فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال سوم/ شماره ۸/ پاییز ۱۳۹۶/ صفحات ۳۲-۷

تاثیر روش های پرداخت بر قیمت فروش و هزینه تمام شده برق در بازار برق ایران: مطالعه موردی نیروگاه‌های برق خراسان

حامد مرتضی زاده
دانشجوی دکتری دانشگاه فردوسی مشهد
hamehmh2@gmail.com

مسعود همایونی فر
دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد
homayounifar@um.ac.ir

علی اکبر ناجی
دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد
naji@um.ac.ir

مصطفی رجبی مشهدی
مدرس دانشگاه فردوسی مشهد
mrajabim@yahoo.com

از مهمترین ویژگی‌های بازار برق ایران، روش پرداخت به ازای پیشنهاد به نیروگاه های برنده است. این در حالی است که در بسیاری از بازارهای برق کشورهای توسعه یافته از روش پرداخت یکنواخت استفاده می شود. این مقاله به مقایسه روش پرداخت یکنواخت و پرداخت به ازای پیشنهاد از نظر قیمت فروش و هزینه تمام شده برق در بازار برق ایران با استفاده از الگوی Q-Learning در سه دوره کم باری، بار عادی و پیک می پردازد. به دلیل کمبود شدید و در بسیاری از موارد غیرقابل دسترس بودن منابع اطلاعاتی، نتایج این بررسی بر روی نیروگاه‌های برق استان های خراسان متمرکز شده است. نتایج حاکی از آن است که هر چند قیمت فروش برق در روش پرداخت به ازای پیشنهاد کمتر از روش پرداخت یکنواخت است، اما هزینه تمام شده برق در روش یکنواخت کمتر از روش پرداخت به ازای پیشنهاد قیمت می‌باشد. به عبارت دیگر، در روش یکنواخت از نیروگاه های با بازدهی بالاتر استفاده می‌شود که کاهش مصرف سوخت و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای را در پی دارد.

واژه‌های کلیدی: بازار برق، قیمت فروش، هزینه تمام شده ، روش یکنواخت، روش پرداخت به ازای پیشنهاد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۶

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

۱. مقدمه

فرآیند تجدید ساختار و مقررات زدایی از دهه ۸۰ میلادی آغاز گردیده است. تجدید ساختار موجب شکل گرفتن دیدگاه‌های اقتصادی و مطرح شدن مفاهیمی همچون بازار برق شده است. اهداف اصلی تجدید ساختار را می‌توان افزایش کارایی اقتصادی، افزایش رفاه اجتماعی و جذب سرمایه‌های بخش خصوصی، ایجاد فضای رقابتی و شفافیت مالی برشمرد.

در ایران تجدید ساختار صنعت برق با راه اندازی بازار برق کشور از پاییز سال ۱۳۸۳ آغاز شد. در ابتدای تا سیس بازار، عمده نیروگاه‌های شرکت‌کننده دولتی بودند که این امر موجب دور افتادن از اهداف اولیه تشکیل بازار شد ولیکن با خصوصی‌سازی نیروگاه‌ها بتدریج از قدرت بازار آنها کاسته شده و به سمت رقابتی شدن در بخش عمده‌فروشی حرکت کرده‌اند.

بازار برق ایران دارای ویژگی‌های خاصی است که از مهمترین ویژگی‌های این بازار می‌توان به پرداخت به نیروگاه‌ها بر اساس قیمت پیشنهادی [1] در مقابل پرداخت یکنواخت [2] نام برد. در شیوه پرداخت بر اساس پیشنهاد، به هر نیروگاه در صورت برنده شدن در بازار بر اساس قیمت پیشنهادی خودش پرداخت انجام می‌گیرد، اما در شیوه پرداخت یکنواخت، به تمام نیروگاه‌های برنده، پرداختی بر اساس قیمت تسویه انجام می شود. در این تحقیق، به برر سی مقایسه‌ای شیوه پرداخت بر اساس پیشنهاد و قیمت یکنواخت در میزان قیمت فروش برق و هزینه تمام شده برق پرداخته می‌شود.

باید توجه شود که در حال حاضر، بازار برق ایران در سطح عمده‌فروشی اجرا می شود و منظور از مصرف، تقاضای برق در سطح تقاضاکنندگان عمده همچون شرکت های توزیع (دولت) بوده و تولید توسط نیروگاه‌های حاضر در شبکه انجام می‌شود. دولت اقدام به خرید برق با قیمت استخراج شده از سازوکار بازار کرده و با پرداخت یارانه، قیمت را تا سطح مورد نظر کاهش داده و به دست مصرف‌کننده نهایی می‌رساند. هرچه قیمت فروش برق در بازار کمتر باشد، میزان یارانه

1.Pay As Bid (PAB)
2.Uniform Price (UP)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

پرداختی دولت کمتر خواهد بود و از طرفی، هر چه هزینه تمام شـــده برق کمتر باشـــد، تولید با نیروگاه‌های با بازدهی بالاتر صورت می‌گیرد و این به معنای کاهش مصرف سوخت، کاهش یارانه پرداختی دولت به ســـوخت و کاهش انتشـــار گازهای گلخانه‌ای اســـت که منجر به افزایش رفاه می‌گردد.

پس از مقدمه، مبانی نظری و ســـپس پیشـــینه تحقیق ذکر شـــده اســـت. در این بخش، مهمترین مطالعات انجام شده داخلی و خارجی که تاثیر شیوه پرداخت را بر قیمت سنجیده اند، مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش بعد، ویژگی‌های بازار برق ایران به طور خلاصه توضیح داده شده است. در بخش مدل تحقیق، روش تحقیق و نمونه مورد استفاده توضیح داده شده است و در بخش پایانی مقاله نیز نتایج استخراج گردیده است.

۲. مبانی نظری

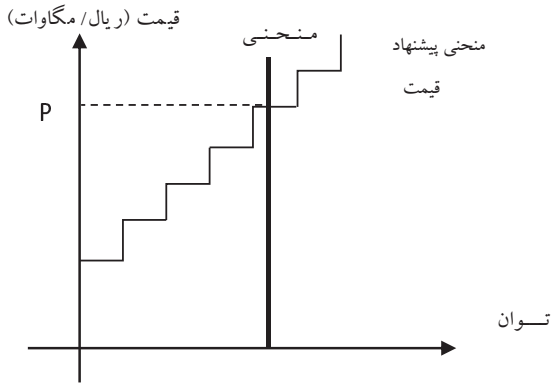
روش‌های مختلفی جهت برگزاری مناقصـه و تخصـیص قیمت به شـرکت‌کنندگان وجود دارد. دو روش که بیشـــتر از روش‌های دیگر در تمام دنیا کاربرد دارد، روش حراج قیمت یکنواخت و حراج‌های متمایز است که مرسوم‌ترین آنها پرداخت به ازای پیشنهاد فروشنده می‌باشد.

در شکل (۱) چگونگی به دست آمدن قیمت تسویه بازار و توان مورد نیاز نشان داده شده است. منحنی پیشـــنهاد قیمت کل از جمع افقی منحنی پیشـــنهاد قیمت نیروگاه ها به دســـت آمده اســـت. در دنیای واقعی، منحنی پیشـنهاد قیمت نیروگاه‌ها بسـته به ویژگی‌های بازار می‌تواند خطی سـاده و یا پلکانی باشد. در بسیاری از تحقیقات، منحنی‌های پیشنهاد قیمت به عنوان ضریبی بزرگتر از یک از منحنی هزینه نهایی نیروگاه تعریف می‌شـود. این ضـریب هم می تواند روی عرض از مبدا منحنی یا شیب آن و یا هر دو اعمال گردد.

