پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران
سال سوم، شماره ۱۱، تابستان ۱۳۹۳، صفحات ۱۳۰-۹۱

مقایسه کارایی نسبی مکانیزم حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد با مکانیزم قیمت تسویه‌کننده بازار در بازارهای برق

جمشید پژویان[۱]، تیمور محمدی[۲]، فرامرز اتباعی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۳

چکیده:

مکانیزم‌های حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد و قیمت تسویه‌کننده بازار رایج‌ترین مکانیزم‌های حراج مورد کاربست در بازارهای برق دنیا به شمار می‌روند. هدف مقاله حاضر مقایسه کارایی تولید، کارایی کل و متوسط قیمت انتظاری بازار در شرایط عدم تقارن اطلاعات بازیگران نسبت به هزینه نهایی بازیگر رقیب، تحت برقراری هر کدام از مکانیزم‌های مزبور است. در این راستا برای بررسی مقایسه‌ای مکانیزم‌های حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد و قیمت تسویه‌کننده بازار - با توجه به ساختار بازار برق ایران- مدلی شامل دو بازیگر با اطلاعات کامل نسبت به هزینه نهایی خود و اطلاعات ناقص در رابطه با هزینه نهایی حریف، طراحی و نتایج حاصله در رابطه با هر کدام از مکانیزم‌ها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. با فرض پیروی تابع اطلاعات بازیگران از تابع توزیع نرمال، نتایج حاصله حاکی از آن است که گرچه کارایی تولید در هر کدام از مکانیزم‌ها معادل هم است، اما مکانیزم حراج قیمت تسویه‌کننده بازار، متوسط قیمت انتظاری کمتر و کارایی کل بیشتری را در مقایسه با مکانیزم حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد به همراه دارد.

۱- استاد دانشگاه علامه طباطبایی
j.pajooyan@yahoo.com
۲- استادیار دانشگاه علامه طباطبایی
Mohammadi@atu.ac.ir
۳- دانشجوی دکتری دانشگاه علامه طباطبایی/ نویسنده مسئول
Fatbae@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

طبقه‌بندی *JEL*: *D43, D44, D47, L94*

کلمات کلیدی: حراج مبتنی بر قیمت تسویه کننده بازار، حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد، طراحی مکانیزم و بازار برق

۱- مقدمه

با توجه به لزوم برقراری لحظه به لحظه تعادل عرضه و تقاضای برق، برای حصول از قابلیت اطمینان سیستم قدرت، بازارهای برق ایجاد شده در کشورهایی که فرآیند تجدید ساختار در صنعت برق را آغاز کردند، بازارهایی با مکانیزم حراج از پیش تعیین شده هستند. از ابتدای شروع راه‌اندازی بازارهای برق، مکانیزم قیمت تسویه‌کننده بازار[1] به عنوان یکی از مهم‌ترین گزینه‌های اجرا و تسویه این بازارها مطرح بوده است. با این حال مکانیزم پرداخت بر مبنای پیشنهاد[2] با هدف کنترل رفتارهای ناشی از قدرت بالای بازار[3] و کاهش قیمت عمده فروشی در برخی از بازارهای برق (از جمله بازار برق ایران) مورد استفاده قرار گرفته است (لافر و جیوردنو[4]، ۲۰۰۵).

با توجه به نقش و اهمیت بسیار بالای نوع مکانیزم حراج بر کارایی بازار، بررسی مقایسه‌ای مکانیزم‌های حراج رایج در بازارهای برق دنیا (مکانیزم قیمت تسویه‌کننده بازار و مکانیزم پرداخت بر مبنای پیشنهاد) یکی از محوری‌ترین و در عین حال چالشی‌ترین مباحث طرح شده در حوزه تجدید ساختار در صنعت برق به شمار می‌رود. با این حال با توجه به نوظهور بودن بازارهای برق، تحقیقات انجام شده در رابطه با تأثیر انتخاب مکانیزم حراج بر کارکرد بازارهای برق حجم کمی از ادبیات حوزه اقتصادی را به خود اختصاص داده است. بالاخص با توجه به عدم امکان استفاده از آزمون‌های آماری برای بررسی مقایسه‌ای مکانیزم‌های حراج یادشده عمده تحقیقات انجام شده در این حوزه

1- System Marginal Price
2- Pay As Bid
3- Market Power
4- Laffer and Giordano

Archive of SID

www.SID.ir

صرفاً از نوع نظری و نتایج آنها به طور عمده تابعی از فروض طرح شده در رابطه با ساختار بازار و اطلاعات بازیگران در رابطه با اجزای بازار بوده است. با این حال ادامه تحقیقات نظری خود علاوه بر زمینه‌سازی برای پژوهش‌های تجربی بیشتر، می‌تواند شِمایی بهتر از کارکرد مکانیزم‌های انتخابی و تأثیر کاربست آنها بر نتایج بازار و در نتیجه اتخاذ تصمیمات سیاستی بهتر در رابطه با انتخاب آنها در ساختارهای مختلف بازار در اختیار سیاست‌گذاران قرار دهد.

از اوایل دهه ۸۰ خورشیدی تحولات ساختاری مهم و معنی‌داری در صنعت برق ایران به وقوع پیوست؛ مجزاسازی شرکتی و حقوقی بخش های تولید و توزیع، تشکیل بازار عمده‌فروشی برای ایجاد رقابت در بخش تولید و مشارکت بخش خصوصی برای احداث نیروگاه در قالب قراردادهای ساخت، مالکیت و بهره‌برداری *(BOO)* [1] و ساخت، بهره‌برداری و انتقال *(BOT)* [2] اهم این تحولات به شمار می‌روند. با تشکیل و راه‌اندازی بازار برق ایران در سال ۱۳۸۴، امکان مشارکت نیروگاه‌های دولتی و خصوصی در این بازار بر اساس مبانی رقابتی فراهم شد.

با توجه به ماهیت بازیگران موجود در بازار برق (عمدتاً نیروگاه‌های دولتی تحت مالکیت شرکت های برق منطقه ای) و جذابیت بیشتر قراردادهای *BOO* و *BOT* در مقایسه با حضور در بازار برق، در حال حاضر عمده بازیگران فعال در این بازار بازیگرانی دولتی و دارای انگیزه‌هایی متفاوت از بازیگران حداکثرکننده سود اقتصادی در بازارهای متداول برق به شمار می روند. بدین ترتیب تسریع در روند واگذاری نیروگاه‌های دولتی به بخش خصوصی و اصلاح ساختار بازار برق- به گونه‌ای که بازیگران بازار انگیزه‌های لازم و کافی را برای ورود به این بازار داشته باشند- شرط لازم برای کارکرد صحیح و بهینه بازار برق به شمار می رود.

اگرچه در حال حاضر مکانیزم پرداخت بر مبنای پیشنهاد مکانیزم حاکم بر کارکرد بازار برق ایران است اما تحلیل کارایی یا عدم کارایی این مکانیزم (با وجود اهمیت اساسی تأثیر

1- Build, Own, Operate
2- Build, Own, Transfer

Archive of SID

www.SID.ir

مکانیزم های حراج بر کارایی بازار) و مقایسه آن با گزینه‌های دیگری مانند مکانیزم قیمت تسویه‌کننده بازار از بحث‌های مغفول در ادبیات اقتصاددانان و سیاست‌گذاران در حوزه صنعت برق ایران بوده است.

همانند بسیاری از کشورهایی که در مراحل اولیه تجدید ساختار قرار داشته و بازار برق آنها نوپا محسوب می شود، قدرت بسیار بالای بازار، خصیصه اصلی بازار برق ایران به شمار می‌رود[1] و با توجه به تجربه فرآیند تجدید ساختار در سایر کشورها، انتظار می‌رود حتی پس از واگذاری ۸۰ درصد سهام نیروگاه‌های دولتی[2]، همچنان رفتار استراتژیک بین بازیگران این بازار برقرار و حاکم باشد. از این رو مقاله حاضر به بررسی مقایسه‌ای مکانیزم‌های حراج پیش گفته در شرایطی که بازیگران دارای قدرت بازار بوده و رفتار استراتژیک نسبت به هم دارند، پرداخته است. برای بررسی رفتار استراتژیک بازیگران در هر کدام از مکانیزم های حراج، مدلی ساده شامل دو بازیگر ارائه کرده و رفتار استراتژیک آن‌ها در چارچوب این مدل ساده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

یکی از مهم‌ترین مشخصه های بازار برق همانند بسیاری از بازارها، اطلاعات ناقص در رابطه با اجزای بازار (شامل اجزای سمت عرضه و تقاضا) است. با توجه به اینکه برآورد صحیح بار کوتاه‌مدت مصرفی مصرف‌کنندگان، شرط لازم برای موفقیت بازیگران بازار برق به شمار می رود از شروع فرآیند تجدید ساختار و شکل‌گیری بازارهای برق، پیشرفت‌های بسیار مهم و اساسی در برآورد بار کوتاه مدت مصرفی مصرف‌کنندگان به وقوع پیوسته است. در حال حاضر برآوردهای کوتاه‌مدت انجام شده در ارتباط با مصرف و تولید برق توسط شرکت‌های توزیع نیروی برق(به عنوان سمت تقاضای بازار برق ایران) و نیروگاه‌ها (به عنوان سمت عرضه بازار برق ایران) از درجه دقت قابل قبولی برخوردار

۱- بخش بعد به طور تفصیلی به بررسی ساختار بازار برق ایران اختصاص دارد.

۲- بنا به قانون اجرای سیاست های اصل ۴۴ قانون اساسی، نیروگاه‌ها جزو گروه(۲) محسوب شده و ۲۰ درصد سهام آنها در اختیار دولت خواهد بود.

Archive of SID

www.SID.ir

است[۱]. بنابراین در مدل ارائه شده در مقاله حاضر، فرض وجود اطلاعات کامل در رابطه با میزان بار مصرفی مصرف‌کنندگان برای هر کدام از بازیگران بازار می‌تواند به عنوان فرضی معقول و قابل قبول تلقی شود. با توجه به غیرقابل ذخیره بودن برق، تقاضای کشش‌پذیر برای این حامل انرژی تنها در صورت امکان مدیریت بار مصرفی توسط خرده‌فروشان و مصرف‌کنندگان طرف قرارداد آنها امکانپذیر و قابل تصور است. مدیریت بار مصرفی به‌نوبه خود تنها با نصب سیستم‌های هوشمند کنترل و قرائت بار مصرفی مشترکین توسط خرده فروش‌ها امکانپذیر است. در حال حاضر فرآیند تجدید ساختار در صنعت برق ایران مراحل اولیه و ابتدایی خود را طی می‌کند و فاقد هویت مستقل و حرفه‌ای خرده فروشی است از این رو شرکت‌های توزیع در حال ایفای نقش این هویت غایب هستند. با این وجود مدیریت بار مصرفی به صورت قراردادهایی بین خرده‌فروش و مصرف‌کننده – همانند آنچه در برخی از کشورهای پیشرو در زمینه تجدید ساختار (همانند انگلستان) شایع و معمول است– هنوز در ایران اجرایی نشده است. با توجه به این موضوع شرکت‌های توزیع صرفاً پیش‌بینی سرجمع بار مصرفی مشترکین خود را به صورت کاملاً بی‌کشش برای خرید از بازار به بازار اعلام می‌کنند، بنابراین در مدل ارائه شده فرض وجود منحنی تقاضای کاملاً بی‌کشش، می‌تواند به عنوان فرضی کاملاً قابل قبول تلقی شود.

عدم تقارن اطلاعات هزینه‌ای بین بازیگران بازار از مهم‌ترین مشخصه‌های تمامی بازارها از جمله بازارهای برق به شمار می رود. کیفیت های متفاوت سوخت، کمبود گاز مصرفی نیروگاه‌ها و اجبار برخی از نیروگاه‌ها به استفاده از سوخت مایع، اشکال فنی در یک یا چند واحد نیروگاهی، انجام یا عدم انجام تعمیرات اساسی و... از جمله عواملی هستند که منجر

۱- بنا به «آیین نامه تعیین شرایط و روش خرید و فروش برق در شبکه برق کشور»، شرکت های توزیعی که سرجمع بار مصرفی مصرف‌کنندگان خود را به درستی پیش بینی نکنند، مشمول جریمه مطابق با ساز و کارهای تعیین شده در آیین نامه مزبور می‌شوند. بر این اساس شرکت های توزیع از انگیزه بسیار بالایی برای پیش بینی سرجمع بار مصرفی مصرف‌کنندگان خود برخوردار هستند. از طرفی با توجه به اینکه پیش بینی صحیح بار شرط لازم برای موفقیت نیروگاه‌ها در بازار عمده فروشی برق ایران به شمار می رود، نیروگاه‌های فعال در بازار برق ایران از انگیزه بسیار بالایی برای پیش بینی کل بار مصرفی شبکه سراسری برخوردار بوده و تمامی پیشنهادات قیمتی خود در بازار برق را بر اساس نتایج پیش بینی کل بار مصرفی در شبکه سراسری ارائه می‌کنند.

