Archive of SID

روش ترکیبی تخصیص هزینه خدمات انتقال بر اساس تأثیر تجهیزات انتقال در پایایی سیستم و ارزش تجاری

حسن اسماعیلی و علی کریمی

چکیده: با ظهور بازارهای برق و ایجاد محیط رقابتی در سیستم‌های قدرت، تخصیص مناسب هزینه‌های انتقال بین کاربران شبکه (مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان) اهمیت زیادی دارد تا به سرمایه‌گذاری مؤثر در شبکه انتقال کمک کند. در این مقاله، روشی ترکیبی برای تخصیص هزینه خدمات انتقال بر اساس تأثیر تجهیزات انتقال در پایایی سیستم و ارزش تجاری آنها پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی، اولاً منافع کاربران شبکه در بازار برق و به عبارتی دیگر، مبنای تجاری در تخصیص هزینه‌ها مورد توجه قرار گرفته است. ثانیاً بر اساس تأثیر تجهیزات شبکه در پایایی سیستم شامل مؤلفه‌های امنیت و کفایت سیستم و نفعی که کاربران از این مؤلفه‌ها می‌برند، تخصیص انجام شده است. برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی، ظرفیت هر تجهیز شبکه شامل خط و ترانسفورماتور به چهار بخشِ ظرفیت تجاری، ظرفیت برای پیشامد به منظور حفظ امنیت، ظرفیت برای آینده به منظور حفظ کفایت و ظرفیت نامعتبر تقسیم می‌شود. برای نشان‌دادن کارایی روش ترکیبی پیشنهادی، مطالعات عددی در شبکه‌های نمونه سه شینه و ۳۰ شینه IEEE انجام و نتایج آن با روش‌های دیگر مقایسه شده است.

کلیدواژه: **بازار برق، تخصیص هزینه خدمات انتقال، ظرفیت تجاری، ظرفیت‌های پایایی، ظرفیت پیشامد، ظرفیت آینده.**

۱- مقدمه

پیش از تجدید ساختار در صنعت برق و ایجاد بازارهای برق، هزینه‌های انتقال به صورت هزینه مستتر در بهای برق مصرفی از مشتریان اخذ می‌شد. در چنین سیستمی، خدمات انتقال برق مطرح نبود و این خدمت در موضوع بزرگ‌تری به نام تأمین انرژی الکتریکی ادغام می‌شد. از این رو نیازی به تخصیص هزینه خدمات انتقال[1] برق وجود نداشت و از سوی دیگر، توسعه شبکه انتقال معمولاً در طرح کلان‌تر برق‌رسانی به مشترکان انجام می‌شد. با ایجاد بازارهای برق، استفاده از شبکه و همچنین توسعه آن به شیوه سنتی میسر نبود و از این رو، یکی از مباحث مهم در این حوزه، تخصیص کارا و مؤثر هزینه خدمات انتقال است. اگرچه در بسیاری از بازارهای نوظهور، شبکه‌های انتقال همچنان به صورت انحصاری بهره‌برداری و برنامه‌ریزی می‌گردند، اما باز تخصیص هزینه‌های انتقال برق اجتناب‌پذیر است [۱] و [۲].

در یک بازار رقابتی، لازم است شبکه انتقال در اختیار نهادهای مستقل باشد (مالکان شبکه انتقال یا TransCoها) و به عبارتی، سود و زیان آن به طور مستقل تراز گردد. این نهادها دارای هزینه‌های کوتاه‌مدت (بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات) و بلندمدت (توسعه شبکه) هستند. یکی از مشکلات انحصاری‌ماندن شبکه‌های انتقال، برآورده‌نشدن هزینه‌های مذکور است. البته همواره سعی بر این بوده که هزینه‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت انتقال از مشترکان اخذ گردد اما بسیاری از روش‌های پیشنهادی، بدون در نظر گرفتن ارزش واقعی شبکه انتقال، تنها سعی در پوشش‌دادن هزینه‌های انتقال بر اساس میزان استفاده داشته‌اند. همچنین در برخی موارد، تنها هزینه‌های کوتاه‌مدت مربوط برآورد شده و عموماً از بازیگران (مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان) به طور یکنواخت اخذ شده است. اما بر اساس مطالعات صورت‌گرفته و تجربیات سال‌های اخیر، این درآمدها جوابگوی توسعه‌های آتی شبکه انتقال نمی‌باشند و از طرفی، عادلانه نیست [۳] و [۴]. برخی سؤالات مهمی که در این حوزه مطرح می‌شوند عبارتند از ارزش واقعی شبکه انتقال چه میزان است و چه تأثیری بر منافع کاربران یا بازیگران دارد؟ چه راهکارهایی برای تخصیص هزینه‌های خدمات انتقال به بازیگران وجود دارد و آیا روش‌های موجود جوابگوی نیازهای شبکه در یک بازار رقابتی هستند؟ چگونه می‌توان بر اساس ارزش تجاری و واقعی شبکه، هزینه‌های آن را تخصیص داد؟ ذینفعان و مسئولان پرداخت هزینه‌های انتقال چه کسانی هستند؟

تحقیقات انجام‌شده در خصوص تخصیص هزینه‌های انتقال با عناوینی همچون تعیین تعرفه یا نرخ خدمات، قیمت‌گذاری انتقال، بهای انتقال و سایر موارد مشابه همراه است. در اغلب این مطالعات، فرض شده که استفاده‌کنندگان از شبکه باید هزینه‌های ناشی از استفاده را پرداخت نمایند که به صورت سهم هر کاربر از هزینه تعیین‌شده برای خط مشخص می‌شود (چه شبکه به طور انحصاری با مالکیت عمومی اداره شود و چه به صورت مالکیت خصوصی). روش‌های مرسوم تخصیص هزینه‌های انتقال عبارتند از تمبر پستی، مگاوات مایل، مسیر قراردادی، ضرایب توزیع، ردیابی کرشن، بیالک و ظرفیت استفاده‌نشده انتقال [۳] تا [۶]. روش تمبر پستی تنها بستگی به مقدار توان جابه‌جاشده و مدت زمان مصرف، بدون در نظر گرفتن تولید، توزیع، فاصله جغرافیایی انتقال یا توزیع بار در خطوط شبکه در یک قرارداد خاص دارد. روش مگاوات مایل بر اساس میزان مصرف و فاصله طی‌شده انرژی تخصیص را انجام می‌دهد. در روش مسیر قراردادی فرض می‌شود که توان از نزدیک‌ترین مسیر بین ژنراتور طرف قرارداد و بار مربوط جاری می‌شود. بر حسب مدت زمان، توان و طول شبکه مورد استفاده، بهای ترانزیت برق محاسبه (و یا توافق) می‌گردد که طرفین قرارداد باید پرداخت نمایند [۳]. ضرایب توزیع (ضرایب توزیع جابه‌جایی تولید و ضرایب تعمیم‌یافته توزیع تولید و بار) بر اساس پخش بارهای خطی محاسبه می‌شوند و در تعیین تقریبی تأثیر تولید و بار بر توان‌های انتقالی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۷]. روش ردیابی بیالک برای اولین بار توسط بیالک مطرح شد و سپس به صورت فراگیر توسط محققین دیگر مورد استفاده قرار گرفت. این روش بر اساس اصل تسهیم تناسبی،

این مقاله در تاریخ ۱۲ فروردین ماه ۱۳۹۸ دریافت و در تاریخ ۲ آذر ماه ۱۳۹۸ بازنگری شد.

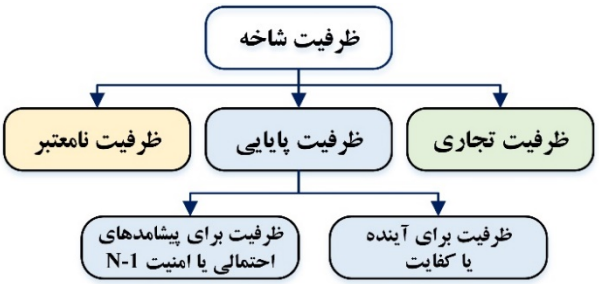
حسن اسماعیلی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، (email: eng.smaili@gmail.com).

علی کریمی (نویسنده مسئول)، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، (email: a.karimi@kashanu.ac.ir).

1. Transmission Cost Allocation

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱: ظرفیت هر شاخه در چارچوب پیشنهادی.

توان‌های واردشده به یک گره را به طور متناسب به توان‌های خارج‌شده از آن گره تخصیص می‌دهد [۸] و [۹]. در روش ردیابی کرشن نیز با کمک ردیابی توان به تعیین سهم بازیگران مختلف از توان عبوری پرداخته می‌شود. با این تفاوت که به جای بررسی شین به شین، مجموعه‌ای از شین‌ها به صورت گروهی در نظر گرفته می‌شوند و شین‌های یک گروه، بارشان را از منبع تولید مشخصی دریافت می‌کنند [۱۰]. در [۱۱] اگرچه موضوع سرمایه‌گذاری در خطوط انتقال توسط شرکت‌های تولیدی مطرح شده، اما یک روش مبتنی بر مگاوات مایل نیز برای برگشت سرمایه شرکت‌ها پیشنهاد گردیده است. اثرگذاری و کارایی روش تخصیص هزینه‌های انتقال در بازار برق مکزیک در [۱۲] بحث شده است.

در [۱۳] روشی برای اختصاص هزینه ثابت انتقال بر مبنای اصلاح ماتریس امپدانس ارائه شده است. در این رویکرد، رابطه بین جریان‌های ژنراتور یا بار و جریان‌های تزریق‌شده شین با استفاده از یک ماتریس ثابت تعریف می‌شود. سپس پخش بار اکتیو برای هر یک از خطوط بر حسب جریان‌های ژنراتور یا جریان‌های بار بیان می‌شود. در [۱۴] نیز با استفاده از ماتریس امپدانس اصلاح‌شده، مشارکت کاربران در ولتاژ شین‌ها و جریان شاخه‌ها (خطوط یا ترانسفورماتورها) تعیین شده و سپس بر اساس تئوری بازی، اصل تقسیمِ برابر اعتبارسنجی شده است. نتایج روش ارائه‌شده به صورت سهم هر کاربر بر حسب درصد از هر شاخه بیان گردیده است. در [۱۵] روشی مبتنی بر سهم هر کاربر در شرایط قراردادهای چندگانه بین شرکت‌های تولیدی و مصرفی پیشنهاد شده است.