در این نمودار، نقطه p قیمت تسـویه بازار و نقطه q مقدار تقاضـا در سـاعت مورد نظر می‌باشـد. باید توجه شود که تقاضای برق به دلیل ویژگی‌های خاص انرژی برق بدون کشش است. از مهمترین

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

دلایل عمودی بودن منحنی تقاضا، عدم مشاهده و پرداخت آنی هزینه مصرف برق توسط مشترکین است. به عبارت دیگر، تنها زمانی می‌توان مدیریت مصرف را برای مشترکین متصور بود که بتوان از سیستم‌های هوشمند کنترل و قرائت بار مصرفی مشترکین استفاده کرد. از عوامل دیگر بی‌کششی بودن منحنی تقاضا می‌توان به عدم امکان ذخیره سازی برق و ارزان بودن قیمت واقعی آن بویژه در ایران اشاره داشت. در این نمودار، تمام فروشندگانی که در سمت چپ نقطه q قیمت داده‌اند برنده اعلام می‌شوند و براساس منحنی پیشنهاد قیمت اختصاصی هر نیروگاه، میزان تولید آن مشخص می‌شود.



شکل ۱.چگونگی تعیین قیمت تسویه در بازار برق ایران (در هر ساعت)

در پرداخت یکنواخت، به تمام نیروگاه‌های برنده شده در بازار قیمت تسویه پرداخت می‌شود، اما در روش پرداخت بر مبنای پیشنهاد قیمت، پرداختی به نیروگاه های برنده در بازار بر اساس قیمت پیشنهادی آنها خواهد بود. با تجدید ساختار صنعت برق، حراج یکنواخت به طور گسترده‌ای موردتوجه قرار گرفت، زیرا اقتصاددانان بر این باور بودند که بازار برق توسط این حراج به بیشترین کارایی اقتصادی دست خواهد یافت و در این روش پرداخت، با رفتار بهینه بازیگران، پیشنهاد قیمت از طرف آنان برابر هزینه نهایی خواهد بود، لیکن دغدغه دیگری نیز وجود داشت و آن اینکه عده‌ای

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

از متخ ص صان صنعت معتقد بودند چرا در حالی که تولیدکننده حا ضر ا ست برای کالای خود مبلغ کمتری درخواست کند، بازار، کالا را گرانتر خریداری نماید. بعلاوه، از منظر اقتصادی نیز درشرایط غیررقابتی، تولیدکنندگان برای دست‌یابی به سود اقتصادی بالاتر، پیشنهادهای بالاتری ارایه می‌کنند. بنابراین، ایده جایگزین برای حراج یکنواخت شـــکل گرفت. در این ایده، طراحی حراج به گونه‌ای شـــد که قیمت پرداختی مصـــرف‌کنندگان حداقل شـــده و در عین حال، کل هزینه تولیدکننده را نیز پوشـــش دهد. بنابراین، حراج پرداخت بر اســـاس پیشـــنهاد قیمت شـــکل گرفت، اما این نوع حراج نیز دارای معایبی بود که از مهمترین آنها می توان به این سه مورد ا شاره دا شت: اول، عدم انگیزه کافی تولیدکنندگان برای ارایه پیشـــنهاد قیمت بر اســـاس هزینه نهایی؛ دوم، حدس قیمت تســـویه احتمالی توسط تولید کنندگان و پیشنهاد قیمت در سطحی که بیشترین سود را به دست آورند و سوم اینکه، نیروگاه‌های با هزینه پایین می‌توانند قدرت بازاری بسیار بالایی کسب نمایند.

همچنین نیروگاه‌های شرکت کننده در بازار با روش پرداخت به ازای پیشنهاد می‌دانند در صورت برنده شـــدن، امکان فروش انرژی به قیمتی بالاتر از آنچه پیشـــنهاد داده‌اند، وجود ندارد که این امر منجر به وابستگی کامل درآمد به ا ستراتژی پی شنهاد قیمت نیروگاه و ایجاد انگیزه برای بازی گرفتن بازار می‌شود.

در وهله اول به نظر می‌رســـد قیمت فروش در روش پرداخت به ازای پیشـــنهاد که از میانگین موزون قیمت فروش هر واحد به دست می‌آید،کمتر باشد، اما رفتار قیمت‌دهی نیروگاه‌ها و تعیین ا ستراتژی‌هایی در را ستای افزایش سود منجر می شود که همواره این نتیجه به د ست نیاید. نتایج تحقیقات مختلف بیانگر این موضـــوع اســـت که عملکرد روش پرداخت بســـتگی به میزان بار مصرفی، محدودیت‌های شبکه، ظرفیت تولید و ... دارد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

۳. پیشینه تحقیق

در این بخش، مهمترین مطالعات انجام شـــده در زمینه تاثیر روش پرداخت بر قیمت که با کمک الگوریتم Q-learning انجام شده است، ارایه می گردد.

مانت[1] (۱۹۹۹) در مقاله‌ای که می‌توان گفت اولین مطالعه در بازار برق آمریکا در مورد بررســی رو شها ی پرداخت قیمت ا ست، به این نتیجه ر سید که ا ستفاده از روش پرداخت بر ا ساس پی شنهاد قیمت منجر به کاهش نوسانات قیمتی شده و پیش‌بینی قیمت را با خطای کمتری انجام می‌دهد.

در مطالعه‌ای (نصـیری،۱۳۸۷) با اسـتفاده از الگوریتم یادگیری تقویتی سـه مدل برای شـبیه‌سـازی بازار برق ارایه شـده اسـت. این مدل ها برای بررسـی بعضـی عوامل تاثیرگذار بر بازار برق اسـتفاده شـده‌اند. در مدل‌سـازی اول، عامل‌ها با اسـتفاده از الگوریتم Q-Learning برای قیمت دهی در بازار برق با یکدیگر به رقابت می‌پردازند. در این مدل، مسایلی همچون تاثیر تغییرات بار، تغییرات تراکم، افزایش تعداد عامل‌ها بر نحوه قیمت‌دهی عامل‌ها مورد بررســی قرار گرفته و در ادامه، تاثیر حضــور عاملی که برای قیمت‌دهی از اسـتراتژی احتمالی ثابت اسـتفاده می کند، مقایسـه شـده اسـت. نتایج شبیه‌سازی‌ها در شرایط مشابه نشان می‌دهد عاملی که از الگوریتمی غیر از الگوریتم یادگیری تقویتی برای قیمت دهی استفاده می کند نسبت به عامل‌های دیگر سود کمتری به دست خواهد آورد. سپس برای بررسی تاثیر تغییر استراتژی شرکت‌کنندگان از حداکثر سود به حداکثر درآمد بر قیمت تسویه، بازار برق به وسیله الگوریتم SA-Q-Learning مدل سازی شده و با انجام شبیه سازی‌ها به این مساله پرداخته شـده اسـت. در بخش انتهایی مطالعه، حراج‌های یکنواخت و تمایزی و تاثیر هرکدام از این حراج‌ها بر قیمت تسـویه بازار مورد بررسـی قرار گرفته شـده اسـت. برای این منظور با اسـتفاده از الگوریتم SA-Q-Learning یک بازار برق رقابتی که در آن شرکت کنندگان به‌صورت پله‌ای اقدام به قیمت‌دهی می کنند مدل‌سـازی شـده و تفاوت حراج‌ها مورد بررسـی قرار گرفته اسـت. نتایج

1.Mount

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

شبیه‌سازی حاکی از بالاتر بودن قیمت تسویه بازار در حراج یکنواخت نسبت به حراج تمایزی در بارهای مختلف بوده است.

