۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۳۱	۲۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد ۳۲	۲۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
مجموع سهم تولید		۱.۰۰۰۰	۰.۱۴۵	۰.۰۰۰	۰.۰۵۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۵۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۱۴۵	۱.۰۰۰۰
بار ۱	۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار ۲	۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار ۳	۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار ۴	۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار ۵	۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار ۶	۶	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار ۷	۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار ۸	۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار ۹	۹	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار ۱۰	۱۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار ۱۳	۱۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار ۱۴	۱۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار ۱۵	۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰

ادامه جدول (۱۵): سهم بازیگران از هزینه های خطوط ۱۰، ۱۱ و ۲۱ در شبکه ۲۴ شینه

بازیگر	گره	سهم هر بازیگر بر اساس روش پیشنهادی								
		سهم ظرفیت تجاری			سهم ظرفیت پایایی			سهم نهایی		
		خط ۱۰	خط ۱۱	خط ۲۱	خط ۱۰	خط ۱۱	خط ۲۱	خط ۱۰	خط ۱۱	خط ۲۱
بار ۱۶	۱۶	۰.۰۰۰۰	۰.۰۳۱۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار ۱۸	۱۸	۰.۰۰۰۰	۰.۱۰۴۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۱۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار ۱۹	۱۹	۰.۰۰۰۰	۰.۰۵۶۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۳۲۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۶۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
مجموع سهم بار		۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
مجموع کل		۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰

- برای اتصالات ۱، ۲، ۵-۷، ۹، ۱۰، ۱۳-۱۶، ۱۹، ۲۰، ۲۵-۲۷، ۳۰-۳۳ و ۳۸، سهم کلیه بازیگران بجز واحدهای تولید (شماره ۹، ۱۰ و ۱۱) متصل به شین ۷، از تخصیص هزینه ظرفیت تجاری صفر است و برای واحدهای تولیدی مذکور، برابر با ۰/۳۳۳۳ (و مجموعاً ۱) است.
- برای اتصالات ۳، ۴، ۸، ۱۲، ۱۷، ۱۸، ۲۱-۲۴، ۲۸-۲۹ و ۳۴-۳۷، سهم کلیه بازیگران بجز بارهای روی شین ۷، از تخصیص هزینه ظرفیت تجاری صفر است و برای بارهای مذکور، برابر با ۱ است.
- برای خط ۱۱، اغلب بازیگران از ظرفیت تجاری خط مربوطه سهم دارند: شامل واحدهای تولیدی متصل به شین ۷ با سهم ۰/۴۸۳*۳ و بارهای سایر شینها با سهم ۰/۰۲ (برای شینهای ۴ و ۵) تا ۰/۱۰ (برای شین ۱۸).

۵- نتیجه گیری

تخصیص هزینه‌های انتقال همچنان موضوعی چالش برانگیز در بین محققین صنعت برق در فضای رقابتی بشمار می‌رود. در روش‌های متداولی که پیشنهاد شده است، مبنای تخصیص هزینه خدمات انتقال، غالباً بر اساس میزان استفاده (فنی) از شبکه بوده است که در روش‌های تمبر پستی، مگاوات‌مایل و روشهای مبتنی بر ردیابی فلو عبوری، این مفهوم به خوبی مشاهده می‌شود. در برخی موارد نیز، معیارهای پایایی به تنهایی مبنای تخصیص هزینه انتقال بوده است. از خلاءهای تحقیقات صورت گرفته، می‌توان به عدم توجه به ارزش انتقال، اقتصادی نبودن روش‌ها و همچنین لحاظ نکردن نقش‌های مختلف ظرفیت انتقال (ظرفیت تجاری و پایایی) بطور همزمان اشاره نمود. در این تحقیق، دو مفهوم اصلی ارائه گردید: یکی تخصیص هزینه خدمات انتقال برق از نگاهی ارزش-محور و دیگری، ارائه روشی برای تخصیص همزمان هزینه انتقال در دو کارکرد تجاری