Archive of SID

www.SID.ir

به تفاوت در هزینه‌های نیروگاه‌ها، حتی در وضعیتی که راندمان نیروگاه‌ها در شرایط استاندارد کاملاً معادل هم باشد، می‌توانند شوند. عوامل فوق که تعیین‌کننده هزینه تولید نیروگاه‌ها در هر لحظه از زمان هستند، اطلاعات شخصی نیروگاه‌ها محسوب شده و دسترسی به آنها عملاً برای سایر نیروگاه‌ها امکانپذیر نیست. بر این اساس مدل ارائه شده در مقاله حاضر با فرض عدم تقارن اطلاعاتی بازیگران در رابطه با هزینه تولید رقیب، طرح و مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

وجود سقف بازار از جمله مهم‌ترین مشخصه‌های بسیاری از بازارهای برق در دنیا (از جمله بازار برق ایران) محسوب می‌شود[1] از این رو وجود سقف قیمتی به عنوان یکی از فروض قابل قبول در مدل ارائه شده در این مقاله در نظر گرفته شده است.

به طور خلاصه، وجود رفتار استراتژیک بین بازیگران، وجود منحنی تقاضای بی کشش، عدم تقارن اطلاعاتی بین بازیگران بازار در رابطه به هزینه رقیب و وجود سقف قیمتی در بازار برق عناصر اساسی مدل مورد استفاده در این مقاله را تشکیل می‌دهند. بر این اساس، مقاله حاضر سعی بر آن دارد با استفاده از مدل طرح شده در قالب این فروض مکانیزم‌های حراج رایج در بازارهای برق دنیا را در چارچوب دو سوال اساسی زیر مورد ارزیابی و بررسی مقایسه‌ای قرار دهد:

- کارایی تولید در کدام یک از مکانیزم‌های حراج بیشتر است؟ به عبارتی دیگر در هر سطح قابل تصور تقاضا کدام یک از مکانیزم‌های حراج تأمین تقاضا با هزینه کل کمتری را موجب می شوند؟
- متوسط قیمت انتظاری در کدام یک از مکانیزم‌های حراج بیشتر است؟ به عبارتی دیگر نتایج کاربست کدام یک از مکانیزم‌های حراج به نتایج بازار رقابتی نزدیک‌تر است؟

بخش دوم مقاله به ساختار و قواعد بازار برق ایران اشاره دارد. آشنایی با ساختار و قواعد بازار برق ایران شرطی لازم و اساسی برای درک نتایج حاصل از مدل ارائه شده در

۱- محدود کردن قدرت بازار بازیگران و جلوگیری از نوسانات قیمتی، دلایل ارائه شده از سوی سیاست‌گذاران بخش برق در رابطه با اعمال سقف در بازار برق به شمار می رود.

Archive of SID

www.SID.ir

چارچوب سوألات مطرح شده محسوب می‌شود. بررسی مطالعات انجام شده، معرفی و ارائه مدل مورد استفاده برای پاسخگویی به سوألات طرح شده و در نهایت جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات سیاستی بخش‌های بعدی این مقاله را تشکیل می‌دهند.

۲- ساختار و قواعد بازار برق ایران

بازار برق ایران در پی فرآیند تجدید ساختار در این صنعت به منظور فراهم ساختن چارچوبی رقابتی برای رقابت فروشندگان از یکسو و خریداران از سوی دیگر در سال ۱۳۸۳ کار خود را آغاز کرد[۱]. نحوه تعامل ارکان بازار در بازار برق ایران به شرح زیر است:

مالک نیروگاه (شرکت های برق منطقه‌ای و نیروگاه‌های متعلق به بخش غیردولتی) تا ۳ روز قبل از روز تحویل، پیشنهاد فروش برق خود را برای هر ساعت از شبانه‌روز موعد تحویل در قالب فرمی استاندارد همراه با قابلیت تولید ابراز شده[۲] و برآورد خود از قابلیت تولید قابل گسیل[۳] به مدیر بازار تحویل می‌دهد. این فرم برای هر ساعت از شبانه‌روز، نمودار عرضه مالک نیروگاه (رابطه حجم انرژی تحویلی و قیمت آن) برای آن ساعت به حساب می‌آید. این نمودار عرضه می‌تواند حداکثر ۱۰ پله داشته باشد. سقف قیمت پیشنهادی مجاز توسط هیأت تنظیم بازار برق ایران اعلام می‌شود. از طرف دیگر، شرکت‌های توزیع به عنوان خریداران تا ۳ روز قبل در قالب فرمی، نیاز مصرف (تقاضای) خود را برای ۲۴ ساعت شبانه‌روز به مدیر بازار اعلام می‌کنند. بنا به «آیین نامه تعیین شرایط و روش خرید و فروش در شبکه برق کشور»، نیاز مصرف هر خریدار می‌تواند بر دو گونه

۱- برای مطالعه بیشتر در مورد بازار برق ایران به پایگاه الکترونیکی شرکت مدیریت شبکه و یا دبیرخانه هیئت تنظیم بازار برق ایران مراجعه شود.

۲- «ظرفیت آماده تولید» واحد نیروگاهی است که مالک نیروگاه با ملحوظ داشتن مشکلات فنی واحد نیروگاهی و شرایط محیطی و بدون در نظر گرفتن اثرات محدودیت‌های خارج از مسئولیت خود (از قبیل محدودیت انتقال، حوادث قهریه و دستور مرکز)، آن را برآورد و به مدیر بازار اعلام می‌کند.

۳- ظرفیت تولیدی است که مالک نیروگاه با در نظر گرفتن اثرات تمام عوامل موثر بر تولید برق مانند شرایط محیطی و محدودیت‌های خارج از مسئولیت خود و مشکلات فنی واحد نیروگاهی، آن را برآورد و به مدیر بازار و مرکز اعلام می‌کند و مرکز بر این اساس و سایر محدودیت‌ها، قابلیت تولید قابل گسیل را تعیین (قطعی) می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir

باشد؛ یکی، نیاز مصرف با نرخ بازار که خریدار تقبل می‌کند با هر نرخی که در بازار به دست آمد، برق را خریداری کند و دیگری، نیاز مصرف با نرخ پیشنهادی خود خریدار. نیاز مصرف کل هر خریدار برای هر ساعت از حاصلجمع این دو نوع نیاز مصرف به دست می‌آید. در حال حاضر عملاً خریداران (شرکت‌های توزیع) کل نیاز مصرف خود را با نرخ بازار اعلام می‌کنند و سازوکار اجرایی برای خرید با نرخ پیشنهادی موجود نیست، یعنی هر خریدار صرفاً میزان برق مورد نیاز خود را مشخص می‌کند (تقاضای کاملاً بی‌کشش). از این رو می‌توان گفت طرف خرید در این بازار رقابتی نبوده و صرفاً طرف فروش این بازار بر مبنای رقابت استوار است[۱].

مالک نیروگاه تا دو روز قبل از روز مبادله با توجه به اطلاعات جدید خود امکان تغییر در پله‌های تولید و قابلیت تولید ابراز شده را دارد اما قادر به تغییر نرخ‌های پیشنهادی خود نخواهد بود[۲]. این امر برای روز قبل از مبادله نیز صادق است. مدیر بازار تا ساعت ۱۲ روز قبل، پذیرش و یا عدم پذیرش هر واحد نیروگاهی برای تولید انرژی و نرخ پذیرفته شده انرژی تولیدی آن را به مالک نیروگاه اعلام می‌کند. مرکز مجاز است در هر زمان کاهش یا افزایش نیاز شبکه به انرژی را به واحد نیروگاهی اعلام کند و بهره‌بردار نیروگاه مکلف است در حداقل مدتی که از لحاظ فنی مورد نیاز است و براساس دستورالعمل‌های ثابت بهره‌برداری، دستورات مرکز را اجرا کند. در این حالت بابت اجرای دستورات مرکز به واحدهایی که آمادگی خود را اعلام و در نتیجه بهای آمادگی را برای قابلیت تولید ابراز شده دریافت می‌کنند، هزینه اضافی پرداخت نمی‌شود، اما برای سایر واحدها هزینه اجرای دستورات مرکز محاسبه و پرداخت می‌شود. در صورتی که درخواست مرکز از بهره‌بردار نیروگاه مبنی بر افزایش تولید به سقف قابلیت تولید قابل گسیل از سوی

۱- یکی از مهم‌ترین الزامات گسترش رقابت به سمت تقاضا - به گونه ای که خریداران قسمت عمده نیازهای خود را با نرخ پیشنهادی خریداری کنند- گسترش و نصب لوازم اندازه‌گیری مناسب است.

۲- در صورت عدم توانایی مالک نیروگاه در عمل به تعهد خود در روز قبل - در صورتی که این امر خارج از کنترل او نباشد- مالک نیروگاه موظف به پرداخت خسارت طبق رویه تعیین خسارت (که توسط هیئت تنظیم تعیین می‌شود) است.

Archive of SID

www.SID.ir

بهره‌بردار عملی نشود، این امر به آزمون ناموفق ظرفیت منجر شده و مالک نیروگاه مشمول پرداخت خسارت مطابق رویه تعیین خسارت می‌شود. درصورتی که اجرای دستورات مرکز هزینه‌های اضافی برای واحد نیروگاهی ایجاد و یا موجب کاهش درآمد و یا سلب فرصت کسب درآمد شود، مدیر بازار موظف به جبران آن بر اساس ضوابطی که با پیشنهاد مرکز به تصویب هیئت می‌رسد، خواهد بود.

خریدار باید هرگونه تغییر در نیاز مصرف کل خود را بلافاصله به مرکز اعلام و متعاقباً گزارشی از علل تغییر در نیاز مصرف را نیز ارسال کند. چنانچه نیاز مصرف کل به دلایلی خارج از کنترل خریدار تغییر کند، خریدار با اعلام این تغییرات تا ساعت ۱۲ روز قبل از مبادله به مرکز مشمول پرداخت خسارت نخواهد شد. مدیر بازار تا ساعت ۱۲ روز قبل میزان انرژی قابل گسیل به خریدار را اعلام می‌کند. در صورتی که این میزان کم‌تر از نیاز مصرف خریدار باشد، خریدار مجبور به اعمال خاموشی متناسب با مابه‌التفاوت مزبور است. تخمین دقیق خریدار از نیاز مصرف از اهمیت بسیاری برخوردار است، چراکه در صورت عدم مصرف نیاز مصرف اعلام شده از سوی خریدار، پرداخت خسارت طبق رویه‌های تعیین خسارت الزامی خواهد بود. از سوی دیگر، اگر خریدار نیاز مصرف را کم‌تر از حد واقعی پیش بینی کرده باشد برای جبران مابه‌التفاوت بین نیاز مصرف واقعی و نیاز مصرف کل باید هزینه‌های نهایی مربوطه را پرداخت کند.

قیمت تعادل بازار به وسیله مدیر بازار تعیین می‌شود. مدیر بازار پس از جمع‌آوری پیشنهادهای فروش و نیازهای مصرف اعلام‌شده با توجه به اطلاعات مربوط به وضعیت شبکه که از «مرکز» دریافت می‌کند با در نظر گرفتن ملاحظات ایمنی شبکه و رعایت اصل رقابت میان عرضه‌کنندگان، قیمت و مقدار تعادلی بازار[1] و میزانی را که هرکدام از تولیدکنندگان موظف به تولید آن هستند، محاسبه می کند[2]. انتخاب عرضه‌کننده‌ها بر مبنای کم‌ترین قیمت‌های ارائه شده صورت می گیرد. به عبارتی با توجه به برنامه ارسالی از سوی

۱- محل تقاطع نیاز مصرف کل با نمودار عرضه کل قیمت و مقدار تعادلی بازار را به دست می‌دهد.

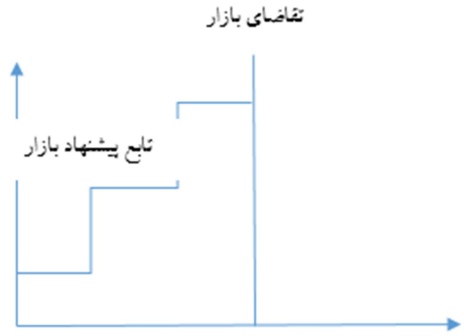
۲- برنامه تولید تولیدکنندگان تا ساعت ۱۲ روز قبل از معامله مشخص می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

فروشندگان، برنامه تولیدی انتخاب می‌شود که مجموع پرداختی به مالکین نیروگاه را حداقل کند.

