تخصیص ارزش- محور هزینه‌های خدمات انتقال برق

مجید روستایی[1] محمدکاظم شیخ‌الاسلامی[2]

[1]-دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت‌مدرس
m.roustaei@modares.ac.ir
[2]-استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت‌مدرس
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 محمدکاظم شیخ‌الاسلامی
نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران – تهران- بزرگراه جلال آل احمد- پل نصر- دانشگاه تربیت‌مدرس- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol12- No.1 Spring & Sum
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

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 صورت‌گرفته 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 [۱ و ۸].

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 برمبنای 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 می شود 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

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.12- No.1 Spring & Summer 2014

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

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].

بطورکلی، 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، هزینه ها 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 هزینه های شبکه را بپردازند که بیشتر از آن منتفع شده‌اند؛ اما نه برمبنای مقدار استفاده که بر مبنای ارزش استفاده. به‌عبارت 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 هزینه های تولید و انتقال از مشتریان نهایی اخذ خواهد شد، اما با وجود روشهای متعدد تخصیص هزینه انتقال، نحوه تخصیص می تواند 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].

درعمل، 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 ۰/۵٪ 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].

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol12- No.1 Spring & Sum

در الگوریتم پیشنهادی در این مقاله، در بخش ظرفیت تجاری، بر اساس تخصیص به ذینفعان عمل شده است (که می توانند 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 فلوی (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 فلوی 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 حدف کنیم، پایایی سیستم به مخاطره می‌افتد. بنابراین:

$$S_R = S_{Max} - S_C \quad (۱)$$

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 مختف، 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 می دهیم 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.

گام۱: مدلسازی فرآیند تسویه بازار

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

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.12- No.1 Spring & Summer 2014

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

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 قیمت‌گذاری خدمات انتقال لحاظ نمی شود و اساساً استفاده از پخش بار جریان متناوب، فقط بر پیچیدگی موضوع می‌افزاید. ضمناً برای مدلسازی واقعی‌تر، فرض بر این است که در شبکه مورد مطالعه، حد مشخصی از پایایی بر اساس معیار N-1 رعایت می‌شود و خروج تجهیزات مختلف، شبکه را ناپایدار نمی‌کند.

گام۲: محاسبه پرداختی مصرف‌کنندگان و درآمد تولیدکنندگان

پرداختی مصرف‌کنندگان و درآمد تولیدکنندگان با توجه به روابط (۲) و (۳) و بر اساس شرایط نرمال پایه بدست می‌آید:

$$DP_i = P_{Di} \times LMP_i \qquad \forall i \in (1,2,\ldots,N_B) \qquad (۲)$$

$$GI_i = P_{Gi} \times LMP_i \qquad \forall i \in (1,2,\ldots,N_G) \qquad (۳)$$

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

گام۳: تعیین سود (منافع) مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان

با خروج هر کدام از تجهیزات و تکرار گامهای ۱ و ۲، میزان پرداختهای مصرف‌کنندگان و درآمد تولیدکنندگان در شرایط جدید بدست می‌آید. بنابراین سود بازیگران از حضور یک تجهیز انتقال با محاسبه تفاوت بین شرایط نرمال و خروج و با کمک روابط (۴) و (۵) محاسبه می‌شود:

$$\Delta P_{D(i,j)} = \begin{cases} DP_i^{(o)} - DP_i^{(j)} & \text{if } DP_i^{(o)} > DP_i^{(j)} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \qquad (۴)$$

$$\Delta I_{G(i,j)} = \begin{cases} GI_i^{(o)} - GI_i^{(j)} & \text{if } GI_i^{(o)} > GI_i^{(j)} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \qquad (۵)$$

که:

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

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

$DP_i^{(o)}$: پرداختی مصرف‌کننده i در شرایط نرمال ($)

$DP_i^{(j)}$: پرداختی مصرف‌کننده i در شرایط خروج تجهیز j ($)

$GI_i^{(o)}$: درآمد تولیدکننده i در شرایط نرمال ($)

$GI_i^{(j)}$: درآمد تولیدکننده i در شرایط خروج تجهیز j ($)

گام۴: 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:

$$C_{m,D(i,j)} = \frac{\Delta P_{Di,j}}{\sum_{k=1}^{N_B}(\Delta P_{D(k,j)}) + \sum_{k=1}^{N_G}(\Delta I_{G(k,j)})} \qquad (۶)$$

$$C_{m,G(i,j)} = \frac{\Delta I_{Gi,j}}{\sum_{k=1}^{N_B}(\Delta P_{D(k,j)}) + \sum_{k=1}^{N_G}(\Delta I_{G(k,j)})} \qquad (۷)$$

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 نمی‌گیرد و حتی‌الامکان به بازیگرانی تخصیص داده می‌شود که سهم بیشتری در ظرفیت پایایی دارند.