بر اساس روش پیشنهادی (جدول (۱۵))، تخصیص هزینه‌های خط فوق به بازیگران دینفع صورت گرفته که با نسبت ۱۴/۵٪ (برای تولیدکنندگان شین ۷) به ۸۵/۵٪ (برای مصرف‌کنندگان سایر شینها) می‌باشد؛ در حالی که بر اساس روش بیالک، در روش بالادست، ۱۰۰٪ به تولید روی شین ۷ و در روش پایین دست، ۱۰۰٪ به بارهای روی شین‌های ۵، ۶، ۸ و ۱۰ تخصیص می‌یابد و در هر دو روش (و یا با هر ترکیبی از هر دو)، نتیجه ناعادلانه خواهد بود.

تخصیص هزینه خط ۲۱:

خط ۲۱ دو شین ۱۲ و ۲۳ را بهم متصل می‌کند و فلو حالت نرمال آن ۱۵۴ مگاوات است. با خروج این خط (مشابه خط ۱۰)، تولید کلیه واحدها و قیمت‌های گرهی مربوطه بجز واحدهای روی شین ۷ ثابت می‌ماند ولی (برخلاف خط ۱۰)، قیمت‌های گرهی روی شین ۷ از ۲۰/۰۷۰۳ به ۲۰/۱۰۰۷ دلار بر مگاوات ساعت افزایش می‌یابد. بنابراین با خروج خط ۲۱، سود سایر واحدها و بارها ثابت است و تنها واحدهای روی شین ۷ سود بیشتری می‌برند و مصرف کنندگان آن متضرر می‌شوند.

بنابراین حضور خط ۲۱، برای کلیه واحدهای تولیدی شبکه سودی ندارد و دینفعان خط مذکور، تنها مصرف‌کنندگان روی شین ۷ می‌باشند. نتیجه این موضوع به خوبی در ستون مربوط به تخصیص هزینه ظرفیت تجاری خط ۲۱ در جدول (۱۵) مشاهده می‌شود. ضمناً با توجه به حیاتی بودن این خط در شرایط پیشامد، تخصیص ظرفیت قابلیت اطمینان آن بر این موضوع تأثیر گذاشته و در تخصیص نهایی، اغلب بازیگران سهمی می‌باشند ولی نقش بارهای شین ۷ همچنان غالب است. این در حالیست که در روش بیالک نه تنها بارهای مذکور سهمی در هزینه‌های خط ۲۱ ندارند که در هر دو روش بالادست و پایین دست، تخصیص هزینه عادلانه نیست.

بطور خلاصه، مهمترین نتایج پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی بر روی شبکه ۲۴ شینه به شرح زیر است:

مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال ۱۱، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۳.

[۴] مهدی صمدی، محمد حسین جاویدی، جواد ساده "توسعه متوازن شبکه انتقال در محیط رقابتی برای افق چند ساله"، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال ۸، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۰.

[5] FERC, *Transmission Planning and Cost Allocation by Transmission Owning and Operating Public Utilities*, FERC Docket No. RM10-23-000, June 17, 2010. <http://elibrary.ferc.gov/idmws/common/opennat.asp?f ileID=12372947>.

[6] NERC, *Long-Term Reliability Assessment 2009-2018*, North America Reliability Corporation (NERC) assessment report 2009. http://www.nerc.com/files/2009_LTRA.pdf

[7] PJM, *A Survey of Transmission Cost Allocation Issues, Methods and Practice*, PJM report, 2010. <http://ftp.pjm.com>

[8] Kirschen, D., Strbac, G., *Fundamentals of Power System Economics*, John Wiley & Sons, Chichester, U.K, 2004.

[9] Abou El Elaa, A.A., El-Sehiemyb, R.A., "Transmission Usage Cost Allocation Schemes", *Electric Power Systems Research* 79, 926-936, 2009.