نمودار (۱) که بیانگر ساختار ساختار فعلی بازار برق ایران است، توابع تقاضا و پیشنهاد اصلاح شده بازار با اعمال قیدها و محدودیت‌های مربوط به شبکه برق را نشان می‌دهد. در این نمودار محل تلاقی آخرین قیمت پیشنهادی بازار با تقاضای بازار تعیین‌کننده آخرین قیمت پذیرفته بازار است. تمامی پرداخت‌های صورت گرفته به بازیگران بر اساس پیشنهادهای آنها صورت خواهد گرفت. بر این اساس کل پرداختی به بازیگران بازار معادل سطح زیر تابع پیشنهاد بازار تا نقطه تلاقی آن با تابع تقاضای بازار است.



نمودار (۱)- تابع پیشنهاد در مکانیزم حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد

مبلغ پرداخت شده به مالکین نیروگاه شامل دو جزء است؛ جزء اول، انرژی (که از حاصلضرب قیمت پیشنهادی پذیرفته شده مالک در مقدار تولید او به دست می آید) و جزء دوم آمادگی.

بابت جابه‌جایی انرژی مبادله‌شده روی شبکه انتقال، باید مبلغی به مالکان شبکه انتقال (شرکت‌های برق منطقه‌ای) پرداخت شود که در حال حاضر بر اساس تفاوت نقطه تزریقی یا دریافت آنها نسبت به نقطه مرجع شبکه محاسبه شده و توسط مدیر بازار به مالکان شبکه انتقال پرداخت می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

مدیر بازار مجموع مبالغ پرداختی خود را محاسبه می‌کند و در قالب دو هزینه؛ یکی قدرت درخواستی و دیگری هزینه انرژی مصرفی، به خریداران سرشکن می‌کند. مجموع مبالغی که مدیر بازار از خریداران دریافت می‌کند برابر است با مجموع مبالغی که به تولیدکنندگان و مالکان شبکه انتقال می‌پردازد.

در واقع ایجاد بازار عمده فروشی برق با هدف ایجاد فضایی مناسب برای خرید و فروش رقابتی برق بوده و زیرساخت‌های مناسبی برای استفاده از شبکه برق برای ترانزیت انرژی تولیدکنندگان خصوصی فراهم ساخته است. در عین حال این بازار موجب خواهد شد با واگذاری ظرفیت‌های نیروگاهی به بخش خصوصی و راه‌اندازی بورس برق، انرژی برق با کمترین هزینه تأمین شود.

۳- پیشینه تحقیق

با توجه به مؤخر بودن پدیده مقررات‌زدایی، تجدید ساختار و شکل‌گیری بازارهای برق، ادبیات ارائه شده حوزه اقتصاد برق به طور عام و مقایسه مکانیزم‌های حراج متداول در بازارهای برق به طور خاص در مقایسه با سایر حوزه‌های پژوهشی متداول در علم اقتصاد از غنای کمتری برخوردار است. پژوهش انجام شده توسط عبائی (۱۳۸۹) با طراحی یک بازار برق روباز که در آن بازار تسویه با بازیگران بر مبنای مکانیزم پرداخت بر مبنای پیشنهاد (PAB)[1] صورت می‌گرفت به این نتیجه رسیده است که در زمان‌هایی که شبکه قدرت دارای محدودیت انتقال نبود و همچنین در زمانی که شاخص عرضه باقیمانده (RSI)[2] هر یک از عرضه‌کنندگان بیش از صددرصد بود با اجرای مکانیزم بازار برق روباز رقابتی پویا بین عرضه‌کنندگان بازار شکل گرفت و نگرانی‌های ناشی از بروزقیمت‌های غیررقابتی و تبانی در بازار مشاهده نشد، اما در بازار با قیمت‌گذاری PAB، انتشار قیمت‌های پذیرفته شده به دلیل قیود امنیت شبکه از لحاظ روانی سبب افزایش قیمت پیشنهادی سایر

1- Pay As Bid
2- Remain Supply Index

Archive of SID

www.SID.ir

بازیگرانی که به صورت رقابتی در بازار پیشنهاد می‌دادند، می‌شود و باعث افزایش قیمت و بروز چسبندگی قیمت می‌شود .

مطالعه صورت گرفته توسط رحمان و فدریکو (۲۰۰۳) از مهم‌ترین و ارزشمندترین کارهای انجام گرفته در زمینه بررسی مقایسه‌ای مکانیزم‌های حراج متداول در بازارهای برق به شمار می رود. بررسی مقایسه‌ای مکانیزم حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد و مکانیزم حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار در شرایط رقابتی و انحصاری محور اصلی کار این پژوهشگران را تشکیل می‌دهد. آنها این حراج‌ها را تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا و اطلاعات کامل هزینه‌ای مدل‌سازی و به این نتیجه رسیده‌اند که در ساختار رقابتی، مکانیزم حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد در مقایسه با مکانیزم حراج رقیب (مکانیزم حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار) با وجود افزایش مازاد رفاه مصرف‌کنندگان، کاهش در کارایی تولید را به همراه دارد. در واقع پژوهش آنها حاکی از آن است که در شرایط رقابت (و با پذیرش فروش لحاظ شده در مدل) با جایگزینی مکانیزم های حراج مزبور به جای همدیگر همواره بده بستانی بین مازاد رفاه مصرف‌کننده و کارایی تولید وجود خواهد داشت. بررسی صورت گرفته در شرایط انحصاری از کارایی تولید کمتر مکانیزم حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد نسبت به مکانیزم حراج تسویه‌کننده قیمت بازار و تأثیر مبهم و غیرقطعی تأثیر مکانیزم حراج انتخابی بر مازاد رفاه مصرف‌کنندگان حکایت دارد.

در مطالعه انجام شده توسط مانت[1] (۱۹۹۹) مکانیزم‌های حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد و قیمت تسویه‌کننده بازار با هم مقایسه شده‌اند. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که استفاده از مکانیزم حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار موجب بدتر شدن جهش‌های قیمتی در بازار برق در مقایسه با مکانیزم حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد می شود. از این رو مکانیزم اخیر به دلیل کاهش اثرات قیمتی خطاهای پیش‌بینی به عنوان مکانیزم جایگزین مکانیزم قیمت تسویه‌کننده بازار در بازارهای برق ارائه شده است.

1- Timothy, Mount

Archive of SID

www.SID.ir

فابرا، وان درفر و هاربورد (۲۰۰۶) با فرض معین بودن تقاضا بـه بررسـی اسـتراتژی‌هـای پیشنهاددهی و همچنین تحلیل رفاه و کارایی تولید پرداختـه‌انـد. ایـن مطالعـه در سـه بخـش مجزا، حراج‌هـای متـداول در بازارهـای بـرق، یعنـی حـراج‌هـای بـا قیمـت یکسـان، حـراج تبعیض‌آمیز و حراج تعمیم یافته قیمت دوم را مورد بررسـی قـرار داده اسـت. نتـایج مطالعـه انجام شده دلالت بر آن دارد که حراج تعمیم یافته قیمت دوم همواره منجـر بـه پـایین‌تـرین هزینه‌های تولید می‌شود؛ زیرا کاراترین تولیدکننده به عنوان اولـین بنگـاه بـرای تولیـد بـرق انتخاب می‌شود. این امر تنها در صورتی در حراج با قیمت یکسان و حراج تبعیض‌آمیـز رخ می‌دهد که یک تولیدکننده بتواند تقاضا را پوشش دهد. در همه مـوارد دیگـر، ایـن امکـان وجود دارد که حراج با قیمت یکسان یا حراج تبعیض‌آمیز منجـر بـه هزینـه‌هـای تولیـد کـل کمتر شود. حراج تعمیم یافته قیمت دوم از نظر مازاد مصرف‌کننـده بـه طـور ضـعیف بـه دو حراج دیگر برتری دارد به ویژه اگر تولیدکننده با کمترین هزینـه نهـایی، کمتـرین ظرفیـت تولید را نیز داشته باشد. در این صورت، حراج با قیمت یکسان منجر به نتـایج بهتـری نسـبت به حراج تبعیض‌آمیز نمی‌شود. رتبه‌بندی حراج‌هـا در صـورتی کـه تولیدکننـده بـا کمتـرین هزینه‌های نهایی، ظرفیت تولیدی برابر یا بیشتر از ظرفیـت تولیـد در مقایسـه بـا رقبـای خـود داشته باشد، متغیر خواهد بود.

مطالعه انجام شده توسط تانیری، شاتزکی و مـوکرجی (۲۰۰۸) یکـی از تحقیقـات نسـبتاً جدید و مفصل در رابطه با بررسی مقایسه ای مکانیزم های حراج در بازارهای برق به شـمار می‌رود. آنها با بررسی مقایسـه‌ای سیسـتم‌هـای حـراج متـداول در بازارهـای بـرق (مکـانیزم پرداخت بر مبنای پیشنهاد و مکانیزم قیمت تسویه‌کننده بازار) بـه ایـن نتیجـه رسـیده‌انـد کـه بکارگیری مکانیزم پرداخت بر مبنای پیشنهاد (به جای مکـانیزم قیمـت تسـویه‌کننـده بـازار) موجـب افـزایش قیمـت‌هـای پرداختـی مصـرف کننـدگان و کـاهش در کـارایی تولیـد و سرمایه‌گذاری می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

٤- مدل تحقیق

مکانیزم های حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد و قیمت تسویه‌کننده بازار، مکانیزم های متداول مورد استفاده برای تسویه بازارهای متمرکز برق به شمار می‌روند. مکانیزم حراج قیمت تسویه‌کننده بازار بر مبنای تسویه با نندگان بر اساس بالاترین قیمت پیشنهادی پذیرفته شده در بازار قرار دارد. در این مکانیزم، قیمت ها و میزان ظرفیت پیشنهادی عرضه‌کنندگان (تابع عرضه) و قیمت‌ها و نیاز مصرف خریداران (تابع تقاضا) برای موعد معامله، توسط مدیر بازار دریافت و مدیر بازار با لحاظ قیود شبکه عرضه‌کنندگان با کمترین قیمت پیشنهادی و قیمت تسویه‌کننده بازار را تعیین می‌کند. قیمت تسویه‌کننده بازار، قیمتی است که در آن هیچ عرضه‌کننده (تقاضاکننده)ای تمایلی به تغییر میزان عرضه (تقاضای) خود در بازار ندارد. در شرایط عدم وجود قیود شبکه، قیمت تسویه‌کننده بازار از تلاقی منحنی‌های عرضه و تقاضا حاصل می‌شود. در این مکانیزم با وجود امکان ارائه پیشنهادهای کاملاً متفاوت از سوی عرضه‌کنندگان، پرداخت به آنان بر اساس حداکثر قیمت پذیرفته شده در بازار صورت می‌گیرد.

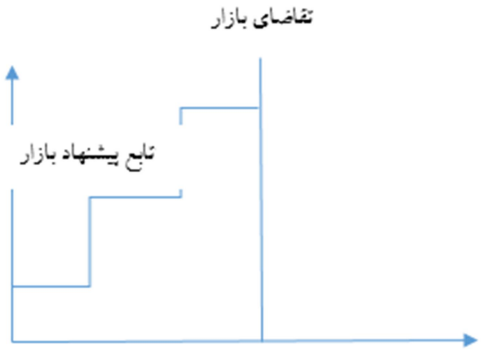
بر خلاف مکانیزم قیمت تسویه‌کننده بازار، مکانیزم حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد برمبنای تسویه با عرضه‌کنندگان پذیرفته شده (برنده) در بازار بر اساس قیمت پیشنهادی آنان قرار دارد. همانند مکانیزم پیشین در این مکانیزم نیز قیمت‌ها، میزان ظرفیت پیشنهادی عرضه‌کنندگان (تابع عرضه) و نیاز مصرف خریداران (تابع تقاضا) برای موعد معامله توسط مدیر بازار دریافت و مدیر بازار با لحاظ قیود شبکه عرضه‌کنندگان با کمترین قیمت پیشنهادی را تعیین و پرداخت به آنان را بر اساس قیمت پیشنهادی ارائه شده از سوی آنان تعیین می‌کند.

نمودار (۲) توابع تقاضا و پیشنهاد اصلاح شده بازار با اعمال قیدها و محدودیت‌های مربوط به شبکه برق را نشان می‌دهد. در این نمودار، محل تلاقی آخرین قیمت پیشنهادی بازار با تقاضای بازار تعیین‌کننده قیمت بازار است. تمامی پرداخت‌های صورت گرفته به

Archive of SID

www.SID.ir

بازیگران بر اساس قیمت مزبور صورت خواهد گرفت. بر این اساس، کل پرداختی به بازیگران بازار معادل قیمت بازار ضرب در مقدار تقاضای ابراز شده در بازار است.