در [۱۶] روشی مبتنی بر پخش بار و لحاظ پیشامدهای $N-1$، در بازار حوضچه برای تخصیص هزینه‌های ثابت شبکه انتقال پیشنهاد شده است. ایده اصلی این مقاله این است که بارگذاری هر شاخه صرفاً در شرایط بهره‌برداری عادی دیده نشود و اثرگذاری خط در شرایط پیشامد نیز لحاظ شود. در [۱۷] که ایده [۱۶] توسعه داده شده است، ظرفیت انتقال به چهار مؤلفه شامل ظرفیت در شرایط عادی، ظرفیت برای پیشامدهای احتمالی $(N-1)$، ظرفیت ذخیره برای استفاده آینده و ظرفیت نامعتبر تقسیم می‌شود. ظرفیت‌های شرایط عادی و $N-1$ توسط پخش بار تعیین می‌شوند. ظرفیت ذخیره برای استفاده آینده توسط بیشینه پخش بار در یک دوره زمانی (مثلاً سالانه) و در شرایط پیشامد تعیین می‌شود. ظرفیت اضافه بر موارد فوق به عنوان ظرفیت نامعتبر به کاربران شبکه اختصاص نمی‌یابد.

دیدگاه دیگری که در مقالات اندکی مطرح شده، دیدگاه تجاری است. در [۱۸] و [۱۹] هزینه انتقال به صورت تجاری و بر مبنای ارزش‌محور به کاربران تخصیص می‌یابد. دیدگاه اصلی روش ارزش‌محور این است که کاربرانی که به دلیل وجود تجهیزات انتقال بیشترین نفع اقتصادی را از بازار برق می‌برند، باید هزینه بیشتری بپردازند. در این مقالات برای تخصیص هزینه، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان به نسبت مساوی ۵۰٪ ولی با روش ارزش‌محور، مشارکت می‌کنند.

www.SID.ir

یکی از موضوعات مطرح در تخصیص هزینه‌های انتقال این است که کدام یک از دو سمت «تولید» و «بار» مسئول پرداخت هستند. اگرچه در نهایت هزینه‌ها از کاربران اخذ خواهد شد اما نحوه تخصیص می‌تواند بر عملکرد بازار و یا برنامه‌ریزی توسعه اثرگذار باشد. روش تخصیص نیز باید 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. از طرفی، نقش تجهیزات انتقال در حفظ یکپارچگی و پایایی[1] شبکه نیز اجتناب‌ناپذیر است. به عبارتی دیگر، اگرچه این تجهیزات ممکن است به برخی کاربران نفع بیشتری برسانند ولی عامل پایایی سیستم هستند که نفعش به همه کاربران می‌رسد. به طور مثال، بر اساس گزارش شورای پایایی آمریکای شمالی یا NERC[2]، حدود ۳۵٪ شبکه آتی انتقال آمریکای شمالی در سطح kV ۲۰۰ و بالاتر برای تأمین نیازهای پایایی شبکه می‌باشند [۲۰].

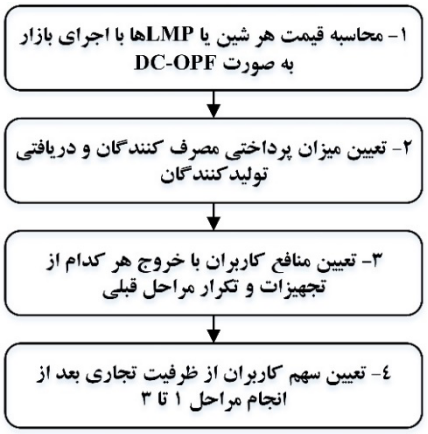
با توجه به تحقیقات گذشته، تخصیص هزینه‌های انتقال یا مبتنی بر استفاده کاربران از تجهیز انتقال، یا مبتنی بر تأثیر در پایایی سیستم یا به صورت ارزش‌محور بوده است. با توجه به نوبودن دیدگاه تجاری در تخصیص هزینه‌ها، ارائه یک روش ترکیبی که مجموعه عوامل فوق را در نظر بگیرد می‌تواند مطلوب باشد. از این رو در این مقاله، با توجه به آخرین روش‌های ارائه‌شده در حوزه تخصیص هزینه‌ها، یک روش ترکیبی جامع پیشنهاد می‌شود. در روش پیشنهادی، با در نظر گرفتن ارزش تجاری تجهیزات انتقال در تخصیص هزینه‌ها، وابستگی ارزش تجاری کاربران به توان‌های عبوری از شاخه‌های شبکه (شامل خطوط و یا ترانسفورماتورها)، غیر مستقیم است و نه مستقیم. از طرفی در نظر گرفتن نقش پایایی (با مؤلفه‌های امنیت[3] و کفایت[4])، روش پیشنهادی را نسبت به روش‌های قبلی جامع‌تر خواهد کرد. برای نشان‌دادن کارایی روش پیشنهادی، مطالعات عددی در شبکه‌های نمونه سه‌شینه و ۳۰ شینه IEEE انجام و نتایج آن با روش‌های ارائه‌شده در مقالات پایه مقایسه گردیده است. در بخش ۲ چارچوب اصلی روش پیشنهادی به همراه مدل‌سازی ارائه می‌شود. بخش ۳ شامل نتایج مطالعات عددی در دو شبکه نمونه مورد نظر است و در نهایت، نتیجه‌گیری مقاله نیز در بخش ۴ ارائه شده است.

۲- چارچوب روش پیشنهادی

همان طور که در بخش مقدمه اشاره شد، [۱۷] یکی از تحقیقات اخیر در زمینه تخصیص هزینه‌های خدمات انتقال می‌باشد که ظرفیت خطوط انتقال را به چهار بخش تقسیم می‌نماید. در این مقاله نیز از ایده [۱۷] استفاده می‌شود، با این تفاوت که دیدگاه ارزش‌محور (تجاری) به جای دیدگاه استفاده‌محور در چارچوب پیشنهادی لحاظ می‌شود. همان طور که قبلاً اشاره شد در [۱۸] و [۱۹] مفهوم ارزش‌محور مطرح شده است. به طور خلاصه، در چارچوب پیشنهادی، ظرفیت هر شاخه به صورت شکل ۱ تقسیم‌بندی می‌شود. بنابراین در این مقاله با در نظر گرفتن چهار ظرفیت برای هر شاخه انتقال با عناوین تجاری (MC)[5]، پیشامد (CC)[6] به صورت امنیت $N-1$، برای آینده (CF)[7] به منظور تضمین کفایت شبکه

1. Reliability
2. North America Reliability Corporation
3. Security
4. Adequacy
5. Merchant Capacity
6. Capacity Reserved for Contingencies
7. Capacity Reserved for Future Use

Archive of SID



شکل ۲: مراحل تعیین تخصیص تجاری هزینه.

و نامعتبر[1] (IC)، روش پیشنهادی تشریح می‌گردد. دو ظرفیت CC و CF در زیرمجموعه پایایی سیستم قرار می‌گیرند. به طور کلی، ظرفیت کل هر شاخه (P) به صورت (۱) بیان می‌شود

$$P = MC + CC + CF + IC \,. \qquad (۱)$$

به طور خلاصه، ظرفیت تجاری آن بخشی از ظرفیت تجهیز انتقال است که در فرایند تسویه بازار استفاده می‌شود و با اجرای پخش بار بهینه بازاری قابل محاسبه است. مابقی ظرفیت انتقال منهای ظرفیت نامعتبر، ظرفیت پایایی (S_r) تعریف شده است

$$S_r = P - MC - IC = CC + CF \,. \qquad (۲)$$

۲-۱ ظرفیت تجاری و تخصیص هزینه

مالکان شبکه انتقال با تجهیزاتی که در اختیار دارند، امکان رقابت بین کاربران را ایجاد می‌کنند. از دیدگاه مشترکان بار، وجود شاخه‌های انتقال، دسترسی به انواع تولید با قیمت‌های متفاوت را فراهم می‌کند و از دیدگاه تولیدکنندگان توان، امکان رقابت بین واحدهای تولید دوردست و محلی برای تأمین بار ایجاد می‌شود. از این رو می‌توان ارزش شبکه انتقال را بر مبنای تفاوت قیمت‌های نهایی و تبدیل خدمات آن به یک کالای تجاری نشان داد. این ارزش می‌تواند مبنایی برای قیمت‌گذاری خدمات انتقال باشد و از طرفی، تشویق سرمایه‌گذاری جهت توسعه شبکه را فراهم کند [۱۸]. برای ظرفیت تجاری انتقال، تخصیص هزینه خدمات انتقال بر اساس منافع کاربران از ظرفیت هر تجهیز به دست می‌آید. با تعیین تأثیر هر کدام از تجهیزات بر میزان پرداختی مصرف‌کنندگان و یا درآمد تولیدکنندگان، سهم هر بازیگر از تجهیزات انتقال به دست می‌آید. در واقع، سود بازیگران با و بدون حضور هر کدام از تجهیزات انتقال محاسبه و با هم مقایسه می‌شود تا منافع کاربران از وجود تجهیزات مذکور و سهم هر کدام مشخص شود. در شکل ۲ مراحل تعیین تخصیص تجاری هزینه نشان داده شده است. پرداختی مصرف‌کنندگان با توجه به (۳) و دریافتی تولیدکنندگان از (۴) به دست می‌آید

$$DP_i = D_i \times LMP_i \;,\; \forall i = ۱,۲,\ldots,N_B \qquad (۳)$$

$$GI_i = G_i \times LMP_i \;,\; \forall i = ۱,۲,\ldots,N_B \qquad (۴)$$

که i اندیس شین (تعداد شین‌ها N_B)، DP_i پرداختی بار در شین i، GI_i دریافتی یا درآمد ژنراتور در شین i، D_i و G_i نیز به ترتیب میزان مصرف و تولید در شین i و در نهایت، LMP_i نیز قیمت حدی در هر شین است.

