Archive of SID

فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال چهارم/ شماره ۱۰/ بهار ۱۳۹۷/ صفحات ۱۳۳-۹۹

شبیه‌سازی حراج پرداخت براساس پیشنهاد و حراج یکنواخت در بازار برق ایران: الگوریتم راث- ارو

مجید فشاری
استادیار اقتصاد دانشگاه خوارزمی
(نویسنده مسئول)
majid.feshari@gmail.com
علی ناظمی
استادیار اقتصاد دانشگاه خوارزمی
a_nazemi78@yahoo.com
شیوا فرهی
کارشناس ارشد برنامه‌ریزی سیستم‌های انرژی دانشگاه خوارزمی
shivafaa23@yahoo.com

طی سال‌های پس از تجدید ساختار صنعت برق یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، نوع حراج مورد استفاده در بازار برق تجدید ساختار شده بوده است. به صورت کلی، دو نوع حراج یکنواخت و پرداخت بر اساس پیشنهاد در بازارهای برق استفاده می شود. هدف از مطالعه حاضر، مقایسه حراج یکنواخت و حراج پرداخت بر اساس پیشنهاد با استفاده از مدل سازی مبتنی بر عامل می‌باشد. بدین منظور، بر مبنای نظریه‌های اقتصاد و مدل‌سازی مبتنی بر عامل، با استفاده از تابع هزینه و الگوریتم راث-ارو، شبیه‌سازی انجام شده و با بهره‌گیری از داده‌های بازار برق ایران در سال ۱۳۹۳، دو حراج با هم مقایسه شدند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد حراج پرداخت بر اساس پیشنهاد، پتانسیل انحراف بازیگران از هزینه نهایی را به واسطه ساختار تسویه و قوانین موجود افزایش می‌دهد. لذا از آنجا که بازار برق ایران بر اساس حراج پرداخت بر اساس پیشنهاد فعالیت دارد، لزوم بازنگری و دقت نظر در این خصوص بیش از پیش اهمیت دارد.

واژه‌های کلیدی: حراج یکنواخت، حراج پرداخت بر اساس پیشنهاد، مدل‌سازی مبتنی بر عامل، الگوریتم تقویتی، کارایی بازار

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۳۱

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

صنعت برق یکی از صنایع استراتژیک و بسیار پویاست که نقش اساسی و محوری در تحقق برنامه‌های توسعه ملی هر کشور ایفا می‌کند. از این رو، حکومت‌ها به طور سنتی به صنعت برق به عنوان یک صنعت پیشرو نگریسته‌اند. از سوی دیگر، به دلیل اثرات اجتماعی، محیطی و نیاز به حجم بالای سرمایه‌گذاری در این صنعت، دولت‌ها سعی نموده‌اند آن را به صورت متمرکز کنترل نمایند. در سیستم متمرکز عواملی مانند فقدان رقابت در زمینه تولید و عرضه برق، عدم اعمال محدودیت‌های مالی، بالا بودن هزینه‌ها، سیاسی کردن تصمیم‌گذاری‌های سرمایه‌گیری و نبود انگیزه باعث کاهش کارایی و تنزل ارائه خدمات به مصرف‌کنندگان می شود. لذا در جهت رفع موانع سیستم متمرکز و افزایش آهنگ رشد و شکوفایی صنعت برق و همچنین افزایش کارایی، تلاش‌هایی در جهت تغییر ساختار انحصارهای دولتی در صنعت برق انجام گرفته است. بنابراین، از حدود دو دهه قبل برخی از کشورها با دو رویکرد خصوصی‌سازی و رقابت‌پذیری در صنعت برق، تجدید ساختار را آغاز نموده‌اند. نگاهی تاریخی به تحولات صنعت برق ایران نشان می‌دهد که پایه‌گذاری این صنعت به صورت خصوصی انجام گرفت و در ادامه با مشارکت شهرداری‌ها و سرمایه‌گذاران خارجی، یک فضای رقابتی در عرضه و تولید برق به وجود آمد. اما بتدریج انگیزه‌های بخش خصوصی کاهش یافت و با حاکمیت یک دولت مرکزی در کشور که از درآمدهای سرشار نفتی بهره‌مند بود، ضرورت پاسخگویی به تقاضای فزاینده برق توسط دولت احساس شد و در نهایت، صنعت برق کشور ملی گردید. اما در دهه‌های اخیر، عوامل دیگری در عرصه اجتماعی و اقتصادی کشور باعث شده مسئولین به سمت خصوصی‌سازی، تجدید ساختار و رقابت‌پذیری حرکت نمایند. برخی از این عوامل شامل کاهش درآمدهای دولت برای پاسخگویی به تقاضاهای جدید، رشد فناوری و استفاده از مولدهای پراکنده و وجود نظریه‌های جدید اقتصادی در زمینه عدم کارایی بخش دولتی و کارا بودن بخش خصوصی می‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به موارد بر شمرده، ایران با بکارگیری تجارب سایر کشورها و در جهت تجدید ساختار در صنعت برق، اقدام به تشکیل بازار برق نمود. بازار برق ایران با تهیه و ابلاغ آیین‌نامه تعیین روش، نرخ و شرایط خرید و فروش برق در شبکه برق کشور در ابتدای آبان ماه سال ۱۳۸۲ شروع به کار کرد. پس از تجدید ساختار، تمامی بازارهای برق بر مبنای دو نوع حراج یکنواخت و تبعیض‌آمیز طراحی شده‌اند. در حراج یکنواخت به تمام تولیدکنندگان در بازار معادل قیمت تعادلی پرداخت می‌شود در حالی که در حراج تبعیض‌آمیز به فروشندگان مقدار پیشنهادی پرداخت می‌شود. بازار برق ایران بر اساس شکل حراج تبعیض‌آمیز فعالیت می‌کند و یکی از معدود بازارهای جهان است که بر اساس این نوع از جراح طراحی شده است. در کنار این تفاوت، سایر ویژگی‌های بازار برق ایران به شرح زیر قابل اشاره است:

۱. مدل بازار در بازار برق ایران بازار روز قبل می‌باشد.

۲. مدل حراج در بازار برق ایران حراج یک‌طرفه می‌باشد.

۳. پرداخت به فروشندگان برمبنای روش پرداخت بر مبنای پیشنهاد می‌باشد.

۴. نرخ خرید از بازار برق ایران به شکل یکنواخت و بر اساس قیمت تسویه بازار می‌باشد.

۵. پرداخت بابت خدمات انتقال بر مبنای آمادگی می‌باشد.

همانگونه که اشاره شد، بازارهای برق عمدتا بر اساس مدل یکنواخت فعالیت می کنند. استفاده از حراج تبعیض‌آمیز در بازار برق ایران به عنوان یک ویژگی متمایزکننده نیازمند مطالعه و ارزیابی بیشتر است. از آنجا که نمونه تجربی عملی در سایر کشورها در خصوص نتایج حاصل از اجرای یک بازار برق یکنواخت وجود ندارد، مطالعات زیادی نیز در این حوزه انجام نشده و مطالعات موجود نیز بر اساس داده‌های ازمایشگاهی طراحی گردیده است.

بر این اساس، همچنان این سؤال اساسی وجود دارد که نوع حراج چه تاثیری بر رفتار بازیگران و نتایج حاصل از یک بازار خواهد داشت. به عبارت دیگر، چالش مربوط به طراحی بازار بر اساس

www.SID.ir

Archive of SID

نوع حراج به عنوان یک مساله اساسی همچنان قابل اشاره و توجه است. لذا تحقیق حاضر با هدف مقایسه و شبیه‌سازی این دو نوع حراج انجام شده است و در صدد پاسخ به این سؤال اساسی است که تغییر قوانین مربوط به حراج و به طور مشخص نوع حراج چگونه نتایج تعادلی حاصل را تحت تاثیر قرار می دهد. بعلاوه شبیه سازی این موضوع که کدام نوع حراج برای بازار برق ایران نتایجی کاراتر از بعد تولید به همراه خواهد داشت نیز با استفاده از مدل شبیه‌سازی اجراشده قابل ارزیابی است.

این نکته اهمیت دارد که چالش اساسی در مقایسه این دو حراج به مساله رفتاری بازیگران و نگاه سیستمی در این زمینه بازمی‌گردد. تغییر قوانین بازی در هر شرایطی بازیگران را بلافاصله در موضع متفاوت قرار داده و منطق رفتاری آنها را در یک بازی متفاوت خواهد ساخت. بدون شک چالش اصلی موضوع مقایسه دو بازار از همین منظر باید مورد توجه قرار گیرد. در حالتی که بازیگران و تولیدکنندگان امکان سواری مجانی[1] و دریافت قیمت تعادلی در بازار را دارند (حراج یکنواخت)، اولویت رفتاری آنها در پیشنهاددهی کاملا متفاوت از حالتی است که بازیگران امکان استفاده از تفاوت بین قیمت پیشنهادی و قیمت تعادلی را نخواهند داشت. در حالت اول، بازیگران صرفا به دنبال ارائه پیشنهادها برای قرارگیری در لیست برندگان هستند و بر اساس این منطق، پیشنهاددهی مبتنی بر هزینه نهایی[2] دور از ذهن نخواهد بود. اما به محض تغییر قوانین بازی، بازیگران نیز با هدف حداکثرسازی سود خود رفتار متفاوتی بروز می دهند و نحوه پیشنهاددهی آنها بر اساس پیش‌بینی هر یک از قیمت نهایی یا بالاترین قیمت بازار است. همین موضوع به این نکته می‌انجامد که سطح عمومی پیشنهادها در یک بازار پرداخت بر اساس پیشنهاد عموما بالاتر از بازارهای یکنواخت است. همین تغییر منطق رفتاری به عنوان مهم‌ترین چالش در مقایسه این دو حراج شناخته شده و باعث بروز

1. Free Riding
2. Marginal Cost Bidding

www.SID.ir

Archive of SID

رویکردهای مختلف می گردد. بازارها به فراخور سایر ویژگی‌ها و ساختار موجود به انتخاب یکی از این دو رویکرد می پردازند و از همین رو، نسخه جامع و فراگیری ارائه نشده است.

