

## تخصیص اتلاف بر پایه روش هسته ای جدید در دادوستد الکتریکی دو طرفه

### چکیده:

جایگاه تحقیقات اخیر در تخصیص اتلاف توان در داد و ستد الکتریکی دو طرفه ارائه شده است. بر اساس تئوری بازی تعاونی (cooperative game)، روش هسته ای جدید برای تخصیص اتلاف توان در مدل داد و ستد های دو طرفه مطرح شده و با روش تخصیص مقدار ترکیب مناسب مقایسه شده است. تاثیر market players مختلف بر اتلاف توان شبکه قابل توجه می باشد. با روش های جدید اتلاف توان شبکه در هر انتقال به صورت معقول اختصاص داده می شود. نتایج تخصیص به ترتیب شکل گیری و اجرای انتقال بستگی ندارد. این روش پاسخ مناسبی برای اصول برابر و مساوی مارکت های الکتریکی ارائه می دهد که قابل فهم بوده و توسط market players پذیرفته می شود. آزمایشهای عددی صحت و درستی تساوی این اصول و این روش را نشان می دهد.

### کلمات کلیدی:

مدل انتقال دوطرفه، تئوری گیم تعاونی، فروشگاه الکتریکی، تخصیص اتلاف، تئوری هسته ای، مقدار ترکیب مناسب

### A Novel Nucleolus-Based Loss Allocation Method in Bilateral Electricity Markets

Author: Du Songhuai Zhou Xinghua Mo Lu Xue Hui

This paper appears in: [Power Systems, IEEE Transactions on](#)

Issue Date : Feb. 2006

Volume : 21 , [Issue:1](#)

On page(s): 28

ISSN : 0885-8950

INSPEC Accession Number: 8757134

Digital Object Identifier : [10.1109/TPWRS.2005.860932](#)

Date of Current Version : 30 January 2006

Sponsored by : [IEEE Power & Energy Society](#)

### Abstract

The situation of current research on power losses allocation in bilateral electricity markets is presented. Based on cooperative game theory, a novel nucleolus theory-based method for power losses allocation under the bilateral-transactions model is put forward and compared in detail with the Shapley-value-based allocation method. The impacts of different market players on network power losses are taken into account. With the new method, network power losses can be allocated to each transaction reasonably. The allocation results would not be affected by the sequence that each transaction is formed and be active. The method answers for the open, equal, and impartial principles of electricity market and can be easily understood and accepted by market players. Numerical tests validated the equity and validity of the method.

## I. مقدمه:

هدف از تخصیص اتلاف توان در مارکت الکتریکی دو طرفه، تقسیم اتلاف انتقال شبکه می باشد و شارژ نسبی برای هر انتقال می باشد. به طور کلی اتلاف انتقال از گره مبدل تا گره بار ایجاد می شود که مشخصه انتقال در انتقال دو طرفه را شامل نمی شود. به هر جهت بخشی که اتلاف توان را تامین می کند برای سرویس آنها باید پرداخت شود. پروسه تخصیص اتلاف بسیار مهم می باشد. که شارژ اضافی به صورت مساوی برای هر انتقال دو طرفه را مشخص می کند.

به طور کلی اتلاف انتقال که توسط تمامی انتقال ها در سیستم بوجود می آید برابر ۵ الی ۱۰٪ از تولید کلی می باشد.

[1] روش های تخصیص متفاوت منجر به نسبت مختلف متمایزی از تخصیص اتلاف در میان کاربرهای الکتریکی می شود. تجربه کاربردی در فروشگاه توان انگلیس بیان می کند که روشهای تخصیص متفاوت هزینه معامله را تا ۱۰٪ افزایش می دهد [2]. بنابراین مسئله اصلی برای عمل کننده های سیستم مستقل (ISOs) یا سازمان انتقال منطقه ای (RTOs) برای تخصیص اتلاف توان به صورت علمی، منصفانه و معقول می باشد.

معمولاً سه نوع روش در فروشگاه الکتریکی برای داد و ستد دوطرفه برای تخصیص اتلاف توان بکار می رود که آنها به ترتیب عبارتند از: روش ارسال داد ستد افزایشی بی نهایت کوچک، روش تخصیص بر اساس جریان فیزیکی dc، روش افزایشی اتلاف.

در روش ارسال داد ستد افزایشی بی نهایت کوچک، نتایج تخصیص اتلاف نهائی توسط مجتمع سازی مولفه های اتلاف مستقل بدست می آید که با داد و ستد افزایشی بینهایت کوچک در منحنی مشخص داد و ستد ارتباط دارد. یگانگی و درستی تخصیص اتلاف در منحنی داد و ستد داده شده، مشخص میشود.