در مرحله سوم، با خروج هر کدام از شاخه‌ها و تکرار مراحل قبلی، میزان پرداختی‌های مصرف‌کنندگان و درآمد تولیدکنندگان در شرایط جدید به دست می‌آید. بنابراین منافع بازیگران از حضور هر یک از شاخه‌ها با محاسبه تفاضل بین شرایط عادی و خروج شاخه‌ها با کمک (۵) و (۶) محاسبه می‌شود

$$\Delta DP_{i,j} = \begin{cases} DP_i^{(\cdot)} - DP_i^{(j)} & \text{if } \; DP_i^{(\cdot)} < DP_i^{(j)} \\ \cdot & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (۵)$$

$$\Delta GI_{i,j} = \begin{cases} GI_i^{(\cdot)} - GI_i^{(j)} & \text{if } \; GI_i^{(\cdot)} > GI_i^{(j)} \\ \cdot & \text{otherwise} \end{cases} , \qquad (۶)$$

که j اندیس شاخه، $\Delta DP_{i,j}$ و $\Delta GI_{i,j}$ به ترتیب، منافع مصرف‌کننده و ژنراتور در شین i از حضور شاخه j بر حسب واحد پول و منظور از بالانویس (۰) و (j) برای متغیرهای DP_i و GI_i به ترتیب، شرایط عادی و شرایط خروج شاخه j است. به طور مثال، $DP_i^{(j)}$ پرداختی مصرف‌کننده i در شرایط خروج شاخه j است.

در مرحله چهارم، تعیین سهم بازیگران از ظرفیت تجاری بعد از انجام مراحل ۱ تا ۳ به وسیله (۷) و (۸) محاسبه می‌شود (بر حسب درصد)

$$C_{i,j}^{MC,D} = \frac{\Delta DP_{i,j}}{\sum_{b=۱}^{N_B} \Delta DP_{b,j} + \sum_{b=۱}^{N_B} \Delta GI_{b,j}} \qquad (۷)$$

$$C_{i,j}^{MC,G} = \frac{\Delta GI_{i,j}}{\sum_{b=۱}^{N_B} \Delta DP_{b,j} + \sum_{b=۱}^{N_B} \Delta GI_{b,j}} , \qquad (۸)$$

که b همانند i اندیس شین، $C_{i,j}^{MC,D}$ سهم بار i و $C_{i,j}^{MC,G}$ سهم ژنراتور i از ظرفیت تجاری شاخه j است. با توجه به مراحل چهارگانه، هزینه خدمات انتقال برق بر اساس منافع تجاری کاربران از ۰ تا ۱۰۰٪ تخصیص داده می‌شود. به طور مثال اگر سهم کاربر i از ظرفیت تجاری خط j برابر یک (یا صد درصد) باشد بدین معنی است که تنها کاربر i از کل ظرفیت تجاری خط j نفع می‌برد و سایر کاربران از ظرفیت تجاری خط هیچ سهمی ندارند.

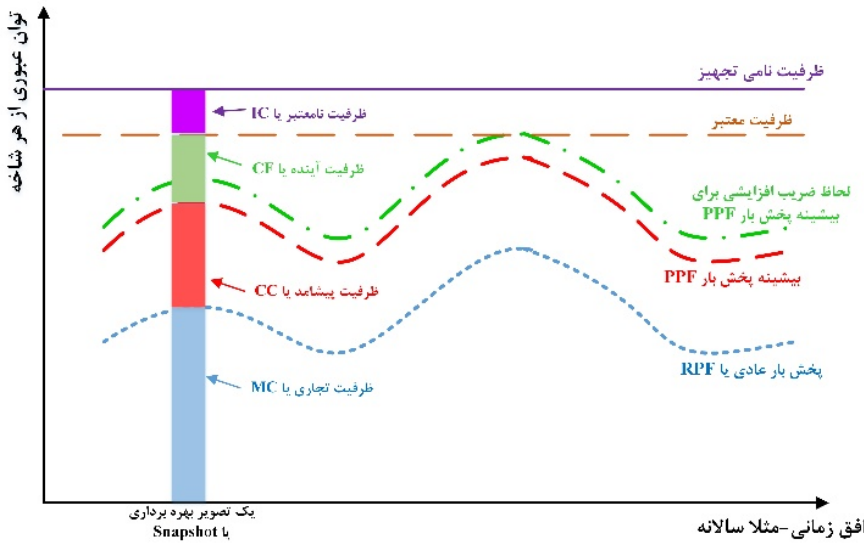
۲-۲ تخصیص هزینه جهت ظرفیت پایایی

مطابق با تعریف NERC پایایی سیستم قدرت معیاری است از عملکرد عناصر سیستم در تأمین توان مصرف‌کنندگان مطابق با استانداردهای پذیرفته‌شده و در مقادیر مطلوب. پایایی را می‌توان با در نظر گرفتن دو مفهوم اساسیِ کفایت (توانایی سیستم برای تأمین مجموع توان الکتریکی و انرژی مورد نیاز مصرف‌کنندگان در تمام زمان‌ها، با در نظر گرفتن اثرات خروج تجهیزات) و امنیت (توانایی سیستم برای تحمل اغتشاش‌هایِ ناگهانی مانند اتصال کوتاه یا خروج‌های پیش‌بینی نشده تجهیزات) تعریف نمود [۲۱]. البته امنیت سیستم هم تحلیل حالت استاتیکی (حالت ماندگار پس از خطا) و هم تحلیل دینامیکی را در بر می‌گیرد که در این مقاله، حالت استاتیکی مد نظر است. در چارچوب پیشنهادی، از بین ظرفیت‌های چهارگانه، ظرفیت‌های CC و CF مطابق (۲) مرتبط با پایایی هستند. در واقع با توجه به تعریف NERC از کفایت و امنیت، CC اشاره به امنیت و CF اشاره به کفایت سیستم دارد. توان عبوری از تجهیزات شبکه در شرایط عادی و پیشامد به ترتیب به عنوان پخش بار حقیقی یا حالت

1. Invalid Capacity

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳: نحوه تعیین ظرفیت‌های چهارگانه یک شاخه انتقال.

عادی[1] (RPF) و پخش بار بالقوه[2] (PPF) تعریف می‌شود. نحوه تعیین چهار ظرفیت مورد نظر در هر شاخه در شکل ۳ تشریح شده است.

ظرفیت تجاری یا MC از پخش بار در حالت عادی محاسبه می‌شود که همان خروجی بازار برق در یک تصویر بهره‌برداری[3] (مثلاً یک ساعت) است. ظرفیت حالت پیشامد یا CC نیز توسط بیشینه PPF در یک تصویر بهره‌برداری مطابق با (۹) به دست می‌آید

$$CC_j = f_j^{(\tilde{c})} - f_j^{(\cdot)} = \max_{c\in\{\cdot\}\cup C}\left|f_j^{(c)}\right| - f_j^{(\cdot)}, \qquad (۹)$$

که $f_j^{(\cdot)}$ توان عبوری از شاخه j در شرایط عادی، $f_j^{(\tilde{c})}$ بیشینه توان عبوری از تجهیز j (با اجرای همه پیشامدها، بیشینه توان هر شاخه به دست می‌آید)، C مجموعه پیشامدهای خروج منفرد یا $N-1$ و $\tilde{c}$ نیز حالت مربوط به بیشترین توان روی هر شاخه است که معمولاً در یکی از پیشامدها رخ می‌دهد. برای تعیین ظرفیت آینده یا CF باید سیستم را در یک دوره زمانی T (مثلاً سالانه) ارزیابی نمود. بیشترین بارگذاری تجهیز در دوره زمانی T ($f_{j,\max}^T$) از (۱۰) به دست می‌آید که $f_j^{(c),t}$ توان عبوری از تجهیز j در شرایط c در زمان t (تصویر بهره‌برداری) است

$$f_{j,\max}^T = \max_{c\in\{\cdot\}\cup C,\, t\in T}\left|f_j^{(c),t}\right|. \qquad (۱۰)$$

با توجه به عدم قطعیت‌های مختلف بهره‌برداری می‌توان با استفاده از یک عدد اسکالر (α_j)، ظرفیت آینده را از $f_{j,\max}^T$ مطابق با (۱۱) به دست آورد. در واقع با یک ضریب افزایشی، بیشینه PPF اصلاح می‌شود (در شکل ۳ نیز منحنی سبزرنگ نسبت به قرمز صرفاً جابه‌جا شده است)

$$CF_j = [(1+\alpha_j)\times f_{j,\max}^T] - f_j^{(\tilde{c})}. \qquad (۱۱)$$

بنابراین ظرفیت معتبر و نامعتبر هر شاخه از (۱۲) محاسبه می‌شود

$$\begin{aligned} P_{j,valid} &= \min\{P_j, (1+\alpha_j)\times f_{j,\max}^T\}, \\ IC_j &= P_j - P_{j,valid} \end{aligned} \qquad (۱۲)$$

که P_j ظرفیت شاخه j است.

۲-۲-۱ تخصیص هزینه برای شرایط پیشامد N-۱

سهم کاربران از RPF و PPF به دلیل تغییر توپولوژی شبکه انتقال متفاوت است. ظرفیت پیشامد یک شاخه مطابق با اختلاف RPF و PPF بیشینه مطابق با (۹) به دست آمد. برای این که تأثیر تزریق توان در یک شین بر روی شاخه‌های شبکه مشخص شود می‌توان از مفهوم ماتریس PTDF[4] استفاده نمود [۲۲]. در محاسبات PTDF شین اسلک حذف می‌شود. حذف شین اسلک بیانگر این موضوع است که تغییر توان در هر شین از طرف شین اسلک جبران می‌گردد. با توجه به وابستگی ماتریس PTDF به شین اسلک، ماتریس‌های تعمیم‌یافته ضرایب توزیع بار[5] و تولید[6] را می‌توان با در اختیار داشتن PTDF محاسبه نمود. از این رو درایه‌های این ماتریس‌ها در شرایط بیشینه PPF حالت پیشامد برای هر شاخه که از (۱۳) و (۱۴) به دست می‌آیند، می‌تواند برای تعیین نقش هر کاربر مورد استفاده قرار گیرد. جهت محاسبه بیشینه PPF، با خارج‌نمودن تک‌تک شاخه‌های شبکه، پخش بار اجرا می‌شود و در نهایت بزرگ‌ترین عدد بارگذاری برای هر شاخه به دست می‌آید

$$Gl_{i,j}^{\tilde{c}} = \frac{f_j^{(\tilde{c})} + \sum_{b\in N_B}\phi_{b,j}^{\tilde{c}}\times D_b}{\sum_{b\in N_B} D_b} - \phi_{i,j}^{\tilde{c}}, \qquad (۱۳)$$

$$Gg_{i,j}^{\tilde{c}} = \frac{f_j^{(\tilde{c})} + \sum_{b\in N_B}\phi_{b,j}^{\tilde{c}}\times G_b}{\sum_{b\in N_B} G_b} - \phi_{i,j}^{\tilde{c}}, \qquad (۱۴)$$

