PSC2009
24th International Power System Conference
09-F-EPM-0103
بیست و چهارمین
کنفرانس بین‌المللی برق

کاهش قدرت بازار تشدید شده بر اثر تخصیص حقوق مالی انتقال

محمدحسین جاویدی
استاد دانشگاه فردوسی مشهد
H_javidi@um.ac.i

سیّدمحسن علی‌آبادی
فوق لیسانس دانشگاه فردوسی مشهد
s.m.aliabadi@gmail.com

ایران

واژه‌های کلیدی: تراکم، قیمت حدی محلی، قدرت بازار، حقوق مالی انتقال، ضریب وضعیت مصونیت

چکیده

مدیریت تراکم سیستم انتقال از مهمترین مسائل طراحی بازار استاندارد به شمار می‌رود. صدور امتیازات مالی یکی از اساسی‌ترین راهکارها بمنظور مدیریت تراکم در طراحی بازار استاندارد به شمار می‌رود. با این وجود، در بعضی از موارد، تخصیص حقوق مالی انتقال به بعضی از بازیگران بازار سبب می‌شود قدرت بازار آنها تشدید شده و بازار از حالت رقابتی دورتر گردد.

در این مقاله سعی شده است تا حالتهایی که تخصیص حقوق مالی انتقال به بازیگران بازار، باعث تشدید قدرت بازار آنها می‌گردد، بررسی و راهکارهایی که توسط سایر محققان برای کاهش میزان این تشدید قدرت بازار ارائه شده است و همچنین اشکالات موجود در این روشها بیان گردد. در واقع، هدف از این مقاله، ارائه روش جدیدی است که تا حد ممکن اشکالات روشهای پیشین را اصلاح نموده و نتایج بدست آمده به حالت واقعی نزدیک‌تر شوند. در این روش علاوه بر این که پیکربندی شبکه، خروجی‌های بازار و موقعیت شرکت‌کنندگان در بازار انرژی، در روند کاهش قدرت بازار تشدید شده در نظر گرفته می‌شود، سهم بازار عرضه‌کننده‌ها، که به نوعی مبیّن میزان قدرت بازار آنان می‌باشد نیز در محاسبات لحاظ می‌گردد.

۱- مقدمه

در مطالعات سیستم قدرت، شبکه انتقال به عنوان یک زیرساخت اساسی مطرح می باشد[۱]. همانطور که می‌دانیم، نارسایی و ناکارآمدی شبکه انتقال می‌تواند به ناکارآمدی بازار برق در ایجاد فضای رقابتی و کسب قدرت بازار توسط بازیگران بازار نیز منجر گردد.

یکی از وظایف مهم بهره‌بردار مستقل شبکه این است که امکان دسترسی آزاد[1] و بدون تبعیض هر کدام از شرکت‌کنندگان را به شبکه انتقال بر اساس تعرفه‌های عادلانه و

[1] Open Access

نرخهای معقول فراهم کند[۲]. با افزایش تعداد قراردادهای برق در داخل هر ناحیه و بین نواحی مختلف و استفاده بیش از حد از شبکه انتقال، احتمال بروز تراکم در شبکه افزایش می‌یابد. بنابراین، با توجه به محدودیتهای شبکه انتقال و کافی نبودن تسهیلات انتقال برای پاسخگویی به بازیگران بازار، مدیریت تراکم[1] یکی از مهمترین مباحثی است که در بازارهای رقابتی به طور جدی پیگیری می‌شود. بدون شک کاهش ریسکهای ناشی از تراکم، باعث تمایل بیشتر بازیگران برای شرکت در بازار برق و در نتیجه رقابتی‌تر شدن بازار خواهد شد.

در بعضی از بازارهای انرژی الکتریکی، تسویه بازار بر اساس قیمتهای حدی محلی انجام می‌شود. وقوع تراکم در شبکه، باعث می‌شود که قیمت انرژی در باسهای مختلف با یکدیگر متفاوت گردد و بازیگران بازار در معرض پرداخت هزینه‌های اضافی قرار بگیرند[۳]. حقوق مالی انتقال[2] از جمله اقداماتی است که به منظور حفاظت بازیگران بازار در مقابل تغییرات در قیمتهای انرژی در باسهای مختلف، به دلیل ایجاد تراکم در شبکه انتقال، معرفی گردیده است. در این رابطه، صدور امتیازات مالی انتقال یکی از اساسی‌ترین مباحث طراحی بازار استاندارد جهت مدیریت تراکم می‌باشد[۴].

در واقع، یک حق مالی انتقال یک ابزار مالی است که حق دریافت یک درآمد را برای دارندهٔ خود فراهم می‌کند، بطوری‌که این مبلغ برای جبران هزینه‌های تراکم شبکه انتقال[3] به فرد پرداخت می‌شود. این حقوق بر اساس قیمتهای حدی محلی[4] تعریف و اجرا می‌شوند و این حق را به مالکان خود می‌دهند که درآمدی برابر با حاصلضرب حقوق انتقال خریداری شده و تفاوت قیمت دو گره داشته باشند[۵]. حقوق مالی انتقال می‌تواند اطمینان خاطری برای بازیگران بازار، به منظور شرکت در بازار انرژی ایجاد کند و رقابت را در بازار افزایش دهد. اما در بعضی از موارد، تخصیص حقوق مالی انتقال به بعضی از بازیگران بازار سبب می‌شود قدرت بازار آنها تشدید شود و بازار از حالت رقابتی دورتر گردد.

از آنجایی که مدت زمان زیادی از مطرح و اجرا شدن امتیازات انتقال و بازارهای ماهیانه و سالیانه نمی‌گذرد، مقالات منتشر شده در این زمینه محدود است. در [۴] یک حراج ماهیانه حقوق مالی انتقال و تحلیل آن به صورت کامل ارائه شده است همچنین حقوق مالی انتقال نقطه به نقطه[5] (FTR) و حقوق مالی انتقال دریچه عبور توان[6] (FGR) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در [۶] مدلی از بازار حقوق مالی انتقال همراه با روابط آن آورده شده است. آقای هوگان در مقاله [۷] به بررسی حقوق مالی انتقال نقطه به نقطه اختیاری[7] و اجباری[8] و فرمول‌بندی آن پرداخته است در مقاله [۸] به بررسی تأثیر حقوق مالی انتقال بر توسعه شبکه انتقال پرداخته شده است. در مقالات [۹ و ۱۰] به تأثیر حقوق مالی انتقال بر قدرت بازار[9] شرکت‌کنندگان در بازار پرداخته شده است.

ساختار مقاله به صورت زیر می‌باشد: در بخش دوم مفاهیم *LMP*، تراکم و حقوق مالی انتقال بیان می‌شود. بخش سوم به بیان تأثیر حقوق مالی انتقال بر قدرت بازار بازیگران بازار و روشی که برای کاهش این قدرت بازار پیشنهاد شده است، پرداخته می‌شود. بخش چهارم بیانگر اشکال وارد بر روش ارائه شده جهت کاهش قدرت بازار تشدید شده در اثر تخصیص حقوق مالی انتقال می‌باشد. در بخش پنجم تعدادی از روشهای اندازه‌گیری قدرت بازار ارائه شده است. در بخش آخر، با توجه به اشکالات روشهای قبلی، روش جدید همراه با مثال عددی و نتایج شبیه‌سازی آورده شده است.