به هر جهت تخصیص اتلاف، تخصیص بعدی می باشد که وقتی داد و ستد انجام شد و منحنی تغییرات داد و ستد حقیقی باشد و نمی توان بطور ساختگی فرض کرد. بنابراین مفهوم عملی برای مشخص کردن تخصیص اتلاف داد و ستد توسط انتگرالگیری از منحنی تغییرات داد و ستد صورت می گیرد.

روش تخصیص بر اساس جریان فیزیکی [4] برای تخصیص اتلاف انتقال در سیستم های داد و ستد متعدد صورت می گیرد. تحت شرایط منبع جریان دو نوع تخصیص بر اساس جریان فیزیکی برای داد و ستد منفرد سیستم کلی بدون تعداد داد و ستد ها صوت می گیرد. در این روش جهت منبع جریان بررسی نمی شود تا وقتی که شمارنده جریان منجر به کاهش تخصیص اتلاف توان برای داد و ستد شود. علاوه بر این بسیاری از فرضهای اصلی در این روش مانند نبودن انشعابی در زمین وجود دارد. فرضها منجر به تفاوت میان میزان جبران و نتایج تخصیص می شود و عدم توازن بین در آمد و مخارج برای موجودیت اقتصادی آن می باشد.

روش افزایشی اتلاف یک روش بر اساس منبع جریان می باشد که تعیین دقیق اثر داد و ستد بر روی سطح یا سود می باشد. دو شیوه مشخص در این روش وجود دارد. یکی روش تعیین داد و ستد می باشد و دیگری روش تخصیص بهم پیوسته می باشد. وقتی روش تعیین داد و ستد بکار می رود تنها یک داد و ستد در یک زمان بررسی شده تا تخمین مناسبی از تاثیر هر داد و ستد در سیستم بیان کند. در همان زمان، جبران واقعی کلی برای تمامی داد و ستد ها توسط سیستم به آسانی از طریق محاسبه تغییر در اتلاف سیستم که شامل تمامی داد و ستد ها می باشد حاصل می شود. روش تخصیص بهم پیوسته افزایش اتلاف تحت بررسی قرار گرفته که در هنگام اجرا یک داد و ستد، هم داد و ستد اولس و هم داد و ستد آخری در سیستم صورت می گیرد. این روش برای پروسه محاسبه مشخص و واضح می باشد و به آسانی توسط market players پذیرفته می شود.

نقص این روش به تفاوت میان تخصیص اتلاف کلی و تخصیص اتلاف توان واقعی مربوط می شود و بنابراین پروسه تقسیم تفاوت ها مورد نیاز می باشد. بطور مقایسه روش تخصیص بهم پیوسته مناسبتر برای تخصیص اتلاف برای توان سیستم می باشد. بر اساس تئوری گیم شرکت تعاونی و مدل های داد و ستد دو طرفه، تخصیص اتلاف توان بر اساس تئوری هسته ای مطرح می شود و در جزئیات باروش تخصیص بر اساس ترکیب مناسب مقایسه می شود. [6], [7]

اثر market players مختلف در اتلاف توان شبکه مورد بررسی قرار گرفته است. با روشهای جدید اتلاف توان شبکه، به صورت معقول به هر داد و ستد اختصاص داده می شود و نتایج تخصیص بر اساس شکل گیری و فعال بودن هر داد و ستد تحت تاثیر قرار نمی گیرد.

## II. روش تکنیکی شرکت تعاونی گیم

تئوری گیم که این هم درستی مدل ریاضی برای حل تضاد منافع در اجتماع حقیق بکار می رود، به صورت تئوری گیم تعاونی و غیر تعاونی هم میتواند تقسیم شود و قبلی برای آنالیز اثر متقابل عائل میان گروه و یا منفرد در محیط رقابتی بکار می رود و سپس برای آنالیز اثر متقابل در محیط تعاون بکار می رود.

تئوری گیم به صورت وسیع در فروشگاه الکتریکی بکار می رود مانند تخصیص اتلاف انتقال، [10], [7]، هزینه داد و ستد [8]، شارژ چرخ [9] آنالیز تاثیر اقتصادی سیستم توان بهم متصل [11]، توان فروشگاه [12]، مشخص کردن موقعیت های غیر رقابتی در بازار انرژی، تامین حمایت برای کمتر کردن ریسک که شامل تصمیم قیمت در بازار انرژی می باشد [12]، استفاده از استراتژی مناقصه برای شرکت های تولیدی، برآورد هزینه انتقال در فروشگاه های توان [14] و...