که $Gl_{i,j}^{\tilde{c}}$ درایه‌های تعمیم‌یافته ضرایب توزیع بار (متناسب با شین i و شاخه j)، $Gg_{i,j}^{\tilde{c}}$ درایه‌های تعمیم‌یافته ضرایب توزیع تولید و $\phi_{i,j}^{\tilde{c}}$ درایه‌های ماتریس PTDF در شرایط پیشامد با بیشینه PPF هستند. البته در این مقاله فرض می‌شود که مقادیر بار و تولید در هر شین (D_b و G_b) در شرایط خروج هر یک از شاخه‌های انتقال همانند حالت عادی است. در عمل ممکن است به دلیل رخداد پیشامد، برنامه‌های پاسخ‌گویی بار و مدیریت تولید نیز اجرا شود که باید مقادیر متناظر استفاده شود. پس

1. Real Power Flow
2. Potential Power Flow
3. Snapshot
4. Power Transfer Distribution Factors
5. Generalized Load Distribution Factors
6. Generalized Generation Distribution Factors

www.SID.ir

Archive of SID

از محاسبه $Gl_{i,j}^{\tilde{c}}$ و $Gg_{i,j}^{\tilde{c}}$، باید سهم هر کاربر در هر شین (مصرف‌کننده یا تولیدکننده) از افزایش بارگذاری هر شاخه تعیین شود. به طور مثال، اثر بار شین i در افزایش بارگذاری شاخه j ام در حالت بیشینه PPF از (۱۵) به دست می‌آید

$$\Delta f_{i,j}^{(\tilde{c})} = f_{i,j}^{(\tilde{c})} - f_{i,j}^{\cdot} = (Gl_{i,j}^{\tilde{c}} - Gl_{i,j}^{\cdot}) \times D_i = \Delta Gl_{i,j}^{\tilde{c}} \times D_i \,. \quad (۱۵)$$

همان طور که از (۱۶) مشخص است از حاصل‌ضرب $Gl_{i,j}^{\tilde{c}}$ در بار شین i تأثیر بار مورد نظر در بارگذاری شاخه j به دست می‌آید. $Gl_{i,j}^{\cdot}$ها نیز درایه‌های تعمیم‌یافته ضرایب توزیع بار در شرایط عادی است

$$Gl_{i,j}^{\cdot} = \frac{f_j^{\cdot} + \sum_{b \in N_B} \phi_{b,j}^{\cdot} \times D_b}{\sum_{b \in N_B} D_b} - \phi_{i,j}^{\cdot} \,. \quad (۱۶)$$

نکته مهم دیگر این است که ممکن است یک بار در خلاف جهت بارگذاری اصلی شاخه، روی آن شاخه اثر داشته باشد. از این رو پارامتر $z_{i,j}^{(\tilde{c})}$ به صورت (۱۷) تعریف می‌شود (اگر اثر بار i روی بارگذاری شاخه j در خلاف جهت باشد این پارامتر صفر است)

$$z_{i,j}^{(\tilde{c})} = \begin{cases} ۱ \text{ if } \Delta f_{i,j}^{(\tilde{c})} \times \Delta f_j^{(\tilde{c})} \geq ۰ \\ ۰ \text{ if } \Delta f_{i,j}^{(\tilde{c})} \times \Delta f_j^{(\tilde{c})} < ۰ \end{cases} . \quad (۱۷)$$

برای تولید G_i نیز مشابه (۱۵) تا (۱۷) می‌توان اثرگذاری آن را در بارگذاری شاخه j ام در حالت بیشینه PPF به دست آورد. در نهایت، تعیین سهم بازیگران از ظرفیت پیشامد به وسیله (۱۸) و (۱۹) محاسبه می‌شود (بر حسب درصد)

$$C_{i,j}^{CC,D} = \frac{\left|\Delta Gl_{i,j}^{\tilde{c}}\right| \times z_{i,j}^{\tilde{c}} \times D_i}{\sum_b \left(\left|\Delta Gl_{b,j}^{\tilde{c}}\right| \times z_{b,j}^{\tilde{c}} \times D_b\right) + \sum_b \left(\left|\Delta Gg_{b,j}^{\tilde{c}}\right| \times z_{b,j}^{\tilde{c}} \times G_b\right)} \quad (۱۸)$$

$$C_{i,j}^{CC,G} = \frac{\left|\Delta Gg_{i,j}^{\tilde{c}}\right| \times z_{i,j}^{\tilde{c}} \times G_i}{\sum_b \left(\left|\Delta Gl_{b,j}^{\tilde{c}}\right| \times z_{b,j}^{\tilde{c}} \times D_b\right) + \sum_b \left(\left|\Delta Gg_{b,j}^{\tilde{c}}\right| \times z_{b,j}^{\tilde{c}} \times G_b\right)} , \quad (۱۹)$$

که $C_{i,j}^{CC,D}$ سهم بار i و $C_{i,j}^{CC,G}$ سهم ژنراتور i از ظرفیت پیشامد شاخه j است.

۲-۲-۲ تخصیص هزینه برای شرایط آینده

همان طور که اشاره شد ظرفیت ذخیره برای آینده یا CF که با (۱۱) محاسبه می‌شود برای پوشش کفایت سیستم است. این ظرفیت به طور مستقیم با شرایط بهره‌برداری سیستم مرتبط نمی‌باشد و از این رو هزینه متناسب با آن به وسیله یک روش غیر مرتبط با بهره‌برداری باید تخصیص یابد. در این مقاله از روش تمبر پستی برای تخصیص این هزینه استفاده می‌شود. سهم یک بار در گره i از شاخه j ($C_{i,j}^{CF,D}$) از (۲۰) و سهم یک ژنراتور در گره i از شاخه j ($C_{i,j}^{CF,G}$) از (۲۱) محاسبه می‌شود (بر حسب درصد)

$$C_{i,j}^{CF,D} = \frac{D_i}{\sum_b D_b + \sum_b G_b} , \quad (۲۰)$$

$$C_{i,j}^{CF,G} = \frac{G_i}{\sum_b D_b + \sum_b G_b} . \quad (۲۱)$$

۲-۳ تخصیص نهایی کاربران و کارایی آن

در بخش‌های قبلی، تخصیص هزینه‌های ظرفیت تجاری و ظرفیت‌های پایایی (شامل ظرفیت پیشامد و ظرفیت آینده) به صورت مجزا انجام شد. البته در روش پیشنهادی فرض گردید که هزینه‌های انتقال هم به مصرف‌کنندگان و هم تولیدکنندگان اختصاص می‌یابد. برای تخصیص نهایی و تعیین سهم کاربران از (۲۲) و (۲۳) استفاده می‌شود

$$C_{i,j}^{D} = \frac{۱}{MC_j + CC_j + CF_j} \times \left(MC_j \times C_{i,j}^{MC,D} + CC_j \times C_{i,j}^{CC,D} + CF_j \times C_{i,j}^{CF,D}\right) , \quad (۲۲)$$

$$C_{i,j}^{G} = \frac{۱}{MC_j + CC_j + CF_j} \times \left(MC_j \times C_{i,j}^{MC,G} + CC_j \times C_{i,j}^{CC,G} + CF_j \times C_{i,j}^{CF,G}\right) , \quad (۲۳)$$

که $C_{i,j}^{D}$ و $C_{i,j}^{G}$ به ترتیب، سهم نهایی بار i و ژنراتور i از تخصیص شاخه j ام است. این مقادیر بر حسب درصد هستند و می‌توانند در هزینه شاخه j ام ضرب گردند تا بر حسب واحد پول تعیین شوند. در این مقاله برخلاف [۱۷] برای هر شاخه، سهم هر کاربر به صورت درصدی بیان شده است. قاعدتاً برای این که روش پیشنهادی کارا باشد باید از دید هر شاخه، مجموع ضرایب برابر یک (۱۰۰٪) باشد تا همه هزینه‌های آن بین کاربران توزیع شود. این موضوع با توجه به (۷)، (۸)، (۱۸)، (۱۹)، (۲۰)، (۲۱)، (۲۲) و (۲۳) قابل اثبات است.

لازم به توضیح است (۲۲) و (۲۳) که تخصیص نهایی را نشان می‌دهد برای شرایطی است که برای هر شاخه، مجموع تخصیص کاربران در حالت‌های تجاری یا پیشامد و یا آینده صفر نباشند. اگر یک یا دو مورد از آنها صفر باشد، برای این که مجموع ضرایب نهاییِ هر شاخه برابر با یک شود، لازم است در مخرج کسرها ظرفیت متناظر با سهم صفر، لحاظ نشود. به طور مثال فرض شود که برای شاخه j، برای هیچ کدام از کاربران تخصیص تجاری صورت نگیرد ولی برای تخصیص‌های پیشامد و آینده، حداقل یک کاربر برای پرداخت هزینه وجود داشته باشد. در این صورت، (۲۲) با توجه به صفربودن همه ضرایب $C_{i,j}^{MC,D}$ها به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$C_{i,j}^{D} = \frac{۱}{CC_j + CF_j} \times \left(CC_j \times C_{i,j}^{CC,D} + CF_j \times C_{i,j}^{CF,D}\right) . \quad (۲۴)$$

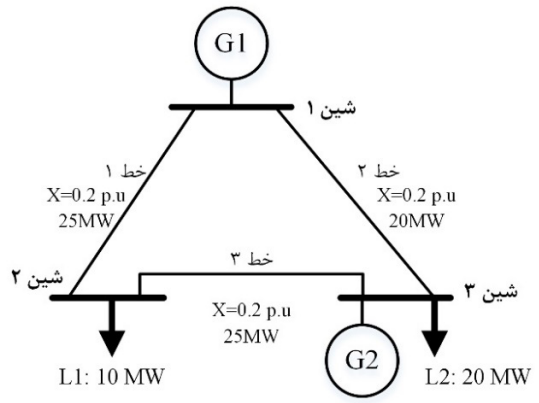
نکته مهم دیگر در مورد ظرفیت IC یا ظرفیت نامعتبر این است که تخصیص هزینه برای آن انجام نمی‌شود. بنابراین اگر هزینه یک شاخه انتقال در هر تصویر بهره‌برداری (مثلاً ساعتی) برابر با C_j باشد (این هزینه از تقسیم هزینه‌های سالانه هر شاخه بر تعداد تصاویر بهره‌برداری در هر سال، به عنوان نمونه ۸۷۶۰ ساعت تعیین می‌شود)، با توجه به (۱۲)، هزینه $C_{j,valid}$ مطابق با (۲۵) به دست می‌آید. این هزینه بین کاربران (مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان) با ضرب $C_{i,j}^{D}$ و $C_{i,j}^{G}$ در $C_{j,valid}$ تقسیم می‌شود

$$C_{j,valid} = \frac{P_{j,valid}}{P_j} \times C_j \,. \quad (۲۵)$$

بنابراین با تخصیص‌دادن هزینه‌های پایایی و تجاری به کاربران، تا حد قابل قبولی، علاوه بر این که منافع کاربران حفظ می‌گردد، سرمایه‌گذاری شبکه انتقال نیز برگشت داده می‌شود. این موضوع می‌تواند از گسترش بی‌مورد شبکه‌های انتقال جلوگیری کند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴: شبکه ۳ شینه فرضی.

