

## تخصیص هزینه توان راکتیو در محیط تجدید ساختار یافته صنعت برق

**رضا قاضی**  
**مرتضی رحیمیان**  
**گروه برق - دانشکده مهندسی**  
**دانشگاه فردوسی مشهد**

واژه‌های کلیدی: محیط رقابتی، بازار راکتیو، تخصیص هزینه، ردیابی توان راکتیو، قاعده سهم متناسب

### چکیده

در محیط غیر رقابتی معمولاً بخشی از هزینه توان راکتیو در قیمت توان اکتیو و بخشی به صورت جریمه در ضریب قدرت بار منظور می‌گردد. در حالیکه در محیط رقابتی جهت عملکرد مطلوب سیستم بایستی این بخش از خدمات جانبی<sup>۱</sup>، از طریق قرارداد یا بازار پیشنهاد قیمت، خریداری شود. لذا هزینه آن بایستی به طور عادلانه توسط مصرف کننده پرداخت شود. بنابراین در بازار توان راکتیو تخصیص هزینه به صورت عادلانه به مشترکین، بسیار مورد توجه است. در این مقاله روشی جدید جهت تخصیص هزینه به مشترکین در بازار راکتیو در فضای رقابتی ارائه می‌گردد. از مهمترین مشخصات این روش، محاسبه سهم بارها در تلفات راکتیو خطوط به شیوه‌ای مبتنی بر تئوری سهم متناسب است، که در آن تلفات اکتیو و راکتیو خط ناشی از انتقال توان راکتیو به بارها منظور می‌شود. بعبارت دیگر در روش پیشنهادی آن بخش از تلفات خط که مربوط به خطوطی است که تمام توان راکتیو ورودی را جذب می‌نمایند از تلفات ناشی از انتقال توان راکتیو به بارها جدا می‌شود. همچنین در این روش سهم مشارکت

سیستم در تأمین توان راکتیو از سهم منابع جدا می‌شود. لذا تخصیص هزینه بصورت عادلانه بین مشترکین صورت می‌گیرد.

### ۱- مقدمه

سیستم انتقال در محیط رقابتی باید برای کلیه شرکت کنندگان در بازار قابل دسترس باشد. بنابراین جهت حفظ امنیت سیستم کلیه منابع راکتیو از جمله ادوات FACTS، خازن‌ها، کندانسورها و بخشی از ظرفیت ژنراتورها قادر به شرکت در بازار خدمات جانبی می‌باشند و هزینه آنها باید به صورت عادلانه بین مشترکین در بازار راکتیو تقسیم شود. لذا قیمت‌گذاری منطقی توان راکتیو که با محیط بازار سازگار باشد ضروری است [۱-۳].

در غالب روش های تخصیص هزینه از روش های مختلف ردیابی<sup>۲</sup> توان استفاده شده است [۴-۶]. در مراجع [۵ و ۴] ردیابی توان با استفاده از ماتریس توزیع<sup>۳</sup> انجام می‌شود که البته قادر به محاسبه دقیق مشارکت منابع در خطوط نمی‌باشد. در مرجع [۷] تئوری گراف برای ردیابی توان مطرح می‌

2. Tracing  
3. Distribution Matrix

1. Ancillary services

ارائه شده جهت ردیابی توان اکتیو مرجع [۷] استفاده شده است. بخش دوم، هزینه های تلفات توان راکتیو ناشی از انتقال توان راکتیو (RPTC) می باشد. در این قسمت ابتدا هزینه تلفات راکتیو هر خط از ردیابی منابع به خطوط محاسبه می گردد. سپس جهت تخصیص این هزینه به کلیه بارهایی که در تلفات مذکور مؤثر بودند با ایده گرفتن از مرجع [۹] بر مبنای قاعده سهم متناسب، روش جدیدی جهت محاسبه مشارکت بارها در تلفات خطوط ارائه شده و فرمول های لازم توسعه یافته است که در بخش های بعدی شرح داده می شود. این روش قادر است با دقت بالا هزینه تلفات را در هزینه پرداختی توسط بار لحاظ نماید.

در بخش دوم، تخصیص هزینه تولید و در بخش سوم تخصیص هزینه انتقال به بارها صورت می گیرد. در بخش چهارم، روش ارائه شده بر روی یک شبکه ۶ باسه اعمال و هزینه ای که بابت سرویس توان راکتیو بایستی توسط مشترک پرداخت شود، تعیین می گردد.