مدل گیم تعاونی یک مدل ریاضی دقیق برای حل مساله نتایج تخصیص منافع از فعالیت های هماهنگ پر منفعت می باشد. زمانیکه مسئله توسط موجودیت پر منفعت برقرار گردید و رفتار های هماهنگ و متناسب باعث بدست آمدن منفعت های زیادی می شود که رفتار هماهنگ همان همکاری میباشد.

مدل گیم تعاونی دارای دو المان اصلی می باشد: مجموعه بازیکنان و تابع ویژه (تابع مشخصه). مجموعه بازیکنان شامل تمامی هویت های منفعت مستقل می باشد که این مسئله تاثیر می گذارد. اگر مسئله دارای تعداد  $n > 1$  باشد مجموعه بازیکنان به صورت زیر ی باشد.

$$N = \{1, 2, \dots, n\}, \forall S \subset N$$

مفهوم تابع مشخصه  $v(S)$  یک تابع حقیقی از مجموعه  $N$  می باشد. مجموعه ممکن از بازیکنان (یک ائتلاف) دارای منافع زیادی می باشد. ظاهرا تابع مشخصه باید دارای ویژگی های زیر باشد.

اگر ائتلاف مستقل باشند آنگاه

$$S \cap T = \phi$$

$$v(S \cup T) \geq v(S) + v(T)$$

در حقیقت آن پیش نیز برای درک ائتلاف های بزرگتر می باشد. در محیط رقابتی فروشگاه توان، تمامی داد و ستد ها حتما از طریق فرم شبکه که نوعی از ارتباط تعاونی واقعی می باشد صورت می گیرد. زیرا ائتلاف انتقال که توسط توان حقیقی صورت می گیرد شامل مشخصه داد و ستد نمی باشد، ائتلاف انتقال کلی سیستم به تمامی داد و ستد ها اختصاص داده می شود. بعلاوه اثر متقابل بین عوامل مختلف در ائتلاف، مجموع ائتلاف انتقال که توسط داد و ستد مجزا صورت می گیرد برابر با ائتلاف انتقال کلی که توسط تمامی داد و ستد ها به صورت همزمان صورت می گیرد، نمی باشد. ائتلاف انتقال کلی سیستم بسیار بزرگتر از مجموع ائتلاف در داد و ستد های مجزا می باشد

با فرض  $m$  داد و ستد (معامله) در فروشگاه، تنها یک داد و ستد  $T_i$  و ائتلاف انتقال برابر  $P_{loss}(T_i), i=1, 2, \dots, m$ . زمانیکه داد و ستد در همان زمان صورت می گیرد ائتلاف انتقال کلی سیستم برابر  $P_{loss}$  می باشد که باید

$$P_{loss} \geq \sum_{i=1}^m P_{loss}(T_i)$$

اگر ما به بررسی هر داد و ستد را به عنوان یک بازیکن در تئوری گیم در نظر بگیریم و تمامی داد و ستد ها را به صورت همزمان به عنوان یک ائتلاف در نظر بگیریم. ارتباط مقابل صورت می گیرد. مجموعه بازیکنان که با مجموعه داد و ستد ها

ارتباط دارد، تابع مشخصه ائتلاف انتقال را نشان می دهد. تخصیص ائتلاف انتقال میان داد و ستدها برابر تخصیص بازده میان بازیکنان در یک ائتلاف می باشد. مسئله تخصیص ائتلاف انتقال تبدیل به نقطه تعادل در تئوری گیم تعاونی می شود.

هنگامی که منبع مشخص توسط بازیکنان زیادی مورد استفاده قرار می گیرد، تخصیص هزینه ها و منافع نسبی بین آنها ضروری می باشد. در مدل گیم تعاونی، بعضی روشها برای آنالیز و حل مشکل گیم بکار می روند. روش معمول بکار رفته شامل مجموعه انتقال (معاوضه)، هسته مرکزی، هسته، هستک گرد میان هسته سلول، مقدار ترکیب مناسب می باشد. در این مقاله روش مقدار هسته ای و ترکیب مناسب برای حل مسئله تخصیص ائتلاف بکار می رود که راهکار آنها ثابت، بی همتا و عملی می باشد.

مفهوم راه حل هسته ای (هستک گرد میان هسته سلول)

هسته میان سلول مفهوم راه حلی می باشد که توسط Schmeidler در سال ۱۹۶۹ مطرح شد. دو ویژگی مهم هسته میان سلول عبارت است از:

هر گیم تنها دارای یک و تنها یک هستک گرد میان هسته سلول می باشد

۲- تا زمانی که هسته خالی می باشد هستک گرد میان هسته سلول داخل هسته قرار می گیرد.