در تحقیقی که در سال ۲۰۰۰ توسط بنگال[1] انجام شده است با شبیه سازی بازار برق انگلستان، رفتار بازیگران تحت سازوکارهای قیمت‌گذاری متفاوت بررسی می شود. هر عامل باید مبادله‌ای بین دو هدف خود انجام دهد. هدف اول، تعیین استراتژی جهت جلوگیری از ضرر مالی و هدف دوم، بیشینه‌کردن سود می‌باشد. بنابراین، با در نظر گرفتن دو تابع پاداش متناظر با دو هدف ذکر شده و تخمین پاداش دریافتی مورد انتظار از محیط، بهترین عمل انتخاب می‌شود. شبیه سازی بازار برق انگلستان در یک مدل ساده شده شامل ۲۱ واحد در ۵ نوع برای دو سازوکار قیمت گذاری یکنواخت و پرداخت به ازای پیشنهاد در ۳۰۰۰۰ روز انجام می شود. محاسبه هزینه پرداختی برای هر روز نشان می‌دهد در مناقصه یکنواخت، هزینه برق برای مشتری در مقایسه با مناقصه پرداخت به ازای پیشنهاد بیشتر است. از طرفی، مناقصه یکنواخت نوسانات زیادی در قیمت برق ایجاد می‌کند که این موضوع از وابستگی قیمت برق به رفتار بازیگران نشأت می‌گیرد.

باور و بون[2] (۲۰۰۰ و۲۰۰۱) در مطالعه‌ای بازار برق انگلستان و ولز را از منظر مقایسه میان سازوکارهای بازار و طرح های قیمت‌دهی (قیمت‌گذاری یکنواخت، قیمت‌دهی روزانه و ساعتی در بازار متمرکز و قراردادهای دوطرفه) با استفاده از سیستم‌های چندعاملی مبتنی بر یک الگوریتم یادگیری تقویتی ساده مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق، عامل‌ها استراتژی قیمت‌دهی خود را بر مبنای آخرین مرحله موفقیت‌آمیز تجربه‌شده خود تنظیم می‌نمایند. همچنین از قیود و هزینه‌های سیستم انتقال صرف‌نظر گردیده‌است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی از طریق مقایسه با مدل‌های کلاسیک انحصارکامل، انحصار دوجانبه و رقابت‌کامل مورد تایید قرار گرفته‌است. در قیمت‌گذاری بر اساس پرداخت به ازای پیشنهاد، متوسط قیمت بالاتر بوده و نتایج از بازار رقابتی دورتر می‌باشد.

1.Bangal
2.Bower and Bunn

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

زیانگ، هاشـــی‌یاما و اوکوما[1](۲۰۰۲) در مطالعه‌ای از الگوریتم Q-Learning به‌منظور مقایســه میزان قیمت و نحوه نوسانات آن در بازار برق در سازوکار قیمت‌گذاری یکنواخت و تمایزی استفاده کرده‌اند. در این مدل، قیمت بازار در مرحله پیشین به عنوان حالت محیط درنظرگرفته‌شده و مجموعه عمل‌های ممکن هر بازیگر مجموعه‌ای گسســته از قیمت پیشـنهادی واحد تولیدی می‌باشـد. در این تحقیق برای ایجاد مصـــالحه میان جســـتجوی محیط و بهره‌برداری از اطلاعات از روش ε- greedy استفاده شده است. مدل در قالب ۴ سناریو شبیه سازی شده است که دو سناریو مربوط به پرداخت یکنواخت با تقاضـای با کشـش و بی‌کشـش و دو سـناریو مربوط به روش پرداخت بر اسـاس قیمت پیشـنهادی با تقاضـای کشـش‌دار و بی‌کشـش اسـت. نتایج حاصـل از شـبیه‌سـازی بیانگر کمتر بودن متوسط قیمت برق و نوسانات آن در حراج تمایزی نسبت به حراج یکنواخت است.

فابرا، وان در فر و هاربرد[2](۲۰۰۲) در مطالعه خود به مقایســه ســه نوع حراج یکنواخت، پرداخت به ازای پیشـــنهاد و تعمیم یافته قیمت دوم در بازار برق کالیفرنیا پرداخته‌اند. در حراج نوع ســـوم، برندگان بازار به جهتی پیش می‌روند که هزینه نهایی از آنها اخذ گردد. نتایج نشـــان می دهد حراج نوع ســـوم منجر به کاهش قیمت و افزایش مازاد رفاه مصـــرف‌کننده بویژه در بازاری متشـــکل از بنگاه‌های کوچک می‌شود.

ابینک و همکاران[3](۲۰۰۳) با اســـتفاده از مطالعات آزمایشـــگاهی و تجربی، خروجی های حراج یکنواخت و تبعیض‌آمیز را تحت شـــرایط عدم قطعیت در تقاضـــا بررســـی کرده‌اند. این مطالعه برای حالتی که تمام فروشـــندگان اطلاعات یکســـانی دارند و شـــرایطی که برخی اطلاعات بهتری دارند، انجام شـده اسـت. آنان دریافتند که در هر دو شـرایط، میانگین قیمت های معامله و نوسـانات قیمتی،

1.Xiong, Hashiyama and Okuma
2.Fabra, Von Der Fehr and Harbord
3.Abbink, et al

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

تحت دو حراج، تفاوت قابل ملاحظه‌ای ندا شتند، اما در شرایطی که فرو شندگان اطلاعات یکسانی ندارند، حراج تبعیض‌آمیز به طور قابل توجهی ناکاراتر است.

زیانگ، اوکوما و فوجیتا (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای دو روش قیمت دهی یکنواخت و قیمت بر اساس پیشنهاد را با استفاده از شبیه سازی چند عاملی[1] مقایسه می‌نمایند. هر عامل نماینده یک نیروگاه است که در بازار برق مبتنی بر مناقصه یک روز جلوتر شرکت می کند. هر شرکت کننده در بازار با بهره‌گیری از تجربیات گذ شته در قیمت‌دهی، در جهت حداکثرکردن سود خود در بلندمدت تلاش می‌کند. در مناقصه یکنواخت، قیمت بازار همان قیمت نهایی ا ست در حالی که در مناقصه پرداخت به ازای پیشنهاد، قیمت بازار به شکل متوسط قیمت‌های پیشنهادی پذیرفته شده تعریف می‌شود. پیشنهاد قیمت شرکت‌کنندگان در مناقصه یکنواخت در مقایسه با مناقصه پرداخت به ازای پیشنهاد، بسیارکمتر از قیمت بازار می‌باشد. به عبارت دیگر برای شرکت‌کنندگان در مناقصه یکنواخت، پذیرش پیشنهاد قیمت آنها از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار ا ست در حالی که شرکت‌کنندگان در مناقصه پرداخت به ازای پیشنهاد سعی می‌کنند پیشنهاد قیمت را در نزدیکی قیمت بازار انجام دهند. نوسانات قیمت در مناقصه پرداخت به ازای پیشنهاد کمتر از مناقصه یکنواخت است.

کراسو و اندرسن[2] (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای نشان داده‌اند رفتار شرکت های تولیدی با استفاده از الگوریتم Q-Learning جهت مقایسه و ارز یابی طرح های مختلف مدیر یت تراکم شا مل قیمت‌گذاری حاشیه‌ای محلی، تقسیم بازار و اتصال بازار بر پایه توان انتقالی[3] مدل سازی شده‌اند. رفاه اجتماعی به عنوان معیار مقایسه میان طرح های مختلف انتخاب شده و شبیه‌سازی برای دو حالت رقابت‌کامل و انحصار چندجانبه انجام گردیده است. بر اساس نتایج ارایه‌شده، سازوکار قیمت‌گذاری

1.Multi-Agent Simulation
2.Krausi and Andersson
3.Flow–Based Market Coupling

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

حا شیه‌ای محلی موجب حـصول بیـشترین رفاه اجتماعی در هر دو حالت رقابتی و انحـصار چندجانبه می‌گردد.

