

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار

حراج قیمت تسویه‌کننده بازار

جمشید پژویان*، تیمور محمدی**، جاوید بهرامی*** و فرامرز اتباعی****

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۳۰

چکیده

بررسی تأثیر سازوکار (مکانیزم) حراج انتخابی از بین حراج‌های 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 در شرایط عدم تقارن اطلاعات بازیگران نسبت به هزینه نهایی بازیگر رقیب، موضوع مقاله حاضر را تشکیل می‌دهد. در این راستا برای بررسی مقایسه‌ای سازوکارهای حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد و قیمت تسویه‌کننده بازار، با توجه به ساختار بازار برق ایران مدلی ساده شامل دو بازیگر، با اطلاعات کامل نسبت به هزینه نهایی خود و اطلاعات ناقص در ارتباط با هزینه نهایی حریف طرح‌ریزی و نتایج حاصل در ارتباط با هر کدام از سازوکارها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج حاصل حاکی از آن است که گرچه توابع پیشنهادی بازیگران در سازوکارهای حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد و قیمت تسویه‌کننده بازار متفاوت از یکدیگرند، با این حال، کارایی تولید، کارایی کل و متوسط قیمت انتظاری در هر کدام از سازوکارها معادل هم هستند.

طبقه‌بندی JEL: D43, D44, D47, L94

کلیدواژه‌ها: حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار، حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد، طراحی مکانیزم و بازار برق.

* استاد دانشگاه علامه طباطبائی.

** استادیار دانشگاه علامه طباطبائی.

*** استادیار دانشگاه علامه طباطبائی.

**** دانشجوی دکترای دانشگاه علامه طباطبائی (نویسنده مسئول)، پست الکترونیکی: Fatbaei@yahoo.com

۱- مقدمه

تغییر نگرش به صنعت برق، از صنعتی با ویژگی‌های انحصار طبیعی به حوزه‌ای که می‌توان رقابت را حداقل در سطوح تولید و خرده‌فروشی گسترش داد، از اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی در بین بیشتر کشورهای دنیا رواج یافته و زمینه‌های تجدید ساختار و تغییر نگرش به تنظیم مقررات را در این صنعت فراهم کرده است.

با توجه به خصوصیات برق، طراحی سازوکار تخصیصی که علاوه بر تضمین پایایی و قابلیت اطمینان شبکه برق، کارکرد بهینه و مطلوب صنعت برق را به لحاظ معیارهای اقتصادی، تضمین کند، از حساسیت و اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. به طور کلی، در ادبیات اقتصادی، سازوکارها و قواعدی که بازیگران یک بازار در چهارچوب آن به فعالیت می‌پردازند، از درجه اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. سازوکارها و قواعد مزبور با تعیین سیستم پاداش و تنبیه برای هر یک از بازیگران، مسیر و نحوه دستیابی به منافع شخصی آنان را مشخص می‌کنند. مسیر و نحوه دستیابی هر یک از بازیگران بازار به اهداف و منافع شخصی به‌نوبه خود تعیین‌کننده شاخص‌های عملکرد بازار است. از این جنبه، در بازار برق، طراحی سازوکارهای مبادلاتی که تا حد ممکن دارای قابلیت‌هایی مانند سازوکارهای مبادلاتی موجود در بازار رقابت کامل است یا نتایجی مانند نتایج بازارهایی با این خصوصیات را فراهم کند، از نقش و درجه اهمیت بسیار بالایی در فرآیند تجدید ساختار صنعت برق برخوردار است.

با توجه به لزوم برقراری لحظه به لحظه تعادل عرضه و تقاضای برق، برای حصول از قابلیت اطمینان سازوکار، بازارهای برق ایجاد شده در کشورهایی که فرآیند تجدید ساختار در صنعت برق را آغاز کرده‌اند، بازارهایی با سازوکار حراج از پیش تعیین شده هستند. از ابتدای شروع راه‌اندازی بازارهای برق، سازوکار قیمت تسویه‌کننده بازار^۱ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گزینه‌های اجرا و تسویه این بازارها مطرح بوده است. با این حال، سازوکار پرداخت بر مبنای پیشنهاد^۲ نیز با هدف کنترل رفتارهای ناشی از

1- System Marginal Price

2- Pay as Bid

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۳

قدرت بالای بازار^۱ و کاهش قیمت عمده‌فروشی (Laffer and Giordano, 2005)، در برخی از بازارهای برق (از جمله بازار برق ایران) مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به نقش و اهمیت بسیار بالای نوع سازوکار حراج بر کارایی بازار، بررسی مقایسه‌ای سازوکارهای حراج رایج در بازارهای برق دنیا (سازوکار قیمت تسویه‌کننده بازار و سازوکار 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 ارتباط با تأثیر انتخاب سازوکار حراج بر کارکرد بازارهای برق حجم کمی از ادبیات حوزه اقتصادی را به خود اختصاص داده است، به‌ویژه با توجه به عدم امکان استفاده از آزمون‌های آماری برای بررسی مقایسه‌ای سازوکارهای حراج یادشده، عمده تحقیقات انجام شده در این حوزه تنها از نوع نظری و نتایج آنها به‌طور عمده تابعی از فروض طرح شده در ارتباط 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 شمایی بهتر را از کارکرد سازوکارهای 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.

پیروی تغییرات ساختاری صورت گرفته در صنعت برق در برخی از کشورهای دنیا، از اوایل دهه هشتاد خورشیدی تحولات ساختاری مهم و معناداری در صنعت برق ایران به وقوع پیوست. مجزاسازی شرکتی و حقوقی بخش‌های تولید و توزیع، تشکیل بازار عمده‌فروشی برای ایجاد رقابت در بخش تولید و مشارکت بخش خصوصی برای احداث نیروگاه در قالب قراردادهای BOO^۲ و BOT^۳ مهم‌ترین این تحولات به شمار می‌روند. با تشکیل و راه‌اندازی بازار برق ایران در سال ۱۳۸۴، امکان مشارکت نیروگاه‌های دولتی و

1- Market Power

2- Build Own Operate

3- Build Own Transfer

خصوصی در این بازار، براساس مبانی رقابتی فراهم شد. با این حال، با توجه به ماهیت بازیگران موجود در بازار برق (به‌طور عمده نیروگاه‌های دولتی تحت مالکیت شرکت‌های برق منطقه‌ای) و جذابیت بیشتر قراردادهای BOO و BOT در مقایسه با حضور در بازار برق، در حال حاضر عمده بازیگران فعال در این بازار نوعاً بازیگرانی دولتی و دارای انگیزه‌هایی متفاوت از بازیگران حداکثرکننده سود اقتصادی در بازارهای متداول برق به شمار می‌روند. 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 می‌رود.

در حال حاضر سازوکار پرداخت بر مبنای پیشنهاد سازوکار حاکم بر کارکرد بازار برق ایران است. با این حال، تحلیل کارایی یا عدم کارایی این سازوکار (به‌رغم اهمیت اساسی تأثیر سازوکارهای حراج بر کارایی بازار) و مقایسه آن با گزینه‌های دیگری مانند سازوکار قیمت تسویه‌کننده بازار از بحث‌های مغفول در ادبیات اقتصاددانان و سیاست‌گذاران در حوزه صنعت برق ایران بوده است، مانند بسیاری از کشورهایی که در مراحل اولیه تجدید ساختار قرار دارند و بازار برق آنها بازار نوپایی به شمار می‌آید، قدرت بسیار بالای بازار خصیصه اصلی بازار برق ایران به شمار می‌رود^۱ و با توجه به تجربه فرآیند تجدید ساختار در سایر کشورها، انتظار بر این است که حتی پس از واگذاری ۸۰٪ سهام نیروگاه‌های دولتی^۲، همچنان شاهد وجود رفتار استراتژیک بین بازیگران این بازار باشیم. براساس این، مقاله حاضر، به بررسی مقایسه‌ای سازوکارهای حراج یادشده در شرایطی که بازیگران دارای قدرت بازار هستند و رفتار استراتژیک نسبت به هم دارند، پرداخته است. در این راستا و برای بررسی رفتار استراتژیک بازیگران در هر کدام از سازوکارهای حراج، مدلی

۱- بخش ۲ به‌طور تفصیلی به بررسی ساختار بازار برق ایران اختصاص دارد.

۲- بنابه قانون اجرای سیاست‌های اصل ۴۴ قانون اساسی، نیروگاه‌ها جزء گروه (۲) محسوب می‌شوند و ۲۰٪ سهام آنها در اختیار دولت خواهد بود.