[10] Nikoukar, j.; Haghifam M.R.; Parastar, A., "Transmission Cost Allocation Based on the Modified Z-bus", *Electrical Power and Energy Systems* (42), pp.: 31-37, 2012.

[11] Nikoukar, j.; Haghifam M.R., "Transmission Cost Allocation Based on the Use of System and Considering the Congestion Cost", *Electrical Power and Energy Systems* (43), pp.: 961-968, 2012.

[12] Ghayeni, M., Ghazi, R., "Transmission Network Cost Allocation with Nodal Pricing Approach Based on Ramsey Pricing Concept", *IET Generation, Transmission & Distribution*, 5(3), pp.:384-392, 2010.

[13] Abhyankar, A.R., Khaparde S.A., "Electricity Transmission Pricing: Tracing Based Point-Of-Connection Tariff", *Electrical Power and Energy Systems* (31), pp.: 59-66, 2009.

[14] Hur, D., Park, J.K., Lee, W.G., Kim, B.H., Chun, Y.H.; "An Alternative Method for the Reliability Differentiated Transmission Pricing", *Electric Power Systems and Researches* 68 (1), 11-17, 2004.

[15] Chung, K.H., Kim, B.H., Hur, D., Park, J.K., "Transmission Reliability Cost Allocation Method Based on Market Participants' Reliability Contribution Factors", *Electric Power Systems and Researches* 73, 31-36, 2005.

و پایایی. هر دو مفهوم در نوع خود جدید و قابل توسعه و کاربرد در این زمینه و با توجه به نیازهای بازار رقابتی برق می‌باشند.

در بخش تجاری، تخصیص هزینه به ذینفعان خدمات و در بخش پایایی، تخصیص هزینه بر اساس نقش آنها در پایایی سیستم صورت پذیرفت؛ برخلاف روش‌های متداول که بر اساس مقدار مصرف توان، یا ردیابی توان و یا صرفاً بر اساس معیارهای پایایی پایه‌ریزی شده‌اند، در روش پیشنهادی با لحاظ کردن ارزش انتقال و نفع اقتصادی بازیگران، تخصیص هزینه به نحو معقول تری صورت می‌پذیرد. با تقسیم ظرفیت خط انتقال به دو بخش تجاری و پایایی، امکان ملاحظه هر دو کارکرد فراهم شده است؛ با فرمول‌بندی الگوریتم پیشنهادی و پیاده‌سازی آن بر روی دو شبکه ۳ و ۲۴ شینه، مشاهده می‌شود که برخورد ارزش-محور با موضوع تخصیص هزینه خدمات انتقال (و قیمت‌گذاری آن) می‌تواند بطور عادلانه‌تری سهم بازیگران مختلف را مشخص کند. بدیهی است با تخصیص هزینه بر اساس روش‌های اقتصادی‌تر و خصوصاً ارزش-محور (همچون روش پیشنهادی در این تحقیق)، سهم بازیگران از هزینه‌های خدمات انتقال، بطور معقول‌تری تعیین می‌شود و نتایج مقایسه با روش مشهور و متداول ردیابی توان بیالک در بخش مطالعات موردی، شاهد این مدعا است. چون هزینه به بازیگرانی تخصیص می‌یابد که حتماً از ظرفیت مربوطه دارای سود اقتصادی بوده‌اند، لذا ایجاد تناقض در منافع آنها نامحتمل است.

با توجه به مفهوم جدید مورد مطالعه و نیاز به تشریح آن، امکان پیچیده‌تر کردن روابط در یک مقاله چند صفحه‌ای وجود نداشت و البته برای ادامه کار، می‌توان با استفاده از پخش‌بار بهینه متناوب، مواردی همچون تلفات شبکه را نیز در محاسبات وارد کرد و همچنین در بخش تعیین ارزش خطوط و محاسبه منفعت بازیگران، نقش‌های متقابل خطوط بر روی هم را نیز در نظر گرفت (مانند لحاظ کردن تأثیر پیشامدهای دوگانه دارای احتمال وقوع بالا).

