بیستمین کنفرانس
بین المللی برق
20th International
Power System Conference

PSC 2005

98-F-SEA-735

جلد ۱۲- ردیف ۳۲

بررسی مسأله قیمت‌دهی با توجه به محدودیت‌های بازار برق ایران و مطالعه موردی بازار برق خراسان

محمد امین لطیفی
amin_latifi@yahoo.com

حبیب رجبی مشهدی
h_mashhadi@um.ac.ir

مصطفی رجبی مشهدی
mrajabim@yahoo.com

حمید موسوی
hamidmousavi@hotmail.com

مهدی علومی بایگی
me_oloomi@yahoo.com

غلام رضا غلامی زه‌آب
gholami_ziuv@yahoo.com

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی

شرکت برق منطقه‌ای خراسان
دفتر بازار برق خراسان

واژه‌های کلیدی: بازار برق، پیشنهاد قیمت، ضریب همبستگی، پیش‌بینی قیمت، حداقل قیمت رد شده، حداکثر قیمت پذیرفته شده

چکیده

با شروع بکار بازار برق ایران ، مساله پیشنهاد قیمت برای شرکتهای فروشنده برق دارای اهمیت بسیار بوده و فاکتور مهمی جهت کسب درآمد و سودآوری برای این شرکتها محسوب می شود. در این مقاله ضمن شناسایی عوامل موثر بر قیمت، میزان وابستگی قیمت به این عوامل در ساعتهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

بررسی روشهای پیشنهاد قیمت در کشورهای پیشرو با توجه به شرایط و محدودیتهای شبکه برق ایران و خراسان نشان میدهد که روش پیش‌بینی حداکثر قیمت پذیرفته شده و حداقل قیمت رد شده در بازار برق ایران کاربرد خواهد داشت. بنابراین با توجه به حداکثر قیمت پذیرفته شده بازار، میتوان قیمت‌دهی را بگونه انجام داد که برق تولیدی به قیمت مورد انتظار فروخته شده و با توجه به محدوده قیمت حداکثر و قیمت حداقل، قیمت بهینه را تعیین کرد. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های بازار برق خراسان نشان میدهد که به دلیل محدودیتهای موجود، قدرت رقابتی بازار کم رنگ شده و در اکثر موارد پیش‌بینی قیمت پذیرفته شده، پارامتر موثری برای دستیابی به قیمت بهینه است.

۱- مقدمه

با راه‌اندازی بازار برق ایران در سطح عمده فروشی و در سمت فروشندگان در آبانماه سال ۸۲، درآمد شرکتهای برق منطقه‌ای به نحوه قیمت‌دهی وابسته شده است. بنابراین بازار برق در شرکتهای آب و برق منطقه‌ای تولید کننده انرژی الکتریکی انگیزه مضاعفی جهت پیشنهاد قیمت بهینه ایجاد نموده است. با توجه به محدودیتهای موجود در بازار برق ایران نظیر محدودیتهای انتقال، عدم خروج واحدهای سیکل ترکیبی و بخاری بزرگ و. . قیمت‌دهی در این بازار نیازمند مطالعه جدی در این زمینه است.

تولیدکنندگان با ارائه مقدار تولید و قیمت پیشنهادی در بازار برق شرکت میکنند. بهره‌بردار بازار نیز پیشنهاد برنده را مشخص می‌کند. در مبادلات قراردادی مانند قراردادهای دو طرفه روند مناظره و بحث بین دو طرف لازم است، که در این مقاله مد نظر نیست البته شایان ذکر است که قیمت‌دهی در طرف مصرف هم به مرور زمان و با توسعه بازار در سمت خرید برق، دارای اهمیت خواهد شد.