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۵

ساده شامل دو بازیگر ارایه و رفتار استراتژیک آنها در چهارچوب این مدل ساده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

مانند بسیاری از بازارها، اطلاعات ناقص در ارتباط با اجزای بازار برق (شامل اجزای سمت عرضه و تقاضا) یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های این بازار به شمار می‌رود. با توجه به اینکه برآورد صحیح بار کوتاه‌مدت مصرفی مصرف‌کنندگان شرط لازم برای موفقیت بازیگران بازار برق به شمار می‌رود، از شروع فرآیند تجدید ساختار و شکل‌گیری بازارهای برق، پیشرفت‌های بسیار مهم و اساسی در برآورد بار کوتاه‌مدت مصرفی مصرف‌کنندگان به وقوع پیوسته است. در حال حاضر برآوردهای کوتاه‌مدت انجام شده در شرکت‌های توزیع نیروی برق (به‌عنوان سمت تقاضای بازار برق ایران) و نیروگاه‌ها (به‌عنوان سمت عرضه بازار برق ایران) از درجه دقت بسیار بالا و قابل قبولی برخوردار است^۱. بدین جهت در مدل ارایه شده در مقاله حاضر، فرض وجود اطلاعات کامل در ارتباط با میزان بار مصرفی مصرف‌کنندگان برای هر کدام از بازیگران بازار می‌تواند به‌عنوان 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 مشترکان توسط خرده‌فروش‌ها امکان‌پذیر است. با توجه به اینکه فرآیند تجدید ساختار در صنعت برق ایران مراحل اولیه و ابتدایی خود را طی می‌کند، هنوز فاقد هویت مستقل و حرفه‌ای

۱- بنابه «آیین‌نامه تعیین شرایط و روش خرید و فروش برق در شبکه برق کشور»، شرکت‌های توزیعی که سرجمع بار مصرفی مصرف‌کنندگان خود را به‌درستی پیش‌بینی نکنند، مشمول جریمه مطابق با سازوکارهای تعیین شده در آیین‌نامه مزبور می‌شوند. براساس این، شرکت‌های توزیع از انگیزه بسیار بالایی برای پیش‌بینی سرجمع بار مصرفی مصرف‌کنندگان خود برخوردارند. از سویی، با توجه به اینکه پیش‌بینی صحیح بار شرط لازم برای موفقیت نیروگاه‌ها در بازار عمده‌فروشی برق ایران به شمار می‌رود، نیروگاه‌های فعال در بازار برق ایران نیز از انگیزه بسیار بالایی برای پیش‌بینی کل بار مصرفی شبکه سراسری برخوردارند و تمام پیشنهادهای قیمتی خود را در بازار برق براساس نتایج پیش‌بینی کل بار مصرفی در شبکه سراسری ارایه می‌کنند.

خرده‌فروشی‌اند و در حال حاضر شرکت‌های توزیع در حال ایفای نقش این هويت غايب هستند. با اين حال، مديريت بار مصرفي به صورت قراردادهائي بين خرده‌فروش و مصرف‌کننده، مانند آنچه در برخي از کشورهاي پيشرو در زمينه تجديد ساختار، مانند انگلستان، شايع و معمول بوده، هنوز در ايران اجرائي نشده است. با توجه به اين موضوع، شرکت‌هاي توزيع تنها پيش‌بيني سرجمع بار مصرفي مشترکان خود را به صورت کاملاً بي‌کشش براي خريد از بازار، به بازار اعلام مي‌کنند. به اين ترتيب در مدل ارايه شده فرض وجود منحنی تقاضای کاملاً بي‌کشش، می‌تواند به‌عنوان فرضی کاملاً قابل قبول تلقی شود. عدم تقارن اطلاعات هزینه‌ای بين بازیگران بازار از مهم‌ترین مشخصه‌های تمام بازارها، از جمله بازارهای برق، به شمار می‌رود. کیفیت‌های متفاوت سوخت، کمبود گاز مصرفي نیروگاه‌ها و اجبار برخي 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 می‌توانند به تفاوت در هزینه‌های نیروگاه‌ها، حتی در شرایطی که بازده نیروگاه‌ها در شرایط استاندارد کاملاً معادل هم باشد، منجر شوند. عوامل مزبور که تعیین‌کننده هزینه تولید نیروگاه‌ها در هر لحظه از زمان هستند، اطلاعات شخصی نیروگاه‌ها محسوب می‌شوند و دسترسی به اطلاعات مزبور، در عمل برای سایر نیروگاه‌ها امکان‌پذیر نیست. براساس این، مدل ارايه شده در مقاله حاضر با فرض عدم تقارن اطلاعاتی بازیگران در ارتباط با هزینه تولید رقیب طرح شده 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) به شمار می‌آید^۱. بدین جهت وجود سقف قیمتی به‌عنوان یکی از فروض قابل قبول در مدل ارايه شده در این مقاله لحاظ شده است.

به‌طور خلاصه وجود رفتار استراتژیک بين بازیگران، وجود منحنی تقاضای بي‌کشش، عدم تقارن اطلاعاتی بين بازیگران بازار در رابطه با هزینه رقیب و وجود سقف قیمتی در بازار برق عناصر اساسی مدل مورد استفاده در این مقاله را تشکیل می‌دهند. براساس این،

۱- محدود کردن قدرت بازار بازیگران و جلوگیری از نوسانات قیمتی، دلایل ارايه شده از سوی سیاست‌گذاران بخش برق در ارتباط با اعمال سقف در بازار برق به شمار می‌رود.

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۷

مقاله حاضر سعی دارد تا با استفاده از مدل طرح شده در قالب فروض یادشده، سازوکارهای حراج رایج را در بازارهای برق دنیا در چهارچوب پرسش‌های زیر مورد ارزیابی و بررسی مقایسه‌ای قرار دهد:

- ۱- کارایی تولید در کدام‌یک از سازوکارهای حراج بیشتر است؟ به عبارت دیگر، در هر سطح قابل تصور تقاضا کدام‌یک از سازوکارهای حراج تأمین تقاضا با هزینه کل کمتری را موجب می‌شوند؟
- ۲- متوسط قیمت انتظاری در کدام‌یک از سازوکارهای حراج بیشتر است؟ به عبارت دیگر، نتایج کاربست کدام‌یک از سازوکارهای حراج به نتایج بازار رقابتی نزدیک‌تر است؟

مرور ساختار و قواعد بازار برق ایران، بخش دوم مقاله حاضر را تشکیل می‌دهد. به‌طور مسلم آشنایی با ساختار و قواعد بازار برق ایران شرطی لازم و اساسی برای درک نتایج حاصل از مدل ارائه شده در چهارچوب پرسش‌های یادشده به شمار می‌آید. معرفی و ارزیابی مدل مورد استفاده برای پاسخگویی به پرسش‌های طرح شده در این بخش و بررسی مقایسه‌ای سازوکارهای قیمت‌تسویه‌کننده بازار و پرداخت بر مبنای پیشنهاد قسمت سوم مقاله حاضر را تشکیل می‌دهند. جمع‌بندی و ارزیابی پیشنهادهای سیاستی موضوع بخش پایانی این مقاله (بخش چهارم) است.

۲- مروری بر ساختار و قواعد بازار برق ایران

در پی فرآیند تجدید ساختار در صنعت برق ایران، بازار برق ایران به‌منظور فراهم ساختن چهارچوبی رقابتی برای رقابت فروشندگان از یک سو 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 (شرکت‌های 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 موعده تحویل، در

۱- برای مطالعه بیشتر در مورد بازار برق ایران می‌توان به پایگاه الکترونیکی شرکت مدیریت شبکه یا دبیرخانه هیأت تنظیم بازار برق ایران مراجعه کرد.

۸ فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی، سال چهاردهم، شماره ۵۳، تابستان ۱۳۹۳

قالب فرمی استاندارد همراه با قابلیت تولید ابراز شده^۱ و برآورد خود از قابلیت تولید قابل گسیل^۲، به مدیر بازار تحویل می‌دهد. این فرم برای هر ساعت از شبانه‌روز، در واقع، نمودار عرضه مالک نیروگاه (رابطه حجم انرژی تحویلی و قیمت آن) برای آن ساعت به شمار می‌آید. این نمودار عرضه می‌تواند حداکثر ۱۰ پله داشته باشد. سقف قیمت پیشنهادی مجاز توسط هیأت تنظیم بازار برق ایران اعلام می‌شود. از سوی دیگر، خریداران (شرکت‌های توزیع)، تا ۳ روز قبل، در قالب فرمی، نیاز مصرف (تقاضای) خود را برای ۲۴ ساعت شبانه‌روز ۳ روز قبل به مدیر بازار اعلام می‌کنند. بنابه «آیین‌نامه تعیین شرایط و روش خرید و فروش در شبکه برق کشور»، نیاز مصرف هر خریدار می‌تواند بر دو گونه باشد: ۱- نیاز مصرف با نرخ بازار که خریدار تقبل می‌کند با هر نرخی که در بازار به دست آمد، برق را خریداری کند و ۲- نیاز مصرف با نرخ پیشنهادی خود خریدار. نیاز مصرف کل هر خریدار برای هر ساعت از حاصل جمع این دو نوع نیاز مصرف به دست می‌آید. در حال حاضر در عمل 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 تنها میزان برق مورد نیاز خود را مشخص می‌کند (تقاضای کاملاً بی‌کشش). بدین سبب می‌توان گفت که طرف خرید در این بازار رقابتی نیست و تنها طرف فروش این بازار بر مبنای رقابت استوار است.^۳

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

۱- ظرفیت آماده تولید واحد نیروگاهی است که مالک نیروگاه، با لحاظ مشکلات فنی واحد نیروگاهی و شرایط محیطی و بدون در نظر گرفتن آثار محدودیت‌های خارج از مسؤولیت خود (مانند محدودیت انتقال، حوادث قهریه و دستور مرکز)، آن را برآورد و به مدیر بازار اعلام می‌کنند.

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

۳- یکی از مهم‌ترین الزام‌های گسترش رقابت به سمت تقاضا، به گونه‌ای که خریداران قسمت عمده نیازهای خود را با نرخ پیشنهادی خریداری کنند، گسترش و نصب لوازم اندازه‌گیری مناسب است.