بنگال و اسمیت[1] (۲۰۰۶) در مطالعه خود از سیستم طبقه‌بندی کننده یادگیری به منظور دست‌یابی به استراتژی قیمت‌دهی بهینه جهت پیاده‌سازی در بازار برق انگلستان استفاده کرده‌اند. در این مطالعه، رفتار بازیگران به ازای سازوکارهای قیمت‌گذاری یکنواخت و تمایزی تحلیل شده است. هر عامل دو هدف مرتبط با یکدیگر را که توسط دو تابع پاداش مجزا مدل شده‌اند، دنبال می‌نماید. جلوگیری از ضـــرر و حداکثر نمودن ســـود از دو ســـیســـتم طبقه‌بندی‌کننده یادگیری جهت یادگیری قواعد دســـت‌یابی به اهداف اســـتفاده می‌گردد. بنابراین، با در نظر گرفتن دو تابع پاداش متناظر با دو هدف ذکر شـــده و تخمین پاداش دریافتی مورد انتظار از محیط، بهترین عمل انتخاب می‌شـــود. در این شبیه‌سازی، سه سوال اساسی پیگیری شده است: اول اینکه، آیا عامل‌ها خواهند آموخت تا رفتاری نظیر آنچه در دنیای واقعی روی می‌دهد، داشـــته باشـــند؟، دوم، ســـازوکار بازار چه تغییر رفتاری در بازیگران ایجاد می‌نماید؟ و سوم اینکه، آیا عامل‌ها همکاری با یکدیگر را خواهندآموخت؟

محاسبه هزینه پرداختی برای هر روز نشان می دهد در مناقصه یکنواخت، هزینه برق برای مشتری در مقایسه با مناقصه تمایزی، بیشتر تمام می شود. از طرفی، مناقصه یکنواخت، نوسانات زیادی در قیمت برق ایجاد می کند که این موضوع از وابستگی قیمت برق به رفتار بازیگران نشأت می‌گیرد.

تایرنی، اســـشـــاتزکی و موکرجی[2] (۲۰۰۷) در تحقیقی به این نتیجه رســـیده‌اند که شـــیوه پرداخت قیمت بر اســـاس پیشـــنهاد در مقابل پرداخت یکنواخت منجر به افزایش قیمت‌ها، کاهش درکارایی تولید و کاهش سرمایه‌گذاری می‌گردد.

گنج بخش (۲۰۰۸) به مطالعه خروجی‌های ممکن بازار برق انحصار چند جانبه تحت قیمت‌گذاری پرداخت به ازای پیشـنهاد، پرداخته اسـت. در این پژوهش، تولیدکنندگان به دو بخش تولیدکنندگان

1.Bangal and Smith
2.Tierney, Schatzki and Mukerji

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

نهایی و غیرنهایی تقسیم شده‌اند. منظور از تولیدکننده نهایی، تولیدکننده‌ای است که با ظرفیتی بین حداقل و حداکثر ظرفیت خود تولید کند. نتایج پژوهش او نشان می‌دهد تولیدکنندگان غیرنهایی، سود کمتری به دست می‌آورند ضمن آنکه مصرف‌کنندگان تحت این قیمت‌گذاری، میانگین قیمت‌های پایین‌تری پرداخت می‌کنند.

بری[1] (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای به مقایسه قیمت‌گذاری یکنواخت و تبعیض‌آمیز درحراج‌های برق پرداخته است. این مقاله نشان می‌دهد در حراج پرداخت بر اساس پیشنهاد، پیشنهادها بالاتر از هزینه هستند در حالی که در حراج یکنواخت، پیشنهادها با هزینه برابری می‌کنند. همچنین در حراج پرداخت بر اساس پیشنهاد، با تابع توزیع احتمال یکنواخت، سود نهایی با افزایش پیشنهاد، افزایش می‌یابد. بر اساس این مطالعه، گرچه حراج پرداخت براساس پیشنهاد منجر به میانگین قیمت‌های بالاتری نسبت به حراج یکنواخت می‌شود، اما واریانس کمتری دارد.

همان طور که مشاهده می‌شود، نظر قاطع و یکسانی در مورد برتری هیچیک از انواع حراج از جنبه‌های مختلف وجود ندارد. کارکرد هر نوع حراج بسته به ساختار بازار مورد مطالعه و همچنین چگونگی رفتار بازیگران نتایج متفاوتی را به دست می‌دهد. بنابراین، به نظر می‌رسد بهترین روش جهت بررسی این موضوع استفاده از الگوریتم‌های هوشمند بوده که شبیه‌سازی‌های خود را بر اساس تجربیات گذشته و اطلاعات واقعی بازار قرار می‌دهند.

۴. ویژگی‌های بازار برق ایران

در بازار برق، پیشنهاد قیمت و توان ممکن است از چند روز قبل تا چند ساعت قبل به صورت ساعتی یا کمتر از یک ساعت بوده و قیمت و توان پیشنهادی فروشندگان و خریداران در اختیار مدیر بازار قرار گیرد. در بازار برق ایران، فرم‌های پیش‌نویس پیشنهاد قیمت و توان سه روز قبل به صورت ساعتی تو سط فرو شندگان (نیروگاه ها) در اختیار مدیر بازار قرار می‌گیرد که ویرایش نهایی آنها تا

1.Berry

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

ساعت ده صبح روز قبل می‌باشد. این پیشنهاد قیمت‌ها به صورت محرمانه بوده و سایر تولیدکنندگان از آن بی‌خبر هستند. مدیر بازار پس از دریافت منحنی‌های پیشنهاد قیمت و توان که اغلب به صورت پله‌ای و حداکثر در ده پله تنظیم شده است، آنها را در هر ساعت به صورت نزولی برای خریداران و صعودی برای فروشندگان مرتب نموده و از محل تقاطع آنها که موسوم به قیمت نهایی تسویه بازار[1] است، برندگان بازار مشخص می‌شود. مدیر بازار انجام عملیات خرید و فروش برق، ساماندهی تبادل اطلاعات و مبادلات مالی با فروشنده‌ها و خریدارها را انجام می‌دهد.

لازم به ذکر است که بازار برق ایران به صورت حراج[2] یکطرفه بوده و خریداران برق در تعیین قیمت برق نقشی ندارند. به عبارت دیگر، واحد اجرایی بازار بر اساس پیش‌بینی نیاز مصرف کل خریداران از کمترین قیمت پیشنهاد انرژی اقدام به خرید میزان تقاضای اعلام شده می‌نماید. در قراردادهای دوطرفه، مناظره و بحث بین دو طرف عرضه‌کننده و تقاضاکننده در قیمت و مقدار اتفاق می‌افتد. از آنجا که در بازار برق ایران رقابت اصلی در طرف تولید است و سیستم انتقال همچنان انحصاری بوده و بازار خرده‌فروشی وجود ندارد، مسایل قیمت‌دهی بیشتر متوجه تولیدکنندگان می‌باشد.

بازار برق ایران در فضای عمده فروشی است که عرضه‌کنندگان آن نیروگاه ها و تقاضاکنندگان آن شرکت های توزیع برق می‌باشد. شرکت های برق منطقه‌ای به عنوان مالک شبکه انتقال و فوق‌توزیع وظیفه انتقال برق از تولیدکننده به مصرف‌کننده را دارند. بخش خرده فروشی بازار برق ایران که رابط بین شرکت های توزیع و مشترکین است، هنوز شکل نگرفته و دولت با پرداخت یارانه، قیمت پرداختی به مصرف‌کننده نهایی را به سطح دستوری می‌رساند.

1.Marginal Clearing Price (MCP)
2.Auction

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

روش پرداخت به نیروگاه های برنده بر اساس پیشنهاد قیمت خودشان بوده که این مقاله سعی دارد به مقایسه این شیوه پرداخت با شیوه پرداخت یکنواخت در قیمت فروش و هزینه تمام شده برق بپردازد.