۲- مفاهیم پایه

در این بخش مفاهیم قیمت حدی محلی، هزینه تراکم و حقوق مالی انتقال شرح داده می‌شوند.

[1] Congestion Management
[2] Financial Transmission Rights
[3] Transmission Congestion Charge
[4] Locational Marginal Price
[5] Point to Point financial Transmission Rights
[6] Flow Gate Rights
[7] Option
[8] Obligation
[9] Market Power

۲-۱ قیمت حدی محلی

در این روش قیمت‌گذاری، هر گره (باس) از سیستم، قیمت انرژی مختص به خود را دارا می‌باشد. که منعکس کننده هزینه حدی تغذیه آخرین مگاوات از بار در آن باس است[۳]. قیمت گرهی (LMP) در برگیرندهٔ تأثیرات زیر می‌باشد:

۱. هزینه تولید حدی در گره
۲. تأثیر تزریق گرهی بر روی قیود تراکم
۳. تأثیر حدی تلفات انتقال

$$\rho_i = \rho_{gen} + \rho_{con_i} + \rho_{loss_i} \qquad (۱)$$

۲-۲ تراکم

تراکم شبکه انتقال را می‌توان به صورت استفاده از شبکه انتقال، خارج از محدوده‌های مجاز بهره‌برداری تعریف نمود. در موارد وجود تراکم، قیمت‌های گرهی با هم متفاوت خواهند بود و بهره‌بردار مستقل شبکه یک درآمدی را متناسب با این اختلاف قیمت‌ها جمع خواهد کرد. اگر یک بازیگر (x)، یک مبادله توان ثابت P_{km} مگاوات از باس k تا باس m را در یک پریود زمانی H (به عنوان مثال یک ماه) داشته باشد، باید هزینه تراکم انتقالی[1] به بهره‌بردار مستقل شبکه بپردازد که معادل است با:

$$TCC_x = \sum_{h=1}^{H}\left[\left(LMP_m^h - LMP_k^h\right)P_{km}\right] \qquad (۲)$$

می‌توان ثابت نمود که این هزینه برابر است با " مجموع پرداخت‌های مصرف‌کنندگان منهای مجموع دریافت تولید-کنندگان " یعنی:

$$TCC = \sum_{i=1}^{N_b} P_{d_i}.LMP_i - \sum_{i=1}^{N_b} P_{g_i}.LMP_i \qquad (۳)$$

که در آن N_b تعداد کل باسهای شبکه، P_{g_i} توان تولیدی باس i و P_{d_i} توان مصرفی باس i می‌باشد[۳ و ۱۱].

۲-۳ حقوق مالی انتقال

وقوع تراکم در شبکه، باعث تفاوت قیمت انرژی در باسهای مختلف با یکدیگر می‌گردد. این امر بازیگران بازار را در معرض پرداخت هزینه‌های اضافی قرار می‌دهد. حقوق مالی انتقال به منظور حفاظت بازیگران بازار در مقابل تغییرات قیمت انرژی در باسهای مختلف، که به دلیل ایجاد تراکم در شبکه انتقال به وجود می‌آیند، به کار می‌رود[۱۲].

به طور کلی می‌توان گفت: " یک حق مالی انتقال یک ابزار مالی است که حق دریافت یک درآمد را برای دارندهٔ خود فراهم می‌کند. این مبلغ برای جبران هزینه‌های تراکم شبکه انتقال به فرد پرداخت می‌شود". حقوق انتقال به صورت مالی و نه فیزیکی هستند یعنی، بازیگران بازار مجبور نیستند، برای دستیابی به حقوق انتقال، مبادله انرژی داشته باشند[۴].

در حال حاضر دو نوع اساسی از حقوق انتقال در بازارهای مختلف مورد استفاده قرار می گیرد:

۱. حقوق مالی انتقال نقطه به نقطه (FTR)
۲. حقوق دریچهٔ عبور توان (FGR)

حقوق مالی انتقال نقطه به نقطه (FTR) می‌تواند به صورت اجباری یا اختیاری باشد [۴و۷] و در آن یک نقطه تزریق و یک نقطهٔ تحویل تعریف می‌شود. در سمت مقابل FGR بر اساس ظرفیت انتقال که توسط شارش توان در شبکه تعریف می‌شود، مشخص می‌گردد. در این مقاله از حقوق مالی انتقال نقطه به نقطه استفاده شده است.

حقوق مالی انتقال نقطه به نقطه اجباری برای دارندهٔ خود یک سود یا یک ضرر (بدهی) را فراهم می‌کند که این امر به اختلاف در LMPهای بین نقاط تحویل و تزریق وابسته می باشد (رابطه۴). در حالی که در FTR اختیاری، دارندهٔ FTR از پرداخت چنین هزینه‌ای (رابطه۵) معاف می‌باشد.

$$FTR = (LMP_i - LMP_j).F_{ji} \qquad (۴)$$

$$FTR_{option} = Max\{0, (LMP_i - LMP_j).F_{ji})\} \qquad (۵)$$

در رابطه (۴)، LMP_i قیمت حدی محلی در نقطه تحویل، LMP_j قیمت حدی محلی در نقطه تزریق و F_{ji} میزان FTR خریداری شده از مسیر j به i می‌باشد[۱۲].

۲-۳-۱ *بازار حقوق مالی انتقال*

در بازار (حراج) حقوق مالی انتقال، شرکت‌کنندگان برای بدست آوردن و مبادله این حقوق پیشنهادات مورد نظر خود

[1] Transmission Congestion Charge

را ارائه می‌دهند و این بازار به عنوان خروجی، مجموعه‌ای از حقوق مالی انتقال شدنی[۱] را تعیین می‌کند. در مجموع برای حق مالی انتقال نقطه به نقطه باید موارد زیر تعیین گردند:

۱. نقاط تزریق و تحویل توان که به ترتیب با r و t نمایش داده می شوند،
۲. مقدار و کمیت مورد نظر از توان انتقالی بر حسب مگاوات($\tau_{r\to t}$)،
۳. قیمت پیشنهادی برای بدست آوردن حقوق انتقال نقطه به نقطه در یک دوره زمانی.

یک حراج حقوق مالی انتقال می‌تواند مشابه با حراج بازار انرژی مدلسازی شود یعنی هدف آن باشد از: "حداکثر کردن سودها در صورتی که مجموعه *FTR*ها به صورت همزمان امکان‌پذیر باشند."