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۹

نیست^۱. این موضوع برای روز قبل از مبادله نیز صادق است. مدیر بازار تا ساعت ۱۲ روز قبل، پذیرش 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 بوده در حداقل مدتی که از لحاظ فنی مورد نیاز است و براساس دستورالعمل‌های ثابت بهره‌برداری، دستورهای مرکز را اجرا کند. در این حالت، بابت اجرای دستورهای 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 دستورهای 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 بهره‌بردار عملی نشود، این موضوع به آزمون ناموفق ظرفیت منجر و مالک نیروگاه مشمول پرداخت خسارت مطابق رویه تعیین خسارت می‌شود. در صورتی که اجرای دستورهای مرکز هزینه‌های اضافی برای واحد نیروگاهی ایجاد یا موجب کاهش درآمد یا سلب فرصت کسب درآمد شود، مدیر بازار موظف به جبران آن براساس ضوابطی است که با پیشنهاد مرکز به تصویب هیأت می‌رسد.

خریدار باید هرگونه تغییری را در نیاز مصرف کل خود بلافاصله به مرکز اعلام و متعاقباً گزارشی از علل تغییر در نیاز مصرف را نیز ارسال کند. چنانچه نیاز مصرف کل به دلایل 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 ناگزیر به اعمال خاموشی متناسب با مابه‌التفاوت مزبور

۱- در صورت ناتوانی مالک نیروگاه در عمل به تعهد خود در روز قبل، در صورتی که این موضوع خارج از کنترل او نباشد، مالک نیروگاه موظف به پرداخت خسارت براساس رویه تعیین خسارت (که توسط هیأت تنظیم تعیین می‌شود) است.

۱۰ فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی، سال چهاردهم، شماره ۵۳، تابستان ۱۳۹۳

است. تخمین دقیق خریدار از نیاز مصرف از اهمیت بسیاری برخوردار است، زیرا در صورت عدم مصرف نیاز مصرف اعلام شده از سوی خریدار، پرداخت خسارت براساس رویه‌های تعیین خسارت الزامی خواهد بود. از سوی دیگر، اگر خریدار نیاز مصرف را کمتر از حد واقعی پیش‌بینی کرده باشد، برای جبران مابه‌التفاوت بین نیاز مصرف واقعی و نیاز مصرف کل باید هزینه‌های نهایی مربوط را پرداخت کند.

قیمت تعادل بازار به‌وسیله 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 بین عرضه‌کنندگان، قیمت و مقدار تعادلی بازار و میزانی را که هر کدام از تولیدکنندگان موظف به تولید آن هستند، محاسبه می‌کند.^۱ محل تقاطع نیاز مصرف کل با نمودار عرضه کل قیمت و مقدار تعادلی بازار را به‌دست می‌دهد. انتخاب عرضه‌کننده‌ها بر مبنای کمترین قیمت‌های ارائه شده، صورت می‌گیرد. به عبارتی، با توجه به برنامه ارسالی از سوی فروشندگان، برنامه تولیدی انتخاب می‌شود که مجموع پرداختی به مالکان نیروگاه را حداقل کند.

مبلغ پرداخت شده به مالکان نیروگاه شامل دو جزء است؛ نخست انرژی (که از حاصل ضرب بالاترین قیمت پیشنهادی پذیرفته شده مالک در مقدار تولید او به‌دست می‌آید) و دوم، آمادگی.

بابت جابه‌جایی انرژی مبادله شده روی شبکه انتقال، باید مبلغی نیز به مالکان شبکه انتقال (شرکت‌های برق منطقه‌ای) پرداخت شود که در حال حاضر به صورت یکسان و یکپارچه با نرخ واحد برای تمام سطوح انرژی و تمام مناطق و نقاط اتصال، محاسبه و توسط مدیر بازار به مالکان شبکه انتقال پرداخت می‌شود.

مدیر بازار مجموع مبالغ پرداختی خود را محاسبه و در قالب دو هزینه، یکی، قدرت درخواستی و دیگری، هزینه انرژی مصرفی، به خریداران سرشکن می‌کند. مجموع مبالغی

۱- همان‌طور که بیان شد، برنامه تولید تولیدکنندگان تا ساعت ۱۲ روز قبل از معامله مشخص می‌شود.

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۱۱

که مدیر بازار از خریداران دریافت می‌کند، برابر است با مجموع مبالغی که به تولیدکنندگان و مالکان شبکه انتقال می‌پردازد.

در واقع، ایجاد بازار عمده‌فروشی 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 ارایه شده حوزه اقتصاد برق به‌طور عام و مقایسه سازوکارهای حراج متداول در بازارهای برق به‌طور خاص، در مقایسه با سایر حوزه‌های پژوهشی متداول در علم اقتصاد از غنای کمتری برخوردار است. پژوهش انجام شده توسط رحمان و فدریکو (۲۰۰۳)، از مهم‌ترین و ارزشمندترین کارهای انجام شده در زمینه بررسی مقایسه‌ای سازوکارهای حراج متداول در بازارهای برق به‌شمار می‌رود. بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد و سازوکار 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 کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که در ساختار رقابتی، سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد، در مقایسه با سازوکار حراج رقیب (سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار) به‌رغم 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 سازوکارهای حراج مزبور به‌جای همدیگر همواره بده بستانی بین مازاد رفاه مصرف‌کننده و کارایی تولید وجود خواهد داشت. بررسی صورت گرفته در شرایط

۱۲ فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی، سال چهاردهم، شماره ۵۳، تابستان ۱۳۹۳

انحصاری از کارایی تولید کمتر سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد نسبت به سازوکار حراج تسویه کننده قیمت بازار و تأثیر مبهم و غیرقطعی تأثیر سازوکار حراج انتخابی بر مازاد رفاه مصرف کنندگان حکایت دارد.

تحقیق انجام شده توسط بوور و بان (۲۰۰۱)، از دیگر مطالعات مهم در این زمینه محسوب می شود. نتایج تحقیق انجام گرفته حاکی از آن است که بالاترین قیمت های بازار در سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه کننده بازار پایین تر از بالاترین قیمت ها در سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد هستند. رابطه عنوان شده در کل و هنگامی که قیمت های تمام ساعت ها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته ثابت و بدون تغییر باقی مانده است. با توجه به تحلیل ارائه شده، در سازوکار حراج مبتنی بر قیمت پیشنهادی احتمال ارائه قیمت های بالاتر و عدم پذیرش در بازار توسط نیروگاه های با هزینه های تولید کمتر نسبت به سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه کننده بازار بیشتر و در نتیجه، سازوکار حراج اخیر از کارایی تولید بیشتری نسبت به سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه کننده بازار برخوردار است.

مطالعه راستی، اسمیت و ویلسون (۲۰۰۱)، یکی دیگر از پژوهش های ارزشمند انجام گرفته در این حوزه محسوب می شود. آنها با ثابت نگه داشتن ساختار هزینه ها و عرضه و تقاضا و همچنین ارزش فروش مجدد به بررسی مقایسه ای سازوکارهای حراج متداول در بازارهای برق پرداختند. نتایج مطالعه آنان حاکی از آن است که به کارگیری سازوکار حراج مبتنی بر قیمت پیشنهادی در مقایسه با سازوکار مبتنی بر قیمت تسویه کننده بازار می تواند موجب کاهش جهش های قیمتی شود، با این حال، قیمت های بازار در سازوکار حراج مبتنی بر قیمت پیشنهادی نه در سطحی رقابتی، بلکه در سطح بالاترین قیمت هایی که گاهی در سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه کننده بازار مشاهده می شود، هم گرا می شوند. از سویی، کاربست سازوکار حراج مبتنی بر قیمت پیشنهادی انگیزه بسیار بالایی را برای تباری ضمنی بین بازیگران به وجود می آورد، در حالی که بازیگران بازار در شرایط

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۱۳

به کارگیری سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار از هیچ‌گونه انگیزه‌ای برای تبانی ضمنی در ارایه قیمت پیشنهادی برخوردار نیستند. مطالعه انجام شده توسط تانیری، شاتزکی و موکرجی (۲۰۰۸)، یکی از تحقیقات نسبتاً جدید و مفصل در ارتباط با بررسی مقایسه‌ای سازوکارهای حراج در بازارهای برق به شمار می‌رود. آنها با بررسی مقایسه‌ای سیستم‌های حراج متداول در بازارهای برق (سازوکار پرداخت بر مبنای پیشنهاد و سازوکار قیمت تسویه‌کننده بازار) به این نتیجه رسیدند که به کارگیری سازوکار پرداخت بر مبنای پیشنهاد (به جای سازوکار قیمت تسویه‌کننده بازار) موجب افزایش قیمت‌های پرداختی مصرف‌کنندگان و کاهش در کارایی تولید و سرمایه‌گذاری می‌شود.

۴- ارایه مدل

همان‌طور که اشاره شد، سازوکارهای حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد و قیمت تسویه‌کننده بازار، سازوکارهای متداول مورد استفاده برای تسویه بازارهای متمرکز برق به شمار می‌روند. سازوکار حراج قیمت تسویه‌کننده بازار بر مبنای تسویه با عرضه‌کنندگان براساس بالاترین قیمت پیشنهادی پذیرفته شده در بازار قرار دارد. در این سازوکار، قیمت‌ها و میزان ظرفیت پیشنهادی عرضه‌کنندگان (تابع عرضه) و قیمت‌ها و نیاز مصرف‌خرداران (تابع تقاضا) برای موعد معامله، توسط مدیر بازار دریافت و مدیر بازار با لحاظ قیود شبکه عرضه‌کنندگان با کمترین قیمت پیشنهادی، 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 نبود قیود شبکه، قیمت تسویه‌کننده بازار از تلاقی منحنی‌های عرضه و تقاضا حاصل می‌شود. در این سازوکار به‌رغم امکان ارایه پیشنهادهای کاملاً متفاوت از سوی عرضه‌کنندگان، پرداخت به آنان براساس حداکثر قیمت پذیرفته شده در بازار صورت می‌گیرد.