گام۵: 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) تجهیز۱ به تجهیز۲ عبارت است از تفاوت نسبی فلوی عبوری از تجهیز۱ در اثر خروج تجهیز۲. به عبارت دیگر، این ضریب، تأثیر خروج هر کدام از تجهیزات شبکه را بر تجهیزات دیگر نشان می‌دهد و مطابق با رابطه (۸) تعریف می‌شود:

$$OIF_{l,j} = \begin{cases} \dfrac{|f_l^{(j)}| - |f_l^{(o)}|}{|f_l^{(o)}|} & \text{if } |f_l^{(j)}| > |f_l^{(o)}| \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \qquad (۸)$$

که:

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

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

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol12- No.1 Spring & Sum

$\mathbf{f_l^{(j)}}$: ضریب تأثیر خروج تجهیز l در شرایط خروج تجهیز j (MW)

گام۶: 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 می توان آن را نرمالیزه کرد تا تجهیزات مختلف براحتی قابل مقایسه با هم باشند. محاسبات مذکور مطابق با روابط (۹) و (۱۰) قابل انجام است:

$$\mathbf{RREF_{l,j}=OIF_{l,j}\times FOR_j} \quad (۹)$$

$$\mathbf{NRREF_{l,j}=\frac{RREF_{l,j}}{\sum_{k=1}^{N_L} RREF_{l,k}}\ (k\neq l)} \quad (۱۰)$$

که:

$\mathbf{FOR_j}$: نرخ خروج اضطراری تجهیز j

$\mathbf{RREF_{l,j}}$: ضریب نسبی ارزیابی پایایی خروج تجهیز l در خروج تجهیز j

$\mathbf{NRREF_{l,j}}$: ضریب نسبی ارزیابی پایایی نرمالیزه‌شده خروج تجهیز l در خروج تجهیز j

گام۷: تعیین سهم بازیگران از ظرفیت پایایی

با استفاده از محاسبات روابط (۸) تا (۱۰) و ترکیب آنها با نتایج پخش 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:

$$\mathbf{C_{r,D(i,j)}=w_D\times\sum_{k=1,k\neq j}^{N_L}\left(NRREF_{j,k}\times U_{D(i,k)}^{(o)}\right)} \quad (۱۱)$$

$$\mathbf{C_{r,G(i,j)}=w_G\times\sum_{k=1,k\neq j}^{N_L}\left(NRREF_{j,k}\times U_{G(i,k)}^{(o)}\right)} \quad (۱۲)$$

که:

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

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

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

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

$\mathbf{w_D}$: ضریب وزنی سمت بار در تعیین سهم ظرفیت پایایی

$\mathbf{w_G}$: ضریب وزنی سمت تولید در تعیین سهم ظرفیت پایایی

در روبط فوق عبارات $\mathbf{U_{D_l,k}^{(o)}}$ و $\mathbf{U_{G_l,k}^{(o)}}$ 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 [۱]) 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 می شدند 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 می آید. محاسبه سهم هر کدام از بازیگران سمت بار و تولید به ترتیب با روابط (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است:

$$\mathbf{C_{D(i,j)}=\left(\frac{S_{C,j}}{S_{C,j}+S_{R,j}}\times C_{m,D(i,j)}\right)+\left(\frac{S_{R,j}}{S_{C,j}+S_{R,j}}\times C_{r,D(i,j)}\right)} \quad (۱۳)$$

$$\mathbf{C_{G(i,j)}=\left(\frac{S_{C,j}}{S_{C,j}+S_{R,j}}\times C_{m,G(i,j)}\right)+\left(\frac{S_{R,j}}{S_{C,j}+S_{R,j}}\times C_{r,G(i,j)}\right)} \quad (۱۴)$$

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.12- No.1 Spring & Summer 2014