نمودار (۲)- تابع پیشنهاد در مکانیزم حراج قیمت تسویه‌کننده بازار

در ظاهر امر ممکن است از دیدگاه مصرف‌کنندگان، مکانیزم پرداخت بر مبنای پیشنهاد نسبت به مکانیزم قیمت تسویه‌کننده بازار از ارجحیت و مزیت بالاتری برخوردار باشد، چراکه (باز هم در ظاهر امر) پرداخت به تولیدکنندگان در مکانیزم نخست نسبت به پرداخت صورت گرفته به آنان در مکانیزم دوم به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است. با این حال از آنجایی که رفتار قیمت‌دهی بازیگران متناسب با تغییر در قواعد بازی تغییر می‌یابد، اظهار نظر صحیح در این خصوص نیازمند مدل‌سازی و بررسی دقیق موضوع است. مقاله حاضر -در چارچوب فروض ارائه شده- در صدد نیل به این هدف است.

اشاره به این نکته پیش از ورود به ارائه تفصیلی مدل لازم است که مقاله حاضر صرفاً به بررسی مقایسه‌ای سیستم های حراج متداول در بازارهای برق پرداخته و طراحی مکانیزم بهینه برای حصول به حداکثر کارایی و مازاد رفاه مصرف‌کنندگان در دستور کار آن قرار ندارد[۱]. فروض مورد استفاده در مدل ارائه شده در این بخش و منطق و دلایل ارائه شده

۱- به طور کلی تئوری طراحی مکانیزم که یکی از شاخه های بسیار نوپا و در عین حال بسیار کاربردی در علم اقتصاد محسوب می‌شود به بررسی نحوه طراحی قواعدی از بازی (همانند طراحی حراج) می پردازد که در چارچوب آن (قواعد طرح شده)، نتیجه تصمیمات بازیگران حداکثرکننده سود معادل نتیجه هدف‌گذاری شده طراح مکانیزم (طراح قواعد بازی) شود.

Archive of SID

www.SID.ir

برای لحاظ این فروض به صورت اجمالی در بخش مقدمه ارائه شد با این حال حل دقیق مدل ارائه شده و بررسی نتایج حاصله مستلزم ارائه فروض مزبور به صورت دقیق و به زبان ریاضی است:

۱) تنها دو بازیگر (نیروگاه) در سمت عرضه بازار وجود دارد.

۲) ظرفیت متعلق به هرکدام از بازیگران مساوی و برابر مقدار از قبل تعیین شده (مثلاً k) است.

۳) ریسک هر کدام از بازیگران ریسک خنثی است.

۴) امکان تبانی بین بازیگران وجود ندارد.

۵) تابع هزینه هر کدام از بازیگران به صورت $C_i = c_i q_i$ است. در رابطه مزبور اندیس i معرف بازیگران بوده از این رو هزینه نهایی هر کدام از بازیگران معادل هزینه متغیر آنان است

۶) اطلاعات مدیر بازار در رابطه با هزینه نهایی (متغیر) هر کدام از بازیگران ناقص و مدیر بازار تنها اطلاعات مربوط به تابع توزیع چگالی احتمال هزینه نهایی (متغیر) بازیگران را (مطابق خصوصیات عنوان شده در مفروضات) در اختیار دارد.

۷) هر کدام از بازیگران اطلاعات کامل در رابطه با هزینه نهایی(متغیر) خود در هر ساعت را دارا بوده و اطلاعات هر کدام از آنها در رابطه با هزینه نهایی(متغیر) رقیب است. هر کدام از بازیگران تنها اطلاعات مربوط به تابع توزیع چگالی احتمال هزینه نهایی (متغیر) رقیب را در اختیار دارند. تابع توزیع چگالی احتمال هزینه نهایی (متغیر) مشترک بازیگران (اطلاعات هر بازیگر در رابطه با هزینه نهایی(متغیر) رقیب) به صورت تابع توزیع نرمال با حداقل مقدار $\underline{c}$ و حداکثر مقدار $\bar{c}$ است.

۸) قیمت پیشنهادی هر کدام از بازیگران نمی‌تواند از سقف تعیین شده توسط مدیر بازار $\overline{p}$ تجاوز کند ($\overline{p}$ بیش از $\bar{c}$ است).

۹) اطلاعات بازیگران و مدیر بازار در رابطه با تقاضای بازار کامل و متقارن است. به عبارت دیگر، تقاضای بازار قبل از برگزاری حراج برای تمام بازیگران و مدیر بازار مشخص است.

۱۰) تقاضای از پیش تعیین شده بازار (d) نسبت به قیمت کاملاً بی‌کشش است.

Archive of SID

www.SID.ir

برای بررسی رفتار استراتژیک بازیگران در هر کدام از مکانیزم‌های حراج، بازه تقاضا به سه قسمت تقسیم و نتایج حاصله از کاربست هرکدام از مکانیزم ها در هر کدام از بازه ها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد؛ بازه نخست مربوط به شرایطی است که مقدار تقاضای بازار (d) کمتر یا مساوی با حداکثر ظرفیت یکی از تولیدکنندگان (k) است. بدیهی است در این حالت ظرفیت هر کدام از تولیدکنندگان قادر به پوشش تمامی مقدار تقاضای ارائه شده در بازار بوده و لزوم به کارگیری همزمان دو نیروگاه برای تأمین تقاضای بازار وجود ندارد. از نقطه نظر بهره‌برداری بهینه ضروری است تا کل تقاضای بازار با استفاده از نیروگاه با هزینه کمتر تأمین شود[۱] در صورتی که قیمت‌های پیشنهاد هر کدام از بازیگران در هر ساعت تابعی از هزینه نهایی(متغیر) آنان در آن ساعت باشد، شاهد بهینگی در بهره‌برداری از نیروگاه‌های بازار خواهیم بود[۲]. بازه دوم، مربوط به شرایطی است که مقدار تقاضای بازار (d) بیش از حداکثر ظرفیت یکی از تولید کنندگان (k) و کمتر یا مساوی کل ظرفیت بازار ($۲k$) است. بدیهی است که در این حالت ضروری است تا به طور همزمان هر دو نیروگاه برای تأمین تقاضای بازار به کار گرفته شوند. با این حال حداقل یکی از نیروگاه‌ها کمتر از حداکثر میزان ظرفیت خود (k) به کار گرفته خواهد شد. همانند حالت قبل در صورتی که قیمت‌های پیشنهاد هر کدام از بازیگران در هر ساعت تابعی از هزینه نهایی(متغیر) آنان در آن ساعت باشد، شاهد بهینگی در بهره‌برداری از نیروگاه‌های بازار خواهیم بود. در این حالت نیروگاه با هزینه کمتر با حداکثر ظرفیت تولید کرده و نیروگاه با هزینه بیشتر تنها معادل مانده تقاضای بازار را پوشش خواهد داد. بازه سوم مربوط به شرایطی است که مقدار تقاضای بازار (d) بیش از کل ظرفیت بازار ($۲k$) است. بدیهی است در این حالت ضروری است تا به طور همزمان هر دو نیروگاه با حداکثر ظرفیت خود برای تأمین تقاضای بازار به کار گرفته شوند.

۱- در سیستم‌های بهره‌برداری قبل از تجدید ساختار بهره‌برداری بهینه از طریق گردآوری تمامی اطلاعات مربوط به تمامی واحدهای نیروگاهی و حداقل‌سازی هزینه بهره‌برداری با لحاظ قیود مربوط به شبکه قدرت صورت می‌گرفت. اطلاعات مربوط به شرایط واحدهای نیروگاهی (بجز اطلاعاتی که ممکن است امنیت شبکه برق را تحت‌الشعاع قرار دهد) در فضای مابعد تجدید ساختار اطاعات شخصی بازیگران محسوب شده و بازیگران از هیچ‌گونه الزامی در رابطه با آشکارسازی این اطلاعات برخوردار نیستند.

۲- این موضوع در هر بازه تقاضا و در رابطه با هرکدام از سیستم‌های حراج صدق می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir

در مقاله حاضر از عنوان برنده حراج برای نیروگاهی که سهم بیشتری از کل تقاضای بازار را پوشش می‌دهد، استفاده می شود. بر این اساس سهم برنده در یک حراج به صورت کسری از کل تقاضای پوشش داده شده توسط وی اندازه‌گیری می‌شود. سهم برنده از کل تقاضای بازار (α) برابر است با (رابطه (۱)):

(۱)

$$\alpha = \min(\frac{d}{k}, ۱) \qquad \text{و} \qquad \alpha \in (۰, ۱]$$

به طور مشابه کسر ظرفیت تولید بازنده برابر است با (رابطه (۲)):

(۲)

$$\beta = \min(\frac{d}{k} - \alpha, ۱) \qquad d \prec ۲k \qquad \beta \in (۰, ۱]$$

$$\beta = ۱ \qquad d \prec ۲k$$

نسبت تقاضای پوشش داده شده توسط بازیگر بازنده که توسط بازیگر برنده تأمین نمی‌شود بر اساس رابطه (۳) به دست می‌آید:

(۳)

$$\beta_f = \alpha - \beta \qquad \beta_f \in (۰, ۱] \qquad if \qquad d \prec ۲k$$

$$\beta_f = ۰ \qquad if \qquad d \succ ۲k$$

٤-۱- متوسط هزینه انتظاری

در صورتی که تابع پیشنهاد قیمتی به کار گرفته شده توسط هر کدام از تولیدکنندگان تابعی فزاینده از هزینه نهایی(متغیر) همان تولیدکننده بوده[۱] و یا مقدار تقاضای کل بازار بزرگ‌تر یا مساوی ظرفیت تولید کل بازار باشد با توجه به اینکه هزینه انتظاری هر واحد

۱- با توجه به توابع پیشنهاد استخراج شده بازیگران (که در این بخش به طور تفصیلی مورد بررسی قرار خواهد گرفت) به طور واضح، فارغ از سیستم حراج انتخاب شده، تابع پیشنهاد هر بازیگر تابعی فزاینده از هزینه نیروگاه متعلق به آن بازیگر است.

Archive of SID

www.SID.ir

برق تولیدی، میانگین انتظاری کل هزینه‌های تولید هر کدام از بازیگران است، می‌توان هزینه‌های تولید انتظاری را برای بازه‌های مختلف تقاضا برحسب واحد برق به صورت رابطه (۴) به دست آورد:

(۴)

$$E(c)=\frac{۱}{\alpha+\beta}E\left\{\{\alpha c_i+\beta c_j\}I_{\{b(c_i)\prec b(c_j)\}}+\{\beta c_i+\alpha c_j\}I_{\{b(c_i)\succ b(c_j)\}}\right\}$$

در رابطه فوق $b(c_i)$ و $b(c_j)$ به ترتیب معرف تابع پیشنهاد بازیگر اول و دوم هستند. بخش اول رابطه معرف حالتی است که قیمت پیشنهادی بازیگر اول کمتر از بازیگر دوم است $I_{\{b(c_i)\prec b(c_j)\}}$. بخش دوم رابطه مزبور معرف حالتی است که در آن عکس حالت فوق (قیمت پیشنهادی بازیگر دوم کمتر از بازیگر نخست است) برقرار است. با توجه به اینکه تابع پیشنهاد متقارن و نسبت به c صعودی است، رابطه (۴) به صورت رابطه (۵) قابل ساده‌سازی است:

(۵)

$$E(c)=\frac{۲}{\alpha+\beta}E\left\{\{\alpha c_i+\beta c_j\}I_{\{c_i\prec b(c_j)\}}\right\}=\frac{۲}{\alpha+\beta}\int_{\underline{c}}^{\bar{c}}\int_{c}^{\bar{c}}(\alpha c+\beta\tau)\,f(\tau,c)\,d\tau dc$$

با توجه به تابع توزیع نرمال انتخاب شده در بازه (۱۴۲,۲۶۴)، (فرض شماره ۶) رابطه (۵) معادل رابطه (۶) خواهد بود:

(۶)

$$E[c]=\frac{۲}{\alpha+\beta}E\left[\{\alpha c_i+\beta c_j\}I_{\{c_i\prec c_j\}}\right]$$

$$=\frac{۲}{\alpha+\beta}\int_{\underline{c}}^{\bar{c}}\int_{c}^{\bar{c}}(\alpha c+\beta\tau)\,\frac{e^{\left[-\frac{۱}{۲(۱-\rho^۲)}\left[\left(\frac{\tau-\mu_\tau}{\sigma_\tau}\right)^۲+\left(\frac{c-\mu_c}{\sigma_c}\right)^۲-۲\rho\left(\frac{\tau-\mu_\tau}{\sigma_\tau}\right)\left(\frac{c-\mu_c}{\sigma_c}\right)\right]\right]}}{۲\pi\sigma_\tau\sigma_c\sqrt{۱-\rho^۲}}d\tau dc$$

Archive of SID

www.SID.ir

هزینه متوسط انتظاری با استفاده از رابطه (۶) به دست می‌آید. با توجه به عدم امکان حل پارامتریک رابطه (۶)، هزینه متوسط انتظاری برای بازه‌های مختلف تقاضا به صورت عددی محاسبه می‌شود. در این راستا هزینه متوسط انتظاری برای هر کدام از حالت‌هایی که تولیدکنندگان مختلف برای تأمین تقاضا موفق به فروش برق خود می شوند، مورد بررسی قرار گرفته است.