برخلاف سازوکار قیمت تسویه‌کننده بازار، سازوکار حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد بر مبنای تسویه با عرضه‌کنندگان پذیرفته شده (برنده) در بازار براساس قیمت پیشنهادی آنان قرار دارد، مانند سازوکار پیشین، در این سازوکار نیز قیمت‌ها و میزان ظرفیت پیشنهادی عرضه‌کنندگان (تابع عرضه) و قیمت‌ها و نیاز مصرف‌کنندگان (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 براساس قیمت پیشنهادی ارایه شده از سوی آنان تعیین می‌کند.

در ظاهر ممکن است، از دیدگاه مصرف‌کنندگان، سازوکار پرداخت بر مبنای پیشنهاد نسبت به سازوکار قیمت تسویه‌کننده بازار از ارجحیت و مزیت بالاتری برخوردار باشد، زیرا (باز هم در ظاهر امر) پرداخت به تولیدکنندگان در سازوکار نخست نسبت به پرداخت صورت گرفته به آنان در سازوکار دوم به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است. با این حال، از آنجا 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 چهارچوب فروض ارایه شده، درصدد نیل به این هدف است.

قبل از ورود به ارایه تفصیلی مدل لازم است به این نکته اشاره شود که مقاله حاضر تنها به بررسی مقایسه‌ای سیستم‌های حراج متداول در بازارهای برق می‌پردازد و طراحی سازوکار بهینه برای حصول به حداکثر کارایی و مازاد رفاه مصرف‌کنندگان در دستور کار آن قرار ندارد^۱.

فروض مورد استفاده در مدل ارایه شده در این بخش و منطق و دلایل ارایه شده برای لحاظ این فروض، به صورت اجمالی در بخش مقدمه ارایه شد. با این حال، حل دقیق مدل

۱- به‌طور کلی نظریه طراحی سازوکار، که یکی از شاخه‌های بسیار نوپا و در عین حال بسیار کاربردی در علم اقتصاد محسوب می‌شود، به بررسی نحوه طراحی قواعدی از بازی (مانند طراحی حراج) می‌پردازد که در چهارچوب آن (قواعد طرح شده)، نتیجه تصمیمات بازیگران حداکثرکننده سود معادل نتیجه هدف‌گذاری شده طراح سازوکار (طراح قواعد بازی) شود.

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۱۵

ارایه شده و بررسی نتایج حاصل مستلزم ارایه فروض مزبور به صورت دقیق و به زبان ریاضی است.

- ۱- تنها دو بازیگر (نیروگاه) در سمت عرضه بازار وجود دارد.
- ۲- امکان تبانی بین بازیگران وجود ندارد.
- ۳- ظرفیت متعلق به هر کدام از بازیگران مساوی و برابر مقدار از قبل تعیین شده‌ای (برای مثال، k) است.
- ۴- هر کدام از بازیگران ریسک خنثی هستند.
- ۵- تابع هزینه هر کدام از بازیگران به صورت $C_i = c_i q_i$ است. در رابطه مزبور اندیس i معرف بازیگران (بازیگر شماره ۱ و بازیگر شماره ۲) است. بنابراین، هزینه نهایی هر کدام از بازیگران معادل هزینه متغیر آنان است.
- ۶- هر کدام از بازیگران اطلاعات کامل را در رابطه با هزینه نهایی (متغیر) خود در هر ساعت دارا هستند و اطلاعات هر کدام از آنها در ارتباط با هزینه نهایی (متغیر) رقیب ناقص 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 ارتباط با هزینه نهایی (متغیر) رقیب به صورت تابع توزیع یکنواخت متقارن با حداقل مقدار صفر و حداکثر مقدار \bar{c} است.
- ۷- اطلاعات مدیر بازار در ارتباط 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 فرض شماره ۶) در اختیار دارد.
- ۸- قیمت پیشنهادی هر کدام از بازیگران نمی‌تواند از سقف تعیین شده توسط مدیر بازار (\bar{p}) تجاوز کند (\bar{p} بیش از \bar{c} است).

۹- اطلاعات بازیگران و مدیر بازار در ارتباط 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.

برای بررسی رفتار استراتژیک بازیگران در هر کدام از سازوکارهای حراج، بازه تقاضا به سه قسمت تقسیم و نتایج حاصل از کاربست هر کدام از سازوکارها در هر کدام از بازه‌ها 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 که در این حالت ظرفیت هر کدام از تولیدکنندگان قادر به پوشش تمام مقدار تقاضای ارایه 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 پیشنهادی 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 تولیدکنندگان (k) و کمتر یا مساوی کل ظرفیت بازار ($2k$) است. بدیهی است که در این حالت ضرورت دارد تا به‌طور 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. مانند حالت قبل در صورتی که قیمت‌های پیشنهادی هر کدام از بازیگران در هر ساعت تابعی از

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

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

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۱۷

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 می‌کنند 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 ($2k$) است. بدیهی است که در این حالت ضرورت دارد تا به‌طور هم‌زمان هر دو نیروگاه با حداکثر ظرفیت خود برای تأمین تقاضای بازار به کار گرفته شوند.

در مقاله حاضر از عنوان برنده حراج برای نیروگاهی که سهم بیشتری از کل تقاضای بازار را پوشش می‌دهد، استفاده می‌شود. براساس این، 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:

$$\alpha = \min\left(\frac{d}{k}, 1\right) \quad \text{و} \quad \alpha \in (0, 1]$$

به‌طور مشابه کسر ظرفیت تولید بازنده برابر است با:

$$\beta = \min\left(\frac{d}{k} - \alpha, 1\right) \quad \beta \in [0, 1) \quad d < 2k$$

$$\beta = 1 \quad d > 2k$$

نسبت تقاضای پوشش داده شده توسط بازیگر بازنده که توسط بازیگر برنده تأمین نمی‌شود، براساس رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\beta_f = \alpha - \beta \quad \beta_f \in (0, 1] \quad \text{اگر} \quad d < 2k$$

$$\beta_f = 0 \quad \text{اگر} \quad d > 2k$$

۴-۱- هزینه انتظاری و کارایی تولید

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 یا مقدار تقاضای کل بازار بزرگتر یا مساوی ظرفیت تولید کل بازار باشد، با توجه به اینکه هزینه انتظاری هر واحد 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 زیر به دست آورد:

$$E(c) = \frac{1}{\alpha + \beta} E \left\{ \{ \alpha c_i + \beta c_j \} I_{\{b(c_i) < b(c_j)\}} + \{ \beta c_i + \alpha c_j \} I_{\{b(c_i) > b(c_j)\}} \right\} \quad (1)$$

در رابطه یادشده $b(c_i), b(c_j)$ به ترتیب معرف تابع پیشنهاد بازیگر اول و دوم هستند. بخش اول رابطه معرف حالتی بوده که قیمت پیشنهادی بازیگر اول کمتر از بازیگر دوم است $(I_{\{b(c_i) < b(c_j)\}})$. بخش دوم رابطه مزبور معرف حالتی بوده 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 بوده، رابطه (۱) به صورت زیر قابل ساده‌سازی است:

$$E(c) = \frac{2}{\alpha + \beta} E \left\{ \{ \alpha c_i + \beta c_j \} I_{\{c_i < b(c_j)\}} \right\} \quad (2)$$

$$= \frac{2}{\alpha + \beta} \int_c^{\bar{c}} \int_c^{\bar{c}} (\alpha c + \beta \tau) f(\tau, c) d\tau dc$$

با توجه به تابع توزیع یکنواخت انتخاب شده در بازه $[0, \bar{c}]$ (فرض شماره ۶) رابطه یادشده معادل رابطه زیر خواهد بود:

$$E(c) = \bar{c} \frac{\alpha - \beta}{\alpha + \beta} \int_0^{\bar{c}} \left(\frac{c}{\bar{c}}\right)^2 dc - \frac{2\alpha}{\alpha + \beta} \int_0^{\bar{c}} \frac{c}{\bar{c}} dc \quad (3)$$