هدف استفاده از مفهوم هسته ای یافتن روش مناسبی برای تخصیص ائتلاف توان می باشد که مشترکا توسط تمامی داد و ستد ها ایجاد می شود. با فرض  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  مجموعه تخصیص ائتلاف و  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$  مجموعه ائتلاف داد و ستد می باشد.

هستک گرد میان هسته سلول بر اساس مینیمم سایز هسته می باشد و به صورت زیر بیان می شود.

$$\begin{cases} C^+(\varepsilon) = \{y \in Y / \varphi(y) \leq \varepsilon\} \\ \varphi(y) = \max_{S \in N} e(S, y) \end{cases}$$

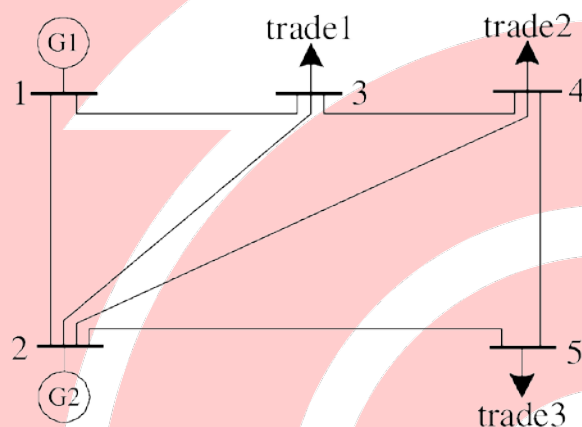
$\varepsilon$  برابر مقدار حقیقی کوچک می باشد  $e(S, y) = V(S) - \sum_{i \in S} y_i \varphi(y)$  عبارت بالایی ماکزیمم مقدار اضافه شده می باشد و  $v(S)$  ائتلافی می باشد که توسط تعویض اعضای داد و ستد ائتلاف حاصل می شود

$$V(S) = v(S) - \sum_{i \in S} v(i).$$

از برنامه نویسی خطی (LP) برای حل مسئله ۱ استفاده می شود

$$\begin{aligned} \min \quad & \varepsilon \\ \text{s.t.} \quad & V(S) = \sum_{i \in S_1} y_i \\ & V(S) - \sum_{i \in S_1} y_i \leq \varepsilon \end{aligned}$$

زیر مجموعه غیر خالی از داد و ستد ها می باشد.  $S_2$  ائتلاف داد و ستد می باشد و  $S_1$  که



شکل ۱- نمودار سیستم ۵ باس

تخصیص ائتلاف کلی برای هر داد و ستد برابر با مجموع ائتلاف هایی می باشد که توسط تمامی داد و ستد ها و تمامی داد و ستد های منفرد بوجود می آید.

$$x_i = v(i) + y_i, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

مفهوم راه حل ترکیب مناسب

مقدار ترکیب مناسب روش دیگری برای حل مسئله گیم تعاونی و همکاری می باشد. تخصیص ائتلاف بر اساس مقدار ترکیب مناسب توسط زیر محاسبه می شود.

$$\phi_i(v) = \sum_{i \in S} \frac{(n - |S|)! (|S| - 1)!}{n!} \times [v(S) - v(S - \{i\})]$$

که  $i$  بیانگر داد و ستد در تخصیص ائتلاف می باشد.  $\phi(v)$  ائتلاف تخصیص در هر داد و ستد بیا نگر ائتلاف  $i$  می باشد.

## III. مثال های عددی

A. حالت مطالعه اول: سیستم توانی ۵باس

نمودار سیستم توان ۵ باس در شکل ۱ نشان داده می شود. دو مبدل و سه بار در سیستم وجود دارد. پارامترهای شاخه ای سیستم در جدول I نشان داده شده است.

اطلاعات داد و ستد در جدول II نشان داده شده است. سه نوع داد و ستد در فروشگاه موجود می باشد. و این داد و ستد ها به صورت همزمان صورت می گیرد. در تئوری گیم این داد و ستد ها به صورت سه بازیکن مطرح می شود. مسئله تخصیص ائتلاف زمانی که فروشگاه کار می کند مسئله گیم تعاونی مطرح می شود. روش هسته ای و مقدار خوش ترکیب برای تخصیص ائتلاف بکار می رود. مجموعه تمام بازیکنان در گیم به صورت مقابل می باشد.  $N=\{1,2,3\}$  که دارای ۶ زیر مجموعه غیر تهی می باشد.

$$\{1\}\{2\}\{3\}\{1,2\}\{1,3\}\{2,3\}$$

مجموعه تمام بازیکنان و هر زیر مجموعه غیر تهی ترکیب می باشد. هر ترکیب یک ائتلاف می باشد بنابراین ۷ ائتلاف یا مدل داد و ستد وجود دارد.