## ۲- هزینه تولید

ابتدا با استفاده از روش ردیابی توان راکتیو مبتنی بر سهم متناسب، سهم مشارکت منابع توان راکتیو در بارها به دست می آید. مزیت روش انتخابی آن است که سهم مشارکت سیستم در بارها که پولی نباید برای آن پرداخت شود از مشارکت ژنراتورها جدا می شود و به این ترتیب تخصیص هزینه به شکل عادلانه تری بین مشترکین صورت می گیرد. چنانچه قیمت پیشنهادی (BP) منبع راکتیو  $i$  در بازار راکتیو مقدار  $BP_i^r$  باشد و سهم بار  $Q_L$  از آن  $Q_{Li}$  باشد هزینه تولیدی،  $PC_L$ ، که به بار  $Q_L$  اختصاص می یابد طبق فرمول (۱) محاسبه می شود:

$$PC_{QL} = \sum_i BP_i^r \times Q_{Li} \quad (1)$$

شود و به دنبال آن در مرجع [۸] با استفاده از تئوری گراف و جریانهای حقیقی و موهومی، ردیابی توان انجام می شود. در مرجع [۹] نیز بر مبنای قاعده سهم متناسب، سهم مشارکت منابع در بارها و خطوط به دست آمده است. مرجع [۱۰] از روش ماتریس  $Y_{bus}$  اصلاح شده برای ردیابی توان استفاده می کند و بر مبنای آن روشی برای تخصیص هزینه توان راکتیو به مشترکین ارائه می دهد، بدون آنکه قادر باشد هزینه های انتقال را محاسبه نماید. در مرجع [۱۱] برای تخصیص هزینه توان راکتیو با استفاده از روش ردیابی سعی شده است که هزینه های انتقال را نیز در تخصیص هزینه لحاظ کند. لیکن روش ردیابی مطرح شده قادر به محاسبه دقیق مشارکت منابع در توان راکتیو جذب شده توسط خطوط نمی باشد.

در این مقاله روشی برای تخصیص هزینه توان راکتیو با لحاظ نمودن هزینه انتقال ارائه شده است. به عبارتی برای تخصیص عادلانه هزینه به مشترکین علاوه بر هزینه های تولید، هزینه انتقال نیز لحاظ شده است. از ویژگی های این روش، تخصیص عادلانه و دقیق هزینه تلفات به بار می باشد که این کار ابتدا با محاسبه دقیق مشارکت منابع در تلفات راکتیو خط و سپس محاسبه مشارکت بارهای مؤثر در تلفات خط انجام می شود. ضمناً در این روش سهم مشارکت سیستم در تأمین توان راکتیو که هزینه ای به آن تعلق نمی گیرد از سهم منابع جدا می شود. لذا تخصیص هزینه بین مشترکین بطور عادلانه انجام می شود. این کاری است که در تحقیقات گذشته انجام نگرفته است و می تواند تکمیل کننده کارهای قبلی بخصوص مرجع [۱۱] باشد. در نظر گرفتن هزینه های انتقال علاوه بر هزینه های تولید نیازمند استفاده از روش هزینه فراگیر<sup>۱</sup> می باشد. جهت محاسبه هزینه تولید ( $PC^r$ )، ردیابی توان راکتیو از منابع به بارها با استفاده از روش ارائه شده در مرجع [۹] انجام می شود. هزینه انتقال شامل دو قسمت است. بخش اول، هزینه های تلفات توان اکتیو ناشی از انتقال توان راکتیو ( $APTC^r$ ) می باشد که برای محاسبه آن از تئوری

1. Embedded Cost
2. Production Cost
3. Active Power Transmission Cost

4. Reactive Power Transmission Cost
5. Bid Price

### ۳- هزینه انتقال

محاسبه مشارکت منابع در بارها، جهت محاسبه مشارکت بارها در خطوط به کار می‌روند.

چنانچه بازار اکتیو در قیمت  $MCP$  بسته شود و سهم بار  $Q_L$  در تلفات اکتیو خط  $i$  مقدار  $P_i^{Loss}$  باشد هزینه تلفات اکتیو ناشی از انتقال توان راکتیو به بار  $Q_L$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

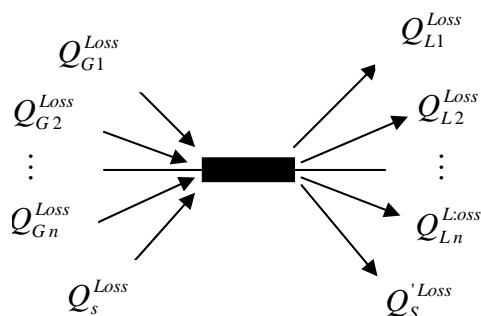
$$APTC_{QL} = MCP \times \sum_i P_i^{Loss} \times \left( \frac{Q_L}{P_i} \right)^2 \quad (7)$$

### ۳-۲- تخصیص هزینه تلفات راکتیو

جهت تخصیص هزینه تلفات راکتیو ناشی از انتقال توان راکتیو، ابتدا باید هزینه این تلفات با محاسبه مشارکت منابع راکتیو در خطوط به دست آید. آنگاه باید با توجه به مشارکت بارها در این تلفات، هزینه تخصیص یابد.