۵. مدل تحقیق

از زمان شکل‌گیری بازار برق همواره بازیگران بازار به دنبال پیدا کردن روش بهینه جهت حداکثرکردن سود خود بوده‌اند. با توجه به خصوصیات بازار برق، این بازارها عمدتا در قالب انحصار چند جانبه فعالیت می‌نمایند که سود هر بازیگر در این بازار به رفتار سایر بازیگران مرتبط می‌باشد و رفتار هر بازیگر استراتژی سایر بازیگران را تحت تاثیر قرار می‌دهد. روش‌های مختلفی برای تعیین استراتژی قیمت دهی نیروگاه‌ها وجود دارد که از مهمترین آنها می‌توان به تخمین قیمت تسویه، پیش‌بینی رفتار سایر رقبا و نظریه بازی‌ها اشاره داشت. این روشها به روش‌های کلاسیک مشهور است که در عین سادگی اجرا، هرکدام دارای معایب محدودکننده فراوان می‌باشند. در دو روش اول، تعامل بازیگران و تاثیر رفتار بازیگران بر تصمیم‌گیری‌های قیمت‌دهی آنان در نظر گرفته نشده است در حالی‌که سیستم‌های اقتصادی پویا بر اساس تعامل بازیگران آن رشد می‌کند. در روش نظریه بازی‌ها، به رغم اینکه تعامل بازیگران وارد مدل شده است، اما به دلیل فرض محدودکننده اطلاعات کامل بازیگران، با واقعیات بازارهای برق بسیار فاصله داشته و نمی‌تواند محیط واقعی بازار را بخوبی نشان دهد. همچنین این روش‌ها در تبیین پویایی سیستم ناتوان هستند. به دلایل گفته شده، محققان در سال های اخیر به سمت اقتصاد تجربی[1] روی آورده‌اند که شالوده آن بر تعیین استراتژی بر اساس تجربیات بنا شده است. ایجاد فضای آزمایشگاهی به عنوان نمونه‌ای از جامعه جهت آزمون نتایج اجرای یک سیاست از مهمترین ابزارهای کاربردی اقتصاد تجربی است. این روش علاوه بر هزینه بر و زمان‌بر بودن، دو مشکل اساسی دارد: اول اینکه، تضمین‌کننده این نیست که انسانها تحت

1.Experimental Economics

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

شرایط آزمایشگاهی رفتار واقعی خود را ابراز کنند و دوم اینکه، محیط تجربی ممکن است از محیط واقعی متفاوت باشد. البته باید یادآور شد که آزمایش‌ها تحت بسیاری از شرایط نمی‌توانند اجرا شوند. با رشد فناوری اطلاعات استفاده از شبیه‌سازی توسط رایانه متداول گردیده که به الگوریتم‌های هو شمند مشهور هستند. از مهمترین زیر شاخه‌های این الگوریتم‌ها، مدل‌های یادگیری تقویتی است که عوامل آن با کسب تجربه و بازخور محیط (پاداش)، رفتار بهینه را کشف می‌کنند.

به طور کلی، آزمایش‌ها در مدل‌های یادگیری تقویتی چهار عنصر خط مشی (سیاست یا استراتژی)، تابع پاداش[1]، تابع ارزش و مدل محیط وجود دارد. این الگوریتم شامل سه مجموعه عمل‌ها، حالتهای محیط و پاداش می باشد. عمل‌ها یا فعالیت ها توسط عامل‌ها انجام می‌شود. انجام این عمل دو واکنش را در بر دارد: اول، حالت محیط تغییر کرده و دوم، پاداشی از طرف محیط به عامل داده می شود. عامل با توجه به پاداش دریافتی، میزان مطلوب بودن فعالیت خود را یاد می‌گیرد. هدف عامل حداکثر کردن پاداش‌های دریافتی از محیط می‌باشد. نحوه رفتار عامل جهت رسیدن به هدف را استراتژی می‌گویند. به عبارت دیگر، استراتژی نحوه انتخاب عمل در حالات مختلف را برای عامل تصمیم گیرنده معین می‌کند. استراتژی بزرگترین مجهول مساله یادگیری تقویتی است و عامل باید به دنبال سیاست و استراتژی باشد که میزان پاداش دریافتی او را پس از مدت زمان طولانی از اجرای الگوریتم بیشینه کند. استراتژی انجام عمل، نگاشتی از حالات به فضای اعمال است.

تابع پاداش، هدف را در مساله یادگیری تعریف می‌کند. تابع پاداش نگاشتی از حالت ادراک شده محیط به یک عدد واحد یا همان پاداش می‌باشد. تابع پاداش نشان می‌دهد چه عملی مناسب و چه عملی مناسب نیست و به مفهوم دقیق‌تر، هر عمل تا چه اندازه‌ای مناسب است.

تابع ارزش مشخص کننده خوب یا بد بودن عمل انجام شده در بلندمدت است. به عبارت دیگر، تابع ارزش یک حالت، مجموع کل پاداشی است که یک عامل انتظار دارد هنگامی که از این حالت

1.Reward Function

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

حرکت را شـروع می کند، به دسـت آورد و آنچه مهم اسـت، مجموع پاداش‌ها در بلندمدت اسـت، نه پاداش لحظه‌ای که عامل از انجام یک عمل به د ست می‌آورد. در این مقاله، تابع ارزش از مجموع پاداش‌ها که با نرخ مناسـب کاهشـی تنزیل یافته‌اند، به دسـت آمده اسـت. در معادله (۱) چگونگی به دست آمدن تابع ارزش بهینه نشان داده شده است.

$$V^*(s) = \max_{\pi} E\left(\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t r_t\right) \qquad (۱)$$

در این معادله، V بیانگر تابع ارزش بهینه، π اسـتراتژی معادله، ضـریب کاهشـی (می‌توان از آن به نرخ بهره، نرخ مطلوبیت نقدینگی زمانی و... تعبیر کرد)، r پاداش‌هر دوره یادگیری می‌باشد.

با استفاده از برنامه‌ریزی دینامیکی، معادله (۱) را می‌توان به صورت معادله (۲) نوشت:

$$V^*(s) = \max_{a} \left(R(s,a) + \gamma \sum_{s' \in S}^{\infty} T(s,a,s') V^*(s') \right) \quad , \forall s \in S \qquad (۲)$$

در این معادله، R(s,a) تابع پاداش در حالت s به دلیل فعالیت a اسـت. تابع ارزش بهینه برابر با مجموع پاداش فعلی و تابع ارزش بهینه دوره‌های بعد می‌باشد. در این معادله، T(s,a,s/) بیانگر احتمال رفتن به حالت s/ پس از حالت s و عمل a می‌با شد. مقدار بهینه در هر حالت، مجموع پاداش لحظه‌ای و مقدار بیشـینه کاهش‌یافته مورد انتظار حالت بعدی می‌باشـد که در اثر انجام عمل بهینه (عملی با بی‌شترین پاداش) به د ست می‌آید. در نتیجه، بعد از محا سبه تابع مقدار بهینه، ا ستراتژی بهینه از رابطه (۳) تعیین می‌شود.

$$\pi^*(s) = \arg\max_{a} \left(R(s,a) + \gamma \sum_{s' \in S}^{\infty} T(s,a,s') V^*(s') \right) \quad , \forall s \in S \qquad (۳)$$

با کمک الگوریتم تکرار می‌توان استراتژی بهینه را در تکرارهای مورد نظر به دست آورد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

الگوهای یادگیری تقویتی به دو دسته کلی الگوهای مدل محور و مستقل از مدل تقسیم می‌گردند. در الگوهای مدل محور، استراتژی بهینه در قالب یک مدل قابل تبیین بوده و بر آن اساس، ارزش بهینه به دست می‌آید. این الگوها مناسب سیستم‌هایی با متغیرهای تاثیرگذار کمتر می‌باشند که قابلیت تبیین در یک مدل را دارند. در مقابل، در الگوهای مستقل از مدل، مقدار بهینه بر اساس تجربیات و انجام تکرارهای مختلف به دست می‌آید. بازارهای برق بر اساس پیچیدگی‌های درونی، تعدد متغیرهای بیرونی تاثیرگذار و وابستگی به شرایط و ویژگی‌های بازار به کمک الگوهای مستقل از مدل شبیه سازی می‌گردند. از مهمترین این الگوها که همگرایی در آنها با سرعت و دقت مناسب تضمین شده است، الگوریتم Q-Learning می‌باشد.