به صورت ساده، حراج بازار حقوق مالی انتقال را می‌توان به صورت مسئله بهینه‌سازی زیر مدل نمود:

$$Max \sum_{k\in K} f_k(\tau_k) \qquad (۶)$$

$$s.t.\ B\delta^t = \sum_{k\in K} \tau_k \xi_k \qquad (۷)$$

$$X\,\delta^t \le \overline{z} \qquad (۸)$$

$$0 \le \tau_k \le \overline{\tau}_k \quad \forall k \in K \qquad (۹)$$

که در آن $f_k(\tau_k)$ تابع سود مقعر غیرکاهشی[۲] برای kامین *FTR* است. در مدل بالا، معادله (۷) نشان‌دهنده تعادل توان حقیقی درشبکه، δ^t زوایای ولتاژ در باسهای شبکه، B ماتریس سوسپتانس و ξ ماتریسی از اندیس‌ها است که نشان می‌دهد *FTR*ها چگونه در بین باسهای مختلف توزیع می‌شوند (برحسب پریونیت). نامعادله (۸) برای بیان قیود خطوط انتقال به کار می‌رود که در آن X ماتریس راکتانس خطوط انتقال و $\overline{z}$ نشان‌دهنده حداکثر توان قابل عبور از خطوط می‌باشد. نامعادله (۹) نشان‌دهنده مقدارهای شدنی از *FTR* و $\overline{\tau}_k$ مقدار ماکزیمم kامین *FTR* می‌باشد[۱۳].

[۱] Feasible
[۲] Nondecreasing concave

۳- تأثیر حقوق مالی انتقال بر قدرت بازار

در این بخش به تعریف قدرت بازار و تأثیر حقوق مالی انتقال بر قدرت بازار پرداخته می‌شود.

۳-۱ قدرت بازار

وقتی یک یا تعدادی از بازیگران بازار این توانایی را داشته باشند که با انجام اقداماتی بر روی قیمت بازار تأثیر بگذارند، در اصطلاح گفته می‌شود که این بازیگران امکان اعمال قدرت بازار را دارند. این اتفاق موقعی رخ می‌دهد که تعداد بازیگران بازار به اندازه کافی زیاد نباشد و یا بعضی از آنها سهم قابل ملاحظه‌ای از میزان تولید و یا مصرف کالای مربوطه را در اختیار داشته باشند[۱۱].

۳-۲ حقوق مالی انتقال و تأثیر آن بر قدرت بازار

وقتی که در یک بازار انرژی الکتریکی قدرت بازار وجود داشته باشد، تخصیص حقوق مالی انتقال به بازیگران بازار در بعضی از شرایط ممکن است سبب افزایش قدرت بازار آنان گردد. به نظر می‌رسد، وقتی که این حقوق به یک عرضه‌کننده با قدرت بازار، که در نقطه گرانتر قرار دارد (منطقه واردکننده توان) و یا به یک فروشنده با قدرت بازار، که در منطقه ارزانتر قرار دارد (منطقه صادرکننده توان)، اختصاص داده شود، تأثیرات اجتماعی معکوسی خواهد داشت. مالکیت حقوق مالی انتقال ممکن است مجال بیشتری برای یک عرضه‌کننده تعیین‌کننده قیمت[۳] فراهم کند تا بتواند رفتار خود را به منظور دریافت سود بیشتر اصلاح کند. سود عرضه‌کننده از محل فروش انرژی برابر است با:

$$\Delta\Pi_G(p) = \max_p \{p\rho(p) - c(p)\} \qquad (۱۰)$$

که در این رابطه $p\rho(p)$ برابر با درآمدهای حاصل از فروش انرژی و $c(p)$ برابر با هزینه تولید است.

یک مالک حقوق مالی انتقال که حق انتقالی برابر با $\tau_{r\to t}$ مگاوات از باس r به باس t را در اختیار دارد، از محل این حق انتقال دارای درآمد زیر خواهد بود:

$$\Pi_F(\tau) = \tau_{r\to t}(\rho_t - \rho_r). \qquad (۱۱)$$

[۳] Price - Maker

که $\tau_{r\to t}$ میزان حق مالی انتقال از r به t و ρ_t و ρ_r به ترتیب برابر با قیمتهای حدی محلی در باسهای t و r خواهد بود.

اگر یک عرضه‌کننده دارای قدرت بازار، مالکیت حقوق مالی انتقال را داشته باشد، آنگاه تابع ماکزیمم کردن سودش (بدون منظور کردن هزینه خرید *FTR*) به صورت زیر می‌باشد:

$$\Pi_{G+F}(p,\tau)=\max_{p}\{p\rho(p)-c(p)+\tau_{r\to t}(\rho_t-\rho_r)\} \quad (۱۲)$$

سود عرضه‌کننده اکنون نه تنها به انرژی که عرضه‌کننده می‌فروشد، وابسته است بلکه به میزان حق مالی انتقالی که در اختیار دارد و نرخی که عرضه‌کننده می‌تواند میزان این حق را بالا ببرد نیز وابسته خواهد بود. بنابراین، مقدار واقعی سود از حق مالی انتقال به صورت زیر می‌باشد:

$$\Delta\Pi_F=\max_{p}\{p\rho(p)-c(p)+\tau_{r\to t}(\rho_t-\rho_r)\}-\max_{p}\{p\rho(p)-c(p)\} \quad (۱۳)$$

یک عرضه‌کننده تعیین‌کننده قیمت ممکن است از مقدار سود خود از محل فروش انرژی به منظور افزایش مقدار مالکیت حق مالی انتقال چشم‌پوشی کند. مقدار حق مالی انتقال بالاترسبب افزایش مقدار سودی که عرضه‌کننده می‌تواند بدست آورد می‌گردد و بنابراین انگیزه بیشتر به منظور بالا بردن مقدار *FTR* را به دنبال خواهد داشت. بنابراین در صورتی که $\Delta\Pi_F>\Pi_F$، یک عرضه‌کننده تعیین‌کننده قیمت دارای انگیزه بالاتری نسبت به یک عرضه‌کننده گیرنده قیمت[۱] خواهد بود[۱۳].

۳-۳ کاهش قدرت بازار تشدید شده در اثر تخصیص حقوق مالی انتقال

در این قسمت راهکار ارائه شده توسط آقایان ***Bautista*** و ***Quintana*** [۱۳] به منظور کاهش قدرت بازار تشدید شده در اثر تخصیص حقوق مالی انتقال به بازیگران بازار، بیان می‌شود. برای بررسی بهتر و جامع‌تر این راهکار، در ابتدا لازم است مفاهیم ضریب توزیع انتقال توان و ضریب استفاده انتقال مورد بررسی قرار گیرند.