### ۳-۲-۱ محاسبه سهم مشارکت منابع در تلفات راکتیو خطوط

میزان مشارکت منابع راکتیو در تلفات راکتیو خطوط با استفاده از ایده ارائه شده در مرجع [۹] تعیین و در نتیجه هزینه آن با توجه به شکل (۳-۱) و رابطه (۸) محاسبه می‌شود.



شکل (۳-۱): مشارکت منابع و بارها در توان راکتیو جذب شده خط  $j$

$$TCQ_{Line-j} = \frac{\sum_i Q_{Gi}^{Loss} \times BP_i}{Q_s^{Loss} + \sum_i Q_{Gi}^{Loss}} \quad (8)$$

جهت محاسبه هزینه انتقال توان راکتیو به بار  $Q_L$  باید تلفات ناشی از این انتقال محاسبه شود. با در نظر گرفتن مدل  $\pi$  برای خط و توان انتقالی  $P + jQ$  بین دو خازن خط تلفات خط از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$S_{Loss} = \frac{R(P^2 + Q^2) + jX(P^2 + Q^2)}{V^2} \quad (2)$$

با توجه به این فرمول انتقال توان راکتیو باعث تلفات اکتیو ( $P_Q^{Loss}$ ) و راکتیو ( $Q_Q^{Loss}$ ) می‌شود. بنابراین با استفاده از این رابطه تعامل توان های اکتیو و راکتیو در تلفات در نظر گرفته می‌شود و محیطی مشترک برای تعامل بازارهای اکتیو و راکتیو معرفی می‌شود. حال با استفاده از روابط زیر تلفات اکتیو ( $P_Q^{Loss}$ ) و راکتیو ( $Q_Q^{Loss}$ ) ناشی از انتقال توان راکتیو در خطوط محاسبه می‌شوند.

$$\frac{P_Q^{Loss}}{P_P^{Loss}} = \left( \frac{Q}{P} \right)^2 \quad (3)$$

$$\frac{Q_Q^{Loss}}{Q_P^{Loss}} = \left( \frac{Q}{P} \right)^2 \quad (4)$$

$$P_{Loss} = P_P^{Loss} + P_Q^{Loss} \quad (5)$$

$$Q_{Loss} = Q_P^{Loss} + Q_Q^{Loss} \quad (6)$$

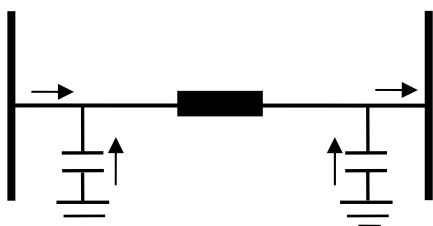
### ۳-۱- تخصیص هزینه تلفات اکتیو

جهت تخصیص هزینه تلفات اکتیو ناشی از انتقال توان راکتیو، ابتدا باید هزینه این تلفات با محاسبه مشارکت منابع اکتیو در خطوط به دست آید. با توجه به اینکه این مسئله در بازار با مناقصه یکنواخت<sup>۱</sup> مطرح می‌شود و با توجه به روش قیمت گذاری لحظه ای<sup>۲</sup>، قیمت فروش هر MWh برای کلیه تولید کنندگان برابر است و نیازی به ردیابی از منابع به بارها وجود ندارد. حال جهت تخصیص هزینه، ردیابی از بارها به خطوط با استفاده از دوگان روش مطرح شده در مرجع [۷] انجام می‌شود. روش دوگان مطرح شده در این مقاله به این گونه است که حوزه های مشترک برای کلیه بارهای اکتیو به دست می‌آیند و فرمول های بیان شده در آن مرجع به جای

1. Uniform Auction
2. Spot Pricing

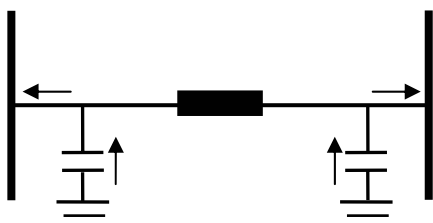
### بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

- خطوطی (نوع ۱) که توان راکتیو از یک طرف خط وارد و از طرف دیگر خارج می‌شود. شکل (۳-۲)