الگوریتم Q-Learning دارای تابعی است که ترکیب حالت- عمل را محاسبه می نماید و به آن اصطلاحا تابع Q[1] گفته می‌شود که همان تابع ارزش یادگیری تقویتی است. به عبارت دیگر، به جای اینکه نگاشت از حالت‌ها به تابع ارزش باشد، از زوج حالت- عمل به تابع Q است و مقدار ارزش را در هر حالت و عمل (Q(s,a) بیان می‌کند.

قبل از شروع یادگیری، Q مقدار اولیه و اختیاری به خود می‌گیرد. سپس هر بار که به عامل پاداش داده می‌شود، مقادیر جدیدی برای هر ترکیب حالت- عمل محاسبه می‌گردد. هسته الگوریتم از یک بروز رسانی تکراری ساده تشکیل شده است، به این ترتیب که بر اساس اطلاعات جدید، مقادیر قبلی اصلاح می‌شود. میزان اصلاح اطلاعات بستگی به نرخ یادگیری دارد.

استراتژی در این روش با استفاده از رابطه (۴) به دست می‌آید. به عبارتی، در هر حالت استراتژی متناظر با حداکثر Q* یعنی π* انتخاب می‌گردد.

$$\pi^*(s) = \arg\max_a Q^*(s,a) \qquad (۴)$$

1.Q- Function

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

بنابراین، تابع مقدار می‌تواند از معادله زیر به دست آید.

$$Q^*(s,a) = R(s,a) + \gamma \sum_{s' \in S}^{\infty} T(s,a,s') \max_{a'} Q^*(s',a') \quad (۵)$$

با توجه به اینکه مقدار تابع Q انتخاب عمل مورد نظر را آســان می کند می توان از روش TD[1] (0) برای تخمین تابع Q مطابق رابطه (۶) استفاده کرد.

$$Q(s,a) = Q(s,a) + \alpha(r + \gamma \max_{a'} Q(s',a') - Q(s,a)) \quad (۶)$$

معادله بالا را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد.

$$Q(s.a) = (1-\alpha)Q(s.a) + \alpha(r + \gamma \max Q(s`.a`)) \quad (۷)$$

در این رابطه، α نرخ یادگیری اســت که تعیین می کند تا چه میزان اطلاعات بدســت آمده جدید بر اطلاعات قدیمی ترجیح داده شود. مقدار صفر باعث می شود عامل چیزی یاد نگیرد و مقدار یک باعث می شود عامل فقط اطلاعات جدید را ملاک قرار دهد.

از مسایل بسیار مهم برای هر عامل، مصالحه بین میزان بهره‌بردای از اطلاعات[2] و جستجوی‌محیط[3] می‌باشــد. بهره برداری از اطلاعات در دســترس به این معناســت که بهترین عمل با توجه به نتایج و تجربیاتی که تاکنون بدست آمده، انتخاب شود. اما آیا همواره عملی که بهترین نتیجه را در برداشته انتخاب شده یا محیط را بایستی بیشتر جستجو کرده و از اعمال دیگر تجربه بیشتری کسب گردد. روش‌های زیادی برای انتخاب عمل مناســب با در نظر گرفتن مصــالحه وجود دارد. یکی از بهترین روشــها که کاربرد زیادی بویژه در الگوی Q-Learning دارد، روش ε-greedy اســت. در ابتدای

1.Temporal Difference
2.Exploitation
3.Exploration

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

جستجوی محیط، ممکن است پاداش ناشی از اجرای عمل بهینه کمتر از سایر اعمال بهینه محلی با شد. بنابراین، یک عامل چنانچه تنها مبنی بر انتخاب عمل با پاداش حداکثر رفتارکند، ممکن ا ست از عمل بهینه دور شده و اصطلاحا در یک نقطه بهینه محلی توقف کند. در نتیجه، با انتخاب شاخصی تحت عنوان ε که مقدار کوچکی است، اعمال غیر از عمل بهینه در هر حالت با احتمال ε انتخاب می‌شوند. با استفاده از این روش، عامل با جستجوی بیشتری، اطمینان خود را در دست یابی به جواب بهینه افزایش می‌دهد.

مقادیر پارامترهای مدل شاملα، γ وε در تکرارهای اولیه به گونه‌ای انتخاب می‌شودکه یادگیر غیرحریصانه رفتار نماید، اما با افزایش تکرارها یادگیر کم‌کم حریص شده و جستجوگری را کاهش می‌دهد. بدین منظور، مقادیر پارامترها در سه مرحله در طول یادگیری تغییر می یابد. یک عامل حریص نسبت به اطلاعات جدید، حریصانه رفتار می‌کند (α بزرگ) و برای پاداشی که ممکن است در آینده دریافت کند، ارزش کمی قائل است (γکوچک). یک عامل با این مشخصه میل زیادی به انتخاب عمل متناظر با حداکثر ارزش دارد و با انجام سایر عمل‌ها ریسک نمی‌کند (εکوچک). به عبارت دیگر، عامل ریسک‌گریز بهره برداری از اطلاعات را به جستجوی بیشترمحیط ترجیح می‌دهد در حالی که عامل ریسک‌پذیر نسبت به اطلاعات حریصانه رفتار نمی‌کند و جهت دست‌یابی به شانس‌های بیشتر ریسک بیشتری‌کرده و جستجوی بیشتری انجام می‌دهد.

با توجه به آنچه گفته شد، یادگیری در سه مرحله انجام خواهد شدکه مقادیر پارامترها در شکل زیر نشان داده شده است.

الف $\begin{cases}\alpha = 0.7\\ \gamma = 0.3\\ \varepsilon = 0.1\end{cases}$ ب $\begin{cases}\alpha = 0.8\\ \gamma = 0.2\\ \varepsilon = 0.05\end{cases}$ ج $\begin{cases}\alpha = 0.9\\ \gamma = 0.1\\ \varepsilon = 0.0005\end{cases}$

شکل ۲. مقادیر پارامترهای مدل. الف: مرحله اول از تکرار ۰ تا ۶۰۰ ب: مرحله دوم از تکرار ۶۰۰ تا ۸۰۰ ج: مرحله سوم از تکرار ۸۰۰ تا ۱۰۰۰

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

در مقاله پیش‌رو، محیط مدل بازار برق خراسان است. روش واقعی پرداخت در این بازار به صورت تبعیضی و پرداخت به ازای پیشنهاد می‌باشد. عامل‌های مدل شامل نیروگاه های حرارتی در محدوده مذکور است. در بازار برق خراسان، ۸ نیروگاه حرارتی شامل ۴۸ واحد نیروگاهی فعالیت می‌کنند. برای در نظر گرفتن مبادله با شبکه برق سراسری یک واحد ۵۰۰ مگاواتی دیگر نیز در نظر گرفته شده است. شبکه انتقال و فوق توزیع ۱۵۸ باسه وظیفه انتقال برق را بر عهده داشته و محدودیتها و پراکنش بار آن قاعدتا بر روی نتایج تاثیرگذار خواهد بود. عمل در این مدل همان ارایه پیشنهاد قیمت توسط نیروگاه‌ها ست. انجام هر عمل دو واکنش دارد: اولا، حالت محیط تغییر می‌کند، حالت در اینجا، قیمت تسویه بازار در تکرار قبلی است و ثانیا، پاداشی از طرف محیط به عامل داده می‌شود که برابر با سود تولیدکننده است.

