

تخصیص هزینه‌های ثابت به روش ترکیبی و جدید در شبکه‌های توزیع شعاعی در حضور منابع تولید پراکنده

توحید رحیمی^{۱*}، کاظم زارع^۲

^۱ دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

rahimitohid@tabrizu.ac.ir

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

kazem.zare@tabrizu.ac.ir

چکیده: در این مقاله، روش‌های ترکیبی جدیدی جهت تقسیم عادلانه‌تر هزینه‌های ثابت شبکه‌های توزیع در حضور منابع تولید پراکنده برای شبکه‌های شعاعی ارائه شده است. تخصیص هزینه‌های ثابت به روش مگاوات-مایل مبتنی بر میزان مصرف در پیک مصرف شبکه یا براساس متوسط توان مصرفی، ناعادلانه است، لذا روش‌های عادلانه‌تر تخصیص هزینه‌های ثابت بایستی مطرح شود. ویژگی ناعادلانه بودن قیمت‌گذاری با توجه به پروفایل توان مصرفی بارهای شبکه نشان داده شده است. منابع تولید پراکنده (DG) منافع زیادی برای شبکه توزیع دارند و پاداش ثابتی طبق روش مگاوات-مایل دریافت می‌کنند. ولی نباید از تخصیص عادلانه‌تر هزینه پاداشی DG در بین بارها غافل بود. استفاده از تأثیر DG در کاهش هزینه پرداختی تلفات توسط بارها برای حل این مسئله، مناسب به نظر می‌رسد. لذا در این مقاله بر پایه بحث صورت‌گرفته، روش جدیدی ارائه شده و بر روی یک شبکه هشت شینه شعاعی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های توزیع، هزینه ثابت، روش‌های عادلانه‌تر، منابع تولید پراکنده.

۱. مقدمه

منابع تولید پراکنده با اتصال به شبکه توزیع و انتقال، ویژگی‌های مطلوبی به این شبکه‌ها می‌دهند. در ضمن به دلایل اقتصادی و سیاسی که منابع تولید پراکنده دارند، دولت‌ها هم به حضور DG^1 در شبکه برق کشور توجه ویژه‌ای کرده‌اند. در جهت کارایی بهتر DG ، روش‌های مختلفی جهت مکان‌یابی DG [۱] و [۲] و تعیین ظرفیت بهینه آن [۳-۵] ارائه شده است. وجود DG در شبکه قدرت مورد حمایت مشتریان نیز می‌باشد، چراکه تلفات خطوط در شبکه انتقال یا توزیع را کاهش داده و به تبع آن، هزینه پرداختی توسط مشتریان کم می‌شود [۶]. بهبود پروفایل ولتاژشین‌ها تحت انواع مدل بارها [۷] کاهش قابل توجه بیشینه جریان در ساعات پیک مصرف و موارد دیگر از مزایای DG است. خلاصه‌ای از مزایای DG توسط گروه CIGRE در مرجع [۸] بیان شده است.

افزایش میزان تقاضای انرژی، چگونگی استفاده و بهره‌برداری بهینه از منابع انرژی موجود در جهان، به یکی از چالش‌برانگیزترین مباحث در محافل علمی و حتی سیاسی تبدیل شده است. در این میان، ورود انرژی‌های تجدیدپذیر به عرصه تولید انرژی با توجه به مزایای این انرژی‌ها در مقایسه با سوخت‌های فسیلی اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. حدود ۸۰ درصد آلودگی‌های دنیا به وسیله سوزاندن سوخت‌های فسیلی به وجود می‌آید. برای مثال در کشور چین، هزینه سالیانه ناشی از آلودگی هوا به ۱/۶ میلیارد دلار می‌رسد. بنابراین بهینه‌سازی آلودگی‌های زیست محیطی ضروری به نظر می‌رسد [۹]. از طرف دیگر، با کاهش مقررات در بخش توسعه و بهره‌برداری از شبکه‌های انتقال و توزیع برق، رقابت و تلاش برای افزایش بهره‌وری در بخش‌های مختلف شبکه برق ترویج پیدا کرده است. این امر سبب رشد در بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر و ادوات ذخیره‌ساز انرژی در شبکه‌های برق شده است. این رویکردها سبب تحمیل عدم قطعیت‌ها در برنامه‌ریزی و بهره‌برداری شبکه‌های قدرت شده است. از طرف دیگر، در محیط رقابتی بازار برق، صاحبان شبکه‌های برق نمی‌توانند کنترل اجباری روی اندازه و مکان کاربران بالقوه شبکه برق داشته باشند، ولی می‌توانند با اعمال سیاست‌های اقتصادی مؤثر، بتوانند تصمیمات اقتصادی خود را در شبکه پیاده‌سازی کنند [۱۰]. قیمت‌گذاری براساس هزینه میزان مصرف یکی از مهم‌ترین انواع سیاست‌های تشویقی است که تمامی هزینه‌های ادوات شبکه برق و تولیدکننده توان را شامل می‌شود که در گذشته و حتی امروزه نیز مورد توجه بوده است [۱۱-۱۳].

از جمله سیاست‌های اقتصادی قابل اعمال به شبکه‌های برق، تخصیص مناسب هزینه‌های ثابت و غیرثابت است. در یک شبکه توزیع،

صاحبان شبکه برق می‌توانند انرژی را از نیروگاه و با منابع تولید پراکنده اخذ نمایند. در بازار رقابتی، صاحبان توزیع می‌خواهند هم هزینه کمتر برای خرید برق پرداخت کنند و هم درآمد بالاتری را با فروش برق به مشتریان حاصل نمایند و همزمان رضایت مشتریان را هم کسب کنند. در مرجع [۱۴]، نویسندگان از نظریه بازی‌ها به منظور قیمت‌گذاری برق منابع تولید پراکنده استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داده است که منابع تولید پراکنده دورتر از نیروگاه، سهم بالای مشارکت در توان کل شبکه دارند و برق تولیدی آن‌ها با قیمت بالایی خریداری خواهد شد. در جهت گسترش منابع فتوولتائیک به عنوان منبع توان در مصارف خانگی، در مرجع [۱۵] پیشنهاد شده است که برق فروشی توسط این واحدها به شبکه قیمت‌گذاری شود. قیمت‌گذاری پیشنهادی در مرجع مربوط مبتنی بر زمان تحویل توان از آرایه‌های خورشیدی و مکان اتصال این پنل به شبکه است تا هم سود تولیدکننده برق خورشیدی و هم سود صاحبان شبکه برق را تأمین کند. در مرجع [۱۶]، یک مدل قیمت‌گذاری برای تخصیص هزینه‌های ثابت، تلفات و انباشته در حضور انواع منابع ذخیره‌ساز انرژی ارائه شده است. در این مرجع، روش مگاوات-مایل برای تخصیص هزینه‌های ثابت پیشنهاد شده است.