جدول ۱: تفکیک ظرفیت خطوط در شبکه سه‌شینه (MW).

خط	ظرفیت‌ها			
	MC	CC	CF	IC
۱	۱۳٫۳	۱۱٫۷	۰	۰
۲	۱۶٫۷	۳٫۳	۰	۰
۳	۳٫۳	۱۱٫۷	۱٫۵	۸٫۵

جدول ۲: قیمت شین‌ها در شبکه سه‌شینه ($/MWH).

شین	حالت	حالت‌های پیشامد (خروج خطوط)		
	عادی	خط ۱	خط ۲	خط ۳
۱	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
۲	۳۰	۳۵	۳۵	۳۰
۳	۳۰	۳۵	۳۵	۳۰

جدول ۳: توان عبوری از خطوط در شبکه سه‌شینه (MW).

خط	حالت	حالت‌های پیشامد (خروج خطوط)		
	عادی	خط ۱	خط ۲	خط ۳
۱	۱۳٫۳	۰	۲۵	۱۰
۲	۱۶٫۷	۲۰	۰	۲۰
۳	۳٫۳	-۱۰	۱۵	۰

۳- نتایج مطالعات عددی

برای بررسی کارایی روش پیشنهادیِ تخصیص هزینه، مطالعات عددی در دو شبکه نمونه ۳ و ۳۰ شینه IEEE انجام شده است. هدف از انتخاب شبکه ۳ شینه، آشنایی گام به گام با روش پیشنهادی است.

۳-۱ نتایج شبکه سه شینه

شبکه سه شینه فرضی مورد مطالعه، دارای ۳ خط، ۲ واحد تولیدی و ۲ بار است که دیاگرام تک‌خطی آن در شکل ۴ نشان داده شده است. بار شبکه در حالت پیک سالانه فرض شده و ظرفیت هر یک از ژنراتورها ۵۰ MW و قیمت پیشنهادی آنها به بازار برای G۱ و G۲ به ترتیب، ۳۰ و ۳۵ $/MWh است.

با اجرای بازار، تفکیک ظرفیت هر یک از خطوط شبکه به صورت جدول ۱ است ($\alpha = ۰٫۱$ فرض شده است) و توان عبوری در حالت عادی شبکه به عنوان ظرفیت تجاری خطوط در نظر گرفته می‌شود. در جداول ۲ و ۳ نیز قیمت‌های شین‌ها (LMP) و توان عبوری از خطوط نشان داده شده است.

www.SID.ir

جدول ۴: سهم کاربران در ظرفیت تجاری- تخصیص صرفاً به بارها.

کاربران	سهم $(C_{i,j}^{MC,D})$		
	خط ۱	خط ۲	خط ۳
بار ۱	۰٫۳۳۳۳	۰٫۳۳۳۳	۰٫۰۰۰۰
بار ۲	۰٫۶۶۶۷	۰٫۶۶۶۷	۰٫۰۰۰۰
مجموع	۱٫۰۰۰۰	۱٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰

جدول ۵: سهم کاربران در ظرفیت پیشامد- تخصیص صرفاً به بارها.

کاربران	سهم $(C_{i,j}^{CC,D})$		
	خط ۱	خط ۲	خط ۳
بار ۱	۰٫۳۳۳۴	۰٫۳۳۳۳	۰٫۳۳۳۲
بار ۲	۰٫۶۶۶۶	۰٫۶۶۶۷	۰٫۶۶۶۸
مجموع	۱٫۰۰۰۰	۱٫۰۰۰۰	۱٫۰۰۰۰

جدول ۶: سهم کاربران در ظرفیت آینده- تخصیص صرفاً به بارها.

کاربران	سهم کاربران $(C_{i,j}^{FC,D})$		
	خط ۱	خط ۲	خط ۳
بار ۱	۰٫۳۳۳۳	۰٫۳۳۳۳	۰٫۳۳۳۳
بار ۲	۰٫۶۶۶۷	۰٫۶۶۶۷	۰٫۶۶۶۷
مجموع	۱٫۰۰۰۰	۱٫۰۰۰۰	۱٫۰۰۰۰

جدول ۷: سهم نهایی کاربران- تخصیص صرفاً به بارها.

کاربران	سهم $(C_{i,j}^{D})$		
	خط ۱	خط ۲	خط ۳
بار ۱	۰٫۳۳۳۳	۰٫۳۳۳۳	۰٫۳۳۳۲
بار ۲	۰٫۶۶۶۷	۰٫۶۶۶۷	۰٫۶۶۶۸
مجموع	۱٫۰۰۰۰	۱٫۰۰۰۰	۱٫۰۰۰۰

در شبیه‌سازی‌های این بخش دو سناریوی مطالعاتی لحاظ شده است:

- تخصیص هزینه انتقال به بارها
- تخصیص هزینه انتقال به طور هم‌زمان به بارها و ژنراتورها به نسبت برابر

۳-۱-۱ تخصیص هزینه انتقال به بارها

سهم بارها از ظرفیت تجاری با توجه به مراحل شکل ۲، در جدول ۴ آمده است. به طور نمونه ستون سوم این جدول نشان می‌دهد که بار یک و دو به ترتیب، ۳۳٫۳۳ و ۶۶٫۶۷ درصد از پرداختی ظرفیت تجاری خط یک را بر عهده دارند. همان طور که مشاهده می‌شود مجموع ضرایب برای هر خط برابر یک است. البته خط ۳ هیچ مزیتی از نظر تجاری برای کاربران ندارد و مجموع سهم آن از کاربران صفر است. بنابراین، این مثال نشان می‌دهد در شرایطی که صرفاً تخصیص تجاری مد نظر باشد (مانند [۱۸])، برخی از شاخه‌ها به هیچ یک از کاربران تخصیص نمی‌یابند و این تناقض است.

سهم کاربران از ظرفیت‌های پیشامد و آینده نیز به ترتیب در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده که برای هر خط مجموع تخصیص‌ها برابر یک است. در نهایت، سهم نهایی بارها از تخصیص هزینه خطوط در جدول ۷ آمده است. همان طور که مشاهده می‌شود، بار یک مسئول پرداخت ۳۳٫۳۳٪ از هزینه خط یک، ۳۳٫۳۳٪ از هزینه خط دو و ۳۳٫۳۲٪ از هزینه خط سه است که با توجه به روش ترکیبی پیشنهادی محاسبه شده و همچنین برای هر خط، مجموع تخصیص‌ها برابر یک است.

Archive of SID

جدول ۸: منافع کاربران از ظرفیت تجاری خط ($).

کاربران		خط ۱	خط ۲	خط ۳
$\Delta DP_{i,j}$	بار ۱	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰	۰/۰۰
	بار ۲	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰
$\Delta GI_{i,j}$	واحد ۱	۳۰۰/۰۰	۱۵۰/۰۰	۰/۰۰
	واحد ۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

جدول ۹: سهم کاربران در ظرفیت تجاری- تخصیص هم‌زمان.

کاربران		خط ۱	خط ۲	خط ۳
$C_{i,j}^{MC,D}$	بار ۱	۰/۱۱۱۱	۰/۱۶۶۷	۰/۰۰۰۰
	بار ۲	۰/۲۲۲۲	۰/۳۳۳۳	۰/۰۰۰۰
$C_{i,j}^{MC,G}$	واحد ۱	۰/۶۶۶۷	۰/۵۰۰۰	۰/۰۰۰۰
	واحد ۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
مجموع		۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰

جدول ۱۰: سهم کاربران در ظرفیت پیشامد- تخصیص هم‌زمان.

کاربران		خط ۱	خط ۲	خط ۳
$C_{i,j}^{CC,D}$	بار ۱	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۶	۰/۱۶۶۶
	بار ۲	۰/۳۳۳۳	۰/۳۳۳۴	۰/۳۳۳۴
$C_{i,j}^{CC,G}$	واحد ۱	۰/۵۰۰۰	۰/۵۰۰۰	۰/۵۰۰۰
	واحد ۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
مجموع		۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰

جدول ۱۱: سهم کاربران در ظرفیت آینده- تخصیص هم‌زمان.

کاربران		خط ۱	خط ۲	خط ۳
$C_{i,j}^{FC,D}$	بار ۱	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷
	بار ۲	۰/۳۳۳۳	۰/۳۳۳۳	۰/۳۳۳۳
$C_{i,j}^{FC,G}$	واحد ۱	۰/۵۰۰۰	۰/۵۰۰۰	۰/۵۰۰۰
	واحد ۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
مجموع		۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰

جدول ۱۲: سهم نهایی کاربران در روش پیشنهادی (تخصیص هم‌زمان) و مقایسه با [۱۷] و [۱۸] در شبکه ۳شینه.