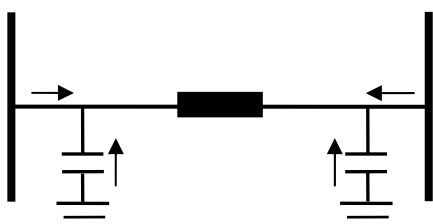
شکل (۳-۲): خط نوع ۱

- خطوطی (نوع ۲) که تنها تولیدکننده توان راکتیو هستند و تنها بخشی از آنها به حوزه بار تعلق دارد. بنابراین تلفات این خطوط تنها ناشی از سیستم است و هزینه‌ای برای بارها ندارد. شکل (۳-۳)



شکل (۳-۳): خط نوع ۲

- بعضی خطوط (نوع ۳) تنها مصرف کننده توان راکتیو هستند و در حوزه هیچ باری قرار نمی‌گیرند. بنابراین هزینه تلفات راکتیو در این خطوط باید به گونه‌ای بین مشترکین تقسیم شود. شکل (۳-۴)



شکل (۳-۴): خط نوع ۳

#### ب) سهم مشارکت بارها

در این بخش محاسبه سهم بارها در انتقال توان راکتیو و تلفات راکتیو خطوط برای خط  $ij$  نشان داده شده در شکل (۳-۵) فرمول بندی می‌شود.

به ترتیب سهم مشارکت ژنراتور  $i$  و  $Q_{Gi}^{Loss}$  و  $Q_S^{Loss}$  در تلفات راکتیو خط  $ij$  می‌باشد. سهم مشارکت خطوطی است که همه توان راکتیو ورودی آنها جذب می‌شود و در حوزه هیچ باری قرار نمی‌گیرند که در بخش بعد توضیح بیشتری در مورد آن داده خواهد شد.

#### ۲-۲-۳ محاسبه سهم مشارکت بارها در تلفات خطوط

جهت محاسبه سهم مشارکت بارها در تلفات راکتیو خطوط در این مقاله الگوریتمی مطرح و فرمول‌های لازم به دست آمده است که چگونگی پیاده سازی آن شرح داده می‌شود. این الگوریتم بر مبنای تئوری معروف سهم متناسب که با کاربردی جدید از آن، روشی جدید جهت تخصیص هزینه به مشترکین در بازار راکتیو به دست می‌آید. الگوریتم کلی برای محاسبه به صورت زیر می‌باشد:

۱. پخش توان روی شبکه اجرا می‌شود.
۲. با مشخص شدن توان راکتیو روی خطوط حوزه مربوط به هر بار به دست می‌آید.
۳. برای هر خط حوزه‌هایی که در باس خروجی آن اشتراک دارند را پیدا می‌کنیم.
۴. برای توان راکتیو انتقالی در هر خط، سهم بار محلی، حوزه‌ها و سیستم محاسبه می‌شود.
۵. با محاسبه تلفات راکتیو برای هر خط، سهم بار محلی، حوزه‌ها و سیستم محاسبه می‌شود.

#### الف) حوزه بار راکتیو

بعد از اجرای پخش توان بر روی شبکه، با مشخص شدن توان راکتیو خطوط انتقال، حوزه هر بار به دست می‌آید. تعیین حوزه برای هر بار به این گونه است که کلیه باس‌هایی که توان راکتیو از طرف آنها به بار وارد می‌شود را تا رسیدن به آخرین باس ممکن در حوزه متعلق به این بار قرار می‌دهیم.

در این مقاله خطوط به سه دسته تقسیم می‌شوند که در فرآیند جستجوی حوزه هر باس بار راکتیو باید مورد توجه قرار گیرند.

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

$Q_L$  بار محلی در باس  $i$ ،  $Q_{Di}^L$  و  $Q_{Di}^{L'}$  سهم حوزه  $i$  در توان راکتیو خروجی و ورودی خط  $ij$ ،  $Q_{Dij}^{Loss}$ ،  $Q_{sys}^{Loss}$  و  $Q_L^{Loss}$  سهم حوزه  $i$ ، سیستم و بار محلی در تلفات راکتیو خط می باشد.

$Q_{sys}$ ، توان راکتیو جذب شده توسط خطوطی (نوع ۳) است که همه توان راکتیو ورودی در آنها جذب می شود. بنابراین بخشی از تلفات در خط  $ij$  که ناشی از انتقال توان راکتیو به این نوع خطوط ویژه است از تلفات ناشی از انتقال توان راکتیو به بارها جدا می شود. به این ترتیب با طرح این روش جدید تنها تلفات انتقالی که ناشی از انتقال توان راکتیو به بارها می باشد در نظر گرفته می شود.

حال چنانچه  $Q_{Li}^{Loss}$  سهم بار  $Q_L$  در تلفات راکتیو خط  $i$  باشد، توسط رابطه (۱۰) هزینه تلفات راکتیو در اثر انتقال توان راکتیو برای بار  $Q_L$  به دست آید.