به دلیل معایب روش کلاسیک که در آن روش هزینه ثابت شبکه براساس توان متوسط مصرفی بین بارها تقسیم می‌شود، قیمت‌گذاری مگاوات-مایل^۲ مطرح شده است. در این روش (مگاوات-مایل)، هزینه‌های ثابت به دو نوع هزینه مکانی و غیرمکانی (باقی مانده) تقسیم می‌شود. هزینه مکانی و غیرمکانی براساس متوسط میزان مصرف توان یا براساس توان مصرفی در ساعت پیک، تخصیص داده می‌شود [۱۷]. در مرجع [۱۸]، نویسندگان از طریق ردیابی توان حقیقی تناسب پایه جهت تعیین میزان مصرف از امکانات شبکه برای هر جز استفاده کرده‌اند. در مقابل در مراجع [۱۹] و [۲۰] یک روش نقطه به نقطه برای هدف ذکر شده، پیشنهاد شده است. روش‌های پیشنهادی سه مرجع اخیر صرفاً بر روی شبکه انتقال به کار رفته است. در میان روش‌های یادشده، روش مگاوات-مایل به خوبی برای شبکه توزیع هم قابل اعمال است. در مرجع [۲۱]، هشت طرح قیمت‌گذاری مختلف و الگوریتم‌های ترسیمی برای شبکه انتقال ارزیابی و مقایسه شده است تا مزایا و معایب هر روش آشکار شود. در مرجع مربوط نشان داده شده است که قیمت‌گذاری روش مگاوات-مایل به دلیل مستقل بودن قیمت‌گذاری از جهت پخش توان که شامل بارهایی است که پخش توان معکوس ایجاد می‌کنند، ناعادلانه است. در مرجع [۲۲]، روش قیمت‌گذاری مگاوات-مایل جهت تخصیص دقیق‌تر هزینه‌های ثابت به مصرف‌کننده‌ها بهبود یافته است. در

$$APIDF_{lk}^t = \frac{\partial I_l^t}{P_k^t} \quad (2)$$

$$RPIDF_{lk}^t = \frac{\partial I_l^t}{\partial Q_k^t} \quad (3)$$

که در آن:

$APIDF_{lk}^t$: تأثیر توان اکتیو مصرفی شین k در جریان خط l

$RPIDF_{lk}^t$: تأثیر توان راکتیو مصرفی شین k در جریان خط l

I_l^t : جریان خط l در زمان t

P_k^t : جمع جبری توان اکتیو مصرفی و تزریقی به شین k توسط بار

Q_k^t : جمع جبری توان راکتیو مصرفی و تزریقی به شین k توسط بار

N : تعداد شین‌ها را بیان می‌کند.

هزینه مکانی تخصیصی برای هر مشتری متصل به شین k شامل جمع جبری هزینه‌های توان اکتیو مصرفی و تولیدی به همراه جمع جبری هزینه‌های توان راکتیو مصرفی و تولیدی در همان شین است. محاسبه این هزینه‌ها توسط روابط (۴)، (۵)، (۶) و (۷) بیان شده است. اندیس t در بالای هر عبارت مربوط به کمیت آن عبارت در زمان t است.

$$AL_k^t = \sum_{l=1}^m \frac{APIDF_{lk}^t * PL_k^t}{AL_l^t} * \frac{I_l^t}{CAP_l} * CC_l^t \quad (4)$$

$$RL_k^t = \sum_{l=1}^m \frac{RPIDF_{lk}^t * PL_k^t}{AL_l^t} * \frac{I_l^t}{CAP_l} * CC_l^t \quad (5)$$

$$AG_k^t = \sum_{l=1}^m \frac{APIDF_{lk}^t * PG_k^t}{AL_l^t} * \frac{I_l^t}{CAP_l} * CC_l^t \quad (6)$$

$$RG_k^t = - \sum_{l=1}^m \frac{RPIDF_{lk}^t * QG_k^t}{AL_l^t} * \frac{I_l^t}{CAP_l} * CC_l^t \quad (7)$$

که در این روابط:

PL_k^t, QL_k^t : توان اکتیو و راکتیو مصرفی در شین k

PG_k^t, QG_k^t : توان اکتیو و راکتیو تولیدی در شین k

CAP_l : ظرفیت جریانی خط l

CC_l^t : هزینه ثابت محاسبه شده برای خط l

m : تعداد خطوط را نشان می‌دهند.

تخصیص هزینه‌های ثابت در روش مگاوات-مایل براساس میزان مصرف در زمان پیک و یامتوسط میزان مصرفی بنا شده است. هزینه‌های ثابت شبکه توزیع به دو نوع هزینه مکانی و غیرمکانی تقسیم می‌شود. هزینه‌های مکانی و غیرمکانی (هزینه‌های باقی‌مانده) هر مشتری براساس

روش پیشنهادی مربوط، ضریب توان به‌عنوان شاخص کیفیت توان در قیمت‌گذاری دخالت داده شده است. با هدف ایجاد ابزاری برای صاحبان شرکت برق جهت بازگشت هزینه سرمایه‌گذاری و اعمال سیگنال‌های اقتصادی مؤثر، مدل‌های قیمت‌گذاری مختلفی پیشنهاد شده است. در مرجع [۲۳]، روش قیمت‌گذاری پیشنهادی بر مبنای قابلیت اطمینان بنا شده است. روش پیشنهادی از شاخص‌های قابلیت اطمینان همانند متوسط زمان تا خطا برای قیمت‌گذاری استفاده کرده است. هر چقدر قابلیت اطمینان شبکه بالاتر باشد، قیمت بالاتری از مشتری دریافت می‌شود.

از آنجایی که تخصیص عادلانه هزینه‌های ثابت بین مشتریان، تاکنون مورد بحث و بررسی قرار نگرفته، در این مقاله، روش‌های جدید و ترکیبی جهت اختصاص هزینه‌های ثابت شبکه توزیع در حضور منبع تولید پراکنده، مطرح شده است به‌طوری‌که تخصیص هزینه‌ها بین مشتریان عادلانه‌تر باشد. هزینه پاداشی به منبع تولید پراکنده نیز براساس کاهش هزینه تلفات تخصیصی برای بارها، بین مشتریان تقسیم شده است که روشی عادلانه‌تر نسبت به سایر روش‌هاست. مبنای تخصیص عادلانه و پیشنهاد روش‌های جدید، روش مگاوات-مایل است. لذا ابتدا مفهوم روش مگاوات-مایل بیان خواهد شد.

مقاله در ادامه به پنج بخش تقسیم شده است. در بخش دوم، مفهوم روش مگاوات-مایل داده شده است. در بخش سوم، روش‌های ترکیبی جدید جهت تخصیص هزینه‌های ثابت بین بارها توضیح داده شده است. در بخش چهارم، روابط حاکم جهت قیمت‌گذاری تلفات تخصیصی به هر بار آورده شده است. بخش پنجم به معرفی شبکه مورد مطالعه و ویژگی‌های آن پرداخته شده است. در بخش ششم، نتایج روش‌های تخصیص هزینه‌های ثابت مورد بحث و مقایسه قرار گرفته است. بخش هفتم نیز به نتیجه‌گیری اختصاص پیدا کرده است.

۲. روش مگاوات-مایل

با اعمال روش مگاوات-مایل، سهم هر مشتری براساس جریان جاری در خطوط انتقال توان و فاصله هر مصرف‌کننده از شین مرجع تعیین می‌گردد. جریان جاری‌شونده در خط l ام در زمان t را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$I_l^t \cong AL_l^t = \sum_{k=1}^N APIDF_{lk}^t * P_k^t + \sum_{k=1}^N RPIDF_{lk}^t * Q_k^t \quad (1)$$

- روش متوسط-پیک: تخصیص هزینه‌های مکانی براساس متوسط توان مصرفی و هزینه‌های غیرمکانی مبتنی بر توان مصرفی در پیک
- روش پیک-متوسط: تخصیص هزینه‌های مکانی مبتنی بر توان مصرفی در پیک و هزینه‌های غیرمکانی مبتنی براساس متوسط توان مصرفی

روش تخصیص پیک-متوسط تأثیر مناسبی از توان متوسط مصرفی و توان مصرفی در پیک را اعمال نمی‌کند. در این نوع تخصیص، سطح پیک مصرفی در قیمت‌گذاری تأثیر پایینی دارد، درحالی‌که در شبکه‌های درحال توسعه، یکی از مهم‌ترین اهداف قیمت‌گذاری کاهش سطح پیک مصرفی است. بایستی تأثیر پیک و متوسط توان مصرفی به‌صورت عادلانه در قیمت‌گذاری دیده شود. در روش تخصیص متوسط-پیک، تأثیر پیک، تأثیر میزان مصرف متوسط و تأثیر فاصله از شین اسلک، نمود بهتری پیدا می‌کند. لذا روش ترکیبی تخصیص متوسط-پیک انتخاب می‌شود. روش تخصیص هزینه باقی‌مانده براساس روش تخصیص متوسط-پیک با I نامگذاری شده است.