Start Node	End Node	R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)	Rated Value (MVA)
1	2	0.02	0.06	0.0	200
1	3	0.08	0.24	0.0	200
2	3	0.06	0.18	0.0	80
2	4	0.02	0.18	0.0	200
2	5	0.08	0.12	0.0	200
3	4	0.01	0.03	0.0	200
4	5	0.03	0.24	0.0	200

جدول I. پارامترهای شاخه ای سیستم ۵ باس

Trans. No.	User	Supplier	Transaction Quantity	
			P (MW)	Q (Mvar)
1	3	1	67.5	41.83
2	4	2	60.0	37.18
3	5	2	90.0	55.77

جدول II. اطلاعات داد و ستد سیستم ۵ باس



Transaction Combination	Active Power Losses(MW)	Reactive Power Losses (Mvar)
1	1.757	5.724
2	1.793	6.353
3	5.946	12.472
1&2	3.532	13.653
1&3	8.830	19.325
2&3	8.827	19.118
1,2&3	13.735	33.532

جدول III. اتلاف داد و ستد سیستم ۵ باس

رویه منبع جریان مطلوب (OPF) برای محاسبه اتلاف توان برای هر مدل داد و ستدی بکار می رود. نتایج در جدول III نشان داده شده است. نتایج تخصیص اتلاف دارای ۲ ویژگی زیر می باشد:

اتلاف داد و ستد که از دو داد و ستد تشکیل شده است از مجموع اتلاف دوداد و ستد مستقل بیشتر است.

اتلاف سه داد و ستد که در یک زمان صورت می گیرد بزرگتر از مجموع اتلاف داد و ستد که توسط دو داد و ستد اختیاری و اتلاف داد و ستد های مختلف مستقل ناشی می شود.

دلیل اینکه ویژگیهای بالایی تشکیل شده اند توسط اثر متقابل داد و ستد ها می باشد. اتلاف کلی سیستم بزرگتر از مجموع هر تخصیص اتلاف مستقل برای داد و ستد های مجزا می باشد.

بنابراین ترتیب داد و ستد ها در ائتلاف تاثیر زیادی بر اتلاف افزایشی در مجموعه دارد. در حقیقت اتلاف بوسیله داد و ستد هایی که منجر به تشکیل مجموعه می شود بزرگتر از اتلافی می باشد که توسط داد و ستد های یکسان برای رسیدن به ائتلاف اولیه بوجود آمده است. روش تئوری هسته ای، تخصیص اتلاف توان برای تمامی حالت های ممکن دسته را بطور برابر انجام می دهد و مقدار درست قبلی را به هر دسته اختصاص می دهد. تحت این شرایط نتایج تخصیص برای هر داد و ستد بطور برابر بوده و به آسانی قابل فهم می باشد. که مشابه با روش Shapley-value-based برای تخصیص اتلاف توان می باشد.

در این حالت برای انجام محاسبات با روش هسته ای ۱۱۰ میلی ثانیه طول می کشد

(۱) تخصیص اتلاف توان برای راه حل هسته ای:

ابتدا تخصیص اتلاف توان را انجام می دهیم. عبارت ۲ برای محاسبه اثر اتلاف  $v(s)$  بکار می رود.



$$\begin{aligned}
 V(\{1\}) &= v(\{1\}) - v(\{1\}) = 0 \\
 V(\{2\}) &= 0 \\
 V(\{3\}) &= 0 \\
 V(\{12\}) &= v(\{12\}) - v(\{1\}) - v(\{2\}) = -0.315 \\
 V(\{13\}) &= v(\{13\}) - v(\{1\}) - v(\{3\}) = 0.830 \\
 V(\{23\}) &= v(\{23\}) - v(\{2\}) - v(\{3\}) = 1.088 \\
 V(\{123\}) &= v(\{123\}) - v(\{1\}) \\
 &\quad - v(\{2\}) - v(\{3\}) = 3.942.
 \end{aligned}$$