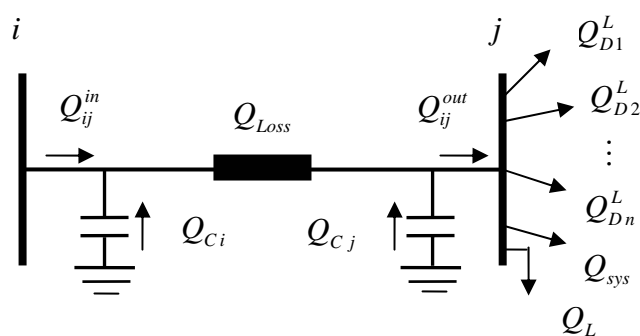
$$RPTC_{QL} = \sum_i TCQ_{Line-i} \times Q_{Li}^{Loss} \times \left(\frac{Q_i}{P_i}\right)^2 \quad (12)$$

به این ترتیب با جمع هزینه‌های بدست آمده از روابط (۱) و (۷) و (۱۰) هزینه‌ای که به بار  $Q_L$  در بازار راکتیو تعلق می گیرد، طبق رابطه زیر به دست می آید:

$$Cost_{QL} = PC_{QL} + RPTC_{QL} + APTC_{QL} \quad (13)$$

۴- نتایج شبیه سازی

جهت تخصیص هزینه توان راکتیو، روش پیشنهادی بر روی شبکه ۶ باسه نشان داده شده در شکل (۴-۱) از مرجع [۱۲] پیاده شده است. اطلاعات شبکه در جدول (۴-۱) و نتایج پخش بار در جدول (۴-۲) آمده است. جهت تخصیص هزینه تولید  $PC_{QL}$ ، سهم مشارکت منابع توان راکتیو (ژنراتورها و سیستم) در بارها (باس‌های ۴، ۵ و ۶) را بدست می آوریم. نتایج در جدول (۴-۳) آمده است. چنانچه بازار اکتیو در قیمت  $10 \text{ \$/MWh}$  بسته شود و قیمت پیشنهادی ژنراتورها در بازار راکتیو مطابق جدول (۴-۴) باشد هزینه تولید تخصیصی به هر مشترک مطابق معادله (۱) محاسبه شده و نتایج در جدول (۴-۸) در ستون هزینه تولید آمده است.



شکل (۳-۵): مشارکت حوزه های بارها در توان راکتیو خط  $ij$

$$C_{ij}^1 = \frac{Q_{ij}^{out}}{Q_{D1}^L + Q_{D2}^L + \dots + Q_{Dn}^L + Q_{sys}^L + Q_L}$$

$$Q_{ij}^{out} = Q_{D1}^L + Q_{D2}^L + \dots + Q_{Dn}^L + Q_{sys}^L + Q_L'$$

$$Q_{Dk}^L = Q_{Dk}^L \times C_{ij}^1 \quad \text{for } k=1,2,\dots,n$$

$$Q_{sys}^L = Q_{sys}^L \times C_{ij}^1$$

$$Q_L' = Q_L \times C_{ij}^1$$

$$h1 = \frac{Q_{ij}^{out} - Q_{Cj}}{Q_{ij}^{out}}$$

$$Q_{Dk}^{h1} = h1 \times Q_{Dk}^L$$

$$h2 = \frac{Q_{ij}^{in} + Q_{Ci}}{Q_{ij}^{out} - Q_{Cj}}$$

$$Q_{Dk}^{h2} = h2 \times Q_{Dk}^{h1}$$

$$h3 = \frac{(Q_{ij}^{in} + Q_{Ci}) - (Q_{ij}^{out} - Q_{Cj})}{(Q_{ij}^{in} + Q_{Ci})}$$

$$Q_{Dk}^{Loss} = h3 \times Q_{Dk}^{h2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_{Loss} = h1 \times h2 \times h3 = \frac{(Q_{ij}^{in} + Q_{Ci}) - (Q_{ij}^{out} - Q_{Cj})}{Q_{ij}^{out}}$$

$$Q_{Loss} = Q_{D1}^{Loss} + \dots + Q_{Dn}^{Loss} + Q_{sys}^{Loss} + Q_L^{Loss}$$

$$Q_{Dk}^{Loss} = Q_{Dk}^L \times C_{Loss} \quad \text{for } k=1,2,\dots,n$$

$$Q_{sys}^{Loss} = Q_{sys}^L \times C_{Loss}$$

$$Q_L^{Loss} = Q_L \times C_{Loss}$$

$$C_{ij}^2 = h1 \times h2 \times \frac{Q_{ij}^{in}}{Q_{ij}^{in} + Q_{Ci}} = \frac{Q_{ij}^{in}}{Q_{ij}^{out}}$$

$$Q_{ij}^{in} = Q_{D1}^L + Q_{D2}^L + \dots + Q_{Dn}^L + Q_{sys}^L + Q_L$$

$$Q_{Dk}^L = Q_{Dk}^L \times C_{ij}^2 \quad \text{for } k=1,2,\dots,n$$

$$Q_{sys}^L = Q_{sys}^L \times C_{ij}^2$$

$$Q_L^L = Q_L \times C_{ij}^2 \quad (9)$$

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

اکتیوی که در تلفات راکتیو ناشی از انتقال توان اکتیو سهمی بودند پرداخت شود.