در ادامه، سه روش جدید دیگر برای تخصیص هزینه‌های ثابت در شبکه توزیع مطرح می‌شود. دومین روش بر این مبنا انتخاب شده است که در صورتی که جریان مورد نیاز برای تأمین توان بار متصل به شین k به‌طور مستقیم از خط I عبور نکند، در هزینه ثابت آن خط نیز نبایستی شریک شود. این روش که مبتنی بر پیکر بندی شبکه می‌باشد، با شماره II نامگذاری شده است. در توضیح وابستگی هزینه باقی‌مانده یک خط به یک بار می‌توان مثالی را که در ادامه است، مطرح نمود. با توجه به شکل (۲)، شین ۳ در هزینه باقی‌مانده خط ۵ سهم نخواهد بود، چراکه جریان مصرفی‌اش به‌طور مستقیم از خط ۵ جاری نمی‌شود. این یعنی خط ۵ برای تأمین توان بار شین ۳ ایجاد نشده است و بایستی سهم هزینه باقی‌مانده خط ۵ برای بار متصل به شین ۳ صفر باشد. برای بیان ریاضی ماتریس وابستگی، رابطه (۸) بیان می‌شود.

$$B(k, l) = \begin{cases} 0 & \text{no depended with } k, l \\ 1 & \text{depended with } k, l \end{cases} \quad (8)$$

به این ترتیب هزینه باقی‌مانده خط I به‌کمک رابطه ۹ بین بارها تقسیم می‌شود.

$$RRC_k^t = \sum_{l=1}^m P_k^t * \frac{B(k, l)}{\sum_{k=2}^N B(k, l) * P_k^t} * RCC_l^t \quad (9)$$

میزان مصرف توان آن مشتری در ساعت پیک یا متوسط توان مصرفی تعیین می‌گردد. نیز در این روش، سه نکته عمده وجود دارد:

۱. اگر پروفایل بارها با هم دیگر یکسان فرض شود، بار دورتر از شین مرجع بایستی با توجه به تخصیص هزینه‌های ثابت براساس متوسط توان مصرفی یا براساس مصرف توان در ساعت پیک، هزینه بیشتری پرداخت کند. ولی در صورت غیر همسان بودن پروفایل توان مصرفی بارها، بار دورتر از شین اسلک ممکن است در تخصیص هزینه‌های ثابت مبتنی بر متوسط توان مصرفی یا مصرف توان در ساعت پیک به ترتیب هزینه کمتر و بیشتری نسبت به بار نزدیک‌تر پردازد. لذا ارائه راهکارهای ترکیبی ضروری به نظر می‌رسد.

۲. در روش مگاوات-مایل هزینه باقی‌مانده در هر بازه زمانی محاسبه می‌شود و هزینه باقی‌مانده خط براساس متوسط توان مصرفی و یا مبتنی براساس مصرف توان در ساعت پیک بین مشتریان تقسیم می‌شود. این نوع دیدگاه، خیلی عادلانه به نظر نمی‌رسد. واضح است که حداکثر توان مصرفی شین‌های مختلف شبکه توزیع، در تعیین ظرفیت خطوط شبکه نقش مستقیمی دارند. لذا بایستی هزینه ثابت خطوط براساس توان حداکثر مصرفی پیش‌بینی شده یا اعلامی از طرف بارها بنا شود، چراکه به دلیل وجود آن بار، ظرفیت خط و به تبع آن هزینه ثابت خط افزایش یافته است.

۳. حضور DG طبق روش مگاوات-مایل هزینه ثابت اضافی به شبکه تحمیل می‌کند. با وجود مزایای عمده تولید پراکنده نباید به تخصیص عادلانه این هزینه اضافی بین بارها بی‌توجهی کرد. وجود منبع تولید پراکنده سبب کاهش هزینه تلفات پرداختی توسط بارها می‌شود. لذا تقسیم هزینه اضافی ناشی از حضور DG براساس کاهش هزینه تلفات، عادلانه‌تر به نظر می‌رسد.

۳. تخصیص هزینه‌های ثابت به روش‌های ترکیبی پیشنهادی

برای درک مناسب فرایند شناسایی ضرورت پیشنهاد روش‌های پیشنهادی و معرفی مبنای قیمت‌گذاری‌های جدید هزینه‌های ثابت، شکل (۱) می‌تواند موارد یادشده را پوشش دهد. با توجه به شکل (۱)، روش‌های پیشنهادی در ادامه توضیح داده می‌شوند.

در روش مگاوات-مایل، هزینه‌های ثابت شامل هزینه‌های مکانی و هزینه‌های غیرمکانی براساس توان مصرفی متوسط یا براساس توان مصرفی در ساعت پیک بین مشتری‌ها تقسیم می‌شود. در این مرحله، جهت تخصیص هزینه‌های ثابت، می‌توان روش‌های ترکیبی تخصیص متوسط-پیک و تخصیص پیک-متوسط استفاده کرد.



شکل (۱): دیگرام اصول مبنایی روش‌های پیشنهادی تخصیص هزینه‌های ثابت

به‌دست‌آمده، هزینه‌های باقی‌مانده بین مشتری‌ها تقسیم می‌شود. روابط (۱۰-۱۱) ضریب حساسیت هر بار در ظرفیت شین اسلک را نشان می‌دهد. روابط (۱۲-۱۴) نیز روش تخصیص هزینه‌های باقی‌مانده به هر مشتری را بیان می‌کنند. اندیس mox جهت تعیین حالتی است که بارها ماکزیمم توان را از شبکه می‌گیرند و در این حالت است که ظرفیت خطوط تعیین می‌شود. مشخص شدن ظرفیت هر خط به منزله مشخص شدن هزینه ثابت آن خط است، چراکه هزینه ثابت خط با ظرفیت خط رابطه مستقیم دارد. سهم قیمتی هر بار براساس ماکزیمم توان مصرفی مورد انتظار و میزان مصرف در ساعت پیک، در تقسیم هزینه ثابت خطوط اعمال می‌شود.