بخشی از چالش و دغدغه مورد اشاره در بخش فوق، به تنگنای موجود در روش‌های شبیه‌سازی باز می گردد. ابزاری که امکان مدل نمودن ویژگی‌های ساختاری بازارها را داشته باشد و در عین حال از انعطاف کافی به منظور تغییر منطق بازیگران برخوردار باشد متفاوت از ابزار مرسوم و روش‌های متداول خواهد بود. بر این مبناست که روش شبیه‌سازی عامل‌محور به عنوان یک ابزار مناسب در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است. در این روش، هر عامل به عنوان یک بازیگر یا نماینده‌ای بخشی از بازیگران وارد بازی می شود. در گام دوم، ویژگی‌های مربوط به بازیگر به عامل مربوطه الصاق شده و نسبت داده می‌شود. بنابراین، چالش مربوط به مدل کردن ویژگی‌های ساختاری بازار که مرتبط با تنوع بازیگران است، مرتفع می شود. در گام بعدی با توجه به وجود یک سازوکار یادگیری و شبیه‌سازی، امکان مدل شدن تغییرات رفتاری بازیگران در قوانین مختلف به‌وجود می‌آید. به همین دلیل است که بازیگران در این مدل شبیه سازی با تغییر قانون تسویه بازار از روش یکنواخت به تبعیض‌آمیز، رفتار خود را نیز تغییر داده و نحوه بهینه‌سازی و پیشنهاددهی متفاوت می‌شود. لذا اهمیت استفاده از این ابزار ضروری و به عنوان یک گام اساسی قابل اشاره است.

در بخش نوآوری، بدون تردید مهم‌ترین بحث به مدل‌سازی نتایج مربوط به دو نوع حراج با استفاده از داده های واقعی بازمی گردد. به بیان دیگر، از آنجا که تقریبا تمامی بازارهای برق دنیا بر اساس مدل حراج یکنواخت فعالیت می کنند، استفاده از یک حراج واقعی تبعیض‌آمیز و شبیه سازی نتایج حاصل با مدل حراج یکنواخت وجه تمایز و مهم‌ترین نوآوری مقاله حاضر محسوب می شود. در همین حال، استفاده از روش شبیه‌سازی عامل‌محور نیز از منظر روش تحقیق وجه تمایز این مطالعه می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

در اغلب مطالعات انجام شده صرفا مساله نوع حراج مدنظر است، لیکن نکته قابل توجه که ابزار سیاستگذاری از منظر اقتصادی است موضوع کارایی بازار است. به دیگر سخن، سیاست‌گذاران بیش از هر چیز در طراحی و معماری یک بازار موضوع کارایی بازار را مورد توجه قرار می‌دهند. لذا شبیه‌سازی رفتار بازیگران در مدل واقعی از بازار می‌تواند به عنوان یک ابزار سیاستگذاری و تصمیم‌گیری مورد توجه قرار گیرد. ارزیابی کارایی بازار و مقایسه نتایج در دو ساختار مرسوم و متداول موجود، راهگشای برنامه‌ریزی به منظور طراحی سایر قوانین و نیل به اهداف موجود در فضای رقابتی است.

مدل مورد استفاده در این پژوهش، روش شبیه‌سازی مبتنی بر عامل است. بر اساس این مدل، دو حراج یکنواخت و حراج تبعیض‌آمیز مقایسه شده‌اند. بدین منظور، هر عامل به عنوان نماینده مجموعه‌ای از نیروگاه‌ها معرفی می‌شود و تلاش شده است که با استفاده از الگوریتم یادگیری، لیست پیشنهاد- قیمت برآورد و در یک ساختار شبیه‌سازی به بازار ارسال شود. در بازار طراحی‌شده، منحنی‌های عرضه و تقاضای بازار شبیه‌سازی خواهد شد و از این طریق، نتایج حاصل از دو ساختار مورد اشاره مقایسه می‌شوند. در ادامه، مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است:

در بخش دوم، به ادبیات تحقیق پرداخته شده و در قسمت سوم، روش‌شناسی تحقیق ارائه می‌شود. قسمت چهارم به ارائه نتایج تجربی تحقیق اختصاص یافته و در نهایت، نتیجه‌گیری مقاله آورده می‌شود.

۲. ادبیات تحقیق

در این بخش، ابتدا به مبانی نظری در خصوص انواع روش‌های تسویه بازار و دو حراج متداول در بازارهای برق پرداخته شده و سپس مرور کوتاهی نیز بر الگوریتم راث- ارو انجام خواهد شد.

www.SID.ir

Archive of SID

مطابق با آنچه در بخش مقدمه مقاله مطرح شد، فرایند تسویه بازارهای برق بر اساس دو ساختار یکنواخت و تبعیض‌آمیز خواهد بود. تفاوت ساختاری موجود در نحوه تخصیص منافع در این دو بازار باعث بروز رفتارهای متفاوت از سوی بازیگران می‌شود. در ادامه، مرور کوتاهی بر مهم‌ترین ویژگی‌های آنها انجام خواهد شد.

حراج یکنواخت

در حراج یکنواخت، به تمامی تولیدکنندگانی که کمتر یا مساوی قیمت تسویه بازار پیشنهاد داده باشند، قیمت تسویه پرداخت می‌شود.

این سیستم قیمت‌گذاری به طور گسترده در صنعت برق تجدید ساختار شده مورد توجه قرار گرفت، چرا که اقتصاددانان بر این باور بودند که از این طریق، بازار برق به کارایی اقتصادی[1] دست می‌یابد. به عبارت دیگر، بهترین تخصیص منابع[2] در بلندمدت، از این طریق میسر است. (رن، ۲۰۰۸)

از آنجایی که در حراج یکنواخت، قیمت پرداختی به تولیدکنندگان، مستقل از پیشنهادشان می‌باشد؛ حداکثرسازی تابع سود ایجاب می‌کند که پیشنهاد هزینه برای تولید هر تولیدکننده، پیشنهاد بهینه باشد. بنابراین، تابع پیشنهاد بهینه صنعت، تابع هزینه نهایی صنعت خواهد بود. (فدریکو و رحمان، ۲۰۰۳)

در این حالت، تولیدکنندگان می‌دانند اگر پیشنهاد شان رد شود، بدین معناست که پیشنهادهای پایین‌تری برای پوشش تقاضا موجود بوده است و بهتر است آنها خاموش بمانند، زیرا که با قیمت کمتر، هزینه‌های آنها پوشش داده نمی‌شود. از طرفی، در صورتی که پیشنهادشان پذیرفته شود، سود ناشی از اختلاف قیمت تسویه بازار و هزینه‌شان را دریافت خواهند کرد. در این حالت، فشار رقابت،

1. Performance Economic
2. Resources Attribution

www.SID.ir

Archive of SID

تولیدکنندگان را مجبور می‌کند هزینه‌های خود را کمینه کنند تا به بیشترین سود دست یابند. (فدریکو و رحمان، ۲۰۰۳)، (رن، ۲۰۰۸) ، (کاهن و همکاران، ۲۰۰۱)

از طرفی، بیشتر اقتصاددانان بر این باورند که در شرایط غیررقابتی، شرکت‌های تولیدی، پیشنهادی بالاتر از هزینه واقعی خود به بازار ارائه می‌کنند تا سود اقتصادی به دست آورند. بنابراین، از آنجا که ممکن است شرکت‌های تولیدی، پیشنهادهایی بالاتر از هزینه خود ارائه کرده باشند، لذا مجموع پیشنهادها لزوما نشاندهنده رفاه اجتماعی نیست.

از آنجایی که در حراج یکنواخت قیمت پیشنهادی شرکت‌های تولیدی صرفا برای تعیین برندگان بازار است و مستقل از قیمت پرداختی به آنها می‌باشد، شرکت‌های تولیدی برای حداکثرسازی سود در واقع می‌توانند به دنبال پیشنهاد بهینه باشند.(فدریکو و رحمان، ۲۰۰۳)

حراج پرداخت براساس پیشنهاد

در این حراج، به تمامی تولیدکنندگانی که کمتر یا مساوی قیمت تسویه بازار پیشنهاد داده باشند، قیمتی برابر با پیشنهادشان پرداخت خواهد شد.

اگرچه بسیاری از اقتصاددانان معتقدند که در حراج یکنواخت کارایی بازار بیشتر است، اما در برخی کشورها از حراج پرداخت بر اساس پیشنهاد استفاده می شود. در واقع، در این حراج به علت اینکه هر نیروگاه در صورت برنده شدن، قیمت پیشنهادی خود را دریافت می‌کند، نیروگاه‌هایی سود بیشتری کسب می‌کنند که قیمتی نزدیک به قیمت تسویه بازار پیشنهاد دهند، یعنی نیروگاه‌ها برای کسب سود بیشتر در این نوع حراج باید توانایی پیش‌بینی قیمت تسویه بازار را داشته باشند.

در نگاه اول، به نظر می‌رسد که در حراج تبعیض‌آمیز نیروگاه‌ها برای ماندن در مدار، قیمت پایین‌تری و یا هزینه نهایی خود را پیشنهاد می‌دهند، اما با استفاده از شبیه‌سازی می‌توان قیمت تسویه را پیش‌بینی کرد و قیمتی نزدیک به آن پیشنهاد داد. (بوئر و بان، ۲۰۰۱)

www.SID.ir

Archive of SID

اقتصاددانان با بررسی دو حراج در بیشتر بازارهای جهان به این نتیجه رسیدند که قدرت بازار که با کارایی بازار رابطه معکوسی دارد، در حراج پرداخت بر اساس پیشنهاد برای برخی تولیدکنندگان زیاد است، یعنی کارایی بازار نیز پایین می‌باشد، چرا که نیروگاه‌ها قادر به پیش‌بینی قیمت تسویه می‌باشند. بنابراین، قیمت پیشنهادی در حراج تبعیض‌آمیز بیشتر از حراج یکنواخت می‌باشد. (ویسدهیفان، ۲۰۰۳)

با توجه به تحقیقات برخی اقتصاددانان، در بعضی موارد که عرضه‌کنندگان محدودیت‌های ظرفیت دارند، امکان دارد پرداخت‌های انجام‌شده به عرضه‌کنندگان در حراج تبعیض‌آمیز پایین‌تر از پرداخت‌ها در حراج یکنواخت باشد. (جنک، ۲۰۰۷)

به طور خلاصه، در حراج پرداخت بر اساس پیشنهاد، کارایی بازار و رفاه مصرف‌کننده پایین و قدرت بازار بالاست که این ممکن است در صورت بالا بودن بیش از اندازه قدرت بازار، یعنی وجود بازار غیر رقابتی، به نابودی بازار منجر شود.(منسا- بونسو و اورن،۲۰۰۲)

هدف از این پژوهش، مطالعه رفتار تولیدکنندگان تحت هر دو حراج است. با کمک الگوریتم یادگیری تقویتی و بهره‌گیری از ویژگی های انسانی، امکان بررسی دقیق‌تر پیشنهاد قیمتی تولیدکنندگان فراهم شده است.