جدول (۴-۱): اطلاعات شبکه

خط	$R(p.u.)$	$X(p.u.)$	$BCAP$
۱-۲	۰/۱	۰/۲	۰/۰۲
۱-۴	۰/۰۵	۰/۲	۰/۰۲
۱-۵	۰/۰۸	۰/۳	۰/۰۳
۲-۳	۰/۰۵	۰/۲۵	۰/۰۳
۲-۴	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۱
۲-۵	۰/۱	۰/۳	۰/۰۲
۲-۶	۰/۰۷	۰/۲	۰/۰۲۵
۳-۵	۰/۱۲	۰/۲۶	۰/۰۲۵
۳-۶	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۱
۴-۵	۰/۲	۰/۴	۰/۰۴
۵-۶	۰/۱	۰/۳	۰/۰۳

جهت تعیین هزینه تلفات اکتیو APTCQL، ابتدا سهم مشارکت بارها در توان اکتیو تلف شده در خطوط را بدست می‌آوریم. نتایج در جدول (۴-۵) آمده است. سپس به کمک رابطه (۷) این هزینه محاسبه شده و در جدول (۴-۸) ستون مربوطه آمده است.

جهت تعیین هزینه تلفات راکتیو RPTCQL، مطابق الگوریتم سهم مشارکت منابع در تلفات راکتیو خطوط و سهم مشارکت بارها در تلفات راکتیو خطوط محاسبه و نتایج به ترتیب در جداول (۴-۶) و (۴-۷) آمده است. با توجه به رابطه (۱۰) این هزینه محاسبه شده و در جدول (۴-۸) در ستون مربوطه درج شده است. هزینه تخصیص یافته نهایی به هر مشترک در همین جدول آمده است. ملاحظه می‌شود که بخشی از هزینه پرداختی توسط هر مشترک باید به منابع اکتیو در بازار اکتیو و بخشی به ژنراتورها در بازار راکتیو پرداخت شود. با توجه به اینکه فروش توان راکتیو ژنراتورها در بازار راکتیو \$/h ۱۳۸/۲۰ و هزینه پرداختی توسط بارهای راکتیو به آنها \$/h ۱۲۹/۱۷ می‌باشد باقیمانده هزینه باید توسط بارهای

جدول (۴-۲): نتایج پخش بار روی شبکه

باس	ولتاژ		تولید		بار	
	اندازه $V$	زاویه $Degree$	اکتیو $MW$	راکتیو $MVAR$	اکتیو $MW$	راکتیو $MVAR$
۱	۲۴۱/۵۰	۰/۰۰	۱۰۷/۸۸	۱۵/۹۶	۰/۰۰	۰/۰۰
۲	۲۴۱/۵۰	-۳/۶۷	۵۰/۰۰	۷۴/۳۶	۰/۰۰	۰/۰۰
۳	۲۴۶/۱	-۴/۲۷	۶۰/۰۰	۸۹/۶۳	۰/۰۰	۰/۰۰
۴	۲۲۷/۵۶	-۴/۲۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۷۰/۰۰	۷۰/۰۰
۵	۲۲۶/۶۴	-۵/۲۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۷۰/۰۰	۷۰/۰۰
۶	۲۳۱/۰۱	-۵/۹۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۷۰/۰۰	۷۰/۰۰

جدول (۴-۴): قیمت تولید ژنراتورها در بازار راکتیو

	قیمت (\$/MVarh)	فروش (\$/h)
ژنراتور ۱	۱	۱۵/۹۶
ژنراتور ۲	۰/۸	۵۹/۴۹
ژنراتور ۳	۰/۷	۶۲/۷۵
مجموع	-	۱۳۸/۲۰

جدول (۴-۳): سهم مشارکت منابع توان راکتیو در بارها

بار راکتیو	توان راکتیو تولید شده توسط منابع راکتیو (MVAR)			
	سیستم	ژنراتور ۳	ژنراتور ۲	ژنراتور ۱
۶	۱۶/۵۷	۳/۱۷	۴۲/۰۲	۸/۲۴
۵	۲۵/۷۳	۲۵/۰۶	۱۵/۰۶	۴/۱۵
۴	۷/۴۸	۵۳/۵۵	۸/۹۷	۰/۰۰