[۱] Price - taker

۳-۳-۱ ضریب استفاده انتقال[۲] برای شرکت‌کنندگان در بازار

اگر بردار توانهای تزریقی را به صورت $p=[p_1,p_2,...,p_s,...,p_{|N|}]$ در نظر بگیریم که در آن $|N|$ نشان‌دهنده تعداد باسهای شبکه و p_s تزریق توان در باس اسلک می‌باشد، توان اکتیو عبوری از هر خط انتقال بین باس i و باس j (z_{ij}) را با استفاده از ضرایب حساسیت (توزیع توان[۳]) می‌توان بر حسب توانهای تزریقی گرهی نوشت. این ضرایب میزان تغییر در توان عبوری از خطوط (Δz_{ij}) را در صورت تغییر در توان تزریقی در یک باس خاص نشان می‌دهند که جبران آن از طریق تغییر در توان باس اسلک صورت می‌گیرد، در اینصورت:

$$\langle s_{ij},\Delta p\rangle=\Delta z_{ij} \quad (۱۴)$$

$$\langle e,\Delta p\rangle=0 \quad (۱۵)$$

بطوری‌که نماد $\langle\cdot,\cdot\rangle$ نشان دهنده ضرب داخلی بین دو بردار و $e\in\Re^{|N|}$ برداری از یک‌ها[۴] می‌باشد. بر اساس پخش بار *DC*، امین ضریب حساسیت ($s_{ij,\ell}$) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$s_{ij,\ell}=\frac{X_{i\ell}-X_{j\ell}}{x_{ij}} \quad (۱۶)$$

بطوری‌که $X_{i\ell}$ و $X_{j\ell}$ المانهای ماتریس راکتانس و x_{ij} راکتانس خط ij می‌باشد[۱۳].

از آنجایی که ضرایب حساسیت به انتخاب باس اسلک وابسته می‌باشند و تغییرات نموی[۵] را نشان می‌دهند، برای اندازه‌گیری میزان استفاده خالص شرکت‌کنندگان بازار از شبکه انتقال مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. در عوض، ضرایب توزیع تولید تعمیم‌یافته (*GGDF*[۶]) و ضرایب توزیع بار تعمیم‌یافته (*GLDF*[۷]) برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند.

[۲] Transmission Usage Factors
[۳] Power Distribution
[۴] Ones
[۵] Incremental changes
[۶] Generalized Generation Distribution Factors
[۷] Generalized Load Distribution Factors

اگر خروجی بازار را بصورت مجموعه برادر توان‌های انتقالی $z \in \Re^{|L|}$ که در آن $|L|$ تعداد خطوط انتقال، $g \in \Re^{|N|}$ میزان توان تولیدی و $d \in \Re^{|N|}$ میزان بار می‌باشد، در نظر بگیریم می‌توان از این خروجی برای تعیین GGDF و GLDF استفاده کرد. ضریب بکارگیری[1] ($\varphi_{ij,\ell}$) مربوط به خط انتقال ij ، برای یک بازیگر که در باس ℓ قرار دارد، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\varphi_{ij,\ell} = s_{ij,\ell} + \varphi_{ij,s} \qquad (۱۷)$$

$$\varphi_{ij,s} = \begin{cases} \dfrac{z_{ij} - \langle s_{ij}, g \rangle}{\langle e, g \rangle}, & \text{for supplier} \\ \dfrac{\langle s_{ij}, d \rangle - z_{ij}}{\langle e, d \rangle}, & \text{for Load} \end{cases} \qquad (۱۸)$$

که $\varphi_{ij,s}$ها همان *GGDF* و *GLDF* هستند[۱۳].

۳-۳-۲ ضریب استفاده انتقال برای حقوق مالی انتقال[2]

برای هر حق مالی انتقال τ_k (که در آن به ترتیب r و t به عنوان نقطه تزریق و تحویل توان می‌باشند)، ضریب استفاده انتقال $\sigma_{ij,k}$ (متناظر با خط انتقال ij) به صورت جمع آثار مبادلات بین نقطه تزریق و باس اسلک و باس اسلک و نقطه تحویل محاسبه می‌شود. بنابراین ضرایب استفاده انتقال به کمک ضرایب حساسیت به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\sigma_{ij,k} = s_{ij,r} - s_{ij,t} \qquad (۱۹)$$

۳-۳-۳ ضرایب وضعیت مصونیت[3] (HPRs)

این ضرایب برای پیشنهادات ارائه شده برای حقوق مالی انتقال طراحی شده‌اند و رابطه بین موقعیت‌های یک پیشنهادکننده[4] حقوق مالی انتقال در بازار انرژی و در تخصیص حقوق مالی انتقال را تعیین می‌کنند (بر اساس پیشنهادات ارائه شده برای حقوق مالی انتقال). در واقع این ضرایب نشان‌دهنده موقعیت‌های بالقوه‌ای هستند که پیشنهاددهنده‌های حقوق مالی انتقال می‌توانند قدرت بازارشان را تشدید کنند. با استفاده از این ضرایب، یک سقف برای حداکثر میزان پیشنهادی که هر بازیگر می‌تواند برای حقوق مالی انتقال پیشنهاد دهد تعیین می‌گردد.

وقتی که ضرایب توزیع محاسبه گردیدند، توانی که هریک از شرکت‌کنندگان در بازار از هر خط انتقال عبور می‌دهند به راحتی محاسبه می‌گردد. برای یک بازیگر که در باس ℓ قراردارد و توان p_ℓ را در این باس تزریق می‌کند، میزان توانی که این بازیگر از خط ij عبور می‌دهد، $p_\ell \varphi_{ij,\ell}$ می باشد. به طور مشابه، برای یک پیشنهاد حقوق مالی انتقال τ_k، مقدار توانی که این FTR از طریق خط ij (به طور مجازی) خواهد فرستاد $\overline{\tau}_k \sigma_{ij,k}$ می باشد.

برای یک شرکت‌کننده که در باس ℓ قرار دارد و پیشنهاد $\overline{\tau}_k$ را برای حقوق مالی انتقال ارائه می‌کند، HPR مربوط به او برای خط ij از رابطه زیر محاسبه می‌شود[۱۳]:

$$\phi_{ij,k} = \frac{p_\ell}{\overline{\tau}_k} \frac{\varphi_{ij,\ell}}{\sigma_{ij,k}} \qquad (۲۰)$$

سپس، HPRها در هر خط نرمالیزه می‌شوند تا سهم هر خط انتقال در وضعیت مصونیت بازیگران بازار مورد محاسبه گیرد، بطوری که:

$$\overline{\phi}_{ij,k} = \frac{\phi_{ij,k}}{\max_k \phi_{ij,k}}, \quad \forall ij \in L \qquad (۲۱)$$

HPR خالص در سیستم برای یک شرکت‌کننده بازار، که پیشنهاد τ_k را ارائه می‌کند، به صورت مجموع همه HPRها روی همه خطوط انتقال محاسبه می‌شود:

$$\phi_k = \sum_{ij \in L} \overline{\phi}_{ij,k}, \quad \forall k \in K \qquad (۲۲)$$

به منظور استفاده از HPRها به عنوان ضرایب وزنی، آنها به زیر نرمالیزه می‌شوند:

$$\overline{\phi}_k = \frac{\phi_k}{\max_k \phi_k}, \quad \forall k \in K \qquad (۲۳)$$

مشاهده می‌شود که $\overline{\phi}_k \in [0,1]$ می‌باشد.