برای رسیدن به تابع هدف و همگرا شدن به سمت آن، مدل در ۱۰۰۰ تکرار اجرا شده که به دلیل ماهیت تصادفی بودن الگوریتم، هر تکرار میانگین ۱۰ تکرار در آن حالت و عمل می‌باشد.

برای یافتن تاثیر بار در نتایج، مدل درسه دوره مستقل کم باری، بار عادی و پیک اجرا شده و با ترکیب این دوره‌ها، نتایج برای کل سال تعمیم داده می‌شود. در دوره کم باری میزان تقاضای بار در خراسان ۱۴۰۰ مگاوات، در دوره بار عادی ۲۴۵۰ مگاوات و در دوره پیک ۳۵۰۰ مگاوات در نظر گرفته شده است.

برای بررسی تاثیر روش پرداخت بر قیمت فروش و هزینه تمام شده، مدل در دو سناریو اجرا می‌شود. در یک سناریو، بازار برق خراسان با تمام ویژگی‌های آن همچون روش پرداخت به ازای پیشنهاد، مقدار تقاضای ثابت برای هر دوره، در نظرگرفتن قیود حداقل و حداکثر تولید واحدها، اعمال سقف برای پیشنهاد قیمت و ... اجرا شده و قیمت فروش و هزینه تمام شده برق به دست می‌آید. در این سناریو، قیمت فروش برق برای هر واحد برنده برابر با پیشنهاد قیمت خودش می‌باشد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

بنابراین، جهت یافتن قیمت فروش کل بایستی از میانگین موزون قیمت پرداختی به نیروگاه به نسبت تولید آن استفاده کرد که از معادله زیر حساب می‌شود.

$$P_{bp} = \frac{\sum_{i=1}^{I} P_{ni} \times q_i}{\sum_{i=1}^{I} q_i} \qquad (۸)$$

در این معادله، Pbp قیمت فروش برق در روش پرداخت به ازای پیشـــنهاد، Pni پیشـــنهاد قیمت واحد i، qi تولید نیروگاه iام و I تعداد کل نیروگاه‌ها تعریف می‌شود.

برای محا سبه هزینه تمام شده، هزینه کل بر مقدار تولید تقسیم می شود. تابع هزینه تابع درجه دو در نظر گرفته شده که بر اساس عملکرد واقعی نیروگاه‌های مورد بررسی به دست آمده است.

شـایان ذکر اسـت که محاسـبات نشـان می‌دهد سـهم بالایی از هزینه‌های یک نیروگاه، هزینه‌های سوخت مصرفی می‌باشد.

در سـناریوی دیگر، قیمت فروش و هزینه تمام شـده برق برای روش پرداخت یکنواخت محاسـبه می‌شود. در این روش، قیمت فروش برای همه واحدها یکسان و برابر با قیمت تسویه بازار است.

۶. نتایج مدل

در این بخش، قیمت فروش برق به دولت و هزینه تمام شـــده برق برای تولید کننده در ســـه دوره کم باری، بار عادی و پیک برای دو روش پرداخت یکنواخت و پرداخت به ازای پیشنهاد محا سبه و با هم مقایسه می گردد.

همان طور که گفته شد، در روش پرداخت یکنواخت، قیمت فروش برای همه واحدها یکسان و برابر با قیمت تسویه بازار و در روش پرداخت به ازای پیشنهاد برابر با میانگین موزون پیشنهاد قیمت واحدهای برنده می باشد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

در جدول (۱) قیمت فروش برق برای دوره‌های مختلف در دو روش با هم مقایسه شده است.

جدول۱. قیمت فروش برق در روش‌های پرداخت یکنواخت و پرداخت به ازای پیشنهاد

ریال به کیلووات‌ساعت

دوره	پرداخت یکنواخت	پرداخت به ازای پیشنهاد
کم باری	۲۰۲	۲۲۵/۸
بار عادی	۲۲۱	۲۰۲/۶
پیک	۳۰۰/۷۷	۲۴۵/۴۶

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در دوره کم باری، بر خلاف تصور، قیمت فروش برق در حالت یکنواخت کمتر از روش پرداخت به ازای پیشنهاد می باشد، چرا که در ساعات کم باری پیشنهاد قیمت واحدها در پرداخت یکنواخت بسیار پایین‌تر از روش پرداخت به ازای پیشنهاد است. بنابراین، در این دوره در پرداخت یکنواخت، دولت متحمل هزینه کمتر در تامین برق می‌گردد. با توجه به نیاز ۱۴۰۰ مگاواتی بار در این دوره، تامین برق نسبت به روش پرداخت به ازای پیشنهاد، صرفه‌جویی ۳۳ میلیون ریالی برای دولت در بر خواهد داشت.

در دوره بار عادی، قیمت فروش در روش پرداخت به ازای پیشنهاد کمتر از روش یکنواخت است، حتی قیمت فروش در این روش نسبت به ساعت کم باری کمتر شده است، چرا که افزایش تقاضای بار فرصت کافی به نیروگاه های کوچکتر داده و منجر به افزایش رقابت بین واحدهای تولیدی شده است. در دوره بار عادی با توجه به نیاز ۲۴۵۰ مگاواتی، روش پرداخت به ازای پیشنهاد، صرفه‌جویی ۴۵ میلیون ریالی در هزینه‌های دولت برای تامین برق خراسان در سطح عمده فروشی به ارمغان می‌آورد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

در دوره پیک بار، قیمت فروش در روش پرداخت به ازای پیشـــنهاد کمتر اســـت که این روش نســـبت به روش یکنواخت منجر به صـــرفه جویی ۱۹۴ میلیون ریالی در هزینه‌های دولت برای یک ساعت تامین برق استان‌های خراسان می گردد.

در روش پرداخت یکنواخت، به طور میانگین افزایش یک واحد تقاضـــا ۵۱/. واحد قیمت را افزایش می‌دهد. البته در بارهای کمتر این افزایش قیمت بسیار کمتر بوده و با افزایش بار، این افزایش قیمت افزایش می یابد به طوری که بین دوره کم باری تا بار عادی این افزایش قیمت ۱۶/. واحد و بین بار عادی تا پیک این افزایش قیمت ۸۷/. واحد می‌باشد.

در روش پرداخت به ازای پیشـــنهاد، با افزایش یک واحد بار میزان قیمت فروش حدود ۱۷۵/. افزایش می‌یابدکه این تغییرات قیمت بسـیار کمتر نسـبت به حالت یکنواخت اسـت. به عبارت دیگر، قیمت در این روش کم‌کشش‌تر خواهد بود. در این روش، کشش ابتدا منفی و سپس مثبت می‌شود.

اگر فرض شـود از ۸۷۶۰ سـاعت کل سـال، ۲۹۲۰ سـاعت کم باری، ۴۳۸۰ سـاعت بار عادی و ۱۴۶۰ ساعت پیک باشد، میزان هزینه های دولت برای تامین برق خراسان بزرگ در یک سال در دو روش برای حالت با شبکه طبق جدول(۲) به دست می‌آید.