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

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

$S_{C,j}$: ظرفیت تجاری تجهیز j

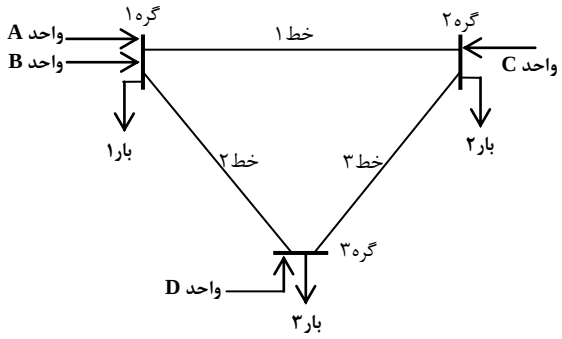
$S_{R,j}$: ظرفیت پایایی تجهیز j

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 قیمتهای گرهی محاسبه می‌شود.

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

شبکه سه‌شینه مورد مطالعه، دارای ۳ خط و ۴ واحد تولیدی می باشد 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): داده های بار و تولید شبکه سه شینه

گره	وضعیت واحدهای تولیدی			وضعیت بار	
	شماره	$P_{G(Max)}$ (MW)	π ($/MWh)	شماره	P_D (MW)
۱	واحدA	۱۴۰	۷/۵	بار۱	۵۰
	واحدB	۲۸۵	۶/۰		
۲	واحدC	۹۰	۱۴/۰	بار۲	۶۰
۳	واحدD	۱۸۵	۱۰/۰	بار۳	۳۰۰
مجموع		۷۰۰	-		۴۱۰

جدول (۲): مشخصات خطوط شبکه سه شینه

خط	گره۱	گره۲	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) تشان داده شده است.

جدول (۳): قیمتهای گرهی ($/MWh)

گره	شرایط	شرایط خروج خطوط		
	نرمال	خط۱	خط۲	خط۳
گره۱	۷/۵۰	۷/۵۰	۶/۰۰	۷/۵۰
گره۲	۱۱/۲۵	۱۰/۰۰	۱۴/۰۰	۷/۵۰
گره۳	۱۰/۰۰	۱۰/۰۰	۱۴/۰۰	۱۰/۰۰

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

جدول (۴): فلوی عبوری از خطوط (MW)

خط	شرایط	شرایط خروج خطوط		
	نرمال	خط۱	خط۲	خط۳
خط۱	۱۲۶	۰	۱۲۶	۶۰
خط۲	۱۵۹	۲۵۰	۰	۲۵۰
خط۳	۶۶	-۶۰	۱۱۵	۰

جدول (۵): تولید واحدهای نیروگاهی (MW)

واحد	شرایط	شرایط خروج خطوط		
	نرمال	خط۱	خط۲	خط۳
واحد A	۵۰	۱۵	۰	۷۵
واحد B	۲۸۵	۲۸۵	۱۷۶	۲۸۵
واحد C	۰	۰	۴۹	۰
واحد D	۷۵	۱۱۰	۱۸۵	۵۰

جدول (۶): درآمد واحدهای نیروگاهی ($)

واحد	شرایط	شرایط خروج خطوط		
	نرمال	خط۱	خط۲	خط۳
واحد A	۳۷۵/۰	۱۱۲/۵	۰/۰	۵۶۲/۵
واحد B	۲۱۳۷/۵	۲۱۳۷/۵	۱۰۵۶/۰	۲۱۳۷/۵
واحد C	۰/۰	۰/۰	۶۸۶/۰	۰/۰
واحد D	۷۵۰/۰	۱۱۰۰/۰	۲۵۹۰/۰	۵۰۰/۰

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol12- No.1 Spring & Sum
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

جدول (۷): پرداختی بارها ($)

بار	شرایط	شرایط خروج خطوط		
	نرمال	خط۱	خط۲	خط۳
بار۱	۳۷۵/۰	۳۷۵/۰	۳۰۰/۰	۳۷۵/۰
بار۲	۶۷۵/۰	۶۰۰/۰	۸۴۰/۰	۴۵۰/۰
بار۳	۳۰۰۰/۰	۳۰۰۰/۰	۴۲۰۰/۰	۳۰۰۰/۰

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

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

سود بازیگر		خط۱	خط۲	خط۳
$\Delta P_{D(i,j)}$	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
$\Delta I_{G(i,j)}$	بار۱	۰	۰(-۷۵)	۰
	بار۲	۰(-۷۵)	۱۶۵	۰(-۲۲۵)
	بار۳	۰	۱۲۰۰	۰

همانطور که مشاهده می‌شود، تنها بازیگری که مستقیماً از حضور خط۱ منتفع شده است، واحدA است و همچنین در مورد خط۳ تنها ذینفع، واحدD می‌باشد؛ ولی در مورد خط۲، واحدهای A و B و بارهای ۲ و ۳ سود برده‌اند.