[1] Utilization Factor
[2] Transmission Usage Factors for FTR
[3] Hedging Position Ratios
[4] Bidder

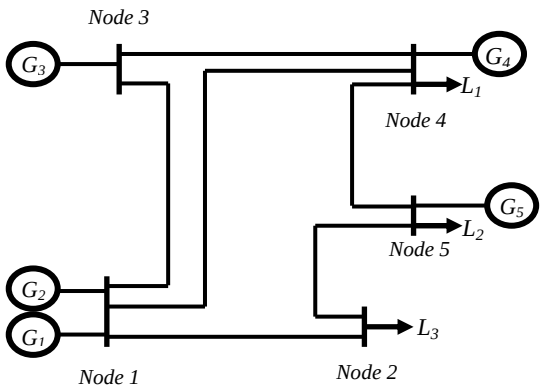
یکی از راههایی که می‌توان از *HPR*ها استفاده نمود این است که پیشنهاداتی که برای *FTR*ها ارائه می‌شوند ($\overline{\tau}_k$)، بر اساس مقدار متوسط *HPR*ها در یک دوره مشخص (مثلاً یک ماهه) وزن‌دهی شوند. بنابراین در یک حراج اصلاح شده حقوق مالی انتقال، نامعادله (۹) به صورت زیر می‌تواند فرمول‌بندی شود:

$$0 \le \tau_k \le \bar{\phi}_k \overline{\tau}_k \quad \forall k \in K \qquad (۲۴)$$

در حراج اصلاح شده حقوق مالی انتقال، پیشنهادات متناسب با موقعیت واقعی پیشنهاددهنده‌ها (با توجه به وضعیت آنها در دوره‌های قبل) در بازار انرژی وزن‌دهی می‌شوند. بنابراین شرکت‌کنندگانی که HPRهای پایین‌تری دارند بیشترین کاهش را در دریافت حق مالی انتقال دارند[۱۳].

مثال

روش بالا را در مورد یک شبکه ۵ باسه که در شکل (۱) آورده شده است، مورد بررسی قرار می‌دهیم. داده‌های متناظر با این شبکه ۵ باسه در جدول (۱) و (۲) آورده شده است. در این مثال، عرضه‌کننده‌ها با تابع هزینه‌ای به صورت $c_i(p_i) = \beta_i p_i + \gamma_i p_i^2$، که در آن β_i و γ_i پارامتر هستند، مدل می‌شوند. بار غیر منعطف[۱] در باسهای ۲، ۴ و ۵ قرار دارد و هر کدام ۳۱۰*MW* می‌باشد. بر اساس تفاوت قیمتهای حدی محلی که در جدول (۳) آورده شده است.



شکل(۱): شبکه ۵ باسه

[۱] Inelastic

جدول(۱): داده‌های متناظر با قیمت‌دهی در شبکه ۵ باسه

Supplier *i*	$\underline{p}_i$ *(MW)*	$\overline{p}_i$ *(MW)*	β_i *($/MWh)*	γ_i ($/MW^{2}h)
1	0	170	14	0.014
2	0	40	14	0.014
3	0	600	10	0.0025
4	0	100	30	0.025
5	0	150	30	0.025

جدول(۲): داده‌های خطوط انتقال در شبکه ۵ باسه

Line ℓ	*Source* *i*	*Sink* *j*	(χ_{ij}) *(p.u.)*	$\overline{z}_i$ *(MW)*
1	1	2	0.0281	400
2	1	3	0.0064	300
3	1	4	0.0304	250
4	2	5	0.0108	350
5	3	4	0.0297	280
6	4	5	0.0297	240

جدول(۳): هزینه فرصت برای حقوق مالی انتقال مختلف

Source	*Sink*				
	1	2	3	4	5
1	0	-5.450	-32.005	-13.306	-7.538
2	5.450	0	-26.555	-7.856	-2.088
3	32.005	26.555	0	18.698	24.467
4	13.306	7.856	-18.698	0	5.768
5	7.538	2.088	-24.467	-5.768	0

مشاهده می‌شود که *FTR*های مختلفی سودمند می‌باشند. با شبیه‌سازی بازار مشاهده می‌شود که ژنراتورهای G_1 و G_2 دارای قدرت بازار می‌باشند. در جدول ۴ اطلاعات مربوط به پیشنهادات ارائه شده برای *FTR*ها آورده شده است. جدول ۵ ضرایب *HPR* بدست آمده از این بررسی را نشان می‌دهد.

جدول(۴): پیشنهادات ارائه شده برای حقوق مالی انتقال

k	bidder	source r	Sink t	$\overline{\tau}_k$ (MW)	k	bidder	Source r	Sink t	$\overline{\tau}_k$ (MW)
1	G_1	2	1	170	15	L_2	3	5	310
2	G_2	2	1	40	16	G_1	4	1	170
3	L_3	2	1	310	17	G_2	4	1	40
4	G_1	3	1	170	18	G_4	4	1	100
5	G_2	3	1	40	19	G_4	4	2	100
6	G_3	3	1	580	20	L_1	4	2	300
7	G_3	3	2	580	21	L_3	4	2	300
8	G_4	3	2	100	22	G_4	4	5	100
9	L_3	3	2	300	23	G_5	4	5	120
10	G_3	3	4	580	24	L_2	4	5	300
11	G_4	3	4	100	25	G_1	5	1	170
12	L_1	3	4	310	26	G_2	5	1	40
13	G_3	3	5	580	27	L_2	5	1	310
14	G_5	3	5	120					

جدول (۵): ضرایب وضعیت مصونیت (*HPRs*)

k	ϕ_k (p.u.)	k	ϕ_k (p.u.)
1	0.1083	15	0.0329
2	0.1083	16	0.0415
3	1	17	0.0415
4	0.3381	18	0.0789
5	0.3381	19	0.0843
6	0.5326	20	0.8742
7	0.4348	21	0.3901
8	0.0476	22	0.0941
9	0.0192	23	0
10	0.6888	24	0.6224
11	0.0607	25	0
12	0.1450	26	0
13	0.4382	27	0.2891
14	0.0265		

۴- اشکال روش ارائه شده

از آنجا که پیکربندی شبکه، خروجی‌های بازار و موقعیت شرکت‌کنندگان در بازار در محاسبهٔ ضرایب وضعیت مصونیت در نظر گرفته می‌شوند، این ضرایب برای کاهش قدرت بازار تشدید شده در اثر تخصیص حقوق مالی انتقال به بعضی از بازیگران بازار بسیار مفید می‌باشند و با استفاده از این ضرایب می‌توان بین بازیگران بازار با توجه به وضعیتشان در بازار و شبکه، در تخصیص حقوق مالی انتقال تفاوت قائل شد.