الگوریتم راث-ارو[1]

در یک مجموعه از مطالعات راث[2] و ارو[3] دریافتند که مردم چگونه می‌توانند بیاموزند تا بتوانند در بازی‌هایی با استراتژی‌های چندگانه و تحت تاثیر سایر بازیگران، رفتار کنند. بدین منظور، آنها یک الگوریتم یادگیری تقویتی سه پارامتری را توسعه دادند که بعد از آن به الگوریتم RE معروف گردید. (راث و ارو، ۱۹۹۸)

1. Roth-Erev
2. Ido Erev
3. Alvin E. Roth

www.SID.ir

Archive of SID

پایه اصلی هر الگوریتم یادگیری تقویتی میل به تقویت اعمالی است که باعث ایجاد نتایج دلخواه می‌شوند و در مقابل، تضعیف نمودن اعمالی است که نتایج دلخواه را سبب نمی‌شوند. راث-ارو این اصل را به عنوان نقطه شروع تحقیقات خود برای ایجاد یک مدل قوی در یادگیری شخصی پذیرفتند. علاوه بر این، آنها یک اصل مهم دیگر تحت عنوان قانون قدرت تمرین و تکرار در یادگیری را مورد توجه خود قرار دادند. (راث و ارو ۱۹۹۸)

روان شناسان عموما بر یادگیری شخصی در "بازی‌های مقابل طبیعت" تحت شرایطی که تنها یک تصمیم‌گیرنده وجود دارد، تمرکز می‌کنند. در مقابل راث-ارو به یادگیری شخصی در استراتژی محیطی با تصمیم‌گیرندگان متعدد علاقه‌مند بودند. راث-ارو به این بحث پرداختند که در این گونه موارد، قانون تاثیر و قانون قدرت تمرین و تکرار نمی‌توانند به صورت کارآ تاثیر واکنش‌هایی را که سایر تصمیم‌گیرندگان مشاهده نموده‌اند برای تصمیم‌گیری دیگر بازیگران در محیط نشان دهند. (نیکولیسن[1] و همکاران، ۲۰۰۱)

بر اساس مشاهدات گسترده‌تر یادگیری شخصی در بازی‌های چندعاملی، راث-ارو دو اصل یادگیری دیگر را تحت عنوان های تاثیر آزمایش[2] و تاثیر تازگی[3] (تاخر) برای کمک به این موضوع درنظر گرفتند. چارچوب کلی اصل آزمایش بر این موضوع دلالت دارد که تنها انتخاب‌هایی که در گذشته به موفقیت ختم شده‌اند به احتمال زیاد در آینده نیز اخذ خواهند گردید، بلکه انتخاب‌های مشابه آنها نیز در اغلب موارد به کار گرفته خواهند شد. اصل تازگی نیز بر این موضوع تاکید دارد که تجربه اخیر عموما نقش بیشتری در تعیین رفتار نسبت به تجربیات قبلی دارد. (نیکولیسن[4] و همکاران، ۲۰۰۱)

1. James Nicolaisen
2. Experimentation Effect
3. Regency Effect
4. James Nicolaisen

www.SID.ir

Archive of SID

الگوریتم راث–ارو با بهره‌گیری از این چهار اصل یادگیری با درجات متفاوتی می‌تواند به بررسی رفتار افراد در بازی‌های چندعامله و تکراری بپردازد.

- شکل الگوریتم راث- ارو :

سه پارامتر اصلی که الگوریتم RE را مشخص می نمایند عبارتند از:

- پارامتر مقیاس گذاری(s)[1]
- پارامتر تازگی (r)
- پارامتر آزمایش (e)

- الگوریتم اصلاح‌شده راث– ارو

الگوریتم RE دارای دو مشکل می‌باشد؛ اول اینکه، درصورتی که e نزدیک به $\frac{[K-1]}{K}$ تنظیم شود، بروزر سانی انتخاب احتمالا آهسته خواهد بود، همچنین اگر e دقیقا برابر با $\frac{[K-1]}{K}$ با شد، بروز ر سانی انتخاب احتمالات به طور کامل متوقف خواهد گردید. در نتیجه، باید در انتخاب e و K بسیار دقت کرد.

دوم اینکه، سختی اصلی در موضوع حراج دوطرفه این است که هر عامل تنها به بروزرسانی انتخاب احتمالات خودش برای دست‌یابی به سودی غیر از صفر می‌پردازد. در حراج دوطرفه، عاملان باید برای پیشنهاد قیمتی برای تصاحب قسمتی از بازار آموزش ببینند و در صورت عدم بروزرسانی در واکنش نسبت به سود صفر باعث از دست دادن سهم بازار می‌شود.

یک اصلاح ساده در الگوریتم راث–ارو با در نظر گرفتن پایه اصلی آن باعث حل این دو مشکل خواهد بود. بدین منظور، با ایجاد یک تغییر در بروزرسانی تابع E(.) به صورت زیر، این اصلاح صورت گرفته است.

1. Scaling Parameter

www.SID.ir

Archive of SID

$$ME(j, k, k', n, K, e) = \begin{cases} R(j, k', n)(1-e) & k = k \\ \frac{q_{jk}(n)e}{K-1} & k \neq k' \end{cases} \quad (1)$$

این اصلاح به معرفی یک ارزش متفاوت برای پارامتر تازگی (r) برای انتخاب در مقابل سایر عمل‌های انتخاب نشده می‌پردازد. به عبارت دیگر، تاثیر پارامتر تازگی برای عمل‌های انتخاب‌نشده از r به $r' = \frac{r-e}{[K-1]}$ کاهش می‌یابد.

مطالعات تجربی

یانگ[1] و همکاران در مقاله خود (۲۰۱۶) یک مدل *SWEM* را توسعه دادند. هدف آنها ساخت یک مدل عامل‌محور با استفاده از الگوریتم اصلاح‌شده راث-ارو برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت‌ها با ورودی‌های پایه‌ای (مانند ذخیره آبی) در فضای واقعی بازار برق بود. آنها از الگوریتم اصلاح شده راث-ارو برای ۱۹ گره از بازار برق نیوزیلند استفاده کردند. مطابق با نتایج حاصل، الگوریتم ا صلاح شده راث- ارو برای بازار برق معتبر می‌با شد. همچنین از نظر این مقاله، دلیل ا ستفاده نشدن این الگوریتم در گذشته، عدم توجه به ضرورت بخش برق برای سایر پژوهش‌گران و جدید بودن این حوزه بوده است. همچنین آنها بیان کردند که این الگوریتم اصلاح‌شده بسیاری از فرضیات رفتاری را تسخیر می‌کند و همچنین نشان دادند که این الگوریتم در شبکه‌های بزرگتر بسیار کارآتر عمل می‌نماید.

ماریگرازیا[2] و همکاران در مقاله (۲۰۱۴) یک مدل شبیه‌سازی براساس تعادل نش برای ارزیابی رقابتی مزایده در بازار برق ارائه دادند. تفاوت عمده این مدل با سایر مدل‌های پیشین در فرض ظرفیت‌های متفاوت تامین‌کنندگان بود که باعث اثربخشی آن شده بود. هدف از این رویکرد،

1. David Young
2. Mariagrazia

www.SID.ir

Archive of SID

ارزیابی کیفیت رقابتی بازار با در نظر گرفتن اســتراتژی‌های پیشــنهاد قیمت (قیمت‌گذاری) برای جلوگیری از رفتارهای غیررقابتی بود. این رویکرد با یک ســری داده‌های واقعی با تعداد متعددی از اعضای پیشنهاددهنده با ظرفیت‌های مختلف در کشور ایتالیا مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل می‌تواند به عنوان یک ابزار پشــتیبانی در فرایند تصــمیم‌گیری هم برای اعضــای بازار (در تعیین استراتژی‌های بهینه قیمت پیشنهادی) و هم برای تنظیم‌کنندگان (جلوگیری از استراتژی‌های فریبنده) به کار رود. همچنین این مدل امکان تحلیل پویا برای پیگیری رفتار بازیگران و اعمال تصــمیم‌گیری را فرآهم می‌کند تا در ســایه آن بتوان قدرت بازار را افزایش و در نتیجه، کیفیت رقابتی را بهبود بخشید. اما این مدل به دلیل پایه‌ای بودن آن کمبودهایی نیز داشت که از جمله این کمبودها می‌توان به اعتبارسنجی این رویکرد در مقایسه آن با سایر راه‌حل‌های کامل پرداخت. همچنین به دلیل ارزیابی بهتر اثر ظرفیت‌های مختلف تولید در هزینه‌های آن، نیاز به ایجاد تمایز میان پیشــنهاددهندگان قیمت در بازار برق (پیشــنهاددهندگان عمده به علت اثر اقتصــاد به مقیاس، هزینه کمتری نســبت به پیشنهاددهندگان کوچکتر متحمل می‌شوند) می‌باشد.

نیلسن[1] و همکاران در مقاله (۲۰۱۱) با توجه به اینکه مسیر سیاست انرژی دانمارک رو به بی‌نیازی از سوخت‌های فسیلی و افزایش استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌باشد، بازار برق دانمارک را با دو مدل تحت دو سازوکار بازار مورد بررسی قرار دادند. در بازار برق دانمارک از سیستم حراج بر مبنای قیمت نهایی استفاده می‌شود که با توجه به این سیستم، پیشنهاد عرضه‌کنندگان برق تجدیدپذیر صفر یا نزدیک به صفر می‌باشد. از این رو، قیمت‌های بازار در زمان وجود این عرضه‌کنندگان در حراج، کاهش و درآمد آنها نیز کاهش می‌یابد. در این پژوهش به منظور رفع این مشــکل، حراج تبعیض‌آمیز پیشــنهاد شــده اســت. بنابراین، دو تنظیم مختلف بازار را با ســهم‌های متفاوتی از منابع

1. Nielsen

www.SID.ir

Archive of SID

تجدیدپذیر در نظر گرفتند تا امکان بررسی اثر تغییرات در نوع حراج فراهم شود. نتایج حاصل نشان داد که برای این نوع بازار، حراج بر مبنای هزینه نهایی مناسب‌تر از هر سازوکار دیگری است.