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		خط۱	خط۲	خط۳
$C_{m,G(i,j)}$	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
$C_{m,D(i,j)}$	بار۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
	بار۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۵۸۵	۰/۰۰۰۰
	بار۳	۰/۰۰۰۰	۰/۴۲۵۳	۰/۰۰۰۰

برای محاسبات مربوط به ظرفیت پایایی، نتیجه محاسبه ضرایب استفاده (سهم 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 ۱/۰۰ خواهد شد و چنانچه متراکم باشد، سهم تمامی بازیگران برابر صفر می‌گردد؛ چون ضریب تأثیر خروج (OIF) مربوط به کلیه خروجهای سایر خطوط برابر صفر بدست می‌آید. 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 نمی‌گردد.

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

ضرایب استفاده		خط۱	خط۲	خط۳
$U^{(o)}_{G(i,j)}$	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
$U^{(o)}_{D(i,j)}$	بار۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
	بار۲	۰/۴۷۶۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
	بار۳	۰/۵۲۳۸	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
مجموع (پایین‌دست)		۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰

جدول (۱۱): سهم بازیگران از تخصیص ظرفیت پایایی

سهم بازیگر		خط۱	خط۲	خط۳
$C_{r,G(i,j)}$	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
$C_{r,D(i,j)}$	بار۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
	بار۲	۰/۰۰۰۰	۰/۱۴۶۵	۰/۰۰۰۰
	بار۳	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.

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.12- No.1 Spring & Summer 2014

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

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

سهم بازیگر		خط۱	خط۲	خط۳
$C_{r,G(i,j)}$	واحد A	۱/۰۰۰۰	۰/۱۱۱۷	۰/۰۳۶۷
	واحد B	۰/۰۰۰۰	۰/۳۹۸۶	۰/۲۰۹۴
	واحد C	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
	واحد D	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۵۰۷۷
$C_{r,D(i,j)}$	بار۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
	بار۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۹۰۵	۰/۰۰۰۰
	بار۳	۰/۰۰۰۰	۰/۳۹۹۲	۰/۲۴۶۲
مجموع		۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰

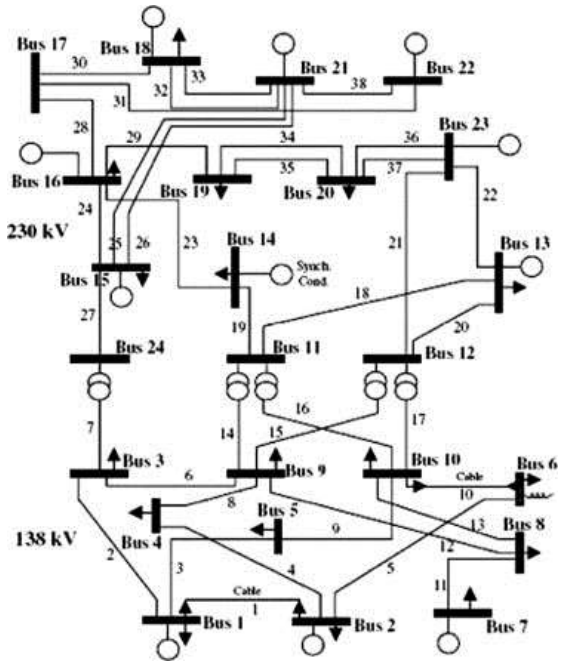
مهمترین نتایج اخذشده از پیاده‌سازی روش پیشنهادی تخصیص هزینه بر روی شبکه سه شینه عبارتند از:

- خط۱ در شرایط نرمال متراکم است. بنابراین ۱۰۰٪ ظرفیت آن تجاری محسوب شده و هزینه آن تنها به واحدA تخصیص داده شده است؛ تنها بازیگری که از وجود خط۱ 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.
- بار۱ و واحدC 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. بار۱ مستقیماً از واحدهای A و B تأمین می‌شود و از شبکه انتقال در شرایط نرمال یا پیشامد استفاده نمی‌کند. واحدC نیز در شرایط نرمال، تولیدی ندارد و در زمان پیشامد نیز (تنها در صورت خروج خط۲) تولید خواهد داشت که تمامی آن به مصرف بار۲ روی همان گره می‌رسد و در هر حال، استفاده‌ای از شبکه نمی‌کند.
- بطورکلی 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 خط۳ (در مقایسه با حذف آن) قیمتهای گره‌های ۱ و ۳ را تغییر نداده و تنها قیمت گره۲ را افزایش می‌دهد و از این حضور، تنها واحدD سود برده است که به واسطه حضور خط۳ تولید بیشتری را با قیمت بالاتر می‌فروشد. برطبق روش پیشنهادی (جدول (۹))، تنها واحدD 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 دیاگرام 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 می باشد.

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



شکل (۲): دیاگرام تک‌خطی شبکه ۲۴ شینه

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol12- No.1 Spring & Sum
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

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): فلوی عبوری نرمال در شبکه ۲۴ شینه

خط	گره۱	گره۲	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

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

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

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 خط۱۰:

خط۱۰ بین شینهای ۶ و ۱۰ قرار دارد؛ حداکثر ظرفیت آن ۱۷۵ مگاوات و فلوی عبوری از آن در شرایط نرمال ۹۱ مگاوات می باشد. با حذف این خط، تولید واحدهای نیروگاهی و قیمتهای گرهی تمامی شینها به جز شین۷ بدون تغییر می‌ماند. قیمت گرهی در شین۷ در شرایط نرمال ۲۰/۰۷۰۳ و در شرایط خروج خط ۱۰ برابر ۲۰/۰۲۹۵ می‌گردد. با خروج خط ۱۰، واحدهای تولیدی متصل به شین۷ درآمد کمتری خواهند داشت؛ پس حضور این خط باعث افزایش سود واحدهای تولیدی متصل به شین۷ 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 روی شین۸ می‌باشند که متصل یا در نزدیکی یکی از دو سمت خط۱۰ می‌باشند. بر اساس روش پیشنهادی، هزینه‌های خط۱۰ بیش از همه به واحدهای تولیدی روی شین۷ (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 شین۶ با سهم ۱۰۰٪ (در ردیابی پایین‌دست) تخصیص داده شده است.

تخصیص هزینه خط۱۱:

خط۱۱ 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 شین۷ به ترتیب ۱۲۵ و ۳۰۰ مگاوات است و از این رو خط۱۱ 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 خط۱۱ 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 شین۷ و بارهای روی سایر شینها

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol12- No.1 Spring & Sum
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

تخصیص یابد؛ چرا که به واسطه خط مذکور، واحدهای متصل به شین۷، 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 حضور خط۱۱، سودی که مصرف‌کنندگان (سایر شینها) و تولیدکنندگان (روی شین۷) به دست می‌آورند، به‌ترتیب ۲۲۲۸۵/۶ و ۳۷۷/۴ دلار در ساعت است.