جمع جبری توان اکتیو مصرفی و تولیدی در شین k در واحد زمان P_k^t :
 RRC_k^t : هزینه باقی‌مانده تخصیصی برای بار متصل به شین k
 RCC_I^t : هزینه باقی‌مانده خط I در واحد زمان

برای تشریح روش سوم، همانند مرجع [۱۷]، ظرفیت تمامی خطوط یکسان فرض شده است. در تعیین ظرفیت خطوط کافی است ظرفیت خط اصلی متصل به شین اسلک تعیین شود. ظرفیت خط متصل به شین اسلک متناظر با حداکثر توان مورد نیاز بارها، پیش‌بینی رشد شبکه برق و رعایت حاشیه امنیت‌های لازم تعیین می‌گردد. در این روش، تأثیر هر بار در تعیین ظرفیت خط اصلی با ضریب حساسیت مشخصی تعیین می‌شود. به کمک ضریب حساسیت‌های

که بارها ماکزیمم توان را از شبکه می‌گیرند و در این حالت است که ظرفیت خطوط تعیین می‌شود.

$$APIDF_{lk}^{max} = \frac{\partial I_l^{max}}{P_k^{max}} \quad (15)$$

$$RPIDF_{lk}^{max} = \frac{\partial I_l^{max}}{\partial Q_k^{max}} \quad (16)$$

$$AF_l^k = APIDF_{lk}^{max} * P_k^{hp} + RPIDF_{lk}^{max} * Q_k^{hp} \quad (17)$$

$$RC_{lk}^t = \frac{Af_l^k}{\sum_{k=1}^N Af_l^k} * RCC_l^t \quad (18)$$

$$RC_k^t = \sum_{l=1}^m RC_{lk}^t \quad (19)$$

$$APIDF_{lk}^{max} = \frac{\partial I_l^{max}}{P_k^{max}} \quad (10)$$

$$RPIDF_{lk}^{max} = \frac{\partial I_l^{max}}{\partial Q_k^{max}} \quad (11)$$

$$AF_l^k = APIDF_{lk}^{max} * P_k^{hp} + RPIDF_{lk}^{max} * Q_k^{hp} \quad (12)$$

$$RC_{lk}^t = \frac{Af_l^k}{\sum_{k=1}^N Af_l^k} * RCC_l^t \quad (13)$$

$$RC_k^t = \sum_{l=1}^m RC_{lk}^t \quad (14)$$

توان اکتیو و راکتیو خالص در شین k در ساعت P_k^{hp}, Q_k^{hp} پیک

RC_{lk}^t : هزینه باقی مانده خط l تخصیصی به بار متصل به شین k

RC_k^t : هزینه باقی مانده تخصیصی به بار متصل به شین k

روش سوم برای تخصیص هزینه‌های باقی مانده که مبتنی بر میزان مصرف در پیک و تأثیر حداکثر توان مصرفی بار بر ظرفیت خط اصلی است، با شماره III مشخص می‌شود.

البته به نظر می‌رسد که روش تخصیص هزینه‌های باقی مانده به روش III نیز عادلانه نیست. عیب روش این است که ضریب حساسیت یک بار برای تمامی خطوط یکسان است و این موضوع با مفهوم تخصیص هزینه عادلانه در تضاد است. با توجه به شکل (۲)، بار متصل به شین ۵، ضریب مشارکت یکسانی از هزینه خط ۱ (خط بین شین ۱ و ۲) و هزینه خط ۷ (خط بین شین ۷ و ۸) دارد (ظرفیت خطوط با توجه به مرجع [۱۷] یکسان فرض شده است) ولی خط ۷ با هدف تأمین توان بار متصل به شین ۸ و نه به منظور تأمین توان بار متصل به شین ۵ ایجاد شده است. به نظر می‌رسد که بار متصل به شین ۵، درصد خیلی کمی از هزینه باقی مانده خط ۷ را بایستی متحمل شود و عمده هزینه باقی مانده خط ۷ بر عهده بار متصل به شین ۸ باشد. این دیدگاه قیمت‌گذاری هزینه‌های ثابت عادلانه‌تر است. این روش نیز با شماره IV متمایز می‌شود. در این روش، حساسیت جریان خط l به توان اکتیو و راکتیو مصرفی بار k در حالتی که ماکزیمم توان ممکن را از شبکه تحویل می‌گیرد، تعیین می‌شود. با توجه به اهمیت تلاش برای کاهش توان مصرفی در ساعت پیک، هزینه باقی مانده به کمک حساسیت به دست آمده و توان مصرفی بار در ساعت پیک بین بارها تقسیم می‌شود. روابط (۱۵-۱۹) این نوع قیمت‌گذاری را محقق می‌سازند. یادآوری می‌شود که اندیس mox جهت تعیین حالتی است

۴. تخصیص هزینه تلفات

این بخش با هدف تقسیم عادلانه هزینه پاداشی به منبع تولیدپراکنده، بین مشتریان شبکه توزیع در مقاله گنجانده شده است. سهم منبع تولیدپراکنده در کاهش هزینه تلفات خط مربوط به هر بار، مبنای تخصیص عادلانه پاداش منبع تولیدپراکنده بین مشتری‌هاست. لذا بایستی سهم هر بار در تلفات خطوط قبل و بعد از حضور DG تعیین شود.

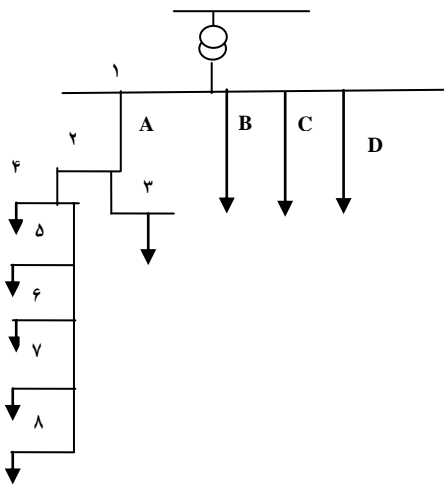
تخصیص تلفات به بارها، در شبکه‌های انتقال مورد توجه قرار گرفته است. در شبکه انتقال به کمک ضرایب تلفات مرزی^۱ تلفات به هر شین اختصاص داده می‌شود [۲۴]. این روش برای شبکه توزیع اصلاح شده و روش قیمت‌گذاری نقطه‌ای مطرح می‌شود. در این مقاله، تلفات کل شبکه توزیع به کمک رابطه (۲۰) بیان می‌شود. با استفاده از روابط (۲۱)، (۲۲) و (۲۳) تلفات در واحد زمان به هر بار تخصیص داده می‌شود.

$$Loss^t = real(V_p sp . I_p sp^*) - \sum_{k=1}^N PL_k^t + PG_k^t \quad (20)$$

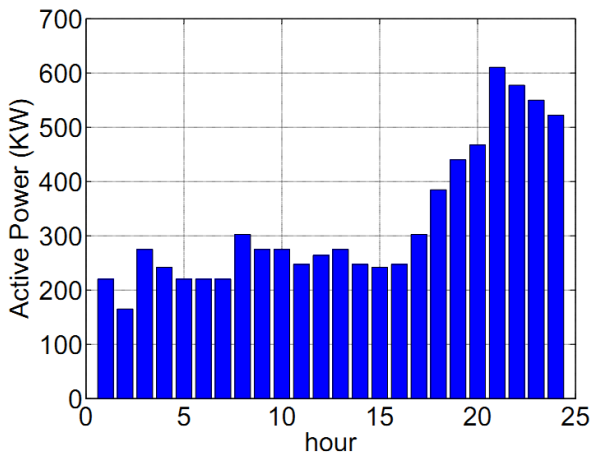
$$ALoss^t = \sum_{k=1}^N \frac{\partial Loss^t}{\partial P_k^t} * (PL_k^t + PG_k^t) + \sum_{k=1}^N \frac{\partial Loss^t}{\partial P_k^t} (QL_k^t + QG_k^t) \quad (21)$$

$$Rf^t = \frac{2 * Loss^t}{ALoss^t} \quad (22)$$

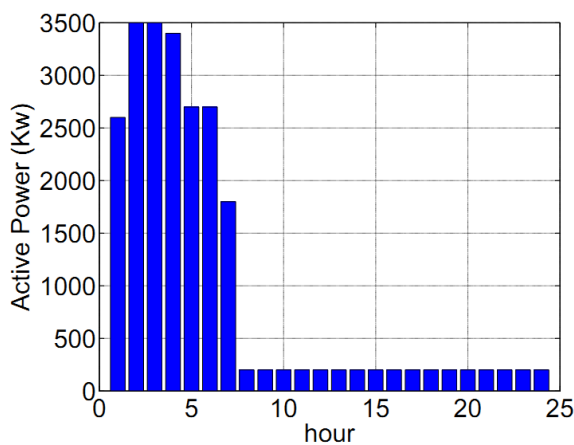
توزیع را مشخص می‌کند. DG توان یک مگاوات^۲ با ضریب توان ۰/۹۵ تولید می‌کند.