گورسی[1] و رستگار[2] در مقاله (۲۰۰۹) بازار برق ایتالیا را تحت دو سازوکار حراج یکنواخت و پرداخت براساس پیشنهاد بررسی کردند. در این مقاله، ۵۳ نماینده به عنوان عوامل شبیه‌سازی مورد توجه قرار گرفته و هر نماینده، مجموعه‌ای از نیروگاه را شامل می‌شود. منطق اصلی در دسته‌بندی نیروگاه‌ها ویژگی جغرافیایی و فنی آنهاست. در این تحقیق همچنین از الگوریتم تقویتی راث- ارو برای یادگیری نماینده‌ها استفاده شده و نتایج نشان می‌دهد که حراج یکنواخت در مقایسه با حراج پرداخت بر اساس پیشنهاد کارایی بیشتری دارد.

جنک[3] در مقاله خود (۲۰۰۷) نتایج حراج تبعیض‌آمیز با یکنواخت را با وجود محدودیت ظرفیت عرضه مقایسه می‌کند. او برای مقایسه دو حراج با وجود محدودیت‌های ظرفیت، مدل تابع تعادل عرضه با برنامه پیشنهاد مستمر با تقاضای کشش‌پذیر و متغیر با زمان و تابع هزینه نهایی تک‌گامی مدل‌سازی کرد. جنک نشان می‌دهد که پرداخت‌های انجام‌شده به عرضه‌کنندگان در تعادل حراج تبعیض‌آمیز پایین‌تر از حراج یکنواخت می‌باشد.

سئوک سون[4] و همکاران در مقاله (۲۰۰۴) سازوکارهای قیمت رقابتی را در دو حراج یکنواخت و تبعیض‌آمیز مقایسه کرده و همچنین با استفاده از نظریه بازی‌ها و نظریه حراج، رفتار استراتژیک یک بازیگر بزرگ و بازیگر کوچک را در بازی حراج کوتاه‌مدت مورد بررسی قرار دادند. آنها مدلی با استفاده از تعادل نش شبیه‌سازی کردند و مدل را با در نظرگرفتن تقاضای کشش‌پذیر توسعه و نشان دادند که قیمت‌گذاری تبعیض‌آمیز منجر به تقاضای کلی انتظاری بزرگتری می‌شود.

1. Guerci
2. Rastegar
3. Genc
4. Seok Son

www.SID.ir

Archive of SID

فدریکو[1] و رحمان[2] در مقاله (۲۰۰۳) تغییرات حاصل از بازار انگلستان را از بازار یکنواخت به بازار تبعیض‌آمیز تحت دو ساختار کلی بازار، رقابت کامل و انحصاری تحلیل کردند. آنها نشان دادند که تحت رقابت کامل یک موازنه میان بهره‌وری و مازاد مصرف‌کننده در دو حراج وجود دارد. آنان همچنین نشان دادند که تغییر سازوکار بازار از یکنواخت به تبعیض‌آمیز تحت شرایط انحصاری اثر منفی بر سود و توان خروجی و اثر مثبت بر مازاد مصرف‌کننده دارد، لیکن اثرات رفاهی و میانگین قیمت‌ها در مقایسه دو حراج به صورت قطعی قابل‌تشخیص نیست و نتایج با ابهام روبرو می‌باشد. به بیان دیگر، سایر ویژگی‌های موجود در یک بازار می‌تواند نتایج حاصل را در یک ساختار انحصاری متفاوت از یک بازار دیگر نماید.

بوئر[3] و بان[4] در مقاله‌خود (۲۰۰۱) تحت عنوان تحلیل تجربی بهره‌وری قیمت یکنواخت در مقابل حراج تبعیض‌آمیز در بازار برق انگلستان و ولز، شبیه‌سازی مبتنی بر عامل بازار برق انگلستان و ولز را برای سال ۲۰۰۰ ارائه کردند. این شبیه‌سازی برای مقایسه دو سازوکار مختلف بازار طراحی شده است. در این مقاله، مقایسه پیشنهادهای روزانه در مقابل پیشنهادهای ساعتی و مقایسه تنظیم قیمت یکنواخت در مقابل تبعیض‌آمیز صورت گرفته است. در این شبیه سازی، نماینده‌های تولید با الگوریتم یادگیری تقویتی ساده با هدف، افزایش سود و رسیدن به نرخ بهره‌وری مشخص، پیشنهادهای خود را می‌دهند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که قیمت‌های بازار در حراج تبعیض‌آمیز بیشتر از قیمت‌های یکنواخت می‌باشد.

1. Federico
2. Rahman
3. Bower
4. Bunn

www.SID.ir

Archive of SID

در مقاله‌ای دیگر، نیکولایسن[1] و همکاران (۲۰۰۱)، بهره‌وری و قدرت بازار را تحت سازوکار بازار برق دوطرفه و وجود حراج تبعیض‌آمیز بررسی کردند. در این مطالعه، دو نوع نماینده[2] خریداران و فروشندگان در نظرگرفته شده که فروشندگان برای تعیین قیمت و مقدار پیشنهادی خود در هر دور حراج از الگوریتم راث- اروا ستفاده می‌کنند. خریداران و فروشندگان اطلاعات خود را در هر دوره بازی به‌روز می‌کنند و در واقع، عمل یادگیری اتفاق می‌افتد.

حقیقت و همکاران در مقاله (۱۳۹۱) قیمت تبعیض‌آمیز را با قیمت نهایی با توجه به رفتار استراتژیک عرضه‌کنندگان مقایسه کردند و نشان دادند که استراتژی‌های پیشنهاددهی بهینه و قیمت تسویه بازار بسیار پایین‌تر از سازوکار تبعیض‌آمیز بوده و حداکثر سود هر واحد ژنراتور تحت دو سازوکار یکسان نمی‌باشد. آنها همچنین توزیع تجمعی سود و زیان انتظاری تحت سازوکارهای تبعیض‌آمیز و نهایی مقایسه کردند و نشان دادند در صورتی که محدودیت‌های شبکه انتقال نادیده گرفته شود، هر ژنراتور سود و زیان انتظاری بیشتری تحت سازوکار تبعیض‌آمیز دارد. در غیر این صورت، ممکن است سود و زیان کمتری تحت این سازوکار حاصل شود.

آزاده و همکاران در مقاله (۱۳۸۹) برای اولین بار در مدل‌سازی مبتنی بر عامل با استفاده از رویکرد بهینه سازی کلونی مورچه، سه سازوکار حراج بازار، یکنواخت، تبعیض‌آمیز و ویکری را با هم مقایسه کردند. آنها در این بررسی معیارهای اقتصادی مختلفی مانند میانگین قیمت تسویه، بهره‌وری تخصیص و نوسانات قیمت را در نظرگرفتند. با در نظرگرفتن میانگین قیمت، حراج تبعیض‌آمیز کمترین و حراج یکنواخت بیشترین قیمت را داشته است. از نظر نوسانات، حراج ویکری کمترین نوسانات قیمت را داشته و از نظر بهره‌وری تخصیص، حراج ویکری بهترین حراج است و در نهایت، با نرمالیزه کردن معیارها حراج یکنواخت بهترین حراج مشخص شد.

1. Nicolaisen
2. Agent

www.SID.ir

Archive of SID

رحیمیان و رجبی مشهدی در مقاله (۱۳۸۷) مساله تصمیم‌گیری در مورد پیشنهادها در حراج تبعیض‌آمیز از نگاه عرضه‌کننده را بررسی می‌کنند. آنها در این بررسی قیمت تسویه بازار به عنوان یک متغیر تصادفی پیوسته با تابع توزیع احتمال مشخص را در نظرگرفته و در راه‌حل پیشنهادشده اثرات قدرت بازار عرضه‌کننده را که منجر به تراکم انتقال می‌شود، در نظرگرفتند و بنابراین، یک معادله جبری به منظور محاسبه قیمت پیشنهادی ارائه دادند. این روش که روش مبتنی بر مدل نامیده شده است مناسب شرایط واقعی نبوده و بنابراین، عرضه‌کنندگان از تجربیات گذشته با استفاده از الگوریتم یادگیری Q به دنبال یافتن قیمت پیشنهادی بهینه می باشند. نتایج نشان می‌دهد عرضه‌کنندگانی که از الگوریتم یادگیری Q استفاده کردند، استراتژی پیشنهادی بهینه مشابه همان استراتژی رویکرد مبتنی بر مدل یافتند.

در مقاله‌ای با عنوان بررسی تاثیر حضور عامل‌های قیمت‌دهنده با استراتژی‌های معین در کنار عامل‌های یادگیرنده تقویتی در یک بازار برق رقابتی، نصیری و همکاران (۱۳۸۷) تاثیر حضور عامل‌های قیمت‌دهنده با استراتژی معین در بازار برق رقابتی را شبیه‌سازی کرده‌اند. نتایج شبیه‌سازی آنان نشان می‌دهدکه استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری احتمالی تاثیری در نحوه قیمت‌دهی واحدها ندارد، اما پس از بررسی سود هر واحد در طولانی‌مدت به این نتیجه رسیدند که استفاده از یک الگوریتم دیگر باعث می شود که بازار از نقطه تعادل خارج شده و سود برخی از واحدها افزایش و سود برخی از واحدها کاهش یابد.

محمدی و همکاران (۱۳۹۴) با بهره‌گیری از مدل MESSAGE به ارزیابی اثرات صرفه‌جویی انرژی بر توسعه بخش نیروگاهی کشور طی سال‌های ۱۴۳۰-۱۳۹۵ می‌پردازند. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد ظرفیت نصب‌شده از حدود ۷۳ هزار مگاوات در سال ۱۳۹۳ با رشد سالانه ۶/۳ درصد در پایان دوره بر اساس سناریوی مرجع به ۲۵۰ گیگاوات خواهد رسید که این رقم بر اساس سناریوی

www.SID.ir

Archive of SID

صرفه‌جویی انرژی به میزان ۹۰ گیگاوات کاهش یافته و در پایان دوره با رشد سالانه‌ای معادل ۴/۲ درصد به ۱۶۰ گیگاوات خواهد رسید.