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

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۱۹

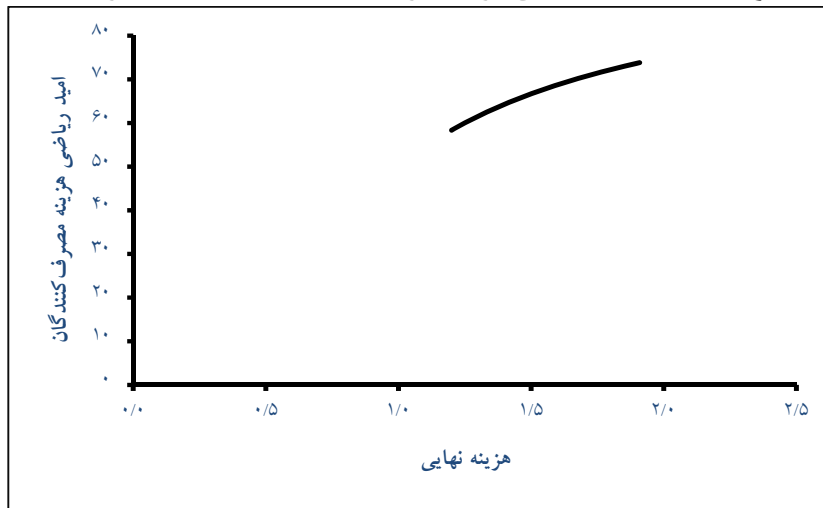
با حل رابطه یادشده برای بازه‌های مختلف تقاضا، هزینه‌های انتظاری به صورت زیر به دست می‌آید:

$$E(c) = \begin{cases} \frac{\bar{c}}{3} & d \in (0, k] \\ \bar{c} + \left[\frac{2k}{d} - 1 \right] \left(\frac{\bar{c}}{3} \right) - \frac{k}{d} \bar{c} & d \in (k, 2k) \\ \frac{\bar{c}}{2} & d \geq 2k \end{cases} \quad (4)$$

رابطه یادشده حاکی از آن است که هزینه انتظاری به تبع لزوم استفاده از نیروگاه با هزینه بیشتر افزایش می‌یابد. در بازه نخست ظرفیت نیروگاه با هزینه کمتر قادر به پوشش کل تقاضای بازار است. بدین ترتیب در این شرایط لزوم به کارگیری ظرفیت نیروگاه با هزینه بیشتر وجود نخواهد داشت.^۱ 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. نمودار شماره ۱، به‌طور واضح با لحاظ اعداد فرضی برای حداکثر هزینه متغیر (\bar{c})، تقاضا (d) و ظرفیت (k) این موضوع را به تصویر کشیده است. در بازه دوم هزینه انتظاری از میزان موجود آن در بازه اول شروع با افزایش تقاضای بازار و افزایش سهم بازیگر دوم از بازار افزایش و در نهایت، با نزدیک شدن ضریب استفاده از ظرفیت تحت اختیار بازیگر دوم به ۱۰۰٪، به مقدار هزینه انتظاری در بازه سوم میل می‌کند. به‌طور مسلم با به کارگیری کل ظرفیت نیروگاه‌های موجود در بازار در بازه سوم هزینه انتظاری بازار ثابت و معادل مقدار به‌دست آمده در رابطه شماره (۴) خواهد بود.

۱- به بیان دقیق‌تر نیروگاه با هزینه بیشتر قادر به برنده شدن در این بازه تقاضا نیست.

نمودار ۱- رابطه امید ریاضی هزینه مصرف کنندگان با نسبت تقاضا به ظرفیت



چنانکه در روابط یادشده نیز ملاحظه شد، امید ریاضی هزینه بازار تنها ساختار هزینه‌های بازار را در بازه‌های مختلف تقاضا به تصویر کشیده است و در صورتی که قیمت پیشنهادی ارایه شده از سوی بازیگران تابعی فزاینده از هزینه آنان باشد^۱ مقدار آن مستقل از سازوکار حراج انتخابی (سازوکار پرداخت بر مبنای پیشنهاد و سازوکار قیمت تسویه کننده بازار) در بازار است. بنابراین، پاسخ پرسش نخست مطرح شده در مقاله حاضر، به روشنی، بر اساس تحلیل ارایه شده در این قسمت قابل ارایه است. از آنجا که قیمت پیشنهادی ارایه شده از سوی بازیگران تابعی فزاینده از هزینه آنان است، در هر سطحی از تقاضای قابل تصور، فارغ از سازوکار حراج انتخابی تقاضای ارایه شده در بازار با کمترین هزینه ممکن تولید خواهد شد. بنابراین، کارایی تولید در هر کدام از سازوکارهای حراج هم‌سنگ و معادل با حداکثر کارایی قابل تصور است.

۱- این موضوع به‌طور کامل در این بخش اثبات می‌شود.

۴-۲- سازوکار حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد

در سازوکار حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد، پرداخت به تولیدکنندگان بر مبنای پیشنهاد ارایه شده از سوی آنان صورت می‌گیرد. بنابراین، در این سازوکار سود هر بازیگر معادل 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 زیر است:

(۵)

$$\begin{aligned} \pi_i(b_i, c_i) &= kE \left[\alpha [b_i - c_i] I_{\{b_i < b_j\}} + \beta [b_i - c_i] I_{\{b_i > b_j\}} \mid C_i = c_i \right] \\ &= k [b_i - c_i] \left\{ \alpha - [\alpha - \beta] E \left[I_{\{b_i > b_j\}} \mid C_i = c_i \right] \right\} \\ &= k [b_i - c_i] \left[\alpha - \beta_f \int_c^{b^{-1}(b_i)} f(\tau | c) dt \right] \end{aligned}$$

در رابطه یادشده $b^{-1}(c_i)$ تابع معکوس تابع $b(c_i)$ و در حقیقت، همان هزینه نهایی (متغیر) بازیگر i است. با جای‌گذاری تابع توزیع یکنواخت در معادله (۵) و مشتق‌گیری بر حسب b_i و حل معادله دیفرانسیل حاصل تابع پیشنهادی بازیگر i برای بازه تقاضای $d \in (0, k)$ قابل حصول است:

$$b_d^i(c) = c + \frac{\frac{\bar{c}}{2} - c + \frac{c^2}{2\bar{c}}}{1 - \frac{c}{\bar{c}}} \quad c \in [0, \bar{c}], d \in (0, k) \quad (6)$$

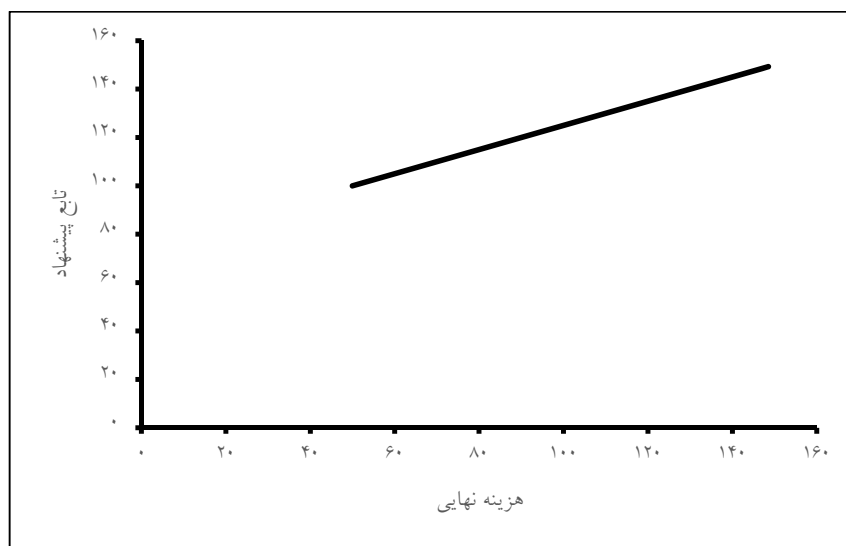
تابع پیشنهاد هر کدام از بازیگران به‌عنوان تابعی از هزینه نهایی (متغیر) آنها در دامنه $[0, \bar{c}]$ ، در نمودار شماره ۲، به تصویر کشیده شده است. با توجه به نمودار مزبور تابع پیشنهاد هر کدام از بازیگران تابعی فزاینده از هزینه نهایی (متغیر) آنان است. چنانکه قبلاً بیان شد، این نتیجه از اهمیت بسیار خاصی در بررسی کارایی تولید در بازارهای برق

۲۲ فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی، سال چهاردهم، شماره ۵۳، تابستان ۱۳۹۳

برخوردار است، زیرا بنابه تحلیل ارائه شده در بخش قبل، صعودی بودن تابع پیشنهاد هر کدام از بازیگران شرط لازم برای کارایی بخش تولید به شمار می‌رود. با توجه به رابطه شماره (۶) تابع پیشنهاد ارائه شده در دامنه $[0, \bar{c}]$ ، توسط هر کدام از بازیگران، مستقل از نسبت ظرفیت نیروگاه‌ها و کل سطح تقاضای بازار است، زیرا در دامنه مورد بحث کل تقاضای بازار تنها به وسیله کسری از کل ظرفیت یکی از نیروگاه‌ها قابل پوشش بوده و به‌طور اساسی لحاظ عامل محدودیت ظرفیت نسبت به تقاضای بازار در تابع پیشنهادی بازیگران فاقد موضوعیت است.