شکل (۲): دیاگرام خطی شبکه شعاعی مورد مطالعه



شکل (۳): پروفایل توان مصرفی بارهای ۳ و ۵ و ۷ و ۸



شکل (۴): پروفایل توان مصرفی بار ۴

$$Loss_k^t = RF^t * \left[\left(\frac{\partial Loss^t}{\partial P_k^t} * PL_k^t + PG_k^t \right) + \left(\frac{\partial Loss^t}{\partial Q_k^t} * (QL_k^t + QG_k^t) \right) \right] \quad (23)$$

PL_{lk}^t : توان اکتیو مصرفی توسط مشتری با علامت مثبت

PG_{lk}^t : توان اکتیو تولیدی توسط مشتری با علامت منفی

QL_{lk}^t : توان راکتیو مصرفی توسط مشتری با علامت مثبت

QG_{lk}^t : توان راکتیو تولیدی توسط مشتری با علامت منفی

$ALoss^t$: کل تلفات شبکه توزیع به کمک ضرایب مرزی

RF^t : ضریب اصلاحی

$Loss_k^t$: تلفات واقعی اختصاصی به هر بار متصل به شین k

پس از تخصیص تلفات به هر مشتری، طبق قیمت عمده‌فروشی

برق که با λ نشان داده می‌شود، هزینه تلفات اختصاصی به هر مشتری

متصل به شین k طبق رابطه (۲۴) محاسبه می‌شود.

$$C_{Loss_k}^t = Loss_k^t * \lambda^t \quad (24)$$

$C_{Loss_k}^t$: هزینه تلفات اختصاصی به شین k در زمان t

λ^t : قیمت عمده‌فروشی برق در زمان t

۵. شبکه شعاعی مورد مطالعه

شبکه شعاعی مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است [۱۷]. شبکه

مورد مطالعه چنان‌که در شکل (۲) دیده می‌شود، دارای ۸ شین است. بار ۴

صنعتی بوده (میزان توان اکتیو و راکتیو مصرفی بالایی دارد) و سایر بارها

خانگی است. پروفایل توان مصرفی بارهای صنعتی و خانگی به صورت

شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) نشان داده شده است. واحد توان‌های مصرفی

برحسب کیلووات-ساعت^۱ است. فرض می‌شود که بارها با ضریب توان

۰/۹ پس فاز توان می‌کشند. پروفایل مصرفی بار برای تمام ایام فصل ثابت

است. از آنجایی که شبکه توزیع مورد مطالعه توسط شین شماره ۱ به شبکه

انتقال متصل است و شبکه انتقال از دید شبکه توزیع یک شبکه بزرگ دیده

می‌شود، انتظار می‌رود ولتاژ شین شماره ۱ ثابت بماند. لذا این شین نیز

به عنوان شین اسلک در نظر گرفته شده است.

هزینه ثابت کل شبکه توزیع برای یک فصل ارائه شده و برابر

۳۳۰۰۰ دلار است. فرض می‌شود که هزینه کل شبکه توزیع براساس

نسبت ظرفیت خطوط بین خطوط توزیع تقسیم و هزینه ماهیانه خطوط

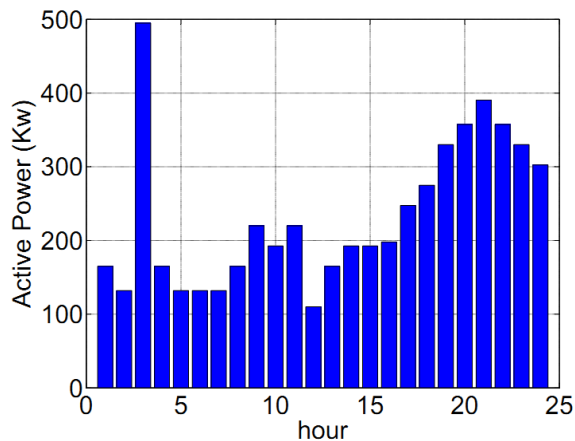
گره	هزینه‌های غیرمکانی ثابت	هزینه‌های مکانی ثابت
۳	۳۵۶۱	۱۵۷
۴	۱۱۸۶۰	۱۷۵۶
۵	۳۵۶۱	۵۴۷
۶	۲۵۵۸	۴۰۹
۷	۳۵۶۱	۶۴۴
۸	۳۵۶۱	۸۲۶

هزینه ثابت برای هر بار از مجموع هزینه‌های مکانی و غیرمکانی به دست آمده است. با توجه به جداول (۳) و (۴)، هزینه ثابت محاسبه شده برای بارهای متصل به شین ۵ و ۶ حاکی از آن است که هزینه‌های ثابت تخصیصی براساس متوسط توان مصرفی و میزان مصرف در ساعت پیک، انعکاس درستی از سهم هر بار در جریان خطوط و به تبع آن، سهم بار از هزینه‌های ثابت خطوط را نشان نمی‌دهد. به طوری که با توجه به جدول (۵) با وجود دور بودن بار متصل به شین ۶، هزینه ثابت تخصیصی آن براساس متوسط توان مصرفی، کمتر از بار ۵ است. از آنجایی که بار ۶ خطوط بیشتری را جهت تأمین توان خود، اشغال می‌کند، انتظار می‌رود هزینه ثابت تخصیصی آن تفاوت چشمگیری با بار شین ۵ نداشته باشد.

گره	هزینه‌های غیرمکانی ثابت	هزینه‌های مکانی ثابت
۳	۱۱۹۰	۱۳۶
۴	۱۶۶۶۴	۶۵۳۸
۵	۱۱۹۰	۵۰۳
۶	۲۱۴۲	۹۳۷
۷	۱۱۹۰	۵۸۴
۸	۱۱۹۰	۷۳۵

در مقابل با تخصیص هزینه‌ها براساس میزان مصرف در پیک، هزینه ثابت بار متصل به شین ۵، کاهش چشمگیری داشته و هزینه بار ۶ هم افزایش پیدا کرده است. این تفاوت در جدول ۵ مشهود است. اختلاف بالای هزینه‌های تخصیصی در دو حالت قیمت‌گذاری، ناعادلانه بودن روش مگاوات-مایل را نشان می‌دهد. لذا بایستی از روش‌های ترکیبی جهت تخصیص هزینه‌های ثابت استفاده کرد تا هم تأثیر ساعت پیک در قیمت‌های تخصیصی دیده شود و هم تخصیص هزینه‌ها عادلانه‌تر باشد. هزینه‌های باقی‌مانده به روش I که استراتژی آن در بخش سوم توضیح داده شد، جهت برآورد کردن این خواسته اعمال و نتایج آن در جدول (۸) آورده شده است.