محمدی بوساری و همکاران (۱۳۹۶) با ارائه یک مساله ریاضی چندهدفه به مدل‌سازی تامین انرژی الکتریکی پایدار در ریزشبکه متصل به شبکه می‌پردازند. نتایج تحلیل حساسیت برآورد مدل نشان می‌دهد مدل ریاضی پیشنهادی با استفاده از روش حل بکارگرفته شده با نگاهی جامع بر ابعاد اقتصادی و زیست‌محیطی بهره‌برداری از واحدهای تولید مختلف یک ریزشبکه در افق زمانی ۲۴ ساعته رویکردی کارا و موثر جهت توسعه، بهبود و کاربردی نمودن زمان‌بندی عملیات ریز شبکه‌ها فراهم می‌نماید.

همانگونه که در بررسی پیشینه تحقیق مشخص است، مطالعات متعددی به بررسی تمایز بین دو نوع حراج و نتایج حاصل پرداخته‌اند. مطابق با بررسی روند مورد اشاره، تمامی مطالعات مربوط به بازارهای برق در کشورهایی است که بازار برق آنها بر اساس روش حراج یکنواخت می‌باشد.

بدیهی است مهم‌ترین وجه تمایز بین مطالعه حاضر با مطالعات انجام‌شده، مدل‌سازی با استفاده از داده‌های بازاری است که به صورت عملی به صورت پرداخت بر اساس پیشنهاد فعالیت می‌کند و بنابراین، نتایج حاصل می‌تواند با مطالعات مشابه متفاوت باشد.

از سوی دیگر، استفاده از روش تحلیل عامل‌محور به دلیل ویژگی ذاتی فنی و پیچیدگی‌های مدل‌سازی که از آن برخوردار است، از نوآوری دیگر این پژوهش در مقایسه با مطالعات مشابه داخلی محسوب می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

۳. روش‌شناسی تحقیق

در این بخش به معرفی روش تحقیق در چارچوب الگوریتم راث- ارو و فرایند مدل‌سازی آن پرداخته می‌شود.

این الگوریتم برای هر استراتژی (عمل) aj ϵ Aj، یک مقدار گرایش[1] تعریف کرده است. در هر دور t، مقادیر Sj,t-1(aj) طبق فرمول زیر به‌روز می‌شوند.

$$S_{j,t}(a_j) = (1-r) \cdot S_{j,t-1}(a_j) + E_{j,t}(a_j) \qquad (۲)$$

r ϵ [0,1] پارامتر اثر تاخیر می‌باشد که اثر نتایج گذشته را به صورت نمایی کاهش می‌دهد. عبارت دوم در معادله (۲) تابع آزمایش[2] نامیده می‌شود که به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$E_{j,t}(a_j) = \begin{cases} \Pi_{j,t}(\widehat{a_j}) \cdot (1-e) & a_j = \hat{a}_j \\ S_{j,t}(a_j) \cdot \frac{e}{M-1} & a_j = \hat{a}_j \end{cases} \qquad (۳)$$

e ϵ [0,1] پارامتر اثر آزمایش می‌باشد که وزن‌های مختلفی بین عمل‌های انجام‌شده و نشده می‌دهد، M تعداد عمل‌های موجود می‌باشد و $\Pi_{j,t}(\hat{a}_j)$ پاداشی است که با انجام شدن عمل aj در دور t به دست آمده است که طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$\Pi_{j,t}(\widehat{a_j}) = R_j(\widehat{a_j})/\bar{R}_j \qquad (۴)$$

$\bar{R}_j$ حداکثر سودی که عامل j می‌تواند، داشته باشد. (هنگامی که قیمت و مقدار پیشنهادی در حداکثر مقدار ممکن باشد)

مقادیر گرایش برای تعیین احتمالات عمل‌های انتخابی برای دوره بعدی به صورت زیر نرمالیزه می‌شوند.

$$\Pi_{j,t+1}(a_j) = \frac{e^{s_{j,t}(a_j)/\lambda_t}}{\sum_{a_j} e^{s_{j,t}(a_j)/\lambda_t}} \qquad (۵)$$

1. Propensity Value
2. Experimentation Function

www.SID.ir

Archive of SID

$$\lambda t = c \,.\, t\text{-}d \qquad (۶)$$

λt پارامتر تفاوت زمانی[1] است که در واقع پارامتر یکسان‌سازی می‌باشد و مشخص می‌کند کدام عامل jام در تعیین سیاست انتخاب عمل احتمالی از مقادیر گرایش استفاده کرده است. زمانی که پارامتر تفاوت زمانی (λt) به سمت صفر میل کند، نشان‌دهنده این است که سیاست انتخاب عمل احتمالی به سرعت افزایش یافته است و عمل احتمالی aj بالاترین مقادیر گرایش را داشته و در نتیجه، احتمال افزایش می‌یابد و این عمل انتخاب می‌شود.

فرایند مدل‌سازی

بر اساس توضیحات ارائه‌شده در بخش قبلی، نیروگاه‌ها مجموعه‌ای از عمل‌ها دارند که همان عددی است که در هزینه نهایی نیروگاه ضرب می‌شود و قیمت پیشنهادی به دست می‌آید. (در بخش قبلی نحوه تشخیص m توضیح داده شده است)

$$Pj,i = mj \,.\, MCj,i \qquad (۷)$$

$mj \in Aj$ (Aj فضای عمل نماینده j می‌باشد)، MCj,i هزینه نهایی نیروگاه iام تحت مالکیت عامل jام است.

فرض شده است که $Aj = \{ 1.00, 1.05, 1.10, \ldots, 3.00 \}$ می‌باشد. با توجه به انواع پرداخت‌ها به مشتریان، بسیاری از هزینه‌های نیروگاه‌ها پوشش داده می شود. بنابراین، برای ساده کردن مدل از وارد کردن آن دسته از پرداخت‌ها در محاسبه چشم‌پوشی می‌شود. به این منظور، برای حداکثر قیمت پیشنهادی محدودیتی در نظر گرفته شده است.

$$Pj,i = mj \,.\, MCj,i \leq ۳۳۰ \qquad (۸)$$

هر عمل را با aj نشان می‌دهیم $aj = \{ a1, a2, \ldots, a41 \}$ و $aj \in Aj$ می‌باشد.

1. Time Varying Parameter

www.SID.ir

Archive of SID

در این مطالعه، نیروگاه‌های گازی، بخاری و چرخه ترکیبی کشـــور ایران که هزینه نهایی آنها کمتر از ۳۳۰ باشند، در دو سناریو متفاوت در نظر گرفته شده است. در سناریو اول، هر شرکت برق منطقه‌ای به عنوان یک نماینده در نظر گرفته شده که به این ترتیب، ۱۶ نماینده در این سناریو وجود دارد و در ســناریو دوم، هر نیروگاه به عنوان یک نماینده در نظرگرفته شــده اســت که به این ترتیب، ۵۵ نماینده در این سناریو وجود دارد.

هر نیروگاه قیمت و مقدار برق تولیدی پیشــنهادی خود را به بازار ارائه می‌دهد و نتایج بازار تحت دو حراج یکنواخت و پرداخت براساس پیشنهاد مقایسه می‌شوند.

هر عامل jام، ($j = 1, 2, \ldots, 15$)، مقادیر قیمت و مقدار برق تولیدی (در این مطالعه فرض شــده اســت که هر نیروگاه قدرت نامی خود را به عنوان مقدار تمایل تولیدی خود پیشــنهاد می‌دهد) خود که تمایل به تولید آن را دارد، به بازار ارائه می‌دهد و در ادامه، تسویه بازار انجام می‌شود.

ابتدا با استفاده از تابع هزینه (که در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد) هزینه نیروگاه‌ها محاسبه می‌شود.

ســپس ســود نیروگاه‌ها محاســبه شــده و به همین ترتیب، ســود هر عامل که برابر با جمع ســود نیروگاه‌های تحت مالکیت آن می‌باشد، به دست می‌آید.

$$Ri = Pt \,.\, Qi - TCi\,(Qi) \quad \text{(کیلووات ساعت/ریال)} \qquad (۹)$$

$$Ri = Pi \,.\, Qi - TC(Qi) \quad \text{(کیلووات ساعت/ریال)} \qquad (۱۰)$$

از معادله‌های (۸) و (۹) به ترتیب ســود از حراج یکنواخت و پرداخت براســاس پیشــنهاد محاســبه می‌شود.

که Pt قیمت تســویه در هر دور حراج می‌باشــد، Pi قیمت پیشــنهادی نیروگاه iام می‌باشــد و TCi(Qi) هزینه کل نیروگاه iام می‌باشد.

$$Rj = \sum Ri \qquad (۱۱)$$

www.SID.ir

Archive of SID

سپس با داده‌های بد ست‌آمده، الگوریتم مربوطه را اجرا کرده و با محا سبه mj، قیمت پی شنهادی بعدی را محاسبه می کند.

تسویه بازار

به فرایند برخورد منحنی عرضـــه و تقاضـــا در بازار، تســـویه بازار می گویند. قیمت و مقدار نقطه تسویه، قیمت و مقدار تسویه نام دارد. تسویه بازار در دو حراج یکسان می‌باشد، اما نوع حراج بسیار مهم است، چرا که در قیمت پیشنهادی نیروگاه‌ها موثر است. به همین منظور، در این نوشتار با استفاده از شبیه سازی مبتنی بر عامل سعی در تعیین قیمت پی شنهادی نیروگاه‌ها در هر دو حراج می شود. در گام نخست، به منظور اجرای مدل شبیه‌سازی مساله، تابع هزینه به عنوان یک عامل اساس در برآورد منافع بازیگران مورد توجه قرار خواهد گرفت.

تابع هزینه تولید

در صنعت برق، هزینه‌های یک نیروگاه به هزینه‌های ثابت[1] و هزینه‌های متغیر[2] تق سیم می شود. هزینه‌های ثابت، آن د سته از هزینه‌ها ه ستند که به مقدار تولید ب ستگی ندارند، یعنی اگر مقدار تولید تغییر کند و یا تولیدی صورت نگیرد، این هزینه‌ها وجود دارند. هزینه‌های متغیر، آن د سته از هزینه‌ها هستند که به مقدار تولید بستگی دارند، یعنی با تغییرات در سطح تولید، این هزینه‌ها تغییر می کند. در واقع، همان پرداخت‌های نیروگاه‌ها هستند.