نمودار ۲- تابع پیشنهاد بر حسب هزینه نهایی در بازه نخست

(در سازوکار حراج مبتنی بر قیمت پیشنهادی)



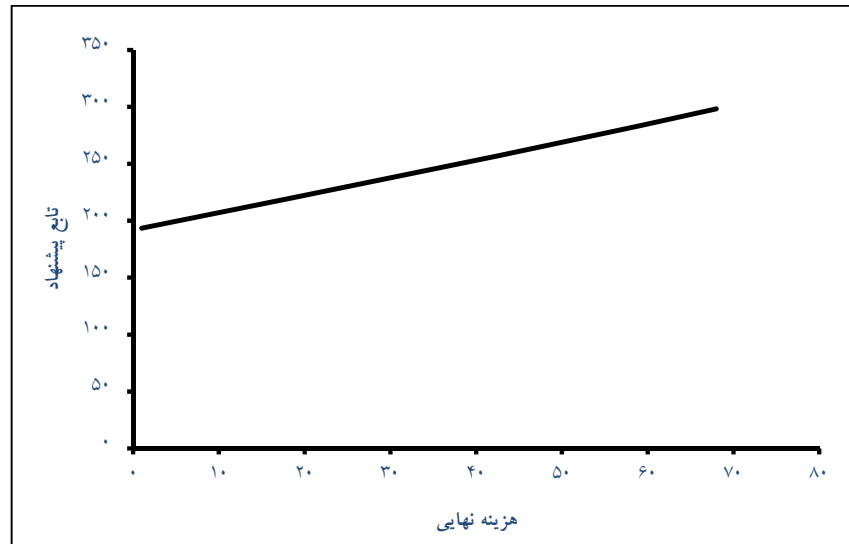
با توجه به نحوه استخراج توابع پیشنهاد بازیگران در بازه‌های دوم و سوم نیز به راحتی قابل استخراج است. برای $d \in (k, 2k)$ تابع پیشنهاد مطابق معادله زیر است:

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۲۳

$$b_d^j(c) = \frac{[d-k][\bar{p}-c] + [vk-d]\left[\frac{\bar{c}}{2} - c + \frac{c^j}{2\bar{c}}\right]}{k - [vk-d]\frac{c}{\bar{c}}} + c \quad d \in (k, vk) \quad (7)$$

تابع پیشنهاد هر کدام از بازیگران به عنوان تابعی از هزینه نهایی (متغیر) آنها در دامنه $[0, \bar{c}]$ ، در نمودار شماره ۳، به تصویر کشیده شده است.

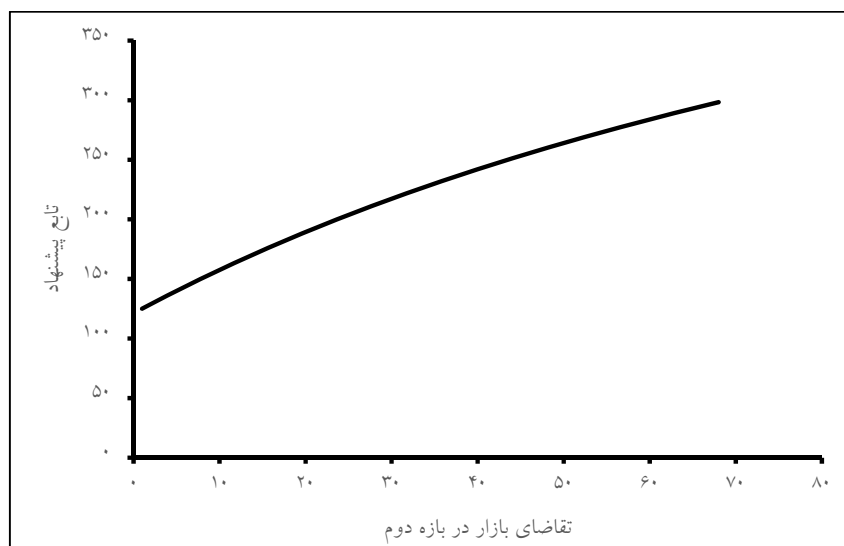
نمودار ۳- تابع پیشنهاد بر حسب هزینه نهایی در بازه دوم
(در سازوکار حراج مبتنی بر قیمت پیشنهادی)



با توجه به نمودار مزبور، مانند حالت قبل، تابع پیشنهاد هر کدام از بازیگران تابعی فراینده از هزینه نهایی (متغیر) آنان است. نکته قابل توجه در ارتباط با تابع پیشنهادی بازیگران در بازه دوم تقاضا، در مقایسه با بازه نخست، ظهور پارامترهای تقاضا و ظرفیت نیروگاه‌ها در تابع پیشنهادی بازیگران است. به عبارت دیگر، رابطه شماره (۷) حاکی از آن است که 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 هست. تابع پیشنهاد هر کدام از بازیگران، به عنوان تابعی از تقاضای بازار، با فرض مقدار مشخصی از ظرفیت در بازار، در بازه دوم $d \in (k, 2k)$ به تصویر کشیده شده است.

نمودار ۴- تابع پیشنهاد به عنوان تابعی از تقاضای بازار در بازه دوم



صعودی بودن تابع پیشنهاد (به عنوان تابعی از تقاضای بازار در بازه مورد بررسی) حاکی از آن است که قیمت پیشنهادی بازیگران 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 به واسطه افزایش نسبت کل تقاضای بازار به کل ظرفیت موجود در بازار نه به واسطه کمبود ظرفیت در بازار، بلکه به دلیل وجود قدرت بازار هر کدام از بازیگران در بازار اتفاق می‌افتد، زیرا در بازه مورد بحث $(d \in (k, 2k))$ ظرفیت به اندازه کافی برای پوشش کل تقاضای بازار وجود خواهد داشت. با این حال، افزایش با تقاضای بازار (با فرض وجود مقدار معینی از ظرفیت نیروگاهی) احتمال رد پیشنهادی

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۲۵

بالای ارایه شده از سوی بازیگران کمتر و کمتر می‌شود. با توجه به اینکه در مدل ارایه شده، اطلاعات بازیگران در ارتباط با سطح کل تقاضای بازار کامل و متقارن است، با توجه به کاهش احتمال عدم پذیرش پیشنهادهای قیمتی بالاتر ارایه شده از سوی بازیگران، هر گونه افزایش تقاضایی در بازه یادشده موجب ارایه پیشنهادهای بالاتر از سوی هر کدام از بازیگران، فارغ از سطح هزینه نهایی (متغیر) آنان خواهد بود.

با توجه به فروض در نظر گرفته شده در مدل ارایه شده، قیمت پیشنهادی بازیگران در بازه سوم ($d > 2k$) معادل حداکثر قیمت مجاز تعیین شده از سوی مدیر بازار (سقف قیمتی) خواهد بود. محدودسازی بازار به سقف قیمتی (حد مجاز پیشنهاد قیمتی بازیگران) از مهم‌ترین مشخصه‌های بازارهای برق در بیشتر کشورهایی که اقدام به تجدید ساختار و مقررات‌زدایی (از جمله تشکیل بازار عمده‌فروشی برق) در صنعت برق کرده‌اند، محسوب می‌شود. از آغاز شروع فرآیند تجدید ساختار اعمال سقف قیمتی در بازار برق همواره به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گزینه‌های کنترل رفتار انحصاری بازیگران (به‌خصوص در شرایط قدرت بالای بازار) مطرح بوده است. با این حال، برخی از اقتصاددانان و سیاست‌گذاران بخش برق ناکارایی‌های ناشی از اعمال سقف بازار را بسیار بیشتر از اعمال قدرت انحصاری بازیگران در فرآیند تجدید ساختار تلقی می‌کنند، زیرا به زعم آنان، وجود قدرت انحصاری بازیگران (و به تبع آن، قیمت‌های بالاتر برق در برخی از نقاط شبکه) با ارسال علائم قیمتی درست در ارتباط با فرصت‌های سرمایه‌گذاری و سودآوری بالا در نقاط دارای کمبود و نقصان عرضه برق، موجب ترغیب و تشویق سرمایه‌گذاران احداث نیروگاه‌ها در این مناطق، 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 می‌تواند موجب عدم توازن بلندمدت در عرضه و تقاضا و تهدید امنیت و پایداری شبکه برق شود. از سویی، اعمال سقف قیمتی با اختلال 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. براساس

این، سقف قیمتی در برخی از بازارهای برق، مانند استرالیا و PJM^۱ 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 احصای منافع و زیان‌های هر کدام از این سیاست‌ها، خارج از حوزه بررسی مقاله حاضر و نیازمند بررسی و پژوهش عمیق‌تر در این زمینه است. با این حال، با توجه به اعمال سقف قیمتی در بازار برق ایران، مدل مطرح شده در این مقاله با فرض اعمال سقف قیمتی در بازار برق طرح و ارایه شده است.

وجود قدرت بازار بازیگران، با فرض وجود کارایی در بخش تولید، حاکی از آن است که قیمت‌های انتظاری پایین‌تر به مفهوم کارایی کل بیشتر در بازار است. براساس این، برای مقایسه کارایی کل هر کدام از سازوکارهای حراج ضروری است تا 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 سازوکار حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. بررسی و تجزیه و تحلیل متوسط قیمت انتظاری در سازوکار قیمت تسویه‌کننده بازار پس از ارایه و حل مدل در سازوکار مزبور صورت خواهد پذیرفت.