پروفایل توان مصرفی بارها در شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) به نمایش درآمده است. در این اشکال، محور افقی برحسب ساعت و محور عمودی نشان‌دهنده توان برحسب کیلووات است. پروفایل بار شماره ۶ متفاوت از سایر بارهای خانگی انتخاب شده است تا ضرورت اصلاح روش مگاوات-مایل و کارایی روش‌های پیشنهادی نشان داده شود.



شکل (۵): پروفایل توان مصرفی بار ۶

جدول (۱): مقدار مقاومت و راکتانس خطوط در واحد طول

R(Ω/km)	X(Ω/km)
۰/۳۰۱۶	۰/۳۸۳۱

مشخصه مقاومت و اندوکتانس خطوط در جداول (۱) و (۲) به ترتیب برای امپدانس خطوط در واحد طول و فاصله شین‌ها از یکدیگر برحسب کیلومتر بیان شده است.

جدول (۲): فاصله شین‌ها از یکدیگر در شبکه شعاعی

طول (کیلومتر)	شین دریافت‌کننده	شین ارسال‌کننده
۱۰	۲	۱
۱/۶	۳	۲
۲۶	۴	۳
۳	۵	۴
۱/۵	۶	۵
۵/۶	۷	۶
۱۳/۵	۸	۷

۶. بحث و تحلیل نتایج

۱.۶ هزینه‌های ثابت تخصیصی براساس روش مگاوات-مایل

هزینه‌های مکانی و غیرمکانی براساس روش مگاوات-مایل براساس متوسط توان مصرفی و میزان مصرف در ساعت پیک محاسبه می‌شود. نتایج در جداول (۳) و (۴) دیده می‌شود.

جدول (۵): مقایسه هزینه ثابت کل تخصیص بار ۵ و ۶

گره	براساس میزان مصرف در ساعت پیک	براساس میزان مصرف در t
۵	۱۶۹۳	۴۱۰۸
۶	۳۰۹۷	۲۹۶۷

جدول (۶): هزینه ثابت کلی تخصیص داده شده برای هر بار (دو روش مگاوات-مایل)

گره	براساس میزان مصرف در پیک	براساس میزان در t
۳	۱۳۲۰	۳۷۱۸
۴	۲۳۲۰۲	۱۳۶۱۶
۵	۱۶۹۳	۴۱۰۸
۶	۳۰۹۷	۲۹۶۷
۷	۱۷۷۴	۴۲۰۵
۸	۱۹۲۵	۴۳۸۰

جدول (۷): هزینه ثابت کلی تخصیص داده شده برای هر بار (دو روش جدید)

گره	تخصیص پیک-متوسط	تخصیص متوسط-پیک
۳	۳۰۶۳	۱۶۰۵
۴	۱۶۲۹۰	۲۲۰۲۱
۵	۳۴۳۰	۱۹۹۵
۶	۳۰۴۱	۳۰۱۵
۷	۳۵۱۱	۲۰۹۲
۸	۳۶۶۲	۲۲۷۴

جدول (۸): هزینه باقی مانده براساس روش I

گره	۳	۴	۵	۶	۷	۸
هزینه باقی مانده	۱۴۴۷	۲۰۲۶۶	۱۴۴۷	۲۶۰۶	۱۴۴۷	۱۴۴۷

۲.۶ تخصیص هزینه‌های باقی مانده با روش‌های جدید پیشنهادی

همان‌طور که در بخش مقدمه شرح داده شد، هزینه باقی مانده تخصیصی به روش مگاوات-مایل ناعادلانه و غیرمنطقی است. لذا ارائه راهکارهای جدید ضروری است. با توجه به تحلیل‌های بخش قبلی هزینه باقی مانده تخصیصی به روش II در جدول (۹) آمده است. نتایج حاصل از تقسیم هزینه‌های باقی مانده به روش III در جدول (۱۰) قابل رؤیت است. در این روش، حساسیت جریان خط ۱ (خط بین شین ۱ و ۲) به توان اکتیو و راکتیو مصرفی بار k در حالتی که ماکزیمم توان ممکن را از شبکه تحویل می‌گیرد، تعیین می‌شود. با استفاده از حساسیت به دست آمده و میزان مصرف در ساعت پیک، هزینه باقی مانده خطوط بین بارها تقسیم شده است.

جدول (۹): هزینه باقی مانده براساس روش II

گره	۳	۴	۵	۶	۷	۸
هزینه باقی مانده	۱۰۶۱	۱۱۴۹۶	۱۱۲۵	۲۳۸۲	۲۷۵۴	۹۸۲۳

جدول (۱۰): هزینه باقی مانده براساس روش III

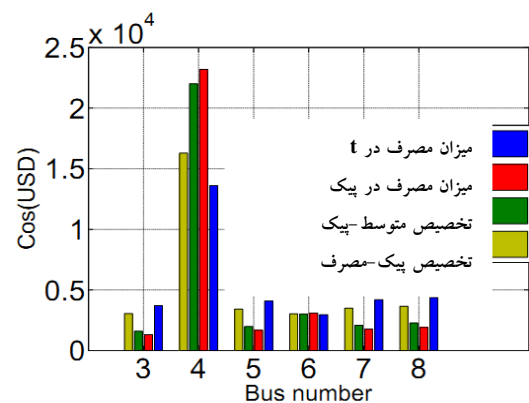
گره	۳	۴	۵	۶	۷	۸
هزینه باقی مانده	۱۰۰۶	۲۰۴۳۰	۱۴۸۳	۲۶۸۵	۱۵۱۴	۱۵۴۳

جدول (۱۱): هزینه باقی مانده براساس روش IV

گره	۳	۴	۵	۶	۷	۸
هزینه باقی مانده	۱۳۹	۸۲۴۴	۶۳۴	۱۱۸۰	۷۳۰	۱۷۳۴۴

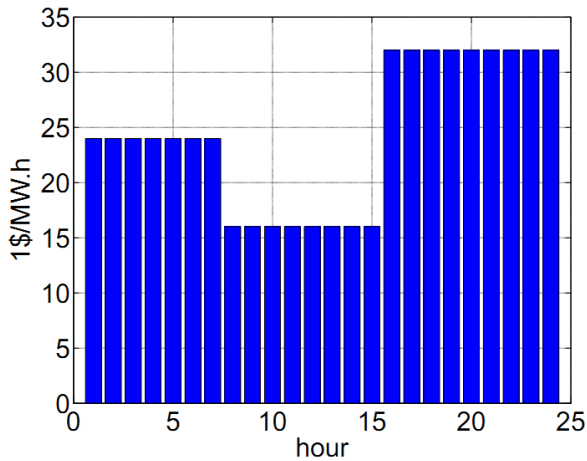
نتایج حاصل از تقسیم هزینه‌های باقی مانده به روش IV در جدول (۱۱) قابل رؤیت است. در این روش، حساسیت جریان خط I به توان اکتیو و راکتیو مصرفی بار k در حالتی که ماکزیمم توان ممکن را از شبکه تحویل می‌گیرد، تعیین می‌شود. با استفاده از حساسیت به دست آمده و میزان مصرف در ساعت پیک، هزینه باقی مانده خطوط بین بارها تقسیم می‌شود. همانند آنچه در مرجع [۱۷] ظرفیت خطوط یکسان فرض شده است، ظرفیت خطوط نیز در این مقاله یکسان فرض شده است. اگر به نتایج هزینه‌های باقی مانده در جدول (۱۱) توجه شود، می‌توان مشاهده کرد که هزینه تخصیصی به بارهای انتهایی به شدت با دور شدن از شین اسلک بالا رفته است. به طوری که هزینه باقی مانده بار متصل به شین ۸ (بار خانگی) بیشتر از بار متصل به شین ۴ (بار صنعتی) است. چون بار متصل به شین ۴ تأثیر چندانی در تعیین ظرفیت خطوط بعد از خود ندارد، بایستی سهم این بار از هزینه‌های خطوط بعد از خود بسیار پایین باشد که این استراتژی عادلانه‌تر است. با مقایسه مقادیر جدول (۱۰) و (۱۱) می‌توان مشاهده کرد که هزینه باقی مانده تخصیصی برای بار صنعتی

برای مقایسه بهتر روش‌های ترکیبی مطرح شده با هزینه‌های ثابت تخصیص داده شده به روش مگاوات-مایل، نتایج هزینه‌های تخصیصی در چهار حالت قیمت‌گذاری در جداول (۶) و (۷) در کنار یکدیگر در شکل (۶) آورده شده است.