یک تولید کننده برای تأمین تقاضا مورد نیاز است $(d \in (0, k))$:

در بازه $d \in (0, k)$ نتایج به صورت جدول (۱) است.

جدول (۱)- متوسط هزینه انتظاری $d \in (0, k)$

E(c)	δ	ضریب همبستگی	β	α	D
۲۳٤ .۷۷۰۱	۱	۰	۰	.۱	۱۰
۲۳٤ .۷۷۰۱	۱	۰	۰	.۳	۳۰
۲۳٤ .۷۷۰۱	۱	۰	۰	.۵	۵۰
۲۳٤ .۷۷۰۱	۱	۰	۰	.۸	۸۰
۲۳٤ .۷۷۰۱	۱	۰	۰	۱	۱۰۰

مطابق اطلاعات جدول (۱)، در بازه نخست، میانگین هزینه انتظاری بازار کمتر از میانگین هزینه انتظاری در نظر گرفته شده برای هر کدام از بازیگران است. مسلماً در صورتی که تنها یک نیروگاه در بازار موجود می‌بود، متوسط هزینه انتظاری بازار معادل متوسط هزینه انتظاری در نظر گرفته شده برای بازیگر(۲۳۶) می‌شد. با این حال با توجه به حضور بازیگر دوم در بازار برای هر هزینه قابل تصور برای بازیگر اول، امکان وجود هزینه‌ای پایین‌تر از هزینه مزبور برای بازیگر دوم بزرگ‌تر از صفر است. بنابراین امکان وقوع هزینه‌ای پایین‌تر در حالت وجود دو بازیگر بیشتر از حالت وجود یک بازیگر است.

Archive of SID

www.SID.ir

دو تولیدکننده برای تأمین تقاضا مورد نیاز است ($d \in (k, 2k)$):

برای بازه $d \in (k, 2k)$ نتایج به صورت جدول (۲) است.

جدول (۲)- متوسط هزینه انتظاری $d \in (k, 2k)$

D	α	β	ضریب همبستگی	δ	E(c)
۱۰۰	۱	۰	۰	۱	۲۳٤ .۷۷۰۱
۱۱۰	۱	.۱	۰	۱	۲۳٤,۸۷۲٦
۱۲۰	۱	.۲	۰	۱	۲۳٤,۹۵۸۱
۱۳۰	۱	.۳	۰	۱	۲۳۵,۰۳۰۵
۱٤۰	۱	.٤	۰	۱	۲۳۵,۰۹۲۵
۱۵۰	۱	.۵	۰	۱	۲۳۵,۱٤٦۲
۱٦۰	۱	.٦	۰	۱	۲۳۵,۱۹۳۲
۱۷۰	۱	.۷	۰	۱	۲۳۵,۲۳٤۷
۱۸۰	۱	.۸	۰	۱	۲۳۵,۲۷۱٦
۱۹۰	۱	.۹	۰	۱	۲۳۵,۳۰٤٦
۲۰۰	۱	۱	۰	۱	۲۳۵,۳۳٤۳

با توجه به جدول (۲)، در بازه مورد بررسی ($d \in (k, 2k)$) متوسط هزینه انتظاری بازار با افزایش در میزان تقاضای بازار افزایش و در حد نهایی آن میل می‌کند. در بازه نخست ظرفیت نیروگاه با هزینه کمتر قادر به پوشش کل تقاضای بازار است، بنابراین در این شرایط لزوم بکارگیری ظرفیت نیروگاه با هزینه بیشتر وجود نخواهد داشت. در بازه دوم و با لزوم به کارگیری ظرفیت نیروگاه با هزینه بیشتر، هزینه انتظاری تولید برق به تبع افزایش سهم بازیگر دوم از کل تقاضای بازار افزایش خواهد یافت. در تمامی مقادیر تقاضای مورد بررسی در این بازه میانگین هزینه انتظاری کمتر از میانگین هزینه انتظاری مربوط به هر کدام از بازیگران (۲۳۶) است، چراکه در این حالت اگرچه از ظرفیت نیروگاهی بازیگر با هزینه بیشتر در تأمین با مورد شبکه استفاده می‌شود، با این حال در

Archive of SID

www.SID.ir

محاسبه متوسط هزینه انتظاری بازار، هزینه‌های منتسب به این بازیگر با ضرایب کمتر از یک در محاسبات وارد می‌شوند از این رو متوسط هزینه انتظاری بازار کمتر از متوسط هزینه انتظاری تک تک بازیگران خواهد بود. تنها در حالت بیشتر بودن میزان تقاضای بازار از کل ظرفیت نیروگاهی، شاهد برابری متوسط هزینه انتظاری بازار با متوسط هزینه انتظاری تک تک بازیگران خواهیم بود، چراکه در این حالت هر دو بازیگران برنده بازار محسوب شده و تمامی ظرفیت بازیگران به طور کامل مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

٤-١-١- کارایی تولید

براساس اطلاعات جداول (۱) و (۲)، امید ریاضی هزینه بازار صرفاً ساختار هزینه‌های بازار را در بازه‌های مختلف تقاضا نمایش می‌دهد و در صورتی که قیمت پیشنهادی ارائه شده از سوی بازیگران تابعی فزاینده از هزینه آنان باشد[1] مقدار آن مستقل از مکانیزم حراج انتخابی (مکانیزم پرداخت بر مبنای پیشنهاد و مکانیزم قیمت تسویه کننده بازار) در بازار است، بنابراین پاسخ سوال اول طرح شده در رابطه با بیشتر بودن کارایی نسبی مکانیزم حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار به حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد این است که «با توجه به آنکه قیمت پیشنهادی ارائه شده از سوی بازیگران تابعی فزاینده از هزینه آنان است،در هر سطحی از تقاضای قابل تصور- فارغ از مکانیزم حراج انتخابی- تقاضای ارائه شده در بازار با کمترین هزینه ممکن تولید خواهد شد، بنابراین کارایی تولید در هر کدام از مکانیزم‌های حراج همسنگ و معادل با حداکثر کارایی قابل تصور است.»

٤-٢- مکانیزم حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد

در مکانیزم حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد، پرداخت به تولیدکنندگان بر مبنای پیشنهاد ارائه شده از سوی آنان صورت می گیرد، بنابراین در این مکانیزم سود هر بازیگر معادل

۱- این موضوع به طور کامل در این بخش اثبات خواهد شد.

Archive of SID

www.SID.ir

تفاوت بین نرخ پیشنهادی آن بازیگر با هزینه نهایی همان بازیگر است. با تشکیل تابع سود انتظاری هر کدام از بازیگران تابع پیشنهاد هر کدام از آنان قابل حصول است. در صورتی که هزینه بازیگر i $(i \neq j)$ معادل c_i باشد، سود انتظاری تولیدکننده i به صورت رابطه (۷) خواهد بود:

(۷)

$$\begin{aligned}\pi_i(b_i,c_i) &= kE\left\lfloor \alpha[b_i - c_i]I_{\{b_i \prec b_j\}} + \beta[b_i - c_i]I_{\{b_i \succ b_j\}} \middle| C_i = c_i \right\rfloor \\ &= k[b_i - c_i]\left\{\alpha - [\alpha-\beta]E\left[I_{\{b_i \prec b_j\}} \middle| C_i = c_i\right]\right\} \\ &= k[b_i - c_i]\left[\alpha - \beta_f \int_{\underline{c}}^{b^{-1}(b_i)} f(\tau|c)dt\right]\end{aligned}$$

در رابطه فوق $b^{-1}(b_i)$ تابع معکوس تابع $b(c_i)$ و در حقیقت همان هزینه نهایی(متغیر) بازیگر i است. با جایگذاری تابع توزیع نرمال در معادله (۷) و مشتق‌گیری برحسب b_i و حل معادله دیفرانسیل حاصله تابع پیشنهادی بازیگر i برای بازه تقاضای $d \in (0, 2k)$ قابل حصول است (رابطه (۸)):

(۸)

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial b_i} = k(\alpha - \beta_f \int_{\underline{c}}^{c_j} \frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\tau-\mu_\tau-\rho\frac{\sigma_\tau}{\sigma_{c_j}}(c_j-\mu_j)}{\sigma_\tau\sqrt{1-\rho^2}}\right)^2}}{\sqrt{2\pi}\sigma_\tau\sqrt{1-\rho^2}} d\tau) + \frac{b_i - c_i}{b'(c_j)}\left(-\beta_f \frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{c_j-\mu_j-\rho\frac{\sigma_{c_j}}{\sigma_{c_i}}(c_i-\mu_i)}{\sigma_{c_j}\sqrt{1-\rho^2}}\right)^2}}{\sqrt{2\pi}\sigma_{c_j}\sqrt{1-\rho^2}}\right)$$

با توجه به پیچیدگی فرم تبعی مربوطه —به واسطه پیچیدگی فرم تبعی تابع توزیع مشترک- از روش حل عددی برای به دست آوردن تابع پیشنهاد بهینه بازیگران استفاده می‌شود.

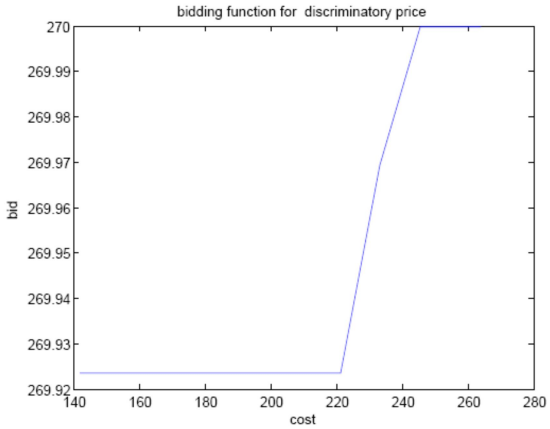
Archive of SID

www.SID.ir

یک تولیدکننده برای تأمین تقاضا مورد نیاز است ($d \in (0, k)$):

نتایج حاصل از حل عددی رابطه (۸) برای استخراج تابع پیشنهاد بازیگران با فرض استقلال بین هزینه‌های نهایی بازیگران در نمودار (۳) نمایش داده شده است. صعودی بودن تابع پیشنهاد بازیگران از رابطه شماره (۸) قابل نتیجه‌گیری است.

تابع پیشنهاد هر کدام از بازیگران به عنوان تابعی از هزینه نهایی(متغیر) آنها در دامنه (۱۴۲,۲۶۴) در نمودار (۳) نشان داده شده است. با توجه به این نمودار، تابع پیشنهاد هر کدام از بازیگران تابعی فزاینده از هزینه نهایی(متغیر) آنان است. این نتیجه از اهمیت بسیار خاصی در بررسی کارایی تولید در بازارهای برق برخوردار است، چرا که بنا به تحلیل ارائه شده در بخش قبل، صعودی بودن تابع پیشنهاد هرکدام از بازیگران شرط لازم برای کارایی بخش تولید به شمار می‌رود.



نمودار ۳- تابع پیشنهاد در مکانیزم حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد $d \in (0, k)$

نتایج به دست آمده از رابطه شماره (۸) تابع پیشنهاد ارائه شده در دامنه (۱۴۲,۲۶۴) توسط هر کدام از بازیگران، مستقل از نسبت ظرفیت نیروگاه‌ها و کل سطح تقاضای بازار است، چراکه در دامنه مورد بحث، کل تقاضای بازار تنها به وسیله کسری از کل ظرفیت

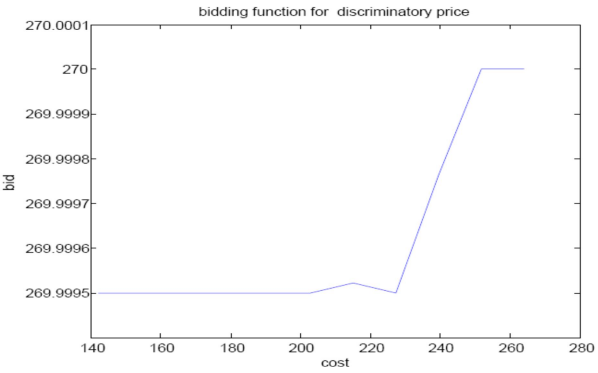
www.SID.ir

یکی از نیروگاه‌ها قابل پوشش بوده و اساساً لحاظ عامل محدودیت ظرفیت نسبت به تقاضای بازار در تابع پیشنهادی بازیگران فاقد موضوعیت است.