متوسط قیمت انتظاری در بازه $d \in (0, 2k)$ براساس رابطه زیر قابل حصول است:

$$E[pd] = \frac{1}{\alpha + \beta} E \left[\alpha b_d^*(c_i) I_{\{b_d^*(c_i) < b_d^*(c_j)\}} + \beta b_d^*(c_i) I_{\{b_d^*(c_i) > b_d^*(c_j)\}} \right] \quad (۸)$$

$$+ \frac{1}{\alpha + \beta} E \left[\alpha b_d^*(c_j) I_{\{b_d^*(c_j) < b_d^*(c_i)\}} + \beta b_d^*(c_j) I_{\{b_d^*(c_j) > b_d^*(c_i)\}} \right]$$

با توجه به توابع پیشنهادی یکسان بازیگران و همچنین با توجه به اینکه متغیرهای اطلاعاتی از یک تابع توزیع مشترک متقارن استخراج می‌شوند، قیمت متوسط انتظاری به صورت زیر خواهد بود:

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۲۷

$$\begin{aligned}
 E[pd] &= \frac{\gamma\alpha}{\alpha+\beta} E\left[b_d^*(c_i) I_{\{b_d^*(c_i) < b_d^*(c_j)\}}\right] \\
 &\quad + \frac{\gamma\beta}{\alpha+\beta} E\left[b_d^*(c_i) I_{\{b_d^*(c_i) > b_d^*(c_j)\}}\right] \\
 &= \frac{\gamma\alpha}{\alpha+\beta} E\left[b_d^*(c_i)\right] - \frac{\alpha-\beta}{\alpha+\beta} E\left[\gamma b_d^*(c_i) I_{\{b_d^*(c_i) > b_d^*(c_j)\}}\right]
 \end{aligned} \tag{۹}$$

با توجه به اینکه تابع پیشنهادی نسبت به C اکیداً صعودی است، رابطه یادشده به صورت زیر ساده می‌شود:

$$\begin{aligned}
 E[pd] &= \frac{\gamma\alpha}{\alpha+\beta} \int_0^{\bar{c}} b_d^*(c) \int_0^{\bar{c}} f(\tau, c) d\tau dc \\
 &\quad - \frac{\gamma\beta f}{\alpha+\beta} \int_0^{\bar{c}} b_d^*(c) \int_0^{\bar{c}} f(\tau, c) d\tau dc
 \end{aligned} \tag{۱۰}$$

با در نظر گرفتن تابع یکنواخت و حل رابطه یادشده متوسط قیمت انتظاری به صورت زیر خواهد بود:

$$E[p_d^i] = \begin{cases} \frac{\gamma}{3} \bar{c} & d \in (0, k] \\ \gamma \left[1 - \frac{k}{d} \right] \bar{p} + \left[\frac{\gamma k}{d} - 1 \right] \left[\frac{\gamma \bar{c}}{3} \right] & d \in (k, \gamma k) \\ \bar{p} & d \geq \gamma k \end{cases} \tag{۱۱}$$

با توجه به رابطه یادشده متوسط قیمت انتظاری در بازار برق در سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد، تابعی از متغیرهای سمت عرضه، تقاضا و سقف قیمت تعیبه شده در بازار است. بدون شک متوسط قیمت انتظاری در هر نوع حراج قابل تصور نمی‌تواند مستقل از متغیرهای مزبور باشد. بنابراین، بررسی مقایسه‌ای متوسط قیمت انتظاری در

سازوکارهای حراج مورد بررسی در این مقاله مستلزم بررسی و مقایسه فرم تبعی متوسط قیمت انتظاری در هر کدام از این سازوکارهاست.

۴-۳- سازوکار قیمت تسویه کننده بازار

در سازوکار قیمت تسویه کننده بازار، قیمت بازار و قیمت پرداختی به هر کدام از بازیگران مساوی و معادل با بیشترین قیمت پیشنهادی پذیرفته شده در بازار خواهد بود. سازوکار قیمت تسویه کننده بازار دارای تشابه کامل با بازار کالاها در یک بازار طبیعی (سیستم مبادله‌ای که در آن افراد به صورت داوطلبانه و بدون وجود یک حراج کننده مرکزی به مبادله و دادوستد می‌پردازند) است. در بازارهای مزبور عرضه کننده‌ای با بیشترین پیشنهاد قیمتی که در قیمت پیشنهادی ارایه شده موفق به فروش کالای خود می‌شود، تعیین کننده قیمت بازار خواهد بود. در قیمت مزبور تمام عرضه کنندگان دیگر نیز موفق به فروش کالای خود به بالاترین قیمت پذیرفته شده در بازار خواهند بود.

در بازارهای برق، تحت سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه کننده بازار، مدیر بازار پیشنهادهای قیمتی ارایه شده از سوی عرضه کنندگان را دریافت و با توجه به کل تقاضای بازار عرضه کنندگان کمترین قیمت پیشنهادی ارایه شده را انتخاب و بالاترین قیمت پیشنهادی ارایه شده را مبنای پرداخت و تسویه حساب با عرضه کنندگان پذیرفته شده در بازار قرار می‌دهد^۱.

در سازوکار قیمت تسویه کننده بازار، در صورتی که تقاضای کل بازار از ظرفیت تولید یک تولیدکننده تجاوز نکند، کل تقاضای بازار توسط بازیگر برنده پوشش داده می‌شود. در این حالت با توجه به اینکه موقعیت رقابتی در بازه نخست (یعنی زمانی که بازه تقاضا بین ۰ و k است) دقیقاً مانند سازوکار حراج مبتنی بر قیمت پیشنهادی است، قیمت پیشنهادی هر

۱- طبیعی است که در صورت برقراری شرایط رقابت کامل و فقدان قدرت بازار، قیمت پیشنهادی ارایه شده توسط هر کدام از بازیگران معادل هزینه نهایی آنان خواهد بود، زیرا 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 شد.

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۲۹

کدام از بازیگران دقیقاً مانند قیمت پیشنهادی بازیگران در سازوکار مزبور خواهد بود. در شرایطی که کل تقاضای بازار بیشتر از ظرفیت یک تولیدکننده، اما کمتر از کل ظرفیت موجود در بازار باشد ($d \in (k, 2k)$)، توابع پیشنهاد بازیگران در حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار متفاوت از پیشنهاد آنان در سازوکار حراج مبتنی بر قیمت پیشنهادی خواهد بود، زیرا 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، زیرا ارائه قیمت‌های 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 سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار بازیگران ترجیح خواهند داد تا به جای ارائه پیشنهادی قیمتی بالا و افزایش احتمال عدم پذیرش، این موضوع را به بازیگر دیگر واگذار کنند و از قیمت بالای پیشنهادی ارائه شده توسط آن بازیگر (قیمت تسویه‌کننده بازار) منتفع شوند. در شرایطی که هر دو بازیگران استراتژی خود را به این صورت تنظیم کنند، نتیجه نهایی ارائه پیشنهادی قیمتی پایین‌تر (در مقایسه با سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد) توسط بازیگران خواهد بود. با این حال، هیچ تضمینی در رابطه با کمتر (یا بیشتر) بودن متوسط قیمت انتظاری مصرف‌کنندگان در این سازوکار نسبت به سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد وجود نخواهد داشت، زیرا تحت این سازوکار پرداخت بالاترین قیمت پیشنهادی پذیرفته شده در بازار به همه بازیگران، می‌تواند قیمت‌های پیشنهادی پایین‌تر ارائه شده از سوی بازیگران را جبران کند و متوسط قیمت انتظاری مصرف‌کنندگان را افزایش دهد. بررسی و مقایسه دقیق متوسط قیمت انتظاری تحت هر کدام از سازوکارهای حراج مستلزم حل دقیق مدل در سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه بازار و مقایسه متوسط قیمت انتظاری مصرف‌کنندگان در این حالت با متوسط قیمت انتظاری مصرف‌کنندگان در سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد (رابطه شماره (۱۱)) است.

با افزایش تقاضا، انگیزه بازیگران برای ارائه پیشنهادهای قیمتی پایین تر تخفیف می یابد، زیرا با افزایش هرچه بیشتر تقاضا و نیاز هرچه بیشتر به ظرفیت تولیدی در اختیار بازیگران، احتمال عدم پذیرش پیشنهادهای قیمت بالاتر کاهش و در نتیجه، هراس بازیگران از ارائه چنین پیشنهادهایی کاهش می یابد.

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 تا همه گزینه های قابل تصور در بازار از جمله برد و باخت در محاسبه سود انتظاری مد نظر قرار گیرند. سود انتظاری تولیدکننده i با فرض $i \neq j$ معادل عبارت زیر است:

$$\begin{aligned} \pi_i(b_i, c_i) &= E \left[k(b_j - c_i) I_{\{b_i < b_j\}} + [d - k] [b_i - c_i] I_{\{b_i > b_j\}} \right] \\ &= k \int_{b^{-1}(b_i)}^{\bar{c}} [b(c_j) - c_i] f(c_j | c_i) dc_j + k\beta [b_i - c_i] \int_0^{b^{-1}(b_i)} f(c_j | c_i) dc_j \end{aligned} \quad (12)$$

با جای گذاری تابع شرطی توزیع یکنواخت در رابطه یادشده 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 زیر است:

$$b_a^{*i}(c) = [\bar{p} - \bar{c}] \left[\frac{c}{\bar{c}} \right]^{\frac{2k-d}{d-k}} + \frac{(c)^{\frac{2k-d}{d-k}} \times (\bar{c})^{\frac{2k-d}{d-k}+1}}{-\frac{2k+d}{d-k} + 1} + c \quad (13)$$

با توجه به رابطه یادشده تابع پیشنهاد هر کدام از بازیگران تحت سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه کننده بازار، مانند سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد، تابعی صعودی از هزینه نهایی (متغیر) آنان خواهد بود. با این حال، مقایسه رابطه یادشده با رابطه شماره (۷) حاکی از آن است که شیب تابع پیشنهاد در این حالت در مقایسه با شیب تابع پیشنهاد در سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد کمتر خواهد بود.

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۳۱

مانند مورد سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد، در بازه دوم تقاضا، با افزایش تقاضای قیمت‌های پیشنهادی بازیگران افزایش خواهد یافت. بنابراین در سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار، در بازه دوم تقاضا، تابع پیشنهاد مانند نمودار شماره ۴ تابعی صعودی از تقاضای بازار خواهد بود.