شکل (۶): مقایسه قیمت تخصیصی روش‌های مختلف قیمت‌گذاری

(برحسب دلار برای بارهای مختلف)



شکل (۷): هزینه عمده‌فروشی برق در هر ساعت

جدول (۱۲): تفاوت هزینه تلفات در حضور DG و عدم DG

توضیحات	تفاوت هزینه تلفات در حضور و عدم حضور DG برحسب
گره	دلار
۳	۱۲۳۵/۶
۴	۲۱۷۴۲/۸
۵	۵۴۳۱/۸
۶	۴۱۰۸/۴
۷	۶۱۲۵/۴
۸	۷۱۹۹

جدول (۱۳): هزینه مکانی در حضور DG

توضیحات	هزینه مکانی در حضور تولید پراکنده برحسب دلار
گره	
۳	۱۵۶
۴	۱۷۱۳
۵	۵۲۲
۶	۳۷۸
۷	۵۰۹
۸	۳۲۷
۸ت	-۷۵۵
جمع	۲۸۵۱

در اینجا ضریبی به نام CF مطرح شده است که برای اصلاح هزینه‌های مکانی در حضور DG استفاده می‌شود. مقدار این ضریب برابر است با تقسیم هزینه کل تخصیصی بدون حضور DG به هزینه کل تخصیصی در حضور DG.

CF

$$CF = \frac{\text{هزینه مکانی کل در حضور منبع پراکنده}}{\text{منبع پاداشی منبع پراکنده} + \text{هزینه مکانی کل در حضور منبع پراکنده}} \quad (25)$$

از ضرب مقدار CF در هزینه‌های مکانی، این هزینه‌ها اصلاح می‌شود. هزینه پاداشی به DG، بین بارها به این صورت تقسیم می‌شود

کاهش قابل توجهی داشته است. چون ضریب بار صنعتی برای تمام خطوط در روش III یکسان و برابر ضریب خط اول است، هزینه‌های باقی‌مانده بیشتری برای بار صنعتی تخصیص داده می‌شود. این در حالی است که خطوط توزیع بعد از بار صنعتی به دلیل حضور این بار به وجود نیامده‌اند و سهم این بار از هزینه‌های خطوط مابعد خود، بایستی مقدار کمی باشد. پس روش III نیز به‌طور ناعادلانه، هزینه باقی‌مانده خطوط را بین بارها تقسیم می‌کند. اگر به جدول (۱۱) توجه شود، دیده می‌شود که هزینه باقی‌مانده بار شین ۴ بیشتر از بار متصل به شین ۵ و ۶ (بارهای دورتر) است که ناشی از توان بالای مصرفی در ساعت پیک بار شین ۴ نسبت به بار شین ۵ و ۶ است. هزینه تخصیصی به بار شین ۸ بالاترین مقدار را دارد، چرا که این بار برای تأمین توان خود، از ظرفیت تعداد خط بالاتری استفاده می‌کند در واقع با روش IV، تأثیر میزان مصرف در ساعت پیک و هم دیدگاه عادلانه‌تر پدیدار شده است. با توجه به دلایل اشاره شده، قیمت تخصیصی بارهای دورتر مقدار بالایی خواهد داشت. البته اگر ظرفیت خطوط یکسان و برابر خط اصلی (خط بین شین ۱ و شین ۲) فرض نشود و ظرفیتی مرتبط با حداکثر جریان کشیده‌شده از هر خط تعیین شود، قیمت‌های تخصیصی به هر بار معقول‌تر خواهد بود.

۳.۶. تخصیص هزینه‌های ثابت در حضور DG

در حضور DG قرار نیست تغییر خاصی در تخصیص هزینه‌های باقی‌مانده رخ دهد و هر چهار روش I، II، III و IV قابل اعمال است. تنها چیزی که مطرح می‌شود تقسیم عادلانه هزینه منفی مکانی DG است که به‌عنوان پاداش به DG داده می‌شود.

گفته شد که DG هزینه تلفات تخصیص داده شده به بارها را کاهش می‌دهد، لذا متناسب با کاهش این هزینه تلفات برای مشتریان، هزینه پاداشی به DG می‌تواند بین مشتریان تقسیم شود. با کمک روش محاسباتی تلفات در بخش چهارم، تلفات برای هر حالت بدون DG و با حضور DG محاسبه شده و در جدول (۱۲) آمده است.

نکته مطرح در اینجا مقدار λ است. λ قیمت عمده‌فروشی برق است که صاحبان شبکه توزیع با آن تعرفه به مصرف‌کنندگان توان الکتریکی می‌رسانند. λ طبق پروفایل توان مصرفی کل شبکه طبق شکل (۷) تعریف شده است. در شکل (۷)، واحد محور قائم برحسب دلار بر مگاوات-ساعت و واحد محور افقی ساعت است. در جدول (۱۲)، کاهش هزینه پرداختی توسط مشتری‌ها برای توان تلفاتی در حضور DG را نشان می‌دهد. جدول (۱۳) نیز هزینه مکانی تخصیصی به بارها در حضور DG را نشان می‌دهد.

کمتری نسبت به بار ۵ باید پردازد. مصداق توضیحات در جدول (۱۵) دیده می‌شود.

۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله، روش‌های ترکیبی و جدیدی جهت تخصیص هزینه‌های ثابت شبکه توزیع با هدف تقسیم عادلانه‌تر هزینه‌های ثابت شبکه توزیع پیشنهاد شده است. روش‌های پیشنهادی و ترکیبی به یک شبکه توزیع شعاعی اعمال شده است. این روش‌ها از نقطه نظر تخصیص عادلانه‌تر، هزینه‌های ثابت قابل مقایسه با یکدیگرند. مبتنی بر تخصیص عادلانه قیمت‌ها، چهار روش قیمت‌گذاری هزینه‌های باقی‌مانده جدید پیشنهاد شده است. از میان روش‌های گفته‌شده با در نظر نگرفتن پیچیدگی محاسبه، روشی که هزینه مکانی براساس میزان متوسط مصرفی و هزینه باقی‌مانده براساس روش IV محاسبه شود، عادلانه‌ترین حالت است و در رتبه‌های بعدی روش II, III و I قرار دارند. در صورتی که ظرفیت خطوط یکسان نباشد، روش IV به دلیل تخصیص هزینه‌های بالای تخصیصی به بارهای دورتر از شین اسلک، کارآمدی بهتری خواهد داشت. این روش در حالت کلی با در نظر گرفتن توان مصرفی بار در ساعت پیک، روشی عادلانه و مؤثر خواهد بود.

DG سبب کاهش هزینه‌های مکانی و تلفات می‌شود. از طرفی DG هزینه پاداشی از شبکه به خود اختصاص می‌دهد. هزینه پاداشی به DG براساس تأثیر منبع تولید پراکنده در کاهش هزینه تلفات تخصیصی به مشتریان، بین بارها تقسیم شده که این منطبق عادلانه‌تر است.