با جایگذاری ۱۲-۶ در عبارت ۳

$$\left\{ \begin{array}{ll} \min_{y_1, y_2, y_3} & \varepsilon \\ \text{s.t.} & y_1 + y_2 + y_3 = 3.942 \\ & \varepsilon \geq -y_1 \\ & \varepsilon \geq -y_2 \\ & \varepsilon \geq -y_3 \\ & \varepsilon \geq -0.315 - y_1 - y_2 \\ & \varepsilon \geq 0.830 - y_1 - y_3 \\ & \varepsilon \geq 1.088 - y_2 - y_3. \end{array} \right.$$

راه حل ۱۳ به صورت زیر می باشد.

$$y_1 = 1.314 \quad y_2 = 1.314 \quad y_3 = 1.314.$$

از عبارت ۴ تخصیص اتلاف توان هر داد وستد به صورت زیر می باشد:

$$x_1 = 3.368 \quad x_2 = 3.107 \quad x_3 = 7.260.$$

نتایج در جدول IV نشان داده شده است.

(۲) روش ترکیب مناسب برای تخصیص اتلاف توان

ابتدا تخصیص اتلاف توان را انجام می دهیم تخصیص اتلاف داد و ستد ۱ توسط رابطه ۵ محاسبه می شود.

$$\begin{aligned}\phi_1 &= \frac{0! * 2!}{3!} [v(\{1\}) - v(\{1\} - \{1\})] \\ &+ \frac{1! * 1!}{3!} [v(\{12\}) - v(\{2\})] \\ &+ \frac{1! * 1!}{3!} [v(\{13\}) - v(\{3\})] \\ &+ \frac{2! * 0!}{3!} [v(\{123\}) - v(\{23\})] \\ &= 3.091.\end{aligned}$$

تخصیص اتلاف داد و ستد ۲ و ۳ توسط رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\phi_2 = 2.959, \phi_3 = 7.685$$

Trans No.	Nucleolus Value		Shapley Value	
	Active Loss (MW)	Reactive Loss (Mvar)	Active Loss (MW)	Reactive Loss (Mvar)
1	3.170	9.409	3.091	9.417
2	3.107	9.002	2.959	9.110
3	7.260	15.121	7.685	15.005
Sum	13.735	33.532	13.735	33.532

#### جدول IV نتایج تخصیص دو روش در سیستم ۵ باس

بصورت مشابه، تخصیص اتلاف توان راکتیو در هر داد و ستد می تواند محاسبه شود. نتایج در جدول IV نشان داده شده است. مکانیزم تخصیص اتلاف توان راکتیو نیازمند تحقیقات بیشتری می باشد.

۳) آنالیز نتایج تخصیص. جدول نشان می دهد که داد و ستد مجزا یا اتلاف داد و ستد مانند تمامی تخصیص ها، نتایج این دو روش تخصیص مستدل و معقول می باشد. استفاده از روش هسته ای مانند مثال زیر، نتایج به صورت زیر می باشد.

مستدل بودن منحصر بفرد (a)

تخصیص اتلاف در هر داد و ستد بزرگتر از اتلاف ایجاد شده داد و ستد های منفرد می باشد که به صورت زیر نشان داده شده است

$$\begin{aligned}x_1 &= 3.368 + j9.409 > v\{1\} = 2.054 + j6.760 \\x_2 &= 3.107 + j9.002 > v\{2\} = 1.793 + j6.353 \\x_3 &= 7.260 + j15.121 > v\{3\} = 5.946 + j12.472.\end{aligned}$$

(b) مستدل بودن ائتلاف

مجموع ائتلاف هر داد و ستد در ائتلاف داد و ستدی بزرگتر از ائتلاف داد و ستدی موجود در سیستم می باشد

$$\begin{aligned}x_1 + x_2 &= 6.475 + j18.051 > v\{1, 2\} \\&= 3.532 + j13.653 \\x_1 + x_3 &= 10.628 + j24.530 > v\{1, 3\} \\&= 8.830 + j19.325 \\x_2 + x_3 &= 10.367 + j24.123 > v\{2, 3\} \\&= 8.827 + j19.118.\end{aligned}$$

(c) مستدل بودن کلی (جهانی): تخصیص کلی باعث به هم رسیدن دو انتها می شود برای مثال،

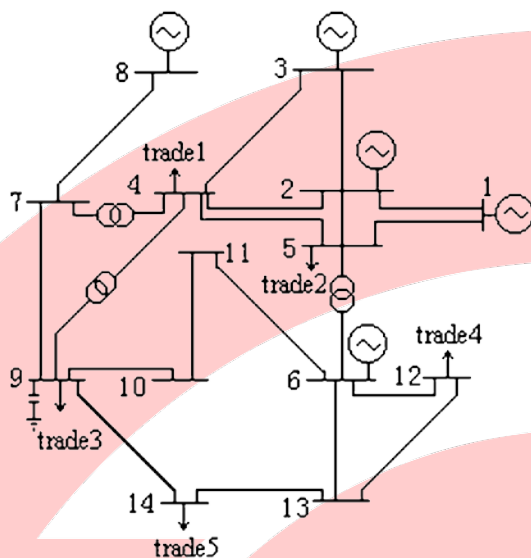
$$x_1 + x_2 + x_3 = 13.735 + j33.532 = v\{1, 2, 3\}.$$

روش تخصیص بر اساس ترکیب مناسب باعث بوجود آمدن نتایج بالا می شود.