دو تولیدکننده برای تأمین تقاضا مورد نیاز است ($d \in (k\ ,\ ۲k)$):

تابع پیشنهاد هر کدام از بازیگران در بازه دوم مورد بررسی به عنوان تابعی از هزینه نهایی(متغیر) آنها، در دامنه (۱۴۶,۲۶۴) در نمودار (۴) نمایش داده شده است.

با توجه به نمودار (۴)، تابع پیشنهاد هر کدام از بازیگران تابعی فزاینده از هزینه نهایی(متغیر) آنان است. نکته قابل توجه در رابطه با تابع پیشنهادی بازیگران در بازه دوم تقاضا -در مقایسه با بازه نخست- ظهور پارامترهای تقاضا و ظرفیت نیروگاه ها در تابع پیشنهادی بازیگران است. به عبارت دیگر، نتایج شبیه‌سازی نشان می دهد در دامنه مورد بحث، تابع پیشنهادی هر بازیگر نه تنها تابعی از هزینه نهایی (متغیر) آن بازیگر، بلکه تابعی از شرایط پارامترهای تعیین کننده مازاد ظرفیت بازار نسبت به تقاضای کل نیز است. تابع پیشنهاد هر کدام از بازیگران به عنوان تابعی از تقاضای بازار با فرض مقدار مشخصی از ظرفیت در بازار، در بازه دوم $d \in (k\ ,\ ۲k)$ نشان داده شده است.



نمودار (٤)- تابع پیشنهاد در مکانیزم حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد $d \in (k\ ,\ ۲k)$

متناسب با افزایش نسبت کل تقاضای بازار به کل ظرفیت موجود در بازار (کاهش نسبت ظرفیت بیکار نیروگاه‌ها) افزایش می‌یابد. به طور مسلم افزایش قیمت پیشنهادی

Archive of SID

www.SID.ir

به واسطه افزایش نسبت کل تقاضای بازار به کل ظرفیت موجود در بازار نـه بـه واسـطه کمبود ظرفیت در بازار، بلکه به دلیل وجود قدرت بازار هر کدام از بازیگران در بـازار اتفاق میفتد، چراکه در بازه مورد بحث ($d \in (k\ ,\ ۲k)$) ظرفیت به اندازه کافی بـرای پوشش کل تقاضای بازار وجود خواهد داشت. با این حال افزایش با تقاضای بـازار(بـا فرض وجود مقدار معینی از ظرفیت نیروگاهی) احتمال رد پیشنهادهای بالای ارائه شده از سوی بازیگران کمتر و کمتر می‌شود. با توجه به اینکه در مدل ارائه شده، اطلاعـات بازیگران در رابطه با سطح کل تقاضای بازار کامل و متقارن است و همچنین با توجه به کاهش احتمال عدم پذیرش پیشنهادهای قیمتـی بـالاتر ارائـه شـده از سـوی بـازیگران، هرگونه افزایش تقاضایی در بازه یاد شده موجب ارائه پیشنهادهای بـالاتر از سـوی هـر کدام از بازیگران، فارغ از سطح هزینه نهایی(متغیر) آنان خواهد بود.

با توجه به فروض در نظر گرفته شده در مدل ارائه شده، قیمت پیشنهادی بـازیگران در بـازه سـوم ($d > ۲k$) معـادل حـداکثر قیمـت مجـاز تعیـین شـده از سـوی مـدیر بازار(سقف قیمتی) خواهد بود. محدود سازی بازار به سقف قیمتی (حد مجـاز پیشـنهاد قیمتی بازیگران) از مهم‌ترین مشخصه های بازارهای برق در اکثر کشورهایی که اقـدام به تجدید ساختار و مقررات‌زدایی (از جمله تشکیل بازار عمده فروشی برق) در صنعت برق کرده‌اند، محسوب می‌شود. از آغاز شـروع فرآینـد تجدیـد سـاختار اعمـال سـقف قیمتی در بـازار بـرق همـواره بـه عنـوان یکـی از مهـم‌تـرین گزینـه هـای کنتـرل رفتـار انحصاری بازیگران (به خصوص در شرایط قدرت بالای بازار) مطرح بوده است. با این حال برخی از اقتصاددانان و سیاست‌گذاران بخش برق، ناکـارایی‌هـای ناشـی از اعمـال سقف بـازار را بسـیار بیشـتر از اعمـال قـدرت انحصـاری بـازیگران در فرآینـد تجدیـد ساختار تلقی می‌کنند، چراکه به زعم آنها، وجود قدرت انحصاری بازیگران (و بـه تبـع آن قیمت‌های بالاتر برق در برخی از نقاط شـبکه) بـا ارسـال علائـم قیمتـی درسـت در رابطه با فرصت‌های سرمایه‌گذاری و سودآوری بـالا در نقـاط دارای کمبـود و نقصـان عرضه برق، موجب ترغیب و تشویق سرمایه‌گذاران به احداث نیروگاه‌ها در این مناطق،

Archive of SID

www.SID.ir

رفع کمبود و نقصان طرف عرضه و ارتقای پایداری و امنیت شبکه برق می‌شود، این در حالی است که اعمال سقف قیمتی با تخفیف یا از بین بردن علائم قیمتی مزبور می تواند موجب عدم توازن بلندمدت در عرضه و تقاضا و تهدید امنیت و پایداری شبکه برق شود. از طرفی اعمال سقف قیمتی با اخلال در علائم لازم برای جیره‌بندی در سمت تقاضا و عدم واکنش مصرف‌کنندگان به کمبودهای سمت عرضه می‌تواند تهدیدی جدی برای امنیت و پایداری شبکه برق محسوب شود. بر این اساس سقف قیمتی در برخی از بازارهای برق، مانند استرالیا و ایالت‌های پنسلوانیا، نیوجرسی و مریلند *PJM* [1] در سطح بسیار بالایی تعیین شده به طوری که موارد بسیار معدودی از برابری قیمت با سقف بازار در این بازارها مشاهده شده است. بررسی مقایسه‌ای سیاست‌های اعمال یا عدم اعمال سقف قیمتی در بازارهای برق و احصاء منافع و مضرات هر کدام از این سیاست ها - خارج از حوزه بررسی مقاله حاضر- نیازمند بررسی و پژوهش عمیق تر در این زمینه است. با این حال با توجه به اعمال سقف قیمتی در بازار برق ایران، مدل ارائه شده در این مقاله با فرض اعمال سقف قیمتی در بازار برق طرح و ارائه شده است.

وجود قدرت بازار بازیگران - با فرض وجود کارایی در بخش تولید- حاکی از آن است که قیمت های انتظاری پایین‌تر به مفهوم کارایی کل بیشتر در بازار است. بر این اساس برای مقایسه کارایی کل هر کدام از مکانیزم‌های حراج، ضروری است متوسط قیمت انتظاری در هر کدام از سیستم‌ها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. در این راستا در این قسمت متوسط قیمت انتظاری بازار در مکانیزم حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. بررسی و تجزیه و تحلیل متوسط قیمت انتظاری در مکانیزم قیمت تسویه‌کننده بازار پس از ارائه و حل مدل در مکانیزم مزبور صورت خواهد پذیرفت.

1- Pennsylvania New Jersey Maryland Electricity Market

Archive of SID

www.SID.ir

متوسط قیمت انتظاری در بازه $d \in (۰ , k)$ بر اساس رابطه (۹) قابل حصول است:

(۹)

$$E[pd] = \frac{۱}{\alpha+\beta} E\left[\alpha b_d^*(c_i) I_{\{b_d^*(c_i) \prec b_d^*(c_j)\}} + \beta b_d^*(c_i) I_{\{b_d^*(c_i) \succ b_d^*(c_j)\}}\right]$$
$$+ \frac{۱}{\alpha+\beta} E\left[\alpha b_d^*(c_j) I_{\{b_d^*(c_j) \prec b_d^*(c_i)\}} + \beta b_d^*(c_i) I_{\{b_d^*(c_j) \succ b_d^*(c_i)\}}\right]$$

با توجه به توابع پیشنهادی یکسان بازیگران و همچنین با توجه به اینکه متغیرهای اطلاعاتی از یک تابع توزیع نرمال استخراج می‌شوند قیمت متوسط انتظاری به صورت رابطه (۱۰) خواهد بود:

(۱۰)

$$E[pd] = \frac{۲\alpha}{\alpha+\beta} E\left[b_d^*(c_i) I_{\{b_d^*(c_i) \prec b_d^*(c_j)\}}\right] + \frac{۲\beta}{\alpha+\beta} E\left[b_d^*(c_i) I_{\{b_d^*(c_i) \succ b_d^*(c_j)\}}\right]$$
$$= \frac{۲\alpha}{\alpha+\beta} E\left[b_d^*(c_j)\right] - \frac{\alpha-\beta}{\alpha+\beta} E\left[۲\beta b_d^*(c_i) I_{\{b_d^*(c_i) \succ b_d^*(c_j)\}}\right]$$

با توجه به اینکه تابع پیشنهادی نسبت به c اکیداً صعودی است، رابطه (۱۰) به صورت رابطه (۱۱) ساده می‌شود:

(۱۱)

$$E[pd] = \frac{۲\alpha}{\alpha+\beta} \int_{.}^{\bar{c}} b_d^*(c) \int_{.}^{\bar{c}} f(\tau, c) d\tau dc) - \frac{۲\beta f}{\alpha+\beta} \int_{.}^{\bar{c}} b_d^*(c) \int_{.}^{\bar{c}} f(\tau, c) d\tau dc)$$

با در نظر گرفتن تابع توزیع نرمال و حل رابطه (۱۱) متوسط قیمت انتظاری به صورت رابطه (۱۲) خواهد بود:

(۱۲)

$$E[P_d] = \frac{۲\alpha}{\alpha+\beta} \int_{\underline{c}}^{\bar{c}} b^*{}_d(c) \int_{\underline{c}}^{\bar{c}} \frac{e^{\left[-\frac{۱}{۲(۱-\rho^۲)}\left[\left(\frac{\xi-\mu_\xi}{\sigma_\xi}\right)^۲ + \left(\frac{c-\mu_c}{\sigma_c}\right)^۲ - ۲\rho\left(\frac{\xi-\mu_\xi}{\sigma_\xi}\right)\left(\frac{c-\mu_c}{\sigma_c}\right)\right]\right]}}{۲\pi\sigma_\xi\sigma_c\sqrt{۱-\rho^۲}} d\xi dc$$
$$- \frac{۲\beta_f}{\alpha+\beta} \int_{\underline{c}}^{\bar{c}} b^*{}_d(c) \int_{\underline{c}}^{c} \frac{e^{\left[-\frac{۱}{۲(۱-\rho^۲)}\left[\left(\frac{\xi-\mu_\xi}{\sigma_\xi}\right)^۲ + \left(\frac{c-\mu_c}{\sigma_c}\right)^۲ - ۲\rho\left(\frac{\xi-\mu_\xi}{\sigma_\xi}\right)\left(\frac{c-\mu_c}{\sigma_c}\right)\right]\right]}}{۲\pi\sigma_\xi\sigma_c\sqrt{۱-\rho^۲}} d\xi dc$$

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به عدم امکان حل پارامتریک رابطه (۱۲) از روش شبیه سازی عددی برای محاسبه و بررسی و تجزیه و تحلیل متوسط قیمت انتظاری بازار در بازه‌های مختلف تقاضا استفاده شده است.

یک تولیدکننده برای تأمین تقاضا مورد نیاز است $(d \in (۰ , k))$:

نتایج حاصل از محاسبات عددی در بازه نخست تقاضا $(d \in (۰ , k))$ با فرض عدم وجود همبستگی بین هزینه‌های نهایی بازیگران در جدول (۳) آمده است. با توجه به نتایج به دست آمده از مدل، متوسط قیمت انتظاری در بازه اول مورد بررسی ثابت و مستقل از تغییرات در میزان تقاضا است.