به‌طور طبیعی، در بازه سوم تقاضا و به‌کارگیری 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 ارایه شده خواهند بود. بنابراین، در بازه سوم تقاضا، تابع پیشنهادی بازیگران در سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار دقیقاً معادل تابع پیشنهادی آنان در سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد (سقف قیمت بازار) خواهد بود. با توجه به توابع پیشنهاد بازیگران در سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار در تمام بازه‌های تقاضا متوسط قیمت انتظاری بازار به صورت زیر است:

$$E[p_a] = E \left[b_a^*(c_i) I_{\{b_i^*(c_i) > b_a^*(c_j)\}} + b_a^*(c_j) I_{\{b_a^*(c_j) > b_i^*(c_i)\}} \right] \quad (14)$$

با توجه به تابع پیشنهاد یکسان، متوسط قیمت انتظاری برابر است با:

$$E[p_a] = 2E \left[b_a^*(c_i) I_{\{b_a^*(c_i) > b_a^*(c_j)\}} \right] \quad (15)$$

با توجه به اینکه تابع پیشنهاد، تابعی اکیداً صعودی از هزینه نهایی (متغیر) بازیگران است، عبارت یادشده به صورت زیر قابل ساده‌سازی است:

$$E[p_a] = 2E \left[b_a^*(c_i) I_{\{c_i > c_j\}} \right] = 2 \int_0^{\bar{c}} \int_0^{\bar{c}} b_a^*(c) f(\tau, c) d\tau dc \quad (16)$$

حال با در نظر گرفتن تابع توزیع مستقل یکنواخت، متوسط قیمت انتظاری به صورت عبارت زیر است:

$$E[p_a^i] = \gamma \left[1 - \frac{k}{d} \right] \bar{p} + \left[\frac{\gamma k}{d} - 1 \right] \left[\bar{c} - \int_0^{\bar{c}} F(c) \gamma dc \right] \quad (17)$$

با حل انتگرال و ساده‌سازی عبارت یادشده متوسط قیمت انتظاری به صورت زیر است:

$$E[p_a^i] = \begin{cases} \frac{\gamma}{3} \bar{c} & d \in (0, k] \\ \gamma \left[1 - \frac{k}{d} \right] \bar{p} + \left[\frac{\gamma k}{d} - 1 \right] \left[\frac{\gamma \bar{c}}{3} \right] & d \in (k, \gamma k) \\ \bar{p} & d \geq \gamma k \end{cases} \quad (18)$$

مقایسه رابطه فوق با رابطه شماره (۱۱) حاکی از آن است که در مدل بررسی شده متوسط قیمت انتظاری در سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار، دقیقاً معادل با متوسط قیمت انتظاری در سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد است.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر تأثیر سازوکار حراج انتخابی از بین حراج‌های 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، در شرایط عدم تقارن اطلاعات بازیگران نسبت به هزینه نهایی (متغیر) بازیگر رقیب، با توجه به ساختار بازار برق ایران، در مدلی ساده تنها شامل دو بازیگر، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این راستا کل تقاضای بازار (در رابطه با ظرفیت بازار) به سه بازه مجزا تقسیم شد و رفتار استراتژیک بازیگران در بازه‌های مورد نظر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تجزیه و تحلیل‌های ارایه شده در چهارچوب مدل، حاکی از برابری کارایی تولید، کارایی کل و متوسط قیمت انتظاری در سازوکارهای حراج پرداخت بر مبنای پیشنهاد و قیمت تسویه‌کننده بازار، به‌رغم تفاوت توابع پیشنهادی بازیگران در چهارچوب سازوکارهای مزبور بود.

بررسی مقایسه‌ای سازوکار حراج بازار برق ایران با سازوکار حراج قیمت ... ۳۳

در تحلیل ارایه شده، برابری کارایی تولید در سازوکارهای حراج مورد بررسی، از حصول حداکثر کارایی ممکن (حداقل هزینه بهره‌برداری در بازار) در هر کدام از سازوکارهای حراج مورد بررسی، منتج شد. حصول حداکثر کارایی ممکن به‌نوبه‌خود از 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 چهارچوب مدل ارایه 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 به‌عنوان برنده بازار و در نتیجه، تولید برق با کمترین هزینه ممکن در هر سطح قابل‌تصور از تقاضا بود.

با توجه به برابری کارایی تولید در هر کدام از سازوکارهای 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 سازوکارهای مزبور امکان‌پذیر بود. با توجه به نتایج مدل مورد بررسی، برابری متوسط قیمت انتظاری بازار در هر کدام از سازوکارها حاکی از عدم تأثیر سازوکار حراج انتخابی (حراج مبتنی بر قیمت پیشنهادی یا قیمت تسویه‌کننده بازار) بر کارایی کل بازار بود.

در مدل ارایه شده در مقاله، با توجه به برابری پیشنهادهای قیمتی ارایه شده بازیگران در سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار و سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد در بازه‌های اول و سوم، تنها تفاوت در متوسط قیمت انتظاری بازار تنها به‌واسطه تفاوت در قیمت‌های پیشنهادی در بازه دوم تقاضا امکان‌پذیر بود. با این حال، گرچه توابع پیشنهاد بازیگران در سازوکار حراج مبتنی بر پرداخت بر مبنای پیشنهاد دارای شیب بیشتری از توابع پیشنهاد ارایه شده در سازوکار حراج مبتنی بر قیمت تسویه‌کننده بازار بودند، پرداخت حداکثر قیمت پیشنهادی پذیرفته شده به تمام بازیگران موجب برابری متوسط قیمت انتظاری در این دو سازوکار شدند. نتایج حاصل از تغییر در نحوه تنظیم پیشنهادهای قیمتی در سازوکارهای حراج بررسی شده در این مقاله دقیقاً منطبق با نتایج حاصل از «قضیه

برابری درآمدها» بود. مطابق قضیه مزبور با فرض اطلاعات کامل بازیگران بازار در ارایه پیشنهادهای قیمتی خود با احتساب هرگونه تغییر در قواعد بازار سعی خواهند کرد بهترین نتیجه ممکن را از بازار به دست آورند. بنابراین، نتایج حاصل از مدل ارایه شده در مقاله حاکی از آن بود که لحاظ فرض عدم تقارن اطلاعات هزینه‌ای بین بازیگران بازار (در ارتباط با هزینه نهایی بازیگر (ان) رقیب) موجب تغییر نتایج مدل‌های ارایه شده در چهارچوب فرض اطلاعات کامل نمی‌شود.

با توجه به فروض ارایه شده و نتایج مدل مورد بررسی، برابری کارایی و مازاد رفاه مصرف‌کنندگان در هر دو سازوکار مورد بررسی حاکی از عدم برتری و مزیت نسبی هر کدام از آنها نسبت به دیگری است. گرچه ارایه پیشنهادهای سیاستی قابل اتکا نیازمند بررسی بیشتر و عمیق‌تر موضوع است، با این حال، با توجه به نوظهور بودن بازار برق ایران و تجربه نه‌چندان زیاد بازیگران این بازار، از آنجا که ارایه پیشنهادهای قیمتی در سازوکار پرداخت بر مبنای پیشنهاد نسبت به سازوکار قیمت تسویه‌کننده بازار مستلزم اتخاذ استراتژی‌های پیچیده‌تری است، کاربست سازوکار فعلی مورد استفاده در این بازار (پرداخت بر مبنای پیشنهاد) موجب افزایش دانش و تبحر بیشتر بازیگران برای ارایه پیشنهادهای قیمتی در بازارهایی با پیچیدگی و درجه بلوغ بیشتر خواهد شد.

منابع

- Bower J, Bunn D W (2001), *Experimental analysis of the efficiency of uniform-price versus*. *Jornal of Economic Dynamics and Control*, 25:3-4
- Cramton, P. (2004); *Auction Design and Strategy: Principles and Practice*; Market Design Inc.; University of Maryland, 2004.
- Federico G., Rahman, D (2003), *Bidding in an Electricity Pay-as-Bid Auction*; *Journal of Regulatory Economics*; 24:2.
- Genc, Talat (2007), *Discriminatory versus Uniform-Price Auctions with Supply Function Equilibrium*; University of Guelph.
- Hudson, R. (2000); *Analysis of Uniform and Discriminatory Price Auctions in Restructured Electricity Markets*; Energy Division Oak National Laboratory Oak Ridge; Tennessee.

- Kahn, Alfred, E. et al (2001), *Uniform Pricing or Pay-as-Bid Pricing: A Dilemma for California and Beyond*; The Electricity Journal.
- Laffer, Arthur B. and Patrick N. Giordano (2005), *Exelon Rex, Will power deregulation in Illinois benefit consumers or utilities?*, Wall Street Journal.
- Lawrence M. Ausubel, Peter Cramton (2010), *Using forward markets to improve electricity market design*; Utilities Policy, vol. 18 195e200.
- 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.
- Peter Cramton (2004), *Competitive Bidding Behavior in Uniform-Price Auction Markets*; Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences.
- Peter Cramton (2003), *Electricity Market Design: The Good, the Bad, and the Ugly*; Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences.
- Rassenti, S et al (2001), *Discriminatory Price Auctions in Electricity Markets: Low Volatility at the Expense of High Price Levels*; George Mason University.
- 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.