جدول ۲. هزینه های دولت جهت تامین برق در سطح عمده فروشی

میلیون ریال

دوره	پرداخت یکنواخت	پرداخت به ازای پیشنهاد	تفاوت روش ۱ به ۲
کم باری	۸۲۵،۷۷۶	۹۲۱،۳۵۳	-۹۵،۵۷۷
عادی	۲،۳۷۱،۵۵۱	۲،۱۷۴،۱۰۱	۱۹۷،۴۵۰
پیک	۱،۵۳۶،۹۳۵	۱،۲۵۴،۳۰۱	۲۸۲،۶۳۴
جمع کل	۴،۷۳۴،۲۶۲	۴،۳۴۹،۷۵۵	۳۸۴،۵۰۷
تفاوت روش ۱ از ۲		۳۸۴،۵۰۷	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

هزینه تامین برق خراسان بزرگ برای دولت در سطح نیروگاه‌ها برای یک سال، ۴۷۳۰ میلیارد ریال در روش یکنواخت و ۴۳۵۰ میلیارد ریال در روش پرداخت به ازای پیشنهاد است. (این هزینه بر ا ساس میزان پرداختی دولت به نیروگاه های خرا سان بر ا ساس قیمت خرید از بازار ا ست.) بنابراین، تامین برق با روش دوم منجر به صرفه جویی ۳۸۰ میلیارد ریالی در هزینه‌های دولت برای یک سال خواهد شد. از این میزان، حدود ۱۰۰- میلیارد ریال در ساعات کم باری، ۲۰۰ میلیارد ریال در ساعات بار عادی و ۲۸۰ میلیارد ریال در ساعات پیک رخ می‌دهد.

در جدول (۳) هزینه تمام شده برق که طبق معادلات (۲) و(۳) به دست آمده است برای دوره‌های مختلف در دو روش با هم مقایسه می‌گردد.

جدول۳. هزینه تمام شده برق در روش‌های پرداخت یکنواخت و پرداخت به ازای پیشنهاد

ریال به کیلووات ساعت

دوره	پرداخت یکنواخت	پرداخت به ازای پیشنهاد
کم باری	۱۹۷/۲	۲۱۳/۹
بار عادی	۲۱۰/۴۴	۲۱۱/۶
پیک	۲۰۵/۹	۲۱۴

مأخذ: یافته‌های تحقیق

هزینه تمام شده برق در تمام دوره‌ها در روش پرداخت یکنواخت کمتر از روش پرداخت به ازای پیشنهاد است. به عبارت دیگر، نیروگاه‌های با بازدهی بالاتر در این روش در تولید برق نقش دارند. در روش پرداخت یکنواخت، با افزایش بار از دوره کم باری به پرباری، افزایش هزینه تمام شده برق مشاهده می شود که دلیل آن ا ستفاده از نیروگاه های با هزینه تولید بالاتر به دلیل افزایش بار ا ست. در دوره پیک، هزینه تمام شده برق کاهش می‌یابد که دلیل آن شکل درجه ۲ توابع هزینه نیروگاه‌ها و افزایش استفاده از ظرفیت این نوع از نیروگاه‌ها می باشد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

۷. نتیجه‌گیری

این مقاله به مقایسه دو روش پرداخت یکنواخت و به ازای پیشنهاد بر قیمت فروش و هزینه تمام شده برق در بازار برق ایران در محدوده نیروگاه های برق خراسان بزرگ می‌پردازد.

نتایج بیانگر آن است که در روش پرداخت به ازای پیشنهاد (روش فعلی مورد استفاده در کشور) قیمت فروش برق و به تبع آن، درآمد تولیدکنندگان بیشتر بوده که معادل افزایش هزینه تامین برق برای مصرف‌کننده نهایی توسط دولت است.

از طرف دیگر، در روش پرداخت یکنواخت، هزینه تمام شده برق کمتر از روش پرداخت به ازای پیشنهاد است که به معنای استفاده از نیروگاه‌های با بازدهی بالاتر در تولید برق می‌باشد. به عبارت دیگر، در روش پرداخت یکنواخت، برای تولید یک میزان مشخص تولید برق، سوخت کمتری نسبت به روش دیگر مصرف شده که منجر به کاهش یارانه پرداختی دولت به سوخت تحویلی به نیروگاه‌ها و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌گردد.

نتایج نشان می‌دهد در دوره پیک، قیمت پیشنهادی اکثر نیروگاه‌ها در دو روش قیمت سقف بوده است که می‌توان حدس زد با افزایش سقف قیمت، قیمت تسویه بازار افزایش می‌یابد. بنابراین، چنانچه دولت خواستار استفاده از روش پرداخت یکنواخت جهت افزایش کارایی تولید باشد، لازم است جهت افزایش سوددهی نیروگاه‌ها و تضمین سرمایه‌گذاری در این بخش، سقف قیمت را تا میزان مطلوب افزایش دهد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

منابع

ا ستافت، ا (۲۰۰۲)، *اقتصاد سیستم قدرت، طراحی بازارهای برق* ، ترجمه ر. میلانی و ا. جهانبین، تهران: نشر همزبانان، چاپ اول.

سیاهکلی، ح (۱۳۸۱) ، " تجدید ساختار در صنعت برق"، *نشریه علمی برق*، شماره ۳۵، صص ۱۳-۱.

صادقی شاهدانی، م، "ارزش گذاری اقتصادی بهبود راندمان نیروگاه ها"، *فصلنامه پژوهش های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی*، سال دوم، شماره ۲، صص ۲۵۴-۲۳۵.

قاضی زاده، م؛ آریایی، ج و م. ح. جاویدی (۱۳۸۵)، گزارش بازار برق ایران: تاریخچه، دلایل و ویژگی‌های آن، هیئت تنظیم بازار برق.

محمدی، ت؛ تکلیف، ع و م. بختیار(۱۳۹۴)، " تحلیل ظرفیت بهینه نیروگاهی در ایران و بررسی اثرات صرفه‌جویی مصرف انرژی بر آن" ، *فصلنامه پژوهش های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی*، سال دوم، شماره ۱، صص ۶۸-۳۹.

نصیری، ب و ع. کریم پور (۱۳۸۷)، *شبیه سازی چند عاملی بازار برق به کمک الگوریتم یادگیری تقویتی*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی، مشهد.

Abbink, K; Brandts, J. and T. McDaniel (2003), "Asymmetric Demand Information in Uniform and Discriminatory Call Auction: An Experimental Analysis Motivated by Electricity Markets", *Regulary Economics*, 23, pp.125-144.

Bangnall, A. J. (2000), "A Multi-Adaptive Agent Model of Generator Bidding in The UK Market in Electricity", Proceedings of *The Second Genetic and Evolutionary Computation Conference*, USA.

Berry, k. (2014)," A Comparison of Pay As Bid And Market Clearing Price Bidding", Processes in Electric Utility Auctions, *Managerial And Decision Economics*, pp. 258-263.

Bower, J. and D.W. **Bunn** (2000), "Model-Based Comparisions of Pool and Bilateral Markets for Electricity", *Energy Journal*, 21(3), pp.1-29.

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

Fabra, N; Fehr, V.D. and D.C. Harbord (2006)," Desining Electricity Auctions", *Rand Journal of Economics*, 37 (1), pp.23-46.

Ganjbakhsh, O. (2008), *Strategic 0ffers in an Oligopolistic Electricity Market Under Pay As Bid Pricing*, Msc Thesis, McGill University.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]

Krause, T. and G. Andersson (2006), "Evaluating Congestion Management Schemes in Liberalized Electricity Market Using An Agent-Based Simulator", Proceedings of *The Power Engineering Society General Meeting*, Montreal, USA.

Mount, T. (1999), "Market Power and Price Volatility in Restructured Markets for Electricity", IEE Proceeding of *Hawaii International Conference On System Sciences*, USA.

Tierney, S; Shcatzki, T. and R. Mukerji (2008), *Uniform- Pricing Versus Pay-As-Bid in Wholesale Electricity Markets: Does it Make Difference?*, New York, ISO, USA.

Watkins, C. J. C. H. (1989), *Learning from Delayed Rewards*, Thesis Phd, Kings College, United Kingdom, London.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-10]