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول (۴-۵): سهم مشارکت بارها در توان اکتیو تلف شده در خطوط

بار اکتیو	توان اکتیو تلف شده توسط خطوط (MW)										
	۱-۲	۱-۴	۱-۵	۲-۳	۲-۴	۲-۵	۲-۶	۳-۵	۳-۶	۴-۵	۵-۶
۶	۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۴۲	۰/۰۲	۰/۴۸	۰/۱۹	۰/۵۸	۰/۴۳	۱/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۵
۵	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۶۵	۰/۰۲	۰/۳۴	۰/۳۰	۰/۰۰	۰/۶۷	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰
۴	۰/۴۲	۰/۴۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۶۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
مجموع	۰/۹۲	۱/۰۸	۱/۰۷	۰/۰۴	۱/۵۰	۰/۴۹	۰/۵۸	۱/۱۰	۱/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۵

جدول (۴-۶): سهم مشارکت منابع توان راکتیو در توان راکتیو تلف شده در خطوط

	توان راکتیو جذب شده توسط خطوط (MVAR)										
	۱-۲	۱-۴	۱-۵	۲-۳	۲-۴	۲-۵	۲-۶	۳-۵	۳-۶	۴-۵	۵-۶
ژنراتور ۱	۰/۰۰	۲/۰۰	۱/۵۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
ژنراتور ۲	۱/۳۳	۱/۲۱	۰/۹۵	۰/۰۰	۲/۵۲	۱/۱۳	۱/۱۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱
ژنراتور ۳	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۲/۱۱	۴/۹۳	۰/۰۰	۰/۰۶
سیستم	۰/۳۸	۱/۰۶	۱/۴۱	۰/۰۸	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۴۱	۰/۲۶	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۸

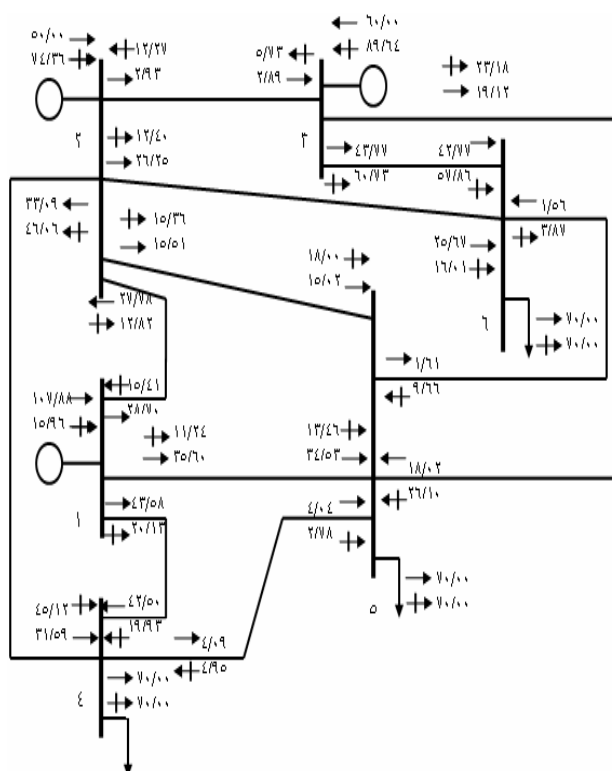
جدول (۴-۷): سهم مشارکت بارها در توان راکتیو تلف شده در خطوط

بار راکتیو	توان راکتیو جذب شده توسط خطوط (MVAR)										
	۱-۲	۱-۴	۱-۵	۲-۳	۲-۴	۲-۵	۲-۶	۳-۵	۳-۶	۴-۵	۵-۶
۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۵۸	۰/۰۰	۴/۷۶	۰/۰۰	۰/۰۰
۵	۰/۶۵	۰/۰۰	۴/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۰	۱/۵۰	۰/۰۹	۲/۳۷	۰/۲۶	۰/۰۰	۰/۱۵
۴	۱/۱۶	۴/۳۶	۰/۰۰	۰/۱۲	۳/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۰
مجموع	۱/۸۱	۴/۳۶	۴/۰۰	۰/۲۰	۳/۰۱	۱/۵۰	۱/۶۷	۲/۳۷	۵/۰۲	۰/۰۷	۰/۱۵

جدول (۴-۸): هزینه تخصیصی به مشترک در بازار اکتیو و راکتیو ناشی از مصرف توان راکتیو