که نسبت کاهش هزینه تلفات برای هر بار به مجموع کاهش تلفات تمام بارها به دست آمده و در هزینه مکانی منفی DG، ضرب می‌شود. در جدول (۱۴)، هزینه‌های مکانی اصلاح‌شده برای هر شین آورده شده است. در جدول (۱۵) نیز هزینه تخصیصی به هر بار جهت پرداخت پاداش حضور DG دیده می‌شود. بدین ترتیب هزینه مکانی بارها در حضور منبع تولید پراکنده اصلاح می‌شود. هزینه باقی‌مانده نیز به هر کدام از روش‌های I, II, III و IV قابل تخصیص است.

جدول (۱۴): هزینه مکانی اصلاح‌شده

گره	۳	۴	۵	۶	۷	۸
هزینه مکانی اصلاح‌شده	۱۲۳	۱۳۵۴	۴۱۳	۲۹۹	۴۰۲	۲۵۹

جدول (۱۵): هزینه پاداشی DG

گره	۳	۴	۵	۶	۷	۸
هزینه مکانی اصلاح‌شده	۲۴	۳۵۷	۸۹	۶۷	۱۰۰	۱۱۸

با توجه به جدول (۱۲)، DG تأثیر زیادی در کاهش هزینه تلفات مربوط به بارهای نزدیک منبع تولید پراکنده و بار متصل به شین ۴ که پیک مصرف بالایی دارد، می‌گذارد. لذا بایستی سهم بیشتری در هزینه پاداشی منبع تولید پراکنده داشته باشند. از طرفی بار ۶ به دلیل متوسط توان مصرفی کمتر، هزینه تلفاتی کمتری دارد و به تبع آن، هزینه اضافی

مراجع

- [1] Wang, C., Nehir, M.H., "An Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation Source in Power System", IEEE Transaction on Power System, Vol 19, pp. 2068 - 2076, 2004.
- [2] Griffin, T., Tomsovic, K., Secret, D., Law, A., "Placement of Dispersed Generation System for Reduced Losses", Proceeding of IEEE 33rd Annu. Hawaii International Conference on system. Science, pp.1-9, 2000.
- [3] Singh, R. K., Goswami, S. K., "Optimum Siting and Sizing of Distributed Generations in Radial and Networked Systems", Electrical Power and Energy Systems, vol.28, pp.669-678, 2006.
- [4] Acharya, N., Mahat, P., Mithulanathan, N., "An Analytical Approach for DG Allocation in Primary Distribution Network Electric Power System Management, Energy Field of Study", Electrical Power and Energy Systems, Vol.28, pp. 669-678, 2006.
- [5] Georgilakis, P.S., Hatzigiorgiou, N.D. "Optimal Distributed Generation Placement in Power Distribution Networks: Models, Methods, and Future Research", IEEE Transactions on Power systems, Vol. 28, pp.3420-3428, 2013.
- [6] Sotkiewicz, P. M., Vignolo, J. M., "Nodal Pricing for Distribution Networks: Efficient Pricing for Efficiency Enhancing DG", IEEE Transaction on Power System, Vol. 21, pp.1013-1014, 2006.
- [7] Singh, R.K., Choudhury, N.B.D., Goswami, S.K., "Effect of Load Models on Nodal Pricing and Revenue Evaluation of DG in Distribution Network", India Conference, 2008. INDICON 2008. Annual IEEE, Vol.1, pp. 229-233, 2008.
- [8] CIGRE (1999). Impact of Increasing Contribution of Dispersed Generation on Power System, Working Group 37.23.
- [9] Keane, A., Ochoa, Luis F., Borges, Carmen L.T., Graham W. A., Alarcon-Rodriguez, Arturo D., Currie, R.A.F., Pilo, F., Dent, C., Harrison, Gareth P., "State-of-the-Art Techniques and Challenges Ahead for Distributed Generation Planning and Optimization", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.28, pp.1493-1502, 2013.

- [10] Fazıl, G., Atmaca, M.E., "Financial Optimization in the Turkish Electricity Market: Markowitz's Mean-Variance Approach", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.16, pp. 357-368, 2012.
- [11] Deuse, J., Grenard, S., Benintendi, D., Agrell, P. J., Bogetoft, P., "Use of System Charges Methodology and Norm Models for Distribution System Including Der", In 19th International Conference on Electricity Distribution, Vol. 6, pp. 1-4, 2007.
- [12] Bharatkumar, A., "Distribution Network Use-of-System Charges Under High Penetration of Distributed Energy Resources.", PhD diss., Massachusetts Institute of Technology, 2015.
- [13] Zhang, Z.J, Nair, N.-K.C., "Distribution Use-of-System Pricing to Facilitate Retail Competition and Demand Management", In PES General Meeting/ Conference & Exposition, 2014 IEEE, pp. 1-5. IEEE, 2014.
- [14] Mobarakeh, A.S., Rajabi, A., Zahedian, A., "A Game Theoretic Framework for DG Optimal Contract Pricing", In Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE), 2013 4th IEEE/PES, pp. 1-5, 2013.
- [15] Reno, M. J., Coogan, K., Peppanen, J., Grijalva, S., "Using Distribution LMP and Time-of-Delivery Pricing to Promote Optimal Placement and Increased Profitability of Residential PV Systems." In North American Power Symposium (NAPS), pp. 1-6. IEEE, 2014.
- [16] Soares, T., Pereira, F., Morais, H., Vale, Z., Cost Allocation Model for Distribution Networks Considering High Penetration of Distributed Energy Resources., Electric Power Systems Research, Vol.124, pp.120-132, 2015.
- [17] Sotkiewicz, P. M., Vignolo, J. M. "Allocation of Fixed Costs in Distribution Networks with Distributed Generation", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.21, pp.639-652, 2006.
- [18] Abhyankar, A. R., Khaparde, S.A., Soman, S., Pentayya, P. "A Transmission Pricing Mechanism Based on Power Tracing for Central Transmission Utility in India", International Journal of Electrical Power & Energy System, vol. 2, 2005.
- [19] Chen, Q., Xia, Q., Kang, C., "Novel Transmission Pricing Scheme Based on Point-to-Point Tariff and Transaction Pair Matching for Pool Market", Electric Power Systems Research, Vol. 80, pp. 481-488, 2010.
- [20] Abhyankar, A. R., Khaparde, S.A., "Electricity Transmission Pricing: Tracing Based Point-of-Connection Tariff", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 31, pp. 59-66, 2009.
- [21] Orfanos, G.A., Tzasiou, G.T.; Georgilakis, P.S.; Hatziargyriou, N.D. "Evaluation of Transmission Pricing Methodologies for Pool Based Electricity Markets", in Proc. IEEE PowerTech Conf., Trondheim, Norway, pp.1-8, 2011.
- [22] Nojeng, S., Hassan M.Y., Said D.M., Abdullah M.P., Hussin, F., "Improving the MW-mile Method Using the Power Factor-Based Approach for Pricing the Transmission Services", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.29, pp.2042-2048, 2014.
- [23] Chenghong, Gu., Jianzhong W., Furong Li. , "Reliability-Based Distribution Network Pricing", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 27, no. 3, pp. 1646-1655, 2012.
- [24] Mutale, J., Strbac, G. Curcic, S., Jenkins, N., "Allocation of Losses in Distributions Systems with Embedded Generation", IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, Vol.147, pp.1-8, 2000.