کاربران	خط ۱			خط ۲			خط ۳		
	روش پیشنهادی	روش [۱۸]	روش [۱۷]	روش پیشنهادی	روش [۱۸]	روش [۱۷]	روش پیشنهادی	روش [۱۸]	روش [۱۷]
بار ۱	۰/۱۳۷۱	۰/۱۱۱۱	۰/۲۱۱۰	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۰/۱۱۱۰	۰/۱۶۶۶	۰/۰۰۰۰	۰/۱۳۳۳
بار ۲	۰/۲۷۴۲	۰/۲۲۲۲	۰/۲۸۹۰	۰/۳۳۳۳	۰/۳۳۳۳	۰/۳۸۹۰	۰/۳۳۳۴	۰/۰۰۰۰	۰/۴۰۰۰
واحد ۱	۰/۵۸۸۷	۰/۶۶۶۷	۰/۵۰۰۰	۰/۵۰۰۰	۰/۵۰۰۰	۰/۵۰۰۰	۰/۵۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۴۶۶۷
واحد ۲	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
مجموع	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰

۳-۱-۲ تخصیص هم‌زمان هزینه برای بار و تولید

در این بخش به طور هم‌زمان و با ارزش یکسان، تخصیص هزینه برای بارها و تولیدکنندگان انجام می‌شود. جدول ۸ منافع تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان را برای هر خط شبکه نشان می‌دهد. به طور نمونه، بار ۱ از در مدار بودن خطوط ۱ و ۲، ۵۰ دلار نفع می‌برد ولی وجود و عدم وجود خط ۳ هیچ نفعی برای این بار ندارد. در جدول ۹ نیز سهم همه کاربران از ظرفیت تجاری خطوط نشان داده شده و مشاهده می‌شود مجموع سهم کاربران از خط ۳ صفر است (اگر صرفاً تخصیص تجاری مد نظر باشد، تناقض است).

سهم کاربران از ظرفیت‌های پیشامد و آینده به ترتیب در جداول ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. سهم نهایی کاربران نیز از تخصیص هزینه خطوط در روش پیشنهادی در جدول ۱۲ آمده است. همچنین در این جدول به منظور مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های دیگر، [۱۷] و [۱۸] که جزء مراجع اصلی این مقاله هستند مورد توجه قرار گرفته است. در روش پیشنهادی همانند دو روش دیگر، واحد ۲ که در تصویر بهره‌برداری مورد نظر در بازار برنده نشده است (با توجه به قیمت بالاتر)، هیچ هزینه‌ای برای خطوط نمی‌دهد. سایر کاربران برای خطوط مختلف باید برای ظرفیت معتبر هزینه پرداخت کنند که اثرات تجاری و پایایی (امنیت و کفایت) در آنها لحاظ شده است. یکی از ایرادات [۱۸] که در آن روش صرفاً تجاری ارائه شده، این است که برای خط ۳، هیچ تخصیصی بین کاربران رخ نداده است. اگرچه [۱۷] این اشکال را ندارد اما اثرات تجاری در آن منعکس نشده و از این رو، روش پیشنهادی می‌تواند نسبت به روش‌های دیگر عادلانه‌تر باشد.

۳-۲ نتایج شبکه ۳۰ شینه IEEE

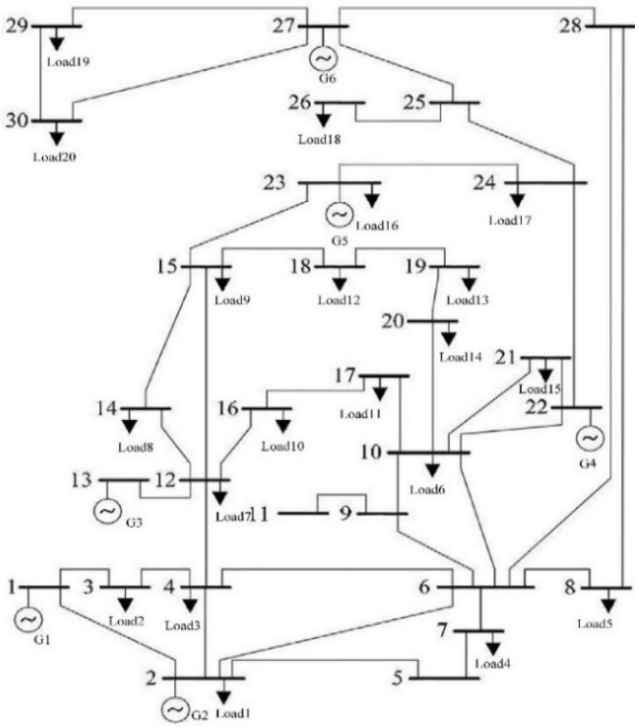
در این بخش، نتایج پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی شبکه ۳۰ شینه IEEE ارائه شده و نتایج نیز با روش‌های مراجع پایه [۱۷] و [۱۸] مقایسه شده است. اطلاعات این شبکه در [۲۳] وجود دارد و شامل ۴۱ خط و ۶ واحد نیروگاهی می‌باشد که دیاگرام تک‌خطی آن در شکل ۵ آمده است. در مطالعات این بخش، هزینه به طور هم‌زمان به بار و تولید تخصیص می‌یابد. با اجرای بازار، نتایج تفکیک ظرفیت خطوط در جدول ۱۳ نشان داده شده است. مطابق با اطلاعات موجود در [۲۳]، بار شبکه در وضعیت پیک داده شده و بنابراین تفکیک ظرفیت جدول ۱۳ نیز برای پیک سالانه ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود در بسیاری از خطوط، توان عبوری از شاخه‌ها در شرایط عادی (MC) از مقدار ظرفیت شاخه‌ها بسیار کوچک‌تر است و چون بارگذاری در شدیدترین پیشامد نیز بعضاً از ظرفیت شاخه‌ها کوچک‌تر است (مجموع مقادیر MC و CC برای هر شاخه، توان عبوری از آن در شدیدترین پیشامد است)، حتی با لحاظ یک حاشیه برای عدم قطعیت‌های احتمالی ($\alpha = ۰/۱$)، ظرفیت نامعتبر برای بسیاری از شاخه‌ها وجود دارد. در واقع، ظرفیت شاخه‌ها در این شبکه در بسیاری از موارد بیش از مقدار مورد نیاز است (البته برای برخی خطوط مانند ۱۰، ۲۲، ۴۰ و ۴۱ ظرفیت نامعتبر صفر است).

در این شبکه نیز به منظور مقایسه روش پیشنهادی، روش‌های [۱۷] و [۱۸] مورد توجه قرار گرفته است. نتایج عددی (سهم هر یک از کاربران) برای مقایسه روش‌ها در جدول ۱۴ نشان داده شده است.

لازم به توضیح است برای [۱۷]، نتایج در جدول ۱۴ به صورت درصدی برای هر خط نشان داده شده تا قابلیت مقایسه ایجاد گردد (نتایج موجود در مقاله به نحو دیگری نشان داده شده). با توجه به تعداد زیاد

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵: دیاگرام تک‌خطی شبکه ۳۰ شینه IEEE.

خطوط شبکه ۳۰ شینه، خطوط ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ به عنوان نمونه برای مقایسه انتخاب شده‌اند. با توجه به نتایج این جدول، مجموع همه ضرایب بارها و واحدهای نیروگاهی برای هر خط برابر یک است. همچنین مشارکت مجموعه بارها در یک ردیف مجزا و مشارکت کلیه واحدها نیز در ردیفی دیگر نشان داده شده است. بنابراین می‌توان سهم بارها را با سهم واحدها در هر روش مقایسه نمود. همان طور که مشاهده می‌شود در روش [۱۸]، سهم واحدها از بارها بسیار بیشتر شده، در حالی که در روش‌های پیشنهادی و [۱۷] این وضعیت، متعادل‌تر است. با توجه به وجود اثر تجاری در روش پیشنهادی، نتایج تخصیصِ کل به واحدها نسبت به بارها کمی بیشتر از روش [۱۷] است.

از طرفی به طور مثال، واحد ۶ بر روی شین ۲۷ قرار گرفته و خط ۸ نیز بین شین‌های ۵ و ۷ قرار دارد. همان طور که در جدول ۱۴ مشاهده می‌شود این واحد با روش [۱۸]، تقریباً بیش از ۵۰٪ از هزینه خط ۸ را باید پرداخت نماید در صورتی که در روش پیشنهادی فقط ۱۵٪ از هزینه این خط به این واحد تخصیص گرفته است. در واقع در روش [۱۸] با دید صرفاً تجاری به خط ۸ نگاه شده است ولی در صورت رخداد پیشامدهای احتمالی، نفع این خط در روش پیشنهادی به همه کاربران می‌رسد.

اگرچه [۱۷] نیز هزینه خط را به همه کاربران تخصیص داده است اما دید تجاری در آن وجود ندارد. واحد ۶ برای خط ۹ نیز وضعیت مشابه خط ۸ را دارد و باید با روش [۱۸] حدود ۷۹٪ هزینه این خط را بدهد. همچنین با روش [۱۷]، به دلیل دیدگاه صرفاً پایایی، به بار ۵ بیش از ۴۴٪ از هزینه خط ۱۰ تخصیص می‌یابد، در صورتی که با روش پیشنهادی حدود ۱/۴٪ و با روش [۱۸] تخصیصی صورت نمی‌گیرد.

در روش [۱۸] به بعضی از کاربران برای هیچ یک از خطوط هزینه‌ای تخصیص داده نشده است ولی در روش پیشنهادی به دلیل تخصیص توأمان ظرفیت‌های تجاری و پایایی (شامل امنیت و کفایت)، کلیه کاربران در قبال تجهیزات شبکه انتقال موظف به پرداخت هزینه هستند. بنابراین با توجه به مثال‌های فوق، روش پیشنهادی به دلیل ترکیبی‌بودن، وضعیت مناسب‌تری نسبت به روش‌های دیگر دارد و می‌تواند عادلانه‌تر باشد.

www.SID.ir

جدول ۱۳: تفکیک ظرفیت خطوط در شبکه ۳۰شینه (MW).