مراجع

[1] Shahidepour M., Yamin H., Li Z., *Market Operations in Electric Power Systems*, 1st edition, Wiley, New York, 2002.

[2] Hogan, W.W., "Transmission Benefits and Cost Allocation", *Harvard University*, May 2011.

[۳] مهرداد حجت، محمد حسین جاویدی، سعیدرضا glandانی "تخصیص تلفات انتقال در محیط ترکیبی قراردادهای دوجانبه-حوضچه توان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی" نشریه



- ¹² Locational Marginal Price (LMP)
- ¹³ Decentralized Markets
- ¹⁴ Point to Point Tariff (POP)
- ¹⁵ Point of Connection Tariff (POC)
- ¹⁶ Transaction Based
- ¹⁷ Bilateral
- ¹⁸ Pool-Based Market
- ¹⁹ Long Run Marginal Cost (LRMC)
- ²⁰ Federal Energy Regulatory Commission (FERC)
- ²¹ Congestion
- ²² Commercial Capacity
- ²³ Reliability Capacity
- ²⁴ Outage Impact Factor (OIF)
- ²⁵ Forced Outage Rate (FOR)
- ²⁶ Down Stream
- ²⁷ Up Stream
- ²⁸ IEEE 24 Bus Reliability Test System (RTS)

[16] Monsef, H., Jaefri, M., "Transmission Cost Allocation Based on Use of Reliability Margin Under Contingency Conditions", IET Generation Transmission Distribution, Vol. 3, Issue 6, pp. 574–585, 2009.

[17] Silva E.L., Mesa S.E.C., Morozowski M., "Transmission Access Pricing to Wheeling Transactions: a Reliability Based Approach", IEEE Transactions on Power Systems, 13, (4), pp. 1481–1486, 1998.

[18] Hyungchul K.I.M., Singh C., "Consideration of the Reliability Benefits in Pricing of Transmission Services", IEEE Power Engineering Society winter Meeting, USA, pp. 1232–1237, January 2001.

[19] Hur D., Yoo C.I., Kim B.H., Park J.K., "Transmission Embedded Cost Allocation Methodology with Consideration of System Reliability", IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution, 151, (4), pp. 427–432, 2004.

[20] FERC, *Transmission Planning Processes under Order 890*, FERC Docket No. AD09-8, October 8, 2009.

[21] Reliability Test System (RTS) Task Force, *The IEEE reliability test system 1996*, IEEE Transactions on Power Systems, 143, pp.:1010–20, 1999.

[22] Milano, F., Canizares, C.A., Conejo, A.J., "Sensitivity-Based Security-Constrained OPF Market Clearing Model", IEEE Transactions on Power Systems, 20 (4), pp.: 2051-2060, 2005.

[23] Telles, E., Lima, D.A., Street A., Contreras J., "Min-max long run marginal cost to allocate transmission tariffs for transmission users", Electric Power Systems Researches, Vol. (101), pp. 25-35, 2013.

[24] Radzi, N.H., Bansal R.C., Dong Z.Y., Hassan M.Y., Wong K.P. "An efficient distribution factors enhanced transmission pricing method for Australian NEM transmission charging scheme", Renewable Energy, Vol. (53), pp. 319-328, 2013.

زیر نویس ها

- ¹ Socialization
- ² Beneficiaries
- ³ Reliability
- ⁴ North America Reliability Corporation (NERC)
- ⁵ MW-Mile
- ⁶ Postage-Stamp
- ⁷ Contract Path
- ⁸ Unused Transmission Capacity
- ⁹ Distribution Factors
- ¹⁰ Kirschen's Tracing
- ¹¹ Bialek's Tracing