در فناوری‌های مختلف، سهم بخش‌های مختلف هزینه‌های تولید متفاوت ا ست. نیروگاه‌هایی که در تمام روز فعالند، نیروگاه بار پایه[3]، غالبا دارای هزینه ثابت بالا (هزینه روشـن و خاموش شـدنشـان بالاســـت) و هزینه متغیر کم می‌باشـــند و نیروگاه‌های بار پیک[4] دارای هزینه ثابت کم و هزینه متغیر

1. Fixed Costs
2. Variable Costs
3. Base Load
4. Peak Load

www.SID.ir

Archive of SID

بالا هستند (براحتی وارد مدار و خارج می‌شوند). بنابراین در ساعاتی از روز فعالند. نیروگاه‌های بار میانی، هزینه‌های ثابت و هزینه‌های متغیر نه خیلی کم و نه خیلی بالا دارند.

در این مطالعه، نیاز است تا هزینه نهایی برای هر نیروگاه محاسبه شود. هزینه نهایی، هزینه پرداختی برای آخرین واحد کالا یا خدمت است و به تعبیری تخمینی است از چگونگی تاثیر تغییر در خروجی بر تغییر هزینه‌های اقتصادی. به عبارت دیگر، هزینه نهایی، میزان افزایش در هزینه کل بنگاه، ناشی از تولید یک واحد اضافی محصول می‌باشد. از لحاظ محاسباتی، این مقدار برابر اختلاف دو هزینه کل متوالی است. لذا با توجه به اینکه هزینه ثابت در سطوح مختلف تولید تغییر نمی‌کند، هزینه نهایی برابر اختلاف دو هزینه متغیر کل متوالی می‌باشد.

در کوتاه‌مدت، ظرفیت و فناوری در یک نیروگاه ساخته‌شده و در حال فعالیت ثابت است و امکان تغییر ندارد. بنابراین، اجزای اصلی هزینه‌های متغیر در صنعت برق شامل هزینه‌های سوخت و هزینه‌های تعمیر و نگهداری[1] می‌شود.

تصریح غیرخطی تابع هزینه کوتاه‌مدت

نظریه دوگانگی گام مهمی در برآورد توابع هزینه و تولید محسوب می‌شود. بر این اساس، تحت قوانین مشخص، تابع تولید و هزینه‌ای وجود دارد که دوگان یکدیگر هستند و تصریح تابع تولید بیانگر تابع هزینه است و برعکس. بنابراین، هزینه‌ها را می‌توان در قالب تابع تولید و یا تابع هزینه مورد تحلیل قرار داد. تخمین مستقیم تابع تولید زمانی می‌تواند جذاب باشد که مقدار تولید یک متغیر درون‌زا در بخش مورد مطالعه محسوب شود و طبیعتا در صورتی که تولید متغیر برون‌زا باشد، تعیین تابع هزینه روش منطقی‌تری است. قبل از تجدید ساختار در صنعت برق، تولید یک متغیر برون‌زا محسوب می‌شد که در یک فضای قانونمند از طریق برنامه‌ریزی متمرکز تعیین می‌شد. در این دوره، برآورد تابع هزینه در صنعت برق بسیار مرسوم بود. با تشکیل بازارهای برق، تولید به عنوان

1. Maintenance Costs

www.SID.ir

Archive of SID

متغیر تصـــمیم بنگاه‌ها مورد اهمیت قرار گرفت و بر این اســـاس، برآورد تابع هزینه کوتاه‌مدت با استفاده از تابع تولید روش متداول‌تری است.

در مدل سازی غیرخطی، در تصریح رابطه بین سوخت و تولید از یک رابطه ترمودینامیکی منطبق بر ویژگی‌های واحدهای حرارتی اســـتفاده می‌شـــود. این رابطه که منحنی ورودی-خروجی[1] واحد حرارتی نام دارد، بر حسـب یک رابطه غیرخطی درجه دوم یا درجه سـوم، نرخ تبدیل انرژی ورودی به خروجی را تصریح می کند. (رن، ۲۰۰۸)

هزینه‌های شروع اولیه، در این مدل سازی لحاظ می شوند. در تصریح غیرخطی به فرم درجه دوم، در کوتاه‌مدت این تابع به صورت زیر برآورد می‌شود:

$$Cit = Wit (ai\ Q2it + bi\ Qit + ci) \qquad (۱۲)$$

در معادله (۱۲)، Cit هزینه کوتاه‌مدت، Wit هزینه ســـوخت برای واحد i و ai، bi و ci، ضـــرایب معکوس تابع تولید می‌باشند.

تصریح خطی تابع هزینه کوتاه‌مدت

استفاده از رابطه فنی که توضیح داده شد، نیازمند حجم بالایی از اطلاعات و آمار است. این مساله بزرگترین محدودیت مربوط به برآورد منحنی ورودی-خروجی به صورت غیرخطی است. بنابراین، در مطالعات کاربردی و برآوردهای انجام شـــده در صـــنعت برق از یک تصـــریح خطی برای تعیین هزینه‌های کوتاه‌مدت تولید استفاده می‌شود.

در برآورد خطی، از ویژگی‌های فنی واحدهای تولیدی حرارتی استفاده می شود. برای این منظور از بازده حرارتی نیروگاه‌ها که تعیین کننده ضـــریب تبدیل انرژی ورودی به انرژی خروجی برای هر واحد می‌باشد، استفاده می شود. منحنی غیر خطی در صدد تبیین رفتار این نرخ حرارتی در زمان‌های مختلف اســـت. در حقیقت، به دلیل وجود محدودیت‌های ناشـــی از هزینه‌های شـــروع اولیه و دیگر

1. Input Output Curve

www.SID.ir

Archive of SID

محدودیت‌های فنی و تکنولوژی در صـــنعت برق، نرخ حرارتی در همه دامنه تولید از مقدار ثابتی برخوردار نیســت. لیکن با توجه به محدودیت‌های موجود در مدل‌ســازی تابع غیر خطی، از تصــریح خطی به عنوان جایگزین در مدل‌های تجربی استفاده می‌شود.

در تصریح خطی، تابع هزینه به صورت زیر برآورده می‌شود:

$$TCi\ (Qi) = FPL.\ Qi.\ HRi.\ (1/HV) + MCmi.\ Qi \qquad (۱۳)$$

در معادله فوق، منظوراز FPL، قیمت سوختی می‌باشد که توسط ژنراتور iام استفاده شده، HRi بازده حرارتی نیروگاه iام و HV نرخ حرارتی سوخت می‌باشد.

۴. نتایج تجربی

به منظور مقایسه دو حراج یکنواخت و پرداخت براساس پیشنهاد در بازار برق ایران، هزینه نهایی و قیمت پیشنهادی برای هر یک از نیروگاه‌ها برای ساعات اوج مصرف برق و افت مصرف برق در هر فصل محاسبه شده است. لازم به ذکر است که در این مطالعه توجه نیروگاه‌هایی که هزینه نهایی آنها بالای ۳۳۰ ریال می‌باشـــد، حذف شـــده‌اند، زیرا به این نیروگاه‌ها مابقی هزینه اضـــافی آنها با پرداخت برمبنای آمادگی پوشانده می‌شود[۱].

به منظور برآورد مدل، قیمت سوخت بر اساس تعرفه‌های شرکت ملی گاز ایران برای نیروگاه‌ها و همچنین پیش‌بینی هزینه‌های سوخت کشور در بودجه سال ۱۳۹۳ در مدل استفاده شده است[۲].

۱. با توجه به آیین‌نامه تعیین شرایط و روش خرید و فروش برق در شبکه برق کشور، در شرایطی که امکان ذخیره منبع وجود ندارد و یا در شرایطی که بالا بودن نرخ پیشنهادی موجب عدم اولویت تولید این واحدها شده باشد، بازار برق موظف به خرید برق از این واحدها می‌باشد.

۲. از آنجا که ترازنامه انرژی کل کشور با تاخیر بیش از ۲ سال و نزدیک به ۳ ساله منتشر می شود، لذا امکان استفاده از داده های به‌روزتر میســـر نیســـت. شـــایان ذکر اســـت با توجه به اینکه بخش عمده اطلاعات مانند ارزش حرارتی و نرخ حرارتی که از عوامل اصلی تاثیرگذار است در دسته ویژگی های فنی نیروگاه‌هاست، موضوع به‌روزرسانی این بخش را تحت تاثیر قرار نخواهد داد و از قوت مدل مورد استفاده نمی‌کاهد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. هزینه‌های سوخت مصرفی

سوخت	گاز طبیعی (ریال به مترمکعب)	نفت کوره (ریال به لیتر)	گازوئیل (ریال به لیتر)
قیمت	۷۰۰	۲۰۰۰	۳۵۰۰

منبع: ترازنامه انرژی

برای محاسبه هزینه نهایی نیروگاه‌ها، به اطلاعات ارزش حرارتی نیروگاه‌ها نیاز است که از آمار تفصیلی تولید نیروی برق در سال ۱۳۹۳ به دست آمده است. در جداول زیر به ترتیب اطلاعات مربوط به ارزش حرارتی گاز طبیعی در استان‌های مختلف و ارزش حرارتی سایر سوخت‌ها گزارش شده است:

جدول۲. ارزش حرارتی گاز طبیعی

نیروگاه‌ها	ارزش حرارتی (کیلو کالری بر مترمکعب)
نیروگاه‌های واقع در هرمزگان و کرمان	۸۶۲۲
نیروگاه‌های واقع در رامین، زرگان و خرمشهر	۸۴۸۶
نیروگاه‌های استان خراسان	۸۵۴۱
نیروگاه‌های استان مازندران	۸۷۶۳
سایر نیروگاه‌ها	۸۷۶۳

منبع: آمار تفصیلی تولید نیروی برق سال ۱۳۹۳

جدول ۳. ارزش حرارتی سایر سوخت‌ها

سوخت	ارزش حرارتی (کیلو کالری بر لیتر)
نفت کوره	۹۲۰۰
گازوئیل	۸۶۰۰

منبع: آمار تفصیلی تولید نیروی برق سال۱۳۹۳

از جمله هزینه‌هایی که در محاسبه هزینه نهایی نیروگاه‌ها وارد می‌شود، هزینه تعمیر و نگهداری می‌باشد که در جدول (۴)گزارش شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۴. هزینه‌های تعمیر و نگهداری بر حسب نوع نیروگاه در سال ۱۳۹۳

نیروگاه	هزینه‌های تعمیر و نگهداری (بدون سوخت)	
	یورو بر کیلووات‌ساعت	ریال بر کیلووات‌ساعت
گازی بزرگ (بیشتر از ۱۶۰ مگاوات)	۰/۱۷۶۱	۶۰/۴۷
گازی کوچک	۰/۱۷	۱۵۲/۹۵
بخاری	۰/۱۷۱۸	۱۶/۰۹۱
سیکل ترکیبی	۰/۱۶۰۲	۴۰/۳۲

منبع: دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو

برای شـــروع اجرای الگوریتم راث–ارو به مقادیر اولیه نیاز می‌باشـــد که طبق جدول (۵) در مدل استفاده شده است.