شماره شاخه	از شین	به شین	ظرفیت	MC	CC	CF	IC
۱	۱	۲	۱۳۰	۲۳/۴	۲۱/۴	۴/۵	۸۰/۸
۲	۱	۳	۱۳۰	۲۱/۴	۲۳/۴	۴/۵	۸۰/۸
۳	۲	۴	۶۵	۲۰/۱	۱۱/۲	۳/۱	۳۰/۵
۴	۳	۴	۱۳۰	۱۹/۰	۲۳/۴	۴/۲	۸۳/۴
۵	۲	۵	۱۳۰	۱۵/۵	۷/۳	۲/۳	۱۰۴/۹
۶	۲	۶	۶۵	۲۴/۳	۱۲/۱	۳/۶	۲۵/۰
۷	۴	۶	۹۰	۲۳/۸	۱۶/۸	۴/۱	۴۵/۳
۸	۵	۷	۷۰	۱۵/۵	۷/۳	۲/۳	۴۴/۹
۹	۶	۷	۱۳۰	۷/۳	۱۵/۵	۲/۳	۱۰۴/۹
۱۰	۶	۸	۳۲	۲۶/۲	۴/۱	۱/۶	۰/۰
۱۱	۶	۹	۶۵	۶/۱	۳/۹	۱/۰	۵۳/۹
۱۲	۶	۱۰	۳۲	۳/۵	۲/۵	۰/۶	۲۵/۴
۱۳	۹	۱۱	۶۵	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۶۵/۰
۱۴	۹	۱۰	۶۵	۶/۱	۳/۹	۱/۰	۵۳/۹
۱۵	۴	۱۲	۶۵	۷/۷	۹/۱	۱/۷	۴۶/۶
۱۶	۱۲	۱۳	۶۵	۲۲/۳	۰/۰	۲/۲	۴۰/۵
۱۷	۱۲	۱۴	۳۲	۵/۰	۴/۵	۰/۹	۲۱/۶
۱۸	۱۲	۱۵	۳۲	۸/۲	۴/۲	۱/۲	۱۸/۳
۱۹	۱۲	۱۶	۳۲	۵/۵	۷/۰	۱/۳	۱۸/۳
۲۰	۱۴	۱۵	۱۶	۱/۲	۵/۰	۰/۶	۹/۲
۲۱	۱۶	۱۷	۱۶	۲/۰	۷/۰	۰/۹	۶/۱
۲۲	۱۵	۱۸	۱۶	۶/۸	۸/۱	۱/۱	۰/۰
۲۳	۱۸	۱۹	۱۶	۳/۶	۸/۱	۱/۲	۳/۱
۲۴	۱۹	۲۰	۳۲	۵/۹	۶/۸	۱/۳	۱۸/۰
۲۵	۱۰	۲۰	۳۲	۸/۱	۶/۸	۱/۵	۱۵/۶
۲۶	۱۰	۱۷	۳۲	۷/۰	۵/۵	۱/۳	۱۸/۳
۲۷	۱۰	۲۱	۳۲	۵/۶	۱۱/۹	۱/۸	۱۲/۸
۲۸	۱۰	۲۲	۳۲	۵/۷	۱۸/۷	۲/۴	۵/۲
۲۹	۲۱	۲۲	۳۲	۲۳/۱	۵/۰	۲/۸	۱/۲
۳۰	۱۵	۲۳	۱۶	۸/۰	۵/۵	۱/۳	۱/۲
۳۱	۲۲	۲۴	۱۶	۳/۶	۴/۴	۰/۸	۷/۲
۳۲	۲۳	۲۴	۱۶	۴/۶	۸/۰	۱/۳	۲/۲
۳۳	۲۴	۲۵	۱۶	۰/۵	۳/۰	۰/۴	۱۲/۲
۳۴	۲۵	۲۶	۱۶	۳/۵	۰/۰	۰/۴	۱۲/۲
۳۵	۲۵	۲۷	۱۶	۴/۰	۱/۵	۰/۵	۱۰/۰
۳۶	۲۸	۲۷	۶۵	۱/۲	۱/۶	۰/۳	۶۱/۹
۳۷	۲۷	۲۹	۱۶	۶/۰	۷/۰	۱/۳	۱/۷
۳۸	۲۷	۳۰	۱۶	۷/۰	۰/۶	۱/۳	۱/۷
۳۹	۲۹	۳۰	۱۶	۳/۶	۷/۰	۱/۱	۴/۳
۴۰	۸	۲۸	۳۲	۳/۸	۲۶/۲	۲/۰	۰/۰
۴۱	۶	۲۸	۳۲	۵/۰	۲۵/۰	۲/۰	۰/۰

٤- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روشی ترکیبی برای تخصیص هزینه خدمات انتقال بر اساس منافع تجاری کاربران از تجهیزات و همچنین، تأثیر تجهیزات در پایایی سیستم (با مؤلفه‌های امنیت و کفایت) ارائه شد. به منظور به کارگیری از این روش ترکیبی، ظرفیت هر شاخه در شبکه انتقال به چهار بخش تقسیم‌بندی می‌شود که یک بخش مربوط به تجاری، دو بخش مربوط به پایایی و یک بخش نیز ظرفیت نامعتبر است. به ظرفیت نامعتبر

Archive of SID

جدول ۱۴: مقایسه نتایج روش پیشنهادی با [۱۷] و [۱۸] در شبکه ۳۰شینه.

کاربران	خط ۸			خط ۹			خط ۱۰			خط ۱۱		
	روش پیشنهادی	روش [۱۸]	روش [۱۷]	روش پیشنهادی	روش [۱۸]	روش [۱۷]	روش پیشنهادی	روش [۱۸]	روش [۱۷]	روش پیشنهادی	روش [۱۸]	روش [۱۷]
بار ۱	۰٫۰۵۶۴	۰٫۰۵۸۳	۰٫۰۶۰۸	۰٫۰۵۴۴	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۵۵۰	۰٫۰۵۶۲	۰٫۰۵۷۸	۰٫۰۱۲۶	۰٫۰۴۶۷	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۵۱۰
بار ۲	۰٫۰۰۷۸	۰٫۰۱۰۴	۰٫۰۰۴۴	۰٫۰۰۶۶	۰٫۰۱۰۴	۰٫۰۰۳۷	۰٫۰۰۹۴	۰٫۰۱۰۴	۰٫۰۰۱۳	۰٫۰۰۵۲	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۵۵
بار ۳	۰٫۰۱۶۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۸۴	۰٫۰۱۹۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۷۲	۰٫۰۰۲۶	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۴۰	۰٫۰۱۶۳	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۷۴
بار ۴	۰٫۰۴۴۷	۰٫۰۰۰۰	۰٫۱۱۲۳	۰٫۰۵۷۶	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۸۷۰	۰٫۰۱۰۶	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۴۳	۰٫۰۴۹۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۵۴۹
بار ۵	۰٫۰۶۱۹	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۹۲۴	۰٫۰۷۶۳	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۷۹۰	۰٫۰۱۴۳	۰٫۰۰۰۰	۰٫۴۴۵۸	۰٫۰۶۴۵	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۷۲۲
بار ۶	۰٫۰۱۲۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۵۶	۰٫۰۱۳۲	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۱۶	۰٫۰۰۳۵	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۲۱	۰٫۰۱۵۳	۰٫۰۱۵۰	۰٫۰۱۸۳
بار ۷	۰٫۰۲۳۴	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۳۰۲	۰٫۰۲۶۴	۰٫۰۰۶۰	۰٫۰۲۴۹	۰٫۰۰۲۲	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۲۱	۰٫۰۲۴۱	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۲۴۲
بار ۸	۰٫۰۱۲۹	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۵۹	۰٫۰۱۴۲	۰٫۰۰۰۴	۰٫۰۱۲۵	۰٫۰۰۰۹	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۷	۰٫۰۱۳۳	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۴۱
بار ۹	۰٫۰۱۷۱	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۲۱۹	۰٫۰۱۸۸	۰٫۰۰۳۶	۰٫۰۱۷۱	۰٫۰۰۱۸	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۱۲	۰٫۰۱۷۶	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۹۳
بار ۱۰	۰٫۰۰۷۳	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۸۳	۰٫۰۰۸۱	۰٫۰۰۱۰	۰٫۰۰۶۰	۰٫۰۰۱۳	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۹	۰٫۰۰۷۵	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۹۱
بار ۱۱	۰٫۰۱۸۷	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۲۵۰	۰٫۰۲۰۶	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۹۴	۰٫۰۰۴۸	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۳۰	۰٫۰۲۳۱	۰٫۰۱۹۹	۰٫۰۲۶۹
بار ۱۲	۰٫۰۰۶۷	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۷۴	۰٫۰۰۷۳	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۵۲	۰٫۰۰۲۳	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۱۴	۰٫۰۰۷۸	۰٫۰۰۴۹	۰٫۰۰۸۵
بار ۱۳	۰٫۰۱۹۸	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۲۶۳	۰٫۰۲۱۶	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۲۰۵	۰٫۰۱۱۷	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۷۱	۰٫۰۲۵۳	۰٫۰۲۶۴	۰٫۰۲۶۶
بار ۱۴	۰٫۰۰۴۶	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۴۶	۰٫۰۰۵۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۲۸	۰٫۰۰۲۴	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۱۴	۰٫۰۰۵۹	۰٫۰۰۶۲	۰٫۰۰۶۴
بار ۱۵	۰٫۰۳۶۳	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۵۰۹	۰٫۰۳۸۹	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۳۹۱	۰٫۰۱۰۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۷۳	۰٫۰۴۶۵	۰٫۰۴۷۴	۰٫۰۵۳۶
بار ۱۶	۰٫۰۰۶۷	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۷۵	۰٫۰۰۷۸	۰٫۰۱۲۰	۰٫۰۰۵۰	۰٫۰۰۰۷	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۱۰	۰٫۰۰۶۹	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۷۹
بار ۱۷	۰٫۰۱۸۱	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۲۴۲	۰٫۰۲۰۷	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۹۵	۰٫۰۰۳۷	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۵۹	۰٫۰۱۹۷	۰٫۰۰۵۵	۰٫۰۲۲۹
بار ۱۸	۰٫۰۰۷۳	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۸۷	۰٫۰۱۳۳	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۱۳	۰٫۰۰۱۶	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۵۶	۰٫۰۰۷۵	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۷۳
بار ۱۹	۰٫۰۰۵۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۵۴	۰٫۰۰۸۱	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۶۰	۰٫۰۰۱۱	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۵۲	۰٫۰۰۵۲	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۴۱
بار ۲۰	۰٫۰۲۱۹	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۳۰۷	۰٫۰۳۵۹	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۳۵۱	۰٫۰۰۴۸	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۲۲۹	۰٫۰۲۲۸	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۱۸۳
جمع بارها	۰٫۴۰۴۵	۰٫۰۶۸۷	۰٫۵۷۰۰	۰٫۴۷۳۸	۰٫۰۳۳۵	۰٫۴۷۷۸	۰٫۱۴۵۹	۰٫۰۶۸۲	۰٫۵۴۵۰	۰٫۴۳۰۳	۰٫۱۲۵۳	۰٫۴۶۹۳
واحد ۱	۰٫۰۸۸۰	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۷۸۶	۰٫۱۱۵۹	۰٫۰۵۸۱	۰٫۱۲۷۷	۰٫۰۲۱۳	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۹۴۱	۰٫۱۳۲۵	۰٫۱۹۵۱	۰٫۱۱۲۹
واحد ۲	۰٫۱۰۶۳	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۸۱۹	۰٫۱۵۳۵	۰٫۱۱۹۳	۰٫۱۷۲۷	۰٫۰۲۸۶	۰٫۰۰۰۰	۰٫۱۲۲۸	۰٫۱۷۷۶	۰٫۲۸۰۷	۰٫۱۴۷۹
واحد ۳	۰٫۰۶۴۲	۰٫۰۶۰۹	۰٫۰۶۷۹	۰٫۰۵۱۹	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۵۳۴	۰٫۰۵۸۴	۰٫۰۶۴۰	۰٫۰۴۹۹	۰٫۰۵۹۲	۰٫۰۶۰۴	۰٫۰۶۱۱
واحد ۴	۰٫۱۴۳۹	۰٫۳۲۰۱	۰٫۱۱۸۰	۰٫۰۷۱۲	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۷۵۷	۰٫۲۹۲۰	۰٫۳۳۰۲	۰٫۰۸۳۶	۰٫۰۶۹۵	۰٫۰۰۰۰	۰٫۱۲۴۹
واحد ۵	۰٫۰۴۱۸	۰٫۰۲۷۵	۰٫۰۴۰۹	۰٫۰۳۵۱	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۳۶۴	۰٫۰۲۷۲	۰٫۰۲۷۸	۰٫۰۳۹۲	۰٫۰۵۰۴	۰٫۰۸۸۴	۰٫۰۴۹۵
واحد ۶	۰٫۱۵۱۳	۰٫۵۲۲۹	۰٫۰۴۳۵	۰٫۰۹۸۶	۰٫۷۸۹۲	۰٫۰۵۶۳	۰٫۴۲۶۵	۰٫۵۰۹۸	۰٫۰۶۵۵	۰٫۰۸۰۵	۰٫۲۵۰۰	۰٫۰۳۴۴
جمع واحدها	۰٫۵۹۵۵	۰٫۹۳۱۳	۰٫۴۳۰۰	۰٫۵۲۶۲	۰٫۹۶۶۵	۰٫۵۲۲۲	۰٫۸۵۴۱	۰٫۹۳۱۸	۰٫۴۵۵۰	۰٫۵۶۹۷	۰٫۸۷۴۷	۰٫۵۳۰۷
مجموع کل	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰