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 هر بازیگر بر اساس روش ردیابی بیالک		
		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	خط ۱۰	خط ۱۱	خط ۲۱
واحد۱	۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۲	۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۳	۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۱۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۴	۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۱۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۵	۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۱۶۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۸۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۶	۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۱۶۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۸۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۷	۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۷۹۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۱۰	۰.۰۳۸۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۸	۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۷۹۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۱۰	۰.۰۳۸۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۹	۷	۰.۳۳۳۳	۰.۰۴۸۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۱۳۱	۰.۱۷۲۸	۰.۰۴۸۳	۰.۰۰۹۱	۰.۰۰۸۵	۰.۳۳۳۳	۰.۰۰۰۰
واحد۱۰	۷	۰.۳۳۳۳	۰.۰۴۸۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۱۳۱	۰.۱۷۲۸	۰.۰۴۸۳	۰.۰۰۹۱	۰.۰۰۸۵	۰.۳۳۳۳	۰.۰۰۰۰
واحد۱۱	۷	۰.۳۳۳۳	۰.۰۴۸۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۱۳۱	۰.۱۷۲۸	۰.۰۴۸۳	۰.۰۰۹۱	۰.۰۰۸۵	۰.۳۳۳۳	۰.۰۰۰۰
واحد۱۲	۱۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۲۹۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۳۲۴	۰.۰۱۴۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۲۲۴	۰.۱۸۶۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۱۳	۱۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۲۹۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۳۲۴	۰.۰۱۴۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۲۲۴	۰.۱۸۶۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۱۴	۱۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۲۹۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۳۲۴	۰.۰۱۴۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۲۲۴	۰.۱۸۶۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۱۵	۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۱۶	۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۱۷	۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۱۸	۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۱۹	۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۲۰	۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۲۱	۱۶	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۸۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۲۰۸	۰.۰۰۴۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۱۴۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۲۲	۱۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۲۳	۲۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۳۵۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۲۵۸	۰.۰۱۷۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۱۷۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۲۴	۲۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۹۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۱۰۳	۰.۰۰۴۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۷۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۲۵	۲۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۹۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۱۰۳	۰.۰۰۴۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۷۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۲۶	۲۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۹۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۱۰۳	۰.۰۰۴۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۷۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۲۷	۲۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۹۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۱۰۳	۰.۰۰۴۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۷۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۲۸	۲۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۹۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۱۰۳	۰.۰۰۴۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۷۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۲۹	۲۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۹۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۱۰۳	۰.۰۰۴۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۷۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
واحد۳۰	۲۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۲۶۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۵۸۷	۰.۰۱۲۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۴۰۶	۰.۰۹۷۷	۰.۰۰۰۰	۰.۲۳۴۸
واحد۳۱	۲۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۲۶۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۵۸۷	۰.۰۱۲۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۴۰۶	۰.۰۹۷۷	۰.۰۰۰۰	۰.۲۳۴۸
واحد۳۲	۲۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۵۹۹	۰.۰۰۰۰	۰.۱۳۲۶	۰.۰۲۸۹	۰.۰۰۰۰	۰.۰۹۱۸	۰.۲۲۰۵	۰.۰۰۰۰	۰.۵۳۰۳
مجموع سهم تولید		۱.۰۰۰	۰.۱۴۵	۰.۰۰۰	۰.۵۰۰	۰.۰۰۰	۰.۵۰۰	۰.۷۵۹	۰.۱۴۵	۰.۳۴۶	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰
بار۱	۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۳۳۹	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۳۳۹	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار۲	۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۳۰۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۳۰۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار۳	۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۵۶۵	۰.۰۶۶۵	۰.۱۰۶۵	۰.۰۰۰۰	۰.۱۳۸۱	۰.۰۵۶۵	۰.۰۷۳۷	۰.۰۶۰۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار۴	۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۲۳۲	۰.۰۲۵۸	۰.۰۱۱۶	۰.۰۰۰۰	۰.۰۵۳۶	۰.۰۲۳۲	۰.۰۰۸۰	۰.۰۶۵۹	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار۵	۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۲۲۳	۰.۰۱۳۸	۰.۰۰۸۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۲۸۵	۰.۰۲۲۳	۰.۰۰۵۶	۰.۰۲۹۱	۰.۰۰۲۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار۶	۶	۰.۰۰۰۰	۰.۰۴۲۷	۰.۰۹۳۲	۰.۰۳۱۳	۰.۰۰۰۰	۰.۱۹۳۳	۰.۰۴۲۷	۰.۰۲۱۷	۰.۱۶۱۶	۰.۰۱۳۲	۱.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار۷	۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۳۰۷۹	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار۸	۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۵۳۷	۰.۰۰۰۵	۰.۰۳۸۶	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۱۱	۰.۰۵۳۷	۰.۰۲۶۷	۰.۰۰۶۹	۰.۹۵۶۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار۹	۹	۰.۰۰۰۰	۰.۰۵۴۹	۰.۰۲۵۱	۰.۰۵۴۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۵۲۱	۰.۰۵۴۹	۰.۰۳۷۷	۰.۳۲۸۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار۱۰	۱۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۶۱۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۶۳۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۶۱۲	۰.۰۴۴۰	۰.۳۴۷۶	۰.۰۲۸۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار۱۳	۱۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۸۳۲	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۸۳۲	۰.۰۸۹۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار۱۴	۱۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۶۰۹	۰.۰۰۷۸	۰.۱۲۸۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۱۶۱	۰.۰۶۰۹	۰.۰۸۹۱	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار۱۵	۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۹۹۵	۰.۰۰۳۴	۰.۰۱۵۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۷۱	۰.۰۹۹۵	۰.۰۱۰۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.12- No.1 Spring & Summer 2014