جدول ۵. مقادیر اولیه در الگوریتم راث–ارو

$S_{j,0}$	r	e	c	d
۰/۶	۰/۹۷	۰/۰۴	۰/۰۳۵	۰/۰۵

منبع: (گورسی و رستگار، ۲۰۰۹)

در این مطالعه برای درک بیشـتر نتایج دو حراج پرداخت براسـاس پیشـنهاد و یکنواخت در بازار برق ایران، دو سـناریو در نظر گرفته می‌شـود. علت اسـتناد به دو سـناریوی مختلف، تفاوت ذاتی و منطق رفتایر بازار برق اسـت. در حال حاضـر، در بازار برق ایران شـرکت‌های برق منطقه‌ای به عنوان نماینده بخش تولید رفتار می‌کنند و به همین دلیل سـناریوی اول عملا بیان‌کننده وضـعیت کنونی کشور است. سناریوی دوم حالتی است که در چشم انداز بازار برق به منظور افزایش تعداد بازیگران مورد توجه و هدف گذاری ا ست. بنابراین، تلاش شده ا ست مو ضوع در هر دو سناریو مورد توجه قرار گیرد. همچنین مدل بر ا ساس روزهای متنخب سال به عنوان حداکثر بار و حداقل بار در فصول مختلف اجرا خواهد شد.

در بخش ارائه نتایج و مقایسـه دو جراج از دو شـاخص اسـتفاده می‌شـود: شـاخص اول مربوط به انجراف معیار بین قیمت شـبیه‌سـازی و هزینه‌های تولیدکنندگان اسـت. از آنجا که منطبق بر نظریه

www.SID.ir

Archive of SID

بازار رقابتی، معیار کارایی تولید هزینه های تولیدکننده محسوب می‌شود، بنابراین، میزان انحراف از هزینه نهایی تولید به عنوان مبنای کارایی در نظر گرفته شده است. سود تولیدکننده نیز به عنوان معیار مازاد تولیدکننده بیانگر شـاخص رفتاری بخش تولید محسـوب می‌شـود. بنابراین، در این تحقیق از معیار کارایی تولید و مازاد تولیدکننده به عنوان مبانی مقایسه دو حراج استفاده خواهد شد.

سناریو اول

در سـناریو اول، همان طور که در بخش قبل توضـیح داده شـده، هر یک از شـرکت‌های برق منطقه‌ای به عنوان یک نماینده در نظر گرفته می‌شوند.

همان طور که در بخش روش‌شناسی تحقیق توضیح داده شد، در این شبیه‌سازی تعدادی نماینده وجود دارد که شـامل مجموعه‌ای از واحدهای نیروگاه‌ها می‌باشـند. در این مطالعه ۱۶ نماینده در نظر گرفته شـده اسـت که در واقع، همان شـرکت‌های برق منطقه‌ای می‌باشـند. الگوریتم برای هر نماینده تحت دو حراج یکنواخت و تبعیض آمیز، ۲۰۰۰ مرتبه اجرا می‌شـود. طی این اجراها، برای نماینده‌ها یا به عبارتی نیروگاه‌ها، با توجه به اطلاعات بدسـت‌آمده از اجراهای قبلی، عمل یادگیری اتفاق می‌افتد.

جدول۶. میانگین انحراف معیار بین قیمت های پیشنهادی و هزینه نهایی در حالت گروه بندی نیروگاه ها

		زمان اوج مصرف برق	زمان کم باری برق
بهار	یکنواخت	۱۵/۲۲۷	۱۹/۲۱۹
	براساس پیشنهاد	۲۶/۹۶۱	۲۹/۹۸۱
تابستان	یکنواخت	۱۴/۱۸۷	۱۶/۵۵۱
	براساس پیشنهاد	۲۴/۶۲۳	۲۵/۴۷۸
پاییز	یکنواخت	۲۱/۶۲۱	۲۰/۹۰۱
	براساس پیشنهاد	۲۷/۷۸۸	۳۳/۴۹۲
زمستان	یکنواخت	۱۴/۹۳۶	۲۰/۰۷۱
	براساس پیشنهاد	۲۶/۸۹۱	۳۱/۳۷۲

منبع: یافته‌های تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷. میانگین سود نیروگاه‌ها در حالت گروه بندی نیروگاه‌ها (میلیون ریال)

		زمان اوج مصرف برق	زمان کم باری برق
بهار	یکنواخت	۴۱۷۶۴/۲۱	۹۵۱۱/۱۱
	براساس پیشنهاد	۲۰۵۴۴/۷۶	۶۰۲۳/۴۲
تابستان	یکنواخت	۵۶۸۱۵/۳۸	۱۶۴۷۴/۷
	براساس پیشنهاد	۲۷۱۷۴/۶۴	۱۲۱۴۳/۶۵
پاییز	یکنواخت	۴۱۹۴۳/۳	۱۰۷۰۳/۳
	براساس پیشنهاد	۱۷۷۵۴/۸۲	۶۷۸۲/۱۳
زمستان	یکنواخت	۱۸۲۰۳/۴۷	۱۱۲۶۵/۵۲
	براساس پیشنهاد	۱۲۶۱۶/۷۳	۹۳۰۳/۰۲

منبع: یافته‌های تحقیق

سناریو دوم

در سناریو دوم، هر نیروگاه خود به عنوان یک نماینده در نظرگرفته شده است. در این صورت، ضریب تعیین قیمتی که توسط الگوریتم تقویتی به دست می آید برای هر نیروگاه متفاوت می‌باشد.

جدول ۸. میانگین انحراف معیار قیمت های پیشنهادی و هزینه نهایی

		زمان اوج مصرف برق	زمان افت مصرف برق
بهار	یکنواخت	۲۸/۲۴۵	۲۱/۹۳۸
	براساس پیشنهاد	۳۴/۷۳۳	۳۶/۴۷۶
تابستان	یکنواخت	۲۳/۳۸۱	۲۹/۰۰۵
	براساس پیشنهاد	۳۰/۳۱۵	۳۹/۱۳۲
پاییز	یکنواخت	۲۳/۴۳۳	۲۸/۸۷۳
	براساس پیشنهاد	۳۵/۴۸۴	۳۸/۰۳۱
زمستان	یکنواخت	۲۲/۸۵۸	۲۵/۸۳۲
	براساس پیشنهاد	۳۶/۴۷۶	۳۴/۹۹۶

منبع: یافته‌های تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۹. میانگین سود نیروگاه‌ها (میلیون ریال)

زمان افت مصرف برق	زمان اوج مصرف برق		
۱۰۱۳۹/۵۷	۴۲۸۲۶/۱۵۳۹۵	یکنواخت	بهار
۸۱۵۲/۱	۳۱۳۱۴/۵۸	براساس پیشنهاد	
۱۸۷۳۹/۷۵	۵۳۲۱۶/۱۹	یکنواخت	تابستان
۱۸۱۹۸/۰۲	۳۰۳۰۵/۹۵	براساس پیشنهاد	
۹۳۹۲/۳۸	۴۰۴۷۹/۹	یکنواخت	پاییز
۱۱۴۲۸/۵۵	۲۳۹۲۶/۴۳	براساس پیشنهاد	
۱۱۸۶۰/۰۷	۲۸۳۳۹/۷۲	یکنواخت	زمستان
۱۰۱۰۹/۷۴	۱۸۴۱۳/۷۳	براساس پیشنهاد	

منبع: یافته‌های تحقیق

همان طور که در جداول (۶) و (۸) مشاهده می‌شود، در هر دو سناریو، انحراف معیار در حراج یکنواخت کمتر می‌باشد. بنابراین، همان طور که انتظار می‌رفت، حراج یکنواخت از بعد تولید کارایی بالاتری از حراج پرداخت براساس پیشنهاد می‌باشد. در جداول (۷) و (۹) سود نیروگاه‌ها آورده شده که مشاهده می‌شود در حراج یکنواخت میانگین سود بالاتر می‌باشد. در ادامه و در جدول زیر ساعات و تقاضای روزهای شبیه‌سازی گزارش شده است.

جدول ۱۰. تقاضا و ساعات روزهای شبیه‌سازی شده

روز و تاریخ	تقاضا (مگاوات)		روز و تاریخ	فصل
	ساعت افت مصرف برق	ساعت اوج مصرف برق		
۲ فروردین ساعت ۸	۱۲۱۴۶/۵	۳۴۷۵۴	۲۷ خرداد ساعت ۱۶	بهار
۲۹ شهریور ساعت ۸	۲۱۳۴۷/۵	۶۲۶۸۸	۳۰ شهریور ساعت ۲۴	تابستان
۲۳ آبان ساعت ۸	۱۲۲۷۹/۵	۳۱۷۳۶	۱ مهر ساعت ۲۰	پاییز
۲۹ اسفند ساعت ۷	۱۴۰۰۳/۵	۲۶۱۶۹	۸ دی ساعت ۱۹	زمستان

منبع: یافته‌های تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

اولین برر سی مربوط به ساعت ۸ روز ۱۳۹۳/۰۱/۰۲ بوده که کمترین تقا ضا در فصل بهار در این روز در این ساعت اتفاق افتاده است.