تخصیص هزینه صورت نمی‌گیرد.

برخلاف روش‌های متداول که بر اساس مقدار مصرف توان، ردیابی توان، صرفاً با معیارهای پایایی و همچنین اخیراً بر اساس ارزش تجاری پایه‌ریزی شده‌اند، روش پیشنهادی به صورت ترکیبی معیارهای پایایی را در کنار ارزش تجاری تجهیزات در نظر می‌گیرد. با انجام مطالعات عددی در شبکه ۳شینه برای تشریح گام‌به‌گام روش پیشنهادی و همچنین، شبکه ۳۰شینه IEEE برای انجام مقایسه با روش‌های جدید دیگر، کارایی روش پیشنهادی ارزیابی شد. به طور کلی، مزیت‌های روش ترکیبی پیشنهادی با توجه به نتایج مطالعات عددی به شرح زیر است:

- روش پیشنهادی این قابلیت را دارد که تخصیص هزینه را به همه کاربران شبکه و یا صرفاً یکی از گروه‌های مصرف‌کنندگان یا تولیدکنندگان تخصیص دهد.
- روش پیشنهادی، تناقضی را که روش صرفاً تجاری در برخی از شرایط شبکه ممکن است ایجاد کند (برخی از شاخه‌ها به هیچ یک از کاربران تخصیص نیابند)، برطرف نموده است.
- در دیدگاه صرفاً پایایی به برخی از کاربران هزینه‌های بالایی تخصیص می‌یابد (همان طور که در شبکه ۳۰شینه نشان داده شد) در صورتی که با روش پیشنهادی وضعیت متعادل‌تر است.
- به طور کلی در روش پیشنهادی، تخصیص هزینه‌ها متعادل‌تر و عادلانه‌تر است و انتظار می‌رود که بیشتر مورد قبول کاربران باشد. دیدگاه تجاری در کنار دیدگاه پایایی در تخصیص هزینه‌ها می‌تواند اثرات مثبتی در برنامه‌ریزی توسعه شبکه نیز داشته باشد.

مراجع

[1] H. Rudnick, R. Palma, and J. E. Fernandez, "Marginal pricing and supplement cost allocation in transmission open access," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 10, no. 6, pp. 1125-1132, May 1995.

[2] H. A. Gil, F. D. Galiana, and E. L. da Silva, "Nodal price control: a mechanism for transmission network cost allocation," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 21, no. 10, pp. 3-10, Jan. 2006.

[3] D. Kirschen and G. Strbac, *Fundamentals of Power System Economics*, John Wiley and Sons, 2004.

[4] M. Shahidehpour, H. Yamin, and Z. Li, Market Operations in Electric Power Systems, Forecasting, Scheduling, and Risk Assessment, John Wiley and Sons, 2002.

www.SID.ir

Archive of SID

[5] J. Lima, "Allocation of transmission fixed charges: an overview," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 11, no. 3, pp. 1409-1418, Aug. 1996.
[6] D. Shirmohammdi, X. Filho, B. Gorenstin, and M. Pereira, "Some fundamental technical concepts about cost based transmission pricing," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 11, no. 2, pp. 1002-1008, May 1996.
[7] M. Yamin and H. Z. Li, *Market Operations in Electric Power Systems*, 1st Edition, Wiley, New York, 2002.
[8] J. Bialek, "Topological generation and load distribution factors for supplement charge allocation in transmission open access," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 12, no. 3, pp. 1185-1193, Aug. 1997.
[9] J. Bialek, "Allocation of transmission supplementary charge to real and reactive loads," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 13, no. 3, pp. 749-754, Aug. 1998.
[10] D. Kirschen, R. Allan, and G. Strbac, "Contribution of individual generators to loads and flows," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 12, no. 1, pp. 52-60, Feb. 1997.
[11] M. Karimi, M. Kheradmandi, and A. Pirayesh, "MW-mile recovery method in merchant transmission investment by generation companies," *Electric Power Systems Research*, vol. 175, Article ID: 105919, Oct. 2019.
[12] J. Bushnell, A. Ibarra-Yunez, and N. Pappas, "Electricity transmission cost allocation and network efficiency: implications for Mexico's liberalized power market," *Utilities Policy*, vol. 59, Article ID: 100932, Aug. 2019.
[13] J. Nikoukar, M. R. Haghifam, and A. Parastar, "Transmission cost allocation based on the modified Z-bus," *International J. of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 42, no. 1, pp. 31-37, Nov. 2012.
[14] S. Pouyafar, M. Tarafdar Hagh, and K. Zare, "Development of a circuit-theory based transmission cost allocation method by orthogonal projection and equal-sharing principle," *CSEE J. of Power and Energy Systems*, vol. 5, no. 2, pp. 159-170, Jun. 2019.
[15] M. S. G. Smitha, "A novel method for allocation of transmission cost in a multiple transaction framework," *International J. of Applied Engineering Research*, vol. 12, no. 20, pp. 9674-9678, Jan. 2017.
[16] G. A. Orfanos, P. S. Georgilakis, and N. D. Hatziargyriou, "A more fair power flow based transmission cost allocation scheme considering maximum line loading for N-1 security," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 28, no. 2, pp. 3344-3352, Mar. 2013.
[17] Z. Yang, H. Zhong, Q. Xia, C. Kang, and Y. Li, "A structural transmission cost allocation scheme based on capacity usage identification," *IEEE Trans. on Power System*, vol. 31, no. 4, pp. 2876-2884, Sept. 2016.
[18] M. Roustaei, M. K. Sheikh-El-Eslami, and H. Seifi, "Transmission cost allocation based on the users' benefits," *International J. of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 61, no. 5, pp. 547-552, Oct. 2014.
[۱۹] م. روستایی و م. ک. شیخ‌الاسلامی، "تخصیص ارزش- محور هزینه‌های خدمات انتقال برق،" *مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران*، جلد ۱۲، شماره ۱، صص. ۱۰۹-۹۵، بهار و تابستان ۱۳۹۴.
[20] PJM, A Survey of Transmission Cost Allocation Issues, Methods and Practice, PJM report, 2010, (available on https://www.pjm.com).
[21] G. Ibe and I. Kelechi, "Adequacy analysis and security reliability evaluation of bulk power system," *IOSR J. of Computer Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 26-35, May 2013.
[22] A. Karimi, H. Seifi, and M. K. Sheikh-El-Eslami, "Market-based mechanism for multi-area power exchange management in a multiple electricity market," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 9, no. 13, pp. 1662-1671, Sept. 2015.
[23] IEEE 30 Bus Test, https://fglongatt.org/OLD/Test_Case_IEEE_30.html

حسن اسماعیلی تحصیلات کارشناسی ارشد مهندسی برق- سیستم‌های قدرت خود را در سال ۱۳۹۶ در دانشگاه کاشان به پایان رسانده است. در حال حاضر، ایشان به عنوان کارشناس مسئول بهره‌برداری در شرکت برق منطقه‌ای اصفهان مشغول به فعالیت است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان موضوعات بازار برق، بهره‌برداری و برنامه‌ریزی شبکه‌های قدرت می‌باشد.

علی کریمی در سال ۱۳۸۶ مدرک کارشناسی مهندسی برق- قدرت خود را با رتبه اول از دانشگاه کاشان و مدارک کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی برق- قدرت را به ترتیب از دانشگاه تهران و دانشگاه تربیت مدرس در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۳ دریافت نمود. ایشان از سال ۱۳۹۳ به عنوان عضو هیأت علمی و استادیار دانشگاه کاشان مشغول به فعالیت می‌باشد. همچنین، نام‌برده از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶، محقق مرکز ملی مطالعات و برنامه‌ریزی شبکه‌های قدرت دانشگاه تربیت مدرس بوده است. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان موضوعات بهره‌برداری سیستم‌های قدرت، بازار برق، برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع و شبکه‌های هوشمند برق است..

www.SID.ir