حالت مطالعه دوم: سیستم توانی ۱۴ باس (B)

سیستم توانی ۱۴ باس در شکل ۲ نشان داده شده است ۵ مبدل و ۵ بار در سیستم موجود می باشد. پارامترهای شاخه ای برای سیستم در جدول VI داده شده است. اطلاعات داد و ستد در جدول VII داده شده است

. The transaction data are given in Table VII.



شکل ۲: نمودار سیستم توانی ۱۴ باس

Start Node	End Node	R (p.u.)	X (p.u.)	B/2 (p.u.)	Rated MVA
1	2	0.01938	0.05917	0.0264	7.13
2	3	0.04699	0.19797	0.0219	300
2	4	0.05811	0.17632	0.0187	300
1	5	0.05403	0.22304	0.0246	300
2	5	0.05695	0.17388	0.0170	300
3	4	0.06701	0.17103	0.0173	300
4	5	0.01335	0.04211	0.0064	300
7	8	0.0	0.17615	0.0	300
7	9	0.0	0.11001	0.0	300
9	10	0.03181	0.08450	0.0	100
6	11	0.09498	0.19890	0.0	100
6	12	0.12291	0.15581	0.0	100
6	13	0.06615	0.13027	0.0	100
9	14	0.12711	0.27038	0.0	100
10	11	0.08205	0.19207	0.0	100
12	13	0.22092	0.19988	0.0	100
13	14	0.17093	0.34802	0.0	100

جدول V. پارامترهای شاخه ای برای سیستم ۱۴ باس

Start Node	End Node	R (p.u.)	X (p.u.)	Transf. Ratio	Up-Limit	Down-Limit	Rated Current (p.u.)
4	7	0.0	0.20912	0.978	1.10	0.90	0.65
4	9	0.0	0.55618	0.969	1.10	0.90	0.40
5	6	0.0	0.25202	0.932	1.10	0.90	0.65

جدول VI. پارامترهای شاخه ای مبدل برای سیستم ۱۴ باس

Trans. No.	User	Supplier	Transaction Quantity	
			P(p.u.)	Q(p.u.)
1	4	8	0.478	-0.039
2	5	1	0.942	0.19
3	9	3	0.295	0.166
4	12	6	0.135	0.058
5	14	2	0.149	0.05
Sum			1.999	0.503

جدول VII. اطلاعات داد و ستد برای سیستم ۱۴ باس

Trans. No.	Nucleolus Value		Shapley Value	
	Active Loss (MW)	Reactive Loss (Mvar)	Active Loss (MW)	Reactive Loss (Mvar)
1	0.212	-2.931	0.230	-3.497
2	1.577	-0.205	1.613	0.663
3	1.359	1.781	1.384	0.312
4	-0.001	-3.696	0.060	-3.286
5	1.748	-0.119	1.608	0.637
Sum	4.895	-5.170	4.895	-5.171

جدول VIII. نتایج تخصیص دو روش برای سیستم ۱۴ باس

۵ داد و ستد در این فروشگاه وجود دارد و این داد و ستد ها بصورت همزمان صورت می گیرد. بر اساس نظریه گیم، این ۵ داد و ستد به عنوان ۵ بازیکن مطرح می شود. مسئله تخصیص اتلاف به عنوان مسئله گیم تعاونی مطرح می شود. روشهای ترکیب مناسب و هسته ای برای تخصیص اتلاف بکار می رود. مجموعه تمام بازیکنان در گیم به صورت زیر ارائه می شود

$N = \{1, 2, 3, 4, 5\}$  که دارای ۲-۲۵ زیر مجموعه غیر تهی می باشد. یعنی ۳۰ مجموعه غیر تهی. هر ترکیب به صورت یک ائتلاف S می باشد. رویه OPF برای محاسبه اتلاف در هر مدل داد و ستد بکار می رود. نتایج محاسبات در جدول VIII نشان داده شده است. در این حالت برای انجام تمامی محاسبات با روش هسته نیاز به 260 ms زمان می باشد.