اما ضرایب *HPR* ارائه شده در این روش، در حالتی که چند عرضه‌کننده در یک باس قرار داشته باشند، بدون توجه به نحوه پیشنهاددهی آنان در بازار انرژی و سهمی که این عرضه‌کنندگان در بازار انرژی دارند در موارد بسیاری یکسان می‌باشد. به طور کلی در این روش، این ضرایب بدون در نظرگرفتن میزان قدرت بازار عرضه‌کننده‌ها را مشخص می‌گردد و سهم بازار عرضه‌کننده‌ها، که مهمترین عامل برای کنترل‌کنندگی یک بازیگر بر قیمت بازار می‌باشد، را در نظر گرفته می‌شود. همانطور که از جدول ۵ مشاهده می‌شود، ضرایب *HPR* متناظر با پیشنهادات حقوق مالی انتقال τ_1, τ_2 و τ_4, τ_5 و τ_{16}, τ_{17} و τ_{25}, τ_{26} که توسط ژنراتورهای G_1 و G_2 ارائه شده‌اند، برای هر دو ژنراتور یکسان می‌باشد. این در حالی است که این دو ژنراتور سهم‌های متفاوتی از بازار دارند و میزان قدرت بازار آنها یکسان نیست. بدون شک، عرضه‌کننده‌ای که سهم بازار بیشتری را در اختیار دارد، راحتتر می‌تواند با کاهش مقدار بیشتری از تولید خود، سود خود را از محل حقوق مالی انتقال و فروش انرژی افزایش دهد و بازار را از حالت رقابتی دور سازد. پس، باید اصلاحاتی صورت پذیرد تا در تعیین ضرایب وضعیت مصونیت میزان قدرت بازار عرضه‌کننده‌ها نیز در نظر گرفته شوند.

در بخش بعدی تعدادی از روشهایی که برای اندازه‌گیری قدرت بازار مورد استفاده قرار می‌گیرند، به صورت خلاصه ارائه می‌گردد و سعی می‌شود با توجه به مشکل روش قبلی، روش جدیدی ارائه گردد که مشکل روش قبلی را نداشته و اساس آن بر اصلاح ضرایب وضعیت مصونیت می‌باشد.

۵- اندازه‌گیری قدرت بازار

قدرت بازار توسط اندیسهای قدرت بازار قابل اندازه‌گیری می‌باشد. تعدادی از این اندیسها عبارتند از:

۵-۱- اندیس HHI[۱]

اندیس *HHI* یک اندازه‌گیری معمولی از تمرکز بازار می‌باشد که تعداد شرکت‌کننده‌ها و غیر یکنواختی سهم‌های بازار آنها را منعکس می‌کند. *HHI* به صورت مجموع مربعات سهم‌های بازار همه شرکت‌کنندگان در بازار تعریف می‌شود:

$$HHI = \sum_{i=1}^{N} S_i^2 \qquad (۲۵)$$

که N تعداد شرکت‌کنندگان بازار و S_i سهم بازار iامین شرکت‌کننده است.

HHI نمی‌تواند تأثیر تغییر بار و محدودیتهای انتقال بر روی قدرت بازار منعکس کند و معمولاً برای هر بازیگر قابل تعیین نمی‌باشد[۱۴].

۵-۲- اندیس لرنر (LI[۲])

اندیس لرنر به منظور اندازه‌گیری تغییر نسبی قیمت حاصل از خروجی بازار برای یک مشترک نسبت به قیمت حدی تولید همان اندازه توان می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$LI_i = \frac{\rho_i - mc_i}{\rho_i} \qquad (۲۶)$$

که در آن LI_i اندیس لرنر برای شرکت‌کننده i، ρ_i و mc_i قیمت و هرینه حدی در توان حاصل از خروجی پروسه ماکزیمم‌کردن سود شرکت می‌باشد[۱۵].

اندیس لرنر در فرضیات خود تأثیر کشش تقاضا[۳] بر روی قدرت بازار را در نظر می‌گیرد. این اندیس شامل تأثیر کشش عرضه سایر شرکت‌ها در غالب قیمت تسویه بازار ρ می‌باشد. در تئوری، اگر *LI* برای یک شرکت در سیستم قدرت بزرگتر از صفر باشد، آن شرکت دارای قدرت بازار خواهد بود. مشکل تعیین کشش قیمت[۴] بر روی تقاضا، استفاده از اندیس لرنر را محدود می‌سازد. از طرف دیگر دسترسی و تخمین تابع هزینه عرضه‌کننده‌ها مشکل می‌باشد. هم *HHI* و هم *LI* معمولاً برای اندازه‌گیری قدرت بازار بدون در نظر گرفتن قیود انتقال به کار می‌روند[۱۴].

کشش تقاضا: درصد تغییر تقاضای یک کالا نسبت به درصد تغییر قیمت آن کالا

۵-۳- ضریب اجباراً در مدار (MRR[۵])

ضریب اجباراً در مدار که برای اندازه‌گیری قدرت بازار ناحیه‌ای به کار می‌رود، به منظور در نظر گرفتن قیود انتقال ارائه شده است. *MRR* برای عرضه‌کننده A در یک منطقه i به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$MRR = \frac{P_d - P_l - \left(\sum_{j=1}^{N_g} P_{g_{j,\max}} - \sum_{j=1}^{N_{gA}} P_{g_{j,\max}}\right)}{\sum_{j=1}^{N_{gA}} P_{g_{j,\max}}} \qquad (۲۷)$$

که P_d بار کل ناحیه، P_l محدودیت تون ورودی به ناحیه، $P_{g_{j,\max}}$ محدودیت توان ژنراتور j در ناحیه، N_g تعداد ژنراتورها در ناحیه و N_{gA} تعداد ژنراتورهای برنده شده توسط عرضه‌کنندهٔ A می‌باشد. این ضریب بیانگر ظرفیتی است که بایستی توسط یک تولید کننده فراهم شود تا یک بار معین در یک منطقه دارای تراکم تأمین شود و معمولاً به صورت درصدی از ماکزیمم ظرفیت در دسترس آن تولیدکننده بیان می‌گردد.

در تئوری، اگر *MRR* برای یک فروشنده بزرگتر از صفر باشد، آن فروشنده قدرت بازار خواهد داشت. *MRR* می‌تواند سیگنالهای مفیدی از قدرت بازار را در یک منطقه دارای تراکم فراهم کند. اما، *MRR* به درستی میزان قابلیت کنترل[۶] یک عرضه‌کننده را بر قیمت بازار، که معمولاً به سهم بازار برنده شده توسط یک عرضه‌کننده برای تأمین یک بار معین در یک منطقه دارای تراکم وابسته است را در نظر نمی‌گیرد.