جدول (۳)- متوسط قیمت انتظاری در مکانیزم حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد با فرض استقلال

D	α	β	ضریب همبستگی	δ	E(Pd)
۱۰	.۱	۰	۰	۱	۲۶۸,۵۷۰۴
۳۰	.۳	۰	۰	۱	۲۶۸,۵۷۰۴
۵۰	.۵	۰	۰	۱	۲۶۸,۵۷۰۴
۸۰	.۸	۰	۰	۱	۲۶۸,۵۷۰۴
۱۰۰	۱	۰	۰	۱	۲۶۸,۵۷۰۴

دو تولیدکننده برای تأمین تقاضا مورد نیاز است $(d \in (k , ۲k))$:

نتایج حاصل از محاسبات عددی در بازه دوم تقاضا $(d \in (k , ۲k))$ با فرض عدم وجود همبستگی بین هزینه‌های نهایی بازیگران در جدول (۴) آمده است. همانند حالت قبل (فرض وجود همبستگی بین هزینه‌های نهایی بازیگران)، متوسط قیمت انتظاری در بازه دوم مورد بررسی، تابعی فزاینده از میزان تقاضای بازار است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- متوسط قیمت انتظاری در مکانیزم حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد با فرض استقلال

D	α	β	ضریب همبستگی	δ	*E(Pd)*
۱۰۰	۱	۰	۰	۱	۲٦۸,٥۷۰٤
۱۱۰	۱	.۱	۰	۱	۲٦۸,۷٤٥٥
۱۲۰	۱	.۲	۰	۱	۲٦۸,۹۸۱۳
۱۳۰	۱	.۳	۰	۱	۲٦۹,۱۷۸۳
۱٤۰	۱	.٤	۰	۱	۲٦۹,۳٤٦۷
۱٥۰	۱	.٥	۰	۱	۲٦۹,٤۹۲٤
۱٦۰	۱	.٦	۰	۱	۲٦۹,٦۱۹۸
۱۷۰	۱	.۷	۰	۱	۲٦۹,۷۳۲۱
۱۸۰	۱	.۸	۰	۱	۲٦۹,۸۳۲۰
۱۹۰	۱	.۹	۰	۱	۲٦۹,۹۲۱۳
۲۰۰	۱	۱	۰	۱	۲۷۰,۰۰۱۷

٤-۳- مکانیزم قیمت تسویه‌کننده بازار

در مکانیزم قیمت تسویه‌کننده بازار، قیمت بازار و قیمت پرداختی به هر کدام از بازیگران مساوی و معادل با بیشترین قیمت پیشنهادی پذیرفته شده در بازار خواهد بود. مکانیزم قیمت تسویه‌کننده بازار دارای تشابه کامل با بازار کالاها در یک بازار طبیعی(سیستم مبادله‌ای که در آن افراد به صورت داوطلبانه و بدون وجود یک حراج‌کننده مرکزی به مبادله و داد و ستد می‌پردازند) است. در این بازارها عرضه‌کننده‌ای با بیشترین پیشنهاد قیمتی که در قیمت پیشنهادی ارائه شده موفق به فروش کالای خود می‌شود، تعیین‌کننده قیمت بازار خواهد بود و در این قیمت، تمامی عرضه‌کنندگان دیگر موفق به فروش کالای خود به بالاترین قیمت پذیرفته شده در بازار خواهند بود.

در بازارهای برق، تحت مکانیزم حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار، مدیر بازار پیشنهادات قیمتی ارائه شده از سوی عرضه‌کنندگان را دریافت و با توجه به کل تقاضای بازار عرضه‌کنندگان، کمترین قیمت پیشنهادی ارائه شده را انتخاب و بالاترین قیمت

Archive of SID

www.SID.ir

پیشنهادی ارائه شده را مبنای پرداخت و تسویه حساب با عرضه کنندگان پذیرفته شده در بازار قرار می‌دهد[۱].

در مکانیزم قیمت تسویه‌کننده بازار - در صورتی که تقاضای کل بازار از ظرفیت تولید یک تولیدکننده تجاوز نکند- کل تقاضای بازار توسط بازیگر برنده پوشش داده خواهد شد. در این حالت با توجه به اینکه موقعیت رقابتی در بازه نخست (یعنی زمانی‌که بازه تقاضا بین ۰ و k است) دقیقاً همانند مکانیزم حراج مبتنی بر قیمت پیشنهادی است، قیمت پیشنهادی هر کدام از بازیگران دقیقاً همانند قیمت پیشنهادی بازیگران در مکانیزم موردنظر خواهد بود.

در بازه دوم تقاضا با توجه به اینکه ظرفیت تولید در اختیار هر دو بازیگر (البته نه به طور کامل) برای تأمین تقاضا ضروری است، لازم است همه گزینه‌های قابل تصور در بازار از جمله برد و باختن در محاسبه سود انتظاری مد نظر قرار گیرند. سود انتظاری تولیدکننده i با فرض $i \neq j$ معادل رابطه (۱۳) خواهد بود:

(۱۳)

$$\pi_i(b_i,c_i) = E\left\lfloor k(b_i - c_i) I_{\{b_i \prec b_j\}} + [d-k][b_i - c_i] I_{\{b_i \succ b_j\}} \right\rfloor$$
$$= k \int_{b^{-1}(b_i)}^{\bar{c}} [b(c_i) - c_i] f(c_j \mid c_i)\, k\, \beta [b_i - c_i] \int_{\cdot}^{b^{-1}(b_i)} f(c_j \mid c_i)\, dc_i$$

با جایگذاری تابع شرطی توزیع نرمال در رابطه (۱۳) و حل شرایط لازم برای حداکثرسازی تابع سود انتظاری، تابع پیشنهاد در بازه دوم تقاضا (شرایطی که تقاضا بین k و $2k$) باشد به صورت رابطه (۱۴) خواهد بود:

۱- طبیعی است که در صورت برقراری شرایط رقابت کامل و فقدان قدرت بازار، قیمت پیشنهادی ارائه شده توسط هر کدام از بازیگران معادل هزینه نهایی آنان خواهد بود، چرا که پیشنهاد قیمتی پایین تر از هزینه نهایی موجب متضرر شدن بازیگران و پیشنهاد قیمتی فراتر از هزینه نهایی موجب عدم پذیرش آنان در بازار خواهد گشت.

Archive of SID

www.SID.ir

(۱۴)

$$\frac{\partial \pi_i\left(b_i,c_i\right)}{\partial b_i}=$$

$$k\left\{\beta F\left(b^{-1}(b_i)\middle|c_i\right)-[1-\beta][b_i-c_i]\frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{b^{-1}(b_i)-\mu_{b^{-1}(b_i)}-\rho\frac{\sigma_{b^{-1}(b_i)}}{\sigma_{c_i}}(c_i-\mu_{c_i})}{\sigma_{b^{-1}(b_i)}\sqrt{1-\rho^2}}\right)^2}}{\sqrt{2\pi}\sigma_{b^{-1}(b_i)}\sqrt{1-\rho^2}}}{b\left(b^{-1}(b_i)\right)'}\right\}$$

$$=k\left\{\beta F\left(b^{-1}(b_i)\middle|c_i\right)-\beta_f\left[b_i-c_i\right]\frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{b^{-1}(b_i)-\mu_{b^{-1}(b_i)}-\rho\frac{\sigma_{b^{-1}(b_i)}}{\sigma_{c_i}}(c_i-\mu_{c_i})}{\sigma_{b^{-1}(b_i)}\sqrt{1-\rho^2}}\right)^2}}{\sqrt{2\pi}\sigma_{b^{-1}(b_i)}\sqrt{1-\rho^2}}}{b\left(b^{-1}(b_i)\right)'}\right\}$$

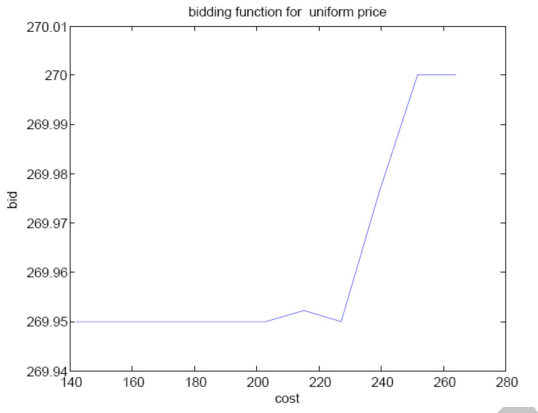
با توجه به پیچیدگی رابطه (۱۴) و عدم امکان حل ریاضی آن، همانند روش به کار برده شده در مکانیزم حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد از روش حل عددی برای استخراج توابع پیشنهاد بازیگران استفاده شده است.

نتایج حاصل از حل عددی رابطه (۱۴) برای استخراج تابع پیشنهاد بازیگران در نمودار (۵) نمایش داده شده است. صعودی بودن تابع پیشنهاد بازیگران از رابطه شماره (۱۴) قابل نتیجه‌گیری است[1].

۱- قسمت نزولی نمودارهای شماره (۴-۶) و (۴-۷) مربوط به خطای محاسباتی ناشی از فرآیند استخراج تابع پیشنهاد است. خطاهای مزبور با کاهش دامنه تغییر کمتر و کمتر شده و در نهایت به مقدار صفر میل می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار (۵)- تابع پیشنهاد در مکانیزم حراج مبتنی بر قیمت تسویه کننده بازار $d \in (k\ ,\ ۲k)$

همانند مورد مکانیزم حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد - در بازه دوم تقاضا- با افزایش تقاضا، قیمت‌های پیشنهادی بازیگران افزایش خواهد یافت.

در شرایطی که کل تقاضای بازار بیشتر از ظرفیت یک تولیدکننده اما کمتر از کل ظرفیت موجود در بازار باشد $(d \in (k\ ,\ ۲k))$، توابع پیشنهاد بازیگران در حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار متفاوت از پیشنهاد آنان در مکانیزم حراج مبتنی بر قیمت پیشنهادی خواهد بود، چراکه بازیگر با بالاترین قیمت پیشنهادی پذیرفته شده در بازار تعیین‌کننده قیمت واحد بازار خواهد بود. تحت چنین شرایطی انگیزه بازیگران برای ارائه قیمت‌های بالا تخفیف می‌یابد، چراکه ارائه قیمت های بالا احتمال بازنده شدن بازیگر پیشنهاددهنده قیمت بالا را افزایش خواهد داد این در حالی است که به ازای هر کیلووات ساعت تولیدی مبلغ واحدی به بازیگران (برنده و بازنده) پرداخت خواهد شد، بنابراین در مکانیزم حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار، بازیگران ترجیح خواهند داد به جای ارائه پیشنهادات قیمتی بالا و افزایش احتمال عدم پذیرش، این امر را به بازیگر دیگر واگذار و از قیمت بالای پیشنهادی ارائه شده توسط آن بازیگر (قیمت تسویه‌کننده بازار) منتفع شوند.

در شرایطی که هر دو بازیگر استراتژی خود را به این صورت تنظیم کنند، نتیجه نهایی ارائه پیشنهادات قیمتی پایین‌تر (در مقایسه با مکانیزم حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد) توسط بازیگران خواهد بود. با این حال هیچ تضمینی در رابطه با کمتر (یا بیشتر)

Archive of SID

www.SID.ir

بودن متوسط قیمت انتظاری مصرف‌کنندگان در این مکانیزم نسبت به مکانیزم حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد وجود نخواهد داشت، چراکه تحت این مکانیزم پرداخت بالاترین قیمت پیشنهادی پذیرفته شده در بازار به همه بازیگران، می‌تواند قیمت‌های پیشنهادی پایین‌تر ارائه شده از سوی بازیگران را جبران و متوسط قیمت انتظاری مصرف‌کنندگان را افزایش دهد. بررسی و مقایسه دقیق متوسط قیمت انتظاری تحت هر کدام از مکانیزم های حراج مستلزم حل دقیق مدل در مکانیزم حراج مبتنی بر قیمت تسویه بازار و مقایسه متوسط قیمت انتظاری مصرف‌کنندگان در این حالت با متوسط قیمت انتظاری مصرف‌کنندگان در مکانیزم حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد است.

به طور طبیعی در بازه سوم تقاضا و بکارگیری کل ظرفیت موجود در بازار، بازیگران قادر به افزایش قیمت پیشنهادی خود تا سقف قیمتی تعیین شده در بازار، بدون هراس از عدم پذیرش پیشنهاد ارائه شده خواهند بود. بنابراین در بازه سوم تقاضا، تابع پیشنهادی بازیگران در مکانیزم حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار دقیقاً معادل تابع پیشنهادی آنان در مکانیزم حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد(سقف قیمت بازار) خواهد بود.