مطابق با نتایج حاصل از شبیه سازی در هر دو سناریوی مورد اشاره، حراج یکنواخت از میانگین انحراف معیار پایین‌تری در قیاس با حراج پرداخت بر ا ساس پیشنهاد یا تبعیض‌آمیز برخوردار ا ست. نظریه‌های موجود در باب مقایسه این دو سازوکار نیز اگرچه محدود و دارای محدودیت‌ها و فروش متعددی است، لیکن نتایج مشابهی برای سایر بازارها به همراه داشته است.

۵. نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف شبیه سازی حراج پرداخت برا ساس پیشنهاد و حراج یکنواخت در بازار برق ایران با بهره‌گیری از الگوریتم راث- ارو در سال ۱۳۹۳ انجام شده است. در این تحقیق، تلاش شده است در یک قالب شبیه‌سازی‌شده رفتار بازیگران در دو سازوکار اجرایی متفاوت مقایسه شود و از این طریق در خصوص کارایی حاصل قضاوت شود. از آنجا که چالش اصلی در مقایسه نتایج حاصل از این دو نوع حراج به تغییر رفتار بازیگران همگام با تغییر قوانین باز می‌گردد، بنابراین، ابزارهای متداول امکان ارزیابی موضوع را نخواهد داشت. به همین منظور، با استفاده از الگوریتم تقویتی در مدل‌سازی مبتنی بر عامل و بهره‌گیری از عامل‌های انسانی در این شبیه‌سازی در هر دو حراج سعی بر یافتن پیشنهادهای بازیگران بر فرض رفتار عقلایی حداکثرکننده سود می شود. برای مقایسه این دو حراج در فضای رقابتی، در هر فصل کمترین تقاضا و بیشترین تقاضا در نظر گرفته شده است. همچنین این مقایسه نیازمند محاسبه هزینه نهایی است، زیرا به عنوان پیشنهاد اولیه در هر دو حراج مورد استفاده می‌باشد و سپس با یافتن ضریب تعیین قیمت در هر حراج و بررسی سود بدست‌آمده نیروگاه‌ها، بهترین ضریب تعیین قیمت یافت می شود. نتایج مدل سازی تحقیق نشان داد که ضریب تعیین قیمت به طور عمده در حراج پرداخت براساس پیشنهاد بالاتر از حراج یکنواخت است و با

www.SID.ir

Archive of SID

توجه به نتایج بدســـت‌آمده از مقایســـه قیمت‌های پیشـــنهادی در هر دو حراج، نتایج بازار در حراج یکنواخت نزدیک به رقابت کامل اســـت. بنابراین، حراج یکنواخت از این منظر کاراتر از حراج پرداخت براساس پیشنهاد می‌باشد. مبنای مقایسه در خصوص نتایج حاصل از انواع حراج به منظور تعیین کارایی تولید مقایسه انحراف از هزینه نهایی تولید کنندگان است. لذا بازاری که نتایج حاصل از آن انحراف کمتری نسبت به نتایج حاصل از یک بازار رقابتی (تابع عرضه براساس هزینه نهایی) داشته باشد، از بعد کارایی تولید وضعیت مناسبت تری خواهد داشت. با عنایت به این موضوع مهم که بازار برق ایران متفاوت از سایر کشورها و مبتنی بر حراج پرداخت بر اساس پیشنهاد است، لزوم سیاستگذاری و توجه به سایر ابعاد موضوع بسیار مهم و بااهمیت است. بدیهی است توجه به کارایی بازار یکی از اهداف متصور در مجموعه موارد پیش روی سیاست‌گذاران است، لیکن نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر توجه و استفاده از پتانسیل مدل مورد استفاده در ارزیابی موضوع و تصمیم گیری خواهد بود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه تولید در سال ۱۳۹۳، شرکت توانیر.

افشار، کریم و رضا ریاحی (۱۳۸۸)، *تجدید ساختار در صنعت برق و گذری بر بازار برق*، شرکت مدیریت شبکه برق ایران، دفتر روابط عمومی و امور بین‌الملل شرکت توانیر.

ابونوری، ا سماعیل و ح سن لاجوردی (۱۳۹۲)، " تاثیر تشکیل بازار برق ایران بر کارایی نیروگاه‌های برق"، *کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران*، شماره سوم، صص ۵۵-۵۰.

پور سلیمی، جاغرق (۱۳۸۹)، بهبود عملکرد الگوریتم Q-Learning با استفاده از تابع مطلوبیت برای مدل سازی عامل محور بازار برق، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۳، وزارت نیرو، معاونت برق و انرژی.

لطفعلی پور، محمدر ضا؛ ذبیحی، اعظم و محمدعلی شعبانی (۱۳۸۹)، " تاثیر تجدید ساختار بر بهره‌وری در صنعت برق ایران"، *دانش توسعه*، سال هفدهم، شماره ۳۲، صص ۳۷-۱۲.

محمدی، تیمور؛ تکلیف، عاطفه و محســـن بختیار (۱۳۹۴)، " تحلیل ظرفیت بهینه نیروگاهی در ایران و برر سی اثرات صرفه‌جویی م صرف انرژی بر آن" ، *فصلنامه پژوهش‌های سیا ستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی* ، ۲(۱)، صص۱۳۷-۱۰۹.

محمدی بوســـاری، اعظم؛ قادری، فرید، فکری، رکســـانا و محمود نعیمی (۱۳۹۶)، " ارائه یک مدل ریاضـــی تامین انرژی الکتریکی پایدار در ریزشـــبکه متصـــل به شـــبکه" ، *فصـــلنامه پژوهش‌های ســـیاســـتگذاری و برنامه‌ریزی انرژی*، ۳ (۷) ، صص۴۲-۷.

ناظمی، علی؛ خوش اخلاق، رحمان؛ عمادزاده، مصـــطفی و علیمراد شـــریفی (۱۳۹۰)، " برآورد قدرت بازار در بازار برق عمده فروشی ایران" ، *تحقیقات مدلسازی اقتصادی*، شماره ۴، صص ۵۵- ۳۱.

نصیری، بهزاد؛ نقیبی سیستانی، محمد باقر و علی کریم پور (۱۳۸۷) ، " برر سی تاثیر حضور عاملهای قیمت‌دهنده با اســـتراتژی های معین در کنار عاملهای یادگیر نده تقویتی در یک بازار برق رقابتی" ، کنفرانس شبکه‌های توزیع برق، دوره ۱۳.

Azadeh, A; Skandari, M. R. and B. Maleki-Shoja (2010), "An Integrated Ant Colony Optimization Approach to Compare Strategies of Clearing Market in Electricity Market: Agent-based Simulation", *Energy Policy*, 38, pp. 6307-6319.

www.SID.ir

Archive of SID

Bower, J. and D. **Bunn** (2001), "Experimental Analysis of the Efficiency of Uniform-Price versus Discriminatory Auctions in the England and Wales Electricity Market", *Economic Dynamics & Control*, 25, pp.561-592.

Dotoli, M; Epicoco, N; Falagario, M. and F. **Sciancalepore** (2014), "Nash Equilibrium Simulation Models for the Competitiveness Evaluation of the Auction Based Day Ahead Electricity Market", *Computers in Industry*, pp. 774-785.

Federico, G. and D. Rahman (2003), "Bidding in an Electricity Pay-as-Bid Auction", *Regulatory Economics*, 24, pp. 175-211.

Genco, t. (2007), "Discriminatory versus Uniform-Price Electricity Auctions with Supply Function Equilibrium", *Optimization Theory and Application*, 140(1), pp. 9-31.

Guerci, E. and M. **Rastegar** (2009), "From Uniform Auction to Discriminatory Auction: Assessment of the Restructuring Proposal for the Italian Electricity Day-Ahead Market", *European University Institute Papers.*

Ganjbakhsh, O. (2008), *Strategic Offers in Oligopolistic Electricity Market under Pay- as- Bid Pricing*, M.S. thesis, McGill University.

Haghighat, H; saifi, H. and A. RahimiKian (2012), "Pay-as-Bid versus Marginal Pricing: The Role of Suppliers Strategic Behavior", *Electrical Power and Energy Systems*, 42, pp. 350-358.

Kahn, A. E; Cramton, P. C; Porter, R. H. and R. D. Tabors (2001), "Uniform Pricing or Pay- as- Bid Pricing: A Dilemma for California and Beyond", *Electricity Journal*, pp.70-79.

Mensah- Bonsu, C. and S. Oren (2002), "California Electricity Market Crisis: Causes, Remedies and Prevention", *IEEE Power Engineering Review*, pp. 4-11.

Nicolaisen, J; Petrov, V. and L. **Tesfatsion** (2001), "Market Power and Efficiency in a Computational Electricity Market with Discriminatory Double-Auction Pricing", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 5(5), pp.504-523.

Nielsen, S; Sorknaes, P. and P. AlbergQstergaard (2011), "Electricity Market Auction Settings in a Future Danish Electricity System with a High Penetration of Renewable Energy Sources Comparison of Marginal Pricing and Pay-as-Bid", *Energy*, 36, pp. 4434-4444.

North, M. and C. Macal (2007), *Managing Business Complexity, Discovering Strategic Solution with Agent-Based Modeling and Simulation*, Oxford University Press.

Rahimiyan, M. and H. RajabiMashhadi (2008), "Supplier's Optimal Bidding Strategy in Electricity Pay-as-Bid Auction: Comparison of the Q-learning and Model-Based Approach", *Electric Power Systems Research*, 78, pp. 165-175.

www.SID.ir

Archive of SID

Rajabi Mashhadi, H; Sadeh, J. and M. A. Latifi (2005), "Optimal Supply Bidding with Risk Management in an Electricity Pay- as- Bid Auction", *15th PSCC*, Liege.

Seok Son, Y; Baldick, R; Lee, k. and S. Saddiqi (2004), "Short-Term Electricity Market Auction Game Analysis: Uniform and Pay-as-Bid Pricing", *Power Systems*, 19, pp.1990-1998.

Sutton, R. and A. **Barto** (2012), *Reinforcement Learning: An introduction*, Second Edition, A Bradford Book.

Visudhiphan, P. (2003), "An Agent-Based Approach to Modeling electricity Spot Markets", *Dissertation Massachusetts Institute of Technology*.

Young, D; Poletti, S. and O. Browne (2014), "Can Agent-Based Models Forecast Spot Prices in Electricity Markets? Evidence from the New Zealand Electricity Markets", *Energy Economics*, pp. 419-434.

www.SID.ir