---

[۱] Herfindahl–Hirschman Index
[۲] Lerner Index
[۳] Demand Elasticity
[۴] Price Responsiveness
[۵] Must-Run Ratio
[۶] Controllability

۵-۴- اندیس عرضه باقیمانده (RSI[۱])

برای یک بازار خاص و در یک ساعت خاص، ظرفیت کل پیشنهاد شده به بازار به وسیله بازیگران بازار را می‌توان به صورت $q_1,...,q_i,...,q_n$ که در آن n تعداد بازیگران بازار می‌باشد نمایش داد. اگر D بیان کننده تقاضای کل بازار باشد و $S_i = q_i / D$ حداکثر سهم عرضه[۲] توسط بازیگر i باشد، کفایت پیشنهاد کل بازار[۳] به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$bid\ \ sufficiency = sum(q_1,...,q_n)/D \qquad (۲۸)$$

RSI برای بازیگر i، که درصد عرضه باقیمانده در بازار بعد از کنار گذاشتن حداکثر سهم عرضه بازیگر i می‌باشد، به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۶]:

$$RSI_i = bid\ \ sufficiency - S_i \qquad (۲۹)$$

وقتی که عرضه باقیمانده بیشتر از ۱۰۰% تقاضای کل بازار باشد، عرضه‌کننده‌ها، به جز بازیگر i ، ظرفیت کافی برای تأمین تقاضای بازار را دارا هستند و بازیگر i تأثیر کمی بر قیمت تسویه بازار دارد. از طرف دیگر، اگر RSI کمتر از ۱۰۰% باشد، برای تأمین تقاضای بازار باید بازیگر i تولید داشته باشد و به عبارت دیگر بازیگر i یک بازیگر محوری می‌باشد.

۵-۶- تولید اجباری (MRG[۴])

در یک سیستم تجدید ساختار یافته، MRG یک ژنراتور به صورت حداقل ظرفیتی که باید توسط ژنراتور تأمین شود تا یک بار معین با در نظر گرفتن قیود انتقال و تولید تغذیه شود، تعریف می‌گردد. تولید اجباری ($P_{g_k}^{must}$) برای ژنراتور k با حل مسئله بهینه‌سازی زیر قابل تعیین می‌باشد:

$$\begin{aligned} &\min\ \ P_{g_k} \\ &s.t.\ \ e^T(P_g - P_d) = 0 \\ &\qquad 0 \le P_g \le P_{g_{\max}} \\ &\qquad -Pl_{\max} \le F(P_g - P_d) \le Pl_{\max} \end{aligned} \qquad (۳۰)$$

که در آن e برداری شامل یک‌ها[۵]، P_g بردار توان توزیع شده، P_d بردار تقاضا، $Pl_{\max}$ بردار محدودیت خطوط و F ماتریس ضرایب توزیع[۶] می‌باشد[۱۶].

۵-۶-۱- سهم اجباری (MRS[۷])

به منظور بیان تغییر قدرت بازار با سطح بار، این اندیس ارائه شده است. سهم اجباری MRS_k برای ژنراتور k در یک بازار برق به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$MRS_k = \frac{P_{g_k}^{must}}{P_d} \qquad (۳۱)$$

که در آن P_d تقاضای کل در یک بازار برق می‌باشد. MRS_k نشان‌دهنده حداقل سهم بازار مورد نیاز برای ژنراتور k در یک بازار برق، برای تامین یک بار معین در بازار می‌باشد. در یک بازار کامل، انتظار بر این است که MRS برای همه بازیگران بازار در یک رقابت کامل صفر باشد. در تئوری، گفته می‌شود که یک ژنراتور دارای قدرت بازار است اگر MRS آن صفر باشد[۱۶].

۶- پیشنهاد ارائه شده برای تصحیح ضرایب وضعیت مصونیت (HPRها)

همانطور که توضیح داده شد، در تعیین ضرایب وضعیت مصونیت، به طور کلی، میزان سهم بازار عرضه‌کننده‌ها که مهمترین عامل برای کنترل‌کنندگی یک بازیگر بر قیمت بازار می‌باشد در نظر گرفته نمی‌شود. این امر در حالتی که چند عرضه‌کننده در یک باس قرار داشته باشند، بیشتر نمود پیدا می‌کند. با توجه به این مشکل و بمنظور بهبود نتایج و مدلسازی‌ها، روش جدیدی ارائه گردیده است که اساس آن بر اصلاح فرمول ضریب وضعیت مصونیت می‌باشد. در این روش استفاده از تلفیقی از این ضرایب و یکی از روشهای اندازه‌گیری قدرت بازار پیشنهاد گردیده است. به عنوان مثال می‌توان از تلفیق این روش با روشهای اندیس عرضه باقیمانده

[۱] Residual Supply Index
[۲] Maximum Supply Share
[۳] Total market bid sufficiency
[۴] Must-Run Generation
[۵] Ones
[۶] Distribution Factors
[۷] Must-Run Share

(*RSI*) و یا سهم اجباری (*MRS*) استفاده نمود که در این قسمت بیشتر توضیح داده می‌شود.

بین روشهای ارائه شده برای اندازه‌گیری قدرت بازار، روش سهم اجباری (*MRS*) و اندیس باقیمانده عرضه (*RSI*)، بهتر از بقیه روشها سهم بازار هر ژنراتور را اندازه‌گیری می‌کنند. به عنوان یک پیشنهاد، *HPR*ها را می‌توان به صورت زیر اصلاح نمود:

$$\beta_k = \overline{\phi}_k \times (1 - MRS_i) \qquad (۳۲)$$

و یا :

$$\beta_k = \overline{\phi}_k \times RSI_i \qquad (۳۳)$$

که در آنها $\overline{\phi}_k$ ضریب وضعیت مصونیت برای پیشنهاد حق مالی انتقال ارائه شده توسط بازیگر i ، MRS_i و RSI_i به ترتیب سهم اجباری و اندیس باقیمانده عرضه برای بازیگر i و β_k اصلاح شده ضریب وضعیت مصونیت می‌باشند.مشاهده می‌شود اگر یک عرضه‌کننده دارای قدرت بازار نباشد آنگاه $MRS_i = 0$ و در نتیجه $1 - MRS_i = 1$ می‌باشد و ضریب وضعیت مصونیت وی با ضرب شدن در این مقدار هیچ تغییری نخواهد داشت. هر چه سهم بازار یک عرضه‌کننده بیشتر باشد، مقدار $(1 - MRS_i)$ کوچکتر شده و در نتیجه عرضه‌کننده پیشنهاد کمتری برای حقوق مالی انتقال می‌تواند ارائه کند.

در مورد اندیس باقیمانده عرضه نیز، اگر یک عرضه‌کننده سهم زیادی از بازار داشته باشد، این اندیس کوچکتر بوده و میزان پیشنهادی که این عرضه‌کننده می‌تواند برای بدست آوردن حقوق مالی انتقال ارائه کند کمتر خواهد بود.

تفاوت این دو روش ارائه شده توسط روابط ۳۲ و ۳۳، در این است که سهم اجباری طی یک پروسه بهینه‌سازی بدست می‌آید که در آن محدودیت ظرفیت خطوط انتقال و محدودیت توان عرضه‌کننده‌ها در نظر گرفته می‌شود و به همین دلیل در مواردی که در شبکه تراکم وجود دارد نتایج دقیق‌تری را بدست می‌دهد. همچنین مشاهده می‌شود که ضرایب سهم اجباری در بازه صفر و یک ($MRS_i \in [0,1]$) می‌باشند ولی ضرایب عرضه باقیمانده (RSI_iها) می‌توانند بزرگتر از یک نیز باشند که این امر باعث می‌شود در مواردی که ضریب عرضه باقیمانده بزرگتر از یک می‌گردد امکان‌پذیر بودن همزمان حقوق مالی انتقال تخصیص یافته به بازیگران بازار به مخاطره بیفتد و هزینه تراکم انتقال که توسط بهره‌بردار مستقل شبکه جمع‌آوری می‌شود برای پاسخ‌گویی به دارندگان حقوق مالی انتقال کافی‌نباشد. به همین دلیل، در این مقاله استفاده از رابطه (۳۳) برای تصحیح ضرایب وضعیت مصونیت پیشنهاد گردیده است. جدول ۶ نتایج بدست آمده از اعمال این روش را برای شبکه ۵ باسهٔ شکل (۱) نشان می‌دهد.