با توجه به توابع پیشنهاد بازیگران در مکانیزم حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار در تمامی بازه‌های تقاضا، متوسط قیمت انتظاری بازار به صورت رابطه (۱۵) خواهد بود:

(۱۵)

$$E[p_a]=E\left[b_a^*(c_i)I_{\{b_a^*(c_i)\succ b_a^*(c_j)\}}+b_a^*(c_j)I_{\{b_a^*(c_j)\succ b_a^*(c_i)\}}\right]$$

با توجه به تابع پیشنهاد یکسان، متوسط قیمت انتظاری برابر است با (رابطه (۱۶)):

(۱۶)

$$E[p_a]=2E\left[b_a^*(c_i)I_{\{b_a^*(c_i)\succ b_a^*(c_j)\}}\right]$$

با توجه به اینکه تابع پیشنهاد، تابعی اکیداً صعودی از هزینه نهایی (متغیر) بازیگران است، رابطه (۱۶) به صورت رابطه (۱۷) قابل ساده‌سازی است:

Archive of SID

www.SID.ir

(۱۷)

$$E[p_a] = ۲E\left[b_a^*(c_i) I_{\{c_i \succ c_j\}}\right] = ۲\int_0^{\bar{c}} \int_0^{\bar{c}} b_a^*(c) f(\tau, c) d\tau dc$$

متوسط قیمت انتظاری در حراج با قیمت یکسان و با در نظر گرفتن تابع توزیع نرمال به صورت رابطه (۱۸) محاسبه می‌شود:

(۱۸)

$$E[P_d] = \frac{۲\alpha}{\alpha+\beta} \int_{\underline{c}}^{\bar{c}} b^*{}_d(c) \int_{\underline{c}}^{\bar{c}} \frac{e^{\left[-\frac{۱}{۲(۱-\rho^۲)}\left[\left(\frac{\xi-\mu_\xi}{\sigma_\xi}\right)^۲ + \left(\frac{c-\mu_c}{\sigma_c}\right)^۲ - ۲\rho\left(\frac{\xi-\mu_\xi}{\sigma_\xi}\right)\left(\frac{c-\mu_c}{\sigma_c}\right)\right]\right]}}{۲\pi\sigma_\xi\sigma_c\sqrt{۱-\rho^۲}} d\xi dc$$
$$-۲\frac{2\beta_f}{\alpha+\beta} \int_{\underline{c}}^{\bar{c}} b^*{}_d(c) \int_{\underline{c}}^{c} \frac{e^{\left[-\frac{1}{۲(۱-\rho^۲)}\left[\left(\frac{\xi-\mu_\xi}{\sigma_\xi}\right)^۲ + \left(\frac{c-\mu_c}{\sigma_c}\right)^۲ - ۲\rho\left(\frac{\xi-\mu_\xi}{\sigma_\xi}\right)\left(\frac{c-\mu_c}{\sigma_c}\right)\right]\right]}}{۲\pi\sigma_\xi\sigma_c\sqrt{۱-\rho^۲}} d\xi dc$$

رابطه (۱۸) مبنای محاسبه متوسط قیمت تمام شده در هر کدام از بازه های مورد بررسی است.

یک تولیدکننده برای تأمین تقاضا مورد نیاز است ($d \in (۰, k)$):

با توجه به یکسان بودن توابع پیشنهادی بازیگران در بازه نخست، متوسط قیمت انتظاری در حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار دقیقاً معادل متوسط قیمت انتظاری در حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد خواهد بود[۱] بنابراین در این حالت متوسط قیمت انتظاری در بازه اول مورد بررسی ثابت و مستقل از تغییرات در میزان تقاضا است.

دو تولیدکننده برای تأمین تقاضا مورد نیاز است ($d \in (k, ۲k)$):

با افزایش تقاضا و قرار گرفتن تقاضا در بازه $d \in (k, ۲k)$ در حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار، پیشنهاد تولیدکننده بازنده، قیمت یکسان را تعیین می‌کند بنابراین با $j \neq i$، متوسط قیمت انتظاری در حراج با قیمت یکسان برابر است با (رابطه (۱۹)):

۱- این امر به طور مستقیم از شبیه سازی عددی رابطه (۱۸) نیز قابل احصاء است.

Archive of SID

www.SID.ir

(۱۹)

$$E[p_u]=E\left[b_u^*(c_i)I_{\{b_u^*(c_i)\succ b_u^*(c_j)\}}+b_u^*(c_j)I_{\{b_u^*(c_j)\succ b_u^*(c_j)\}}\right]$$

باتوجه به توابع پیشنهاد یکسان، متوسط قیمت انتظاری در این مکانیزم حراج برابر است با (رابطه (۲۰)):

(۲۰)

$$E[p_u]=۲E\left[b_u^*(c_i)I_{\{b_u^*(c_i)\succ b_u^*(c_j)\}}\right]$$

چون تابع پیشنهاد نسبت به c اکیداً صعودی است، این عبارت را می‌توان به صورت رابطه (۲۱) ساده کرد:

(۲۱)

$$E[p_u]=۲E\left[b_u^*(c_i)۱_{\{c_i\succ c_j\}}\right]$$
$$=۲\int_{\underline{c}}^{\bar{c}}\int_{\underline{c}}^{c}b_u^*(c)\frac{e^{\left[-\frac{۱}{۲(۱-\rho^۲)}\left[\left(\frac{\tau-\mu_\tau}{\sigma_\tau}\right)^۲+\left(\frac{c-\mu_c}{\sigma_c}\right)^۲-۲\rho\left(\frac{\tau-\mu_\tau}{\sigma_\tau}\right)\left(\frac{c-\mu_c}{\sigma_c}\right)\right]\right]}}{۲\pi\sigma_\tau\sigma_c\sqrt{۱-\rho^۲}}d\tau dc$$

با توجه به عدم امکان حل ریاضی رابطه (۲۱) از روش حل عددی برای حل این رابطه استفاده شده است.

نتایج حاصل از محاسبات عددی در بازه دوم تقاضا ($d\in(k\ ,\ ۲k)$)، در جدول (۵) نمایش داده شده است. با توجه به اطلاعات جدول (۵) متوسط قیمت انتظاری - در بازه دوم مورد بررسی- تابعی فزاینده از میزان تقاضای بازار است. با توجه به استخراج متوسط قیمت انتظاری بازار از تابع پیشنهاد بازیگران و با توجه به افزایش قیمت پیشنهادی بازیگران (در هر سطح معینی از هزینه) به واسطه افزایش در سطح تقاضای بازار، متوسط قیمت انتظاری بازار متناسب با افزایش در سطح تقاضای بازار، افزایش خواهد یافت.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (۵)- متوسط قیمت انتظاری در مکانیزم حراج قیمت تسویه کننده بازار $d \in (k, 2k)$

$E(Pu)$	δ	ضریب همبستگی	β	α	D
۲۶۷,۹۰۶۹	۱	۰	.۱	۱	۱۱۰
۲۶۸,۶۰۸۲	۱	۰	.۲	۱	۱۲۰
۲۶۸,۹۶۰۶	۱	۰	.۳	۱	۱۳۰
۲۶۹,۲۰۶۶	۱	۰	.٤	۱	۱٤۰
۲۶۹,۳۹۹۰	۱	۰	.۵	۱	۱۵۰
۲۶۹,۵۵۷۵	۱	۰	.٦	۱	۱٦۰
۲۶۹,٦۹۲۱	۱	۰	.۷	۱	۱۷۰
۲۶۹,۸۰۸٦	۱	۰	.۸	۱	۱۸۰
۲۶۹,۹۱۰۹	۱	۰	.۹	۱	۱۹۰
۲۷۰,۰۰۱۷	۱	۰	۱	۱	۲۰۰

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله در راستای تأثیر مکانیزم حراج انتخابی از بین حراج های متداول در بازارهای برق (حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار و حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد) بر کارایی تولید، کارایی کل و متوسط قیمت انتظاری بازار، کل تقاضای بازار (در رابطه با ظرفیت بازار) به سه بازه مجزا تقسیم و رفتار استراتژیک بازیگران در بازه‌های مورد نظر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تجزیه و تحلیل‌های ارائه شده در چارچوب مدل، حاکی از برابری کارایی تولید در مکانیزم‌های حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد و قیمت تسویه‌کننده بازار است اما در مکانیزم حراج قیمت تسویه‌کننده بازار، متوسط قیمت انتظاری کمتر و کارایی کل بیشتر است.

در تحلیل ارائه شده، برابری کارایی تولید در مکانیزم‌های حراج مورد بررسی از حصول حداکثر کارایی ممکن (حداقل هزینه بهره‌برداری در بازار) در هر کدام از مکانیزم‌های حراج مورد بررسی، منتج شد. حصول حداکثر کارایی ممکن به‌نوبه خود از

Archive of SID

www.SID.ir

فرض صعودی بودن تابع پیشنهاد بازیگران نسبت به هزینه نهایی(متغیر) آنان ناشی شد؛ فرضی که با استخراج توابع پیشنهاد بازیگران صحت آن مورد تأیید قرار گرفت. در چارچوب مدل ارائه شده، صعودی بودن تابع پیشنهادی بازیگران نسبت به هزینه نهایی(متغیر) آنان با توجه به تقارن در توابع پیشنهادی بازیگران، حاکی از انتخاب بازیگر با هزینه نهایی(متغیر) کمتر به عنوان برنده بازار و در نتیجه تولید برق با کمترین هزینه ممکن در هر سطح قابل تصوری از تقاضا بود.

با توجه به برابری کارایی تولید در هر کدام از مکانیزم های حراج مبتنی بر قیمت پیشنهادی و قیمت تسویه‌کننده بازار و همچنین وجود قدرت بازار، مقایسه کارایی کل تنها با مقایسه متوسط قیمت انتظاری تحت هر کدام از مکانیزم‌های مزبور امکانپذیر بود. با فرض استخراج پیروی تابع اطلاعات بازیگران از تابع توزیع نرمال نتایج حاصله حاکی از آن است که اگرچه کارایی تولید در هر کدام از مکانیزم‌ها معادل هم است اما مکانیزم حراج قیمت تسویه‌کننده بازار متوسط قیمت انتظاری کمتر و کارایی کل بیشتری را نتیجه می‌دهد.

نتایج حاصله از مقاله حاضر مبنی بر کمتر بودن متوسط قیمت انتظاری و بیشتر بودن کارایی کل تحت اعمال مکانیزم حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار نسبت به مکانیزم حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد است که با لحاظ تمامی محدودیت‌ها و نواقص مربوط به مطالعه، حاکی از برتری نسبی مکانیزم حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار نسبت به مکانیزم حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد است. در این راستا اگرچه اظهارنظر قاطع در خصوص لزوم تغییر مکانیزم حراج مورد کاربست در بازار برق ایران (مکانیزم حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد) نیازمند انجام بررسی‌ها و تحقیقات بیشتری در این زمینه است با این حال نتایج حاصله از مقاله حاضر می‌تواند نقطه شروع مناسبی مبنی بر ایجاد شک در رابطه با بهینگی مکانیزم حراج مورد استفاده در بازار برق ایران تلقی شود.

Archive of SID

www.SID.ir

٦- منابع

الف) فارسی

- عبائی، محمد (۱۳۸۹)، «طراحی بازار برق روباز»، رساله کارشناسی ارشد برق، دانشگاه تهران.

ب) انگلیسی

1- Bower J, Bunn D W (2001), "Experimental Analysis of The Efficiency of Uniform-Price Versus" *Journal of Economic Dinamics and Control*.

2- Cramton, P., "Auction Design and Strategy: Principles and Practice", Market Design Inc., University of Maryland.

3- Fabra N, (2006), "Von Der Fehr N-H M, Harbord D C Designing Electricity Auctions", *Rand Journal of Economics,* 37(1), pp. 23–46.

4- Federico G., Rahman D. (2003), " Bidding in an Electricity Pay-as-Bid Auction", *Journal of Regulatory Economics*; 24:2, pp. 175-211.

5- Genc, Talat (2007), "Discriminatory Versus Uniform-Price Auctions With Supply Function Equilibrium", University of Guelph, December.

6- Hudson, R., "Analysis of Uniform and Discriminatory Price Auctions in Restructured Electricity Markets", *Energy Division Oak National Laboratory Oak Ridge*, Tennessee.

7- Kahn, Alfred, E. et al (2001), "Uniform Pricing or Pay-as-Bid Pricing: A Dilemma for California and Beyond", *The Electricity Journal*, pp. 70- 79 July.

8- Laffer, Arthur B. and Patrick N. Giordano (2005), "Exelon Rex, Will Power Deregulation in Illinois Benefit Consumers Or Utilities?" *Wall Street Journal*, Dec. 1,.

9- Lawrence M. Ausubel, Peter Cramton (2010), "Using Forward Markets to Improve Electricity Market Design", Utilities Policy, vol. 18 (2010) 195e200.

10- Mount, Timothy (1999), "Market Power And Price Volatility In Restructured Markets For Electricity", IEEE Proceedings of The Hawaii International Conference on System Sciences, Maui, Hawaii, Jan 5-8.

11- Peter Cramton (2004), "Competitive Bidding Behavior In Uniform-Price Auction Markets", *Proceedings of The Hawaii International Conference On System Sciences*, January.

12- Peter Cramton (2003), "Electricity Market Design: The Good, The Bad, And The Ugly*", Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences,* January.

Archive of SID

www.SID.ir

13- Rassenti, S., et al. (2001), “Discriminatory Price Auctions in Electricity Markets: Low Volatility at the Expense of High Price Levels”, George Mason University, October.

14- Tierney, S.F. et al. (2008), “Uniform Pricing Versus Pay-as-Bid in Wholesale Electricity Markets: Does it Make a Difference?” Analysis Group and New York Independent System Operator, March.

Archive of SID

www.SID.ir