	$PC_{QL} (\$/h)$	$RPTC_{QL} (\$/h)$	$APTC_{QL} (\$/h)$	هزینه تخصیصی به مشترک در بازار اکتیو	
				$(\$/h)$	$(\$/h)$
۶	۴۴/۶۶	۲/۳۹	۱۶/۳۹	۴۷/۰۵	۱۶/۳۹
۵	۳۳/۷۴	۲/۱۴	۱۰/۶۸	۳۵/۸۸	۱۰/۶۸
۴	۴۴/۰۸	۲/۱۶	۶/۱۰	۴۶/۲۴	۶/۱۰
مجموع	۱۲۲/۴۸	۶/۶۹	۳۳/۱۷	۱۲۹/۱۷	۳۳/۱۷

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل (۴-۱): شبکه ۶ باسه

۵ - نتیجه گیری

بعد از تجدید ساختار در صنعت برق، بازار خدمات جانبی حفظ امنیت سیستم قدرت را بر عهده گرفت و به این ترتیب تخصیص عادلانه هزینه به مشترکین در بازار راکتیو به عنوان یک مسئله مهم مطرح شد. در این مقاله الگوریتمی جهت تخصیص هزینه به مشترکین در بازار برق در محیط رقابتی ارائه می شود به گونه ای که علاوه بر هزینه تولید، هزینه انتقال توان راکتیو را در نظر می گیرد. در محاسبه هزینه تلفات ناشی از انتقال توان راکتیو، روشی کارا برای در نظر گرفتن سهم مشارکت بارها در خطوط ارائه می شود. با توجه به رابطه تلفات و تعامل توان های اکتیو و راکتیو در تلفات خطوط، تعاملی بین دو بازار اکتیو و راکتیو برقرار می شود تا کلیه عوامل، برای تخصیص هزینه در هر دو بازار در نظر گرفته شوند و به این ترتیب تخصیص هزینه به شکلی عادلانه صورت گیرد. در قسمت پایانی الگوریتم با ارائه روشی جهت تخصیص هزینه تلفات در خطوطی که صرفاً مصرف کننده توان راکتیو هستند هزینه تولید توان راکتیو منابع به طور کامل توسط مشترکین پرداخت می شود.

۶ - مراجع

- [1] T. Nikanaw et al, "Reactive power pricing in deregulated environments using novel search methods", IEEE Proc. Of 3<sup>rd</sup> international Conf. on , 2004, pp. 4234-4239.
- [2] Y. Zhao, et al, "A cost allocation and pricing method for reactive power services in the new deregulated electricity market environment", IEEE Trans. and Distr. Conf., pp. 1-6, Aug. 2005.
- [3] X. J. Lin et al, "Pricing of reactive support ancillary services", IEEE Proc. Gen. Trans. and Dist., pp. 616-622, May 2005.
- [4] J. Bialek, "Tracing the flow of electricity", Proc. Inst. Elect. Eng. Gen. Transm. Dist., vol. 143, no. 4, pp. 313-320, July 1996.
- [5] J. Janusz Bialek, "Topological generation and load distribution factors for supplement charge allocation in transmission open access", IEEE Trans. Power syst., vol. 12, pp. 1185-1193, Aug. 1997.
- [6] J. Bialek and P. A. Kattuman, "Proportional sharing assumption in tracing methodology", IEEE Proc. Gen. Trans. Dist., pp. 526-532, July 2004.
- [7] D. Daniel Kirstchen, R. Ron Allan, and G. Goran Strbac, "Contributions of individual generators to loads and flows", IEEE Trans. Power syst., vol. 12, pp. 52-60, Feb. 1997.
- [8] D. Daniel Kirstchen and G. Goran Strbac, "Tracing active and reactive power between generators and loads using real and imaginary currents", IEEE



**بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق**

- Trans. Power syst. ,vol. 14, pp. 1312-1318,Nov. 1999.
- [9] R.Laguna Vlasco, C.R Fuerte Esquivel, E.Acha and H.Ambriz Perez,"A generalised methodology to trace reactive power flow in electric power systems," IEEE Porto Power Tech. Conference ,Sep. 2001.
- [10] Wen-Chen Chu, Bin-Kwie Chen and Chung-Hsien Liao,"Allocating the costs of reactive power purchased in an ancillary service market by modified Y-Bus matrix method," IEEE Trans. Power syst. ,vol. 19, pp. 174-179,Feb. 2004.
- [11] Y. Dai, X.D. Ni, F. S. Wen, Z. X. Han, C.M. Shen and Felix F. Wu, "A cost allocation method for reactive power service based on power flow tracing ", Electric Power Systems Research, pp. 59-65,200
- [12] Allen J. Wood and Bruce f. Wollenberg, "Power generation operation & control", John wiley & sons,1996.