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

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 هر بازیگر بر اساس روش ردیابی بیالک		
		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	خط ۱۰	خط ۱۱	خط ۲۱
بار۱۶	۱۶	۰.۰۰۰۰	۰.۰۳۱۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۳۱۴	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار۱۸	۱۸	۰.۰۰۰۰	۰.۱۰۴۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۱۵	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۱۱	۰.۰۰۰۷	۰.۱۰۴۵	۰.۰۰۰۷	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
بار۱۹	۱۹	۰.۰۰۰۰	۰.۰۵۶۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۶۸	۰.۰۰۰۰	۰.۰۳۲۲	۰.۰۰۳۳	۰.۰۵۶۸	۰.۰۲۲۳	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
مجموع سهم بار		۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۰.۲۴۱	۰.۸۵۵	۰.۶۵۴	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰
مجموع کل		۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۱.۰۰۰۰	–	–	–

براساس روش پیشنهادی (جدول (۱۵))، تخصیص هزینه‌های خط فوق به بازیگران ذینفع صورت گرفته که با نسبت ۱۴/۵٪ (برای تولیدکنندگان شین۷) به ۸۵/۵٪ (برای مصرف‌کنندگان سایر شین‌ها) می‌باشد؛ در حالی‌که بر اساس روش بیالک، در روش بالادست، ۱۰۰٪ به تولید روی شین۷ 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 خط۲۱:

خط۲۱ دو شین ۱۲ و ۲۳ را بهم متصل می‌کند و فلوی حالت نرمال آن ۱۵۴ مگاوات است. با خروج این خط (مشابه خط ۱۰)، تولید کلیه واحدها و قیمتهای گرهی مربوطه بجز واحدهای روی شین۷ ثابت می‌ماند ولی (برخلاف خط۱۰)، قیمتهای گرهی روی شین۷ از ۲۰/۰۷۰۳ به ۲۰/۱۰۰۷ دلار بر مگاوات ساعت افزایش می‌یابد. بنابراین با خروج خط۲۱، سود سایر واحدها و بارها ثابت است و تنها واحدهای روی شین۷ سود بیشتری می‌برند و مصرف کنندگان آن متضرر می‌شوند.

بنابراین حضور خط۲۱، برای کلیه واحدهای تولیدی شبکه سودی ندارد و ذینفعان خط مذکور، تنها مصرف‌کنندگان روی شین۷ می‌باشند. نتیجه این موضوع به خوبی در ستون مربوط به تخصیص هزینه ظرفیت تجاری خط۲۱ در جدول (۱۵) مشاهده می‌شود. ضمناً با توجه به حیاتی بودن این خط در شرایط پیشامد، تخصیص ظرفیت قابلیت اطیمنان آن بر این موضوع تأثیر گذاشته و در تخصیص نهایی، اغلب بازیگران سهیم می باشند ولی نقش بارهای شین۷ همچنان غالب است. این در حالیست که در روش بیالک نه‌تنها بارهای مذکور سهمی در هزینه‌های خط۲۱ 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:

- 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 شین۷، 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 شین۷، از تخصیص هزینه ظرفیت تجاری صفر است و برای بارهای مذکور، برابر با ۱ است.
- برای خط۱۱، اغلب بازیگران از ظرفیت تجاری خط مربوطه سهم دارند: شامل واحدهای تولیدی متصل به شین۷ با سهم ۰/۰۴۸۳*۳) و بارهای سایر شینها با سهم ۰/۰۲ (برای شینهای ۴ و ۵) تا ۰/۱۰ (برای شین۱۸).

۵- نتیجه گیری

تخصیص هزینه‌های انتقال همچنان موضوعی چالش‌برانگیز 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 فلوی عبوری، این مفهوم به خوبی مشاهده می‌شود. در برخی موارد نیز، معیارهای پایایی به تنهایی مبنای تخصیص هزینه انتقال بوده است. از خلاءهای تحقیقات صورت‌گرفته، می توان 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

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol12- No.1 Spring & Sum
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

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 روش‌پیشنهادی با لحاظ گردن 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) می تواند 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 مدعاست. 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] Shahidehpour 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 گلدانی "تخصیص تلفات انتقال در محیط ترکیبی قراردادهای دوجانبه- حوضچه توان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی" نشریه 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?fileID=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.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[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.

زیرنویس‌ها

[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
[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)

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]