جدول(۶): تصحیح ضرایب وضعیت مصونیت

k	ϕ_k (p.u.)	β_k (MRS)	k	ϕ_k (p.u.)	β_k (MRS)
1	0.1083	0.0938	15	0.0329	0.0329
2	0.1083	0.1083	16	0.0415	0.0359
3	1	1	17	0.0415	0.0415
4	0.3381	0.293	18	0.0789	0.0771
5	0.3381	0.3381	19	0.0843	0.0824
6	0.5326	0.2634	20	0.8742	0.8742
7	0.4348	0.215	21	0.3901	0.3901
8	0.0476	0.0466	22	0.0941	0.0921
9	0.0192	0.0192	23	0	0
10	0.6888	0.3407	24	0.6224	0.6224
11	0.0607	0.0594	25	0	0
12	0.1450	0.145	26	0	0
13	0.4382	0.2167	27	0.2891	0.2611
14	0.0265	0.024			

از نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که در صورت تلفیق روش ضریب وضعیت مصونیت با روش سهم اجباری، مشکل این روش در مورد عرضه‌کنندگانی که سهم‌های متفاوتی از بازار دارند و همچنین در یک باس قرار دارند تا حدودی حل می‌شود. به عبارت دیگر، ضرایب β_kی متناظر با پیشنهادات τ_1, τ_2 ، τ_4, τ_5 ، τ_{16}, τ_{17} و τ_{26}, τ_{27} که مربوط به ژنراتورهای G_1 و G_2 بوده که در یک باس قرار

داشته اما سهم‌های متفاوتی از بازار را در اختیار دارند، با یکدیگر متفاوت می‌باشند. به عبارت دیگر، سهم بازار این ژنراتورها در تعیین این ضرایب در نظر گرفته شده‌است. بنابراین، ژنراتور G_1 که سهم بیشتری از بازار نسبت به ژنراتور G_2 دارد، دارای ضریب β_k کوچکتری خواهد بود. به عبارت دیگر، با این روش جدید مشکلی که در بخش ۴ به آن اشاره شد، مرتفع گشته است. در این روش، در تعیین ضریب وضعیت مصونیت همه عرضه‌کنندگان میزان سهم بازار آنها نیز در نظر گرفته می‌شود.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله تأثیر تخصیص حقوق مالی انتقال بر قدرت بازار بازیگران بازار مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که در بعضی از شرایط تخصیص حقوق مالی انتقال به برخی از بازیگران بازار ممکن است باعث تشدید قدرت بازار آنها گردد. در ادامه روشی که بمنظور کاهش تشدید قدرت بازار توسط سایر محققان ارائه گردیده است و اشکالات موجود در آن، با استفاده از یک شبکه ۵ باسه مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با توجه به مشکلات روش قبلی، یک روش جدید برای کاهش قدرت بازار تشدید شده در اثر تخصیص حقوق مالی انتقال به عرضه‌کنندگان، پیشنهاد گردید. این روش علاوه بر این که پیکربندی شبکه، خروجی‌های بازار و موقعیت شرکت‌کنندگان در بازار را در محاسبهٔ ضرایب وضعیت مصونیت در نظر می‌گیرد، سهم بازار عرضه‌کننده‌ها، که به نوعی مبیّن میزان قدرت بازار آنان بوده و مهمترین عامل برای کنترل‌کنندگی یک بازیگر بر قیمت بازار می‌باشد، را نیز در محاسبات خود لحاظ می‌کند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و بکارگیری این روش بر روی شبکه ۵ باسه، به وضوح کارایی و دقت این روش را نشان می‌دهد.

۸- مراجع

[1] X.Wang, J.R.McDonald, "***Modern Power System Planning***", McGraw-Hill, 1994.

[2] H. H. Yan. "***A Power Marketer's Perspective of Financial Transmission Rights***", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, volume 1, pages 383–385, 2001.

[3] Roberto Méndez , Hugh Rudnick, "***Congestion Management and Transmission Rights in Centralized Electric Markets*** " , IEEE Transactions on Power System, Vol. 19, No. 2, MAY 2004.

[4] P.N. Biskas , N.P. Ziogos, A.G. Bakirtzis, "***Analysis of a monthly auction for financial transmission rights and flow-gate rights***" , Electric Power Systems Research 77, 2007.

[5]- Tarjei Kristiansen "***Provision of financial transmission rights including assessment of maximum volumes of obligations and options***", Electrical Power and Energy Systems 29 (2007).

[6] M.I. Alomoush, S.M. Shahidehpour, "***Generalized Model for Fixed Transmission Rights Auction***", Electric Power Systems Research 54 (2000) 207–220.

[7] William W. Hogan, "***Financial Transmission Right Formulations***", March 31, 2002.

[8] Paul R. Gribik, Dariush Shirmohammadi, Joseph S. Graves, James G. Kritikson "***Transmission Rights and Transmission Expansions***", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, No. 4, November 2005.

[9] Paul L. Joskow , Jean Tirole, "***Transmission rights and market power on electric power networks***", RAND Journal of Economics, Vol. 31, No. 3, Autumn 2000.

[10] James Bushnell, "***Transmission Rights and Market Power***",University of California Energy Institute, October 1998.

۱۱- دنیل اس.کرشن، گوران استربک، "***اقتصاد سیستم قدرت***"، مترجمان: کارشناسان دبیرخانه هیأت تنظیم بازار برق ایران، دبیرخانه هیأت تنظیم بازار برق، ۱۳۸۶.

[12] Tarjei Kristiansen, "***Markets for Financial Transmission Rights***", Norwegian University of Science and Technology, 2005.

[13] Guillermo Bautista, Victor H. Quintana, "***Screening and Mitigation of Exacerbated Market Power Due to Financial Transmission Rights***", IEEE Transactions on Power System, Vol. 20, No. 1, February 2005.

[14] Peng Wang, Yu Xiao, Yi Ding, "***Nodal Market Power Assessment in Electricity Markets***", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 19, No. 3, August 2004.

[15] Youfei Liu, Felix F Wu, "***Transmission Rights and Generator's Strategic Bidding in Electricity Markets***", IEEE, 2006.

[16] Tao Li , Mohammad Shahidehpour, "***Market power analysis in electricity markets using supply function equilibrium model***", IMA Journal of Management Mathematics, 2004