#### IV. نتیجه گیری:

کسب (بازرگانی) نوعی از رفتار اقتصادی در فروشگاه توان می باشد تصمیمات هر شریک باید قوانین اقتصادی را رعایت کند.

بر اساس تئوری گیم تعاونی، روش تئوری هسته ای جدید برای تخصیص توان در داد و ستد دو طرفه معرفی شد. که دارای زمینه تئوریک می باشد. با این روش مسیر فیزیکی داد و ستد قابل درک می باشد و ترتیب داد و ستد برای تشکیل ائتلاف قابل بررسی می باشد. بعلاوه تاثیر market players مختلف در اتلاف توان شبکه بررسی می شود.

با توجه به مارکت الکتریکی دو طرفه روشهای ارائه شده در این مقاله در بسیاری از سیستمهای IEEE-تست شده است. نتایج تست بیانگر این می باشد که روش تخصیص اتلاف توان براساس روش هسته ای اصول های مارکت را به صورت معقول، مساوی و بیطرف بر آورده می کند. راه حل تخصیص تحت تاثیر ترتیب شکل گیری و فعالیت داد و ستد قرار نمی گیرد.

در سیستم مقیاس بزرگ تمامی پروسه محاسبات زمان بسیاری نیاز خواهد داشت و این مشکل با استفاده از محاسبه کننده های موازی یا تکنولوژی های جدید دیگر برطرف می شود که آن فعالیت بعدی می باشد.

#### منابع :

- [1] D. Zhengchun and X. Daozhi, "A novel method for allocation of transmission losses," *Autom. Elect. Power Syst.*, vol. 26, no. 4, pp. 18–22, Feb. 2002. In Chinese.
- [2] L. Zihong *et al.*, "Review of overseas typical loss allocation methods," *Autom. Elect. Power Syst.*, vol. 27, no. 4, pp. 29–32, Feb. 2003. In Chinese.
- [3] F. D. Galiana and M. Phelan, "Allocation of transmission losses to bilateral contracts in a competitive environment," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 15, no. 1, pp. 143–150, Feb. 2000.
- [4] G. Gross and S. Tao, "A physical-flow-based approach to allocating transmission losses in a transaction framework," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 15, no. 2, pp. 631–637, May 2000.
- [5] M. E. Baran, V. Banunaryanan, and K. E. Garren, "A transaction assessment method for allocation of transmission services," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 14, no. 3, pp. 920–928, Aug. 1999.
- [6] H. Zhaoyang and H. Zhengxiang, "A new Shapley value based method for allocation of transmission losses," *Autom. Elect. Power Syst.*, vol. 27, no. 7, pp. 32–35, 2003. In Chinese.
- [7] J. Hui, P. Jianchun, and O. Yaping, "Shapley-value based transmission power loss allocation," *Elect. Power Autom. Equip.*, vol. 23, pp. 18–21, Feb. 2003. In Chinese.
- [8] X. Tan and T. T. Lie, "Application of the Shapley value on transmission cost allocation in the competitive power market environment," *Proc. Inst. Elect. Eng., Gener., Transm., Distrib.*, vol. 149, no. 1, pp. 15–20, Jan. 2002.
- [9] K. L. Lo, C. A. Lozano, and J. M. Gers O, "Game theory application for determining wheeling charges," in *Proc. Int. Conf. Electric Utility Deregulation Restructuring Power Technologies*, 2000, pp. 308–313.
- [10] X. H. Tan and T. T. Lie, "Allocation of transmission loss cost using cooperative game theory in the context of open transmission access," in *Proc. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, vol. 3, 2001, pp. 1215–1219.
- [11] P. Wei, X. Kaigui, and Z. Jiaqi, "Economic effect analysis of interconnected power system based on optimal power flow and cooperative game theory," *Power Syst. Technol.*, vol. 28, pp. 35–39, Aug. 2004.
- [12] M. Shahidepour, H. Yamin, and L. Zuyi, *Market Operations in Electric Power Systems*. New York: Wiley, 2002, p. 191.
- [13] A. Maiorano, Y. H. Song, and M. Trovato, "Dynamics of noncollusive oligopolistic electricity markets," presented at the IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Singapore, 2000.
- [14] Geerli, R. Yokoyama, and L. Chen, "Negotiation models for electricity pricing in a partially deregulated electricity market," presented at the IEEE Power Engineering Summer Meeting, Seattle, WA, 2000.
- [15] D. Schmeidler, "The nucleolus of a characteristic function game," in *SIAM J. Appl. Math.*, vol. 17, 1969, pp. 1163–1170.