هدف ما در این مقاله حل مساله پیشنهاد قیمت از دید تولیدکنندگان و بصورت موردی شرکت برق منطقه‌ای خراسان است برای رسیدن به این هدف محاسبه ضرایب همبستگی، پیش‌بینیپذیری حداقل قیمت رد شده و حداکثر قیمت پذیرفته شده مورد بررسی قرار گرفته است. به این ترتیب با مدلسازی کلی مساله، راه حلی مبتنی بر پیش‌بینی حداقل قیمت رد شده و حداکثر قیمت پذیرفته شده در بازار ارائه می‌شود. برای این منظور در بخش دوم این مقاله به توصیف روشهای قیمت‌دهی پرداخته شده ودر بخش سوم مساله قیمت‌دهی فرموله شده است. در فصل چهارم روش پیشنهادی پیاده سازی شده است. و نهایتا در فصل پنجم مطالب جمع بندی و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲- روشهای قیمت دهی

مسأله پیشنهاد قیمت در بازارهای برق به مبادلات حراج مربوط است و تولیدکنندگان با ارائه پیشنهاد قیمت و مقدار تولید به بهره‌بردار بازار، در آن شرکت می‌کنند و بهره‌بردار بازار، برندگان و مقدار پول تخصیص یافته به آنان را مشخص می‌کند. قوانین تخصیص پول به شرکت کنندگان نیز عبارتند از تخصیص یکنواخت[6] (UP) و پرداخت به میزان پیشنهاد[6] (PAB).

مساله پیشنهاد قیمت به طور کلی به صورت یافتن قیمت بهینه و تعیین استراتژی مناسب جهت رقابت با فروشندگان دیگر تعریف می‌شود. مساله مد نظر ما شرکت در حراج می‌باشد که به صورت مناقصه اجرا می‌شود. به بیان دیگر مساله پیشنهاد قیمت عبارت خواهد بود از تعیین قیمت‌های بهینه در افق زمانی بهره‌برداری از بازار(از چند دقیقه در بازار های بلادرنگ[5] گرفته تا چندین ساعت در بازارهای روزانه) به طوری که عوامل موثر بر پارامترهای مورد توجه فروشنده (مانند سود، در آمد، ریسک و ...) در نظر گرفته شود.

با توجه به مطالعات انجام شده عواملی که فروشنده باید در هنگام پیشنهاد قیمت در مناقصه‌های انرژی لحاظ کند در زیر خلاصه شده‌اند.

۱. عدم قطعیت‌ها
۲. نحوه بستن بازار و پرداخت پول به برندگان بازار
۳. ساختار و قوانین بازار
۴. هزینه تولید
۵. قیود حاکم بر ژنراتور و قیود شبکه انتقال
۶. لحاظ کردن سود بلندمدت
۷. نحوه قیمت‌دهی طرف مصرف
۸. قراردادهای دوطرفه
۹. وجود بازارهای مختلف و تأثیر آنها بر یکدیگر

البته ردیف های ۸ و۹ پس از توسعه بازار برق ایران و راه اندازی بازارهای مختلف و قراردادهای دو جانبه در مساله قیمت‌دهی دخیل خواهند بود.

مطالعات انجام شده در زمینه مساله پیشنهاد قیمت به دو زمینه مطالعاتی در حراج های UP و PAB قابل تقسیم بندی هستند. بدیهی است که نحوه مدلسازی و فرمول‌بندی مساله در بازارهای مختلف به دلیل تفاوت قوانین کاملا متفاوت است.

بر خلاف بازار برق سایر کشورها با حراج UP مدیریت می‌شوند مدیریت بازار برق ایران به صورت حراج PAB است به همین دلیل مطالعه حراج PAB برای ما از اهمیت بیشتری برخوردا است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که در بازارهای PAB به مساله پیشنهاد قیمت به صورت جدی پرداخته نشده است. دلیل این امر شاید این باشد که حراج

[1] Uniform Pricing
[2] Pay-as-Bid
[3] Real time

PAB در بسیاری از بازارهای دنیا به کار گرفته نمی‌شود و اکثر بازارهای دنیا بر مبنای حراج UP بهره برداری می‌شوند. به علاوه بازارهایی که حراج PAB در آن به کار گرفته شده حجم کمی از معاملات را به خود اختصاص داده است. از آنجا که حراج بازار برق ایران بر مبنای حراج PAB است نیاز به تحقیقات جدی در این زمینه احساس می‌شود.

البته در زمینه‌های دیگری حراج PAB مقالاتی منتشر شده است که از جمله مقایسه توابع هدف در دو نوع بهره‌برداری از حراج، مقایسه مقدار پول پرداختی به شرکت کنندگان و....([۱۹]و[۲۰]) را می‌توان نام برد. نکته‌ای قابل تاکید است این است که در جستجوهای انجام شده مقالاتی که صرفا به بازار PAB پرداخته باشد اندک بوده و مقالات موجود در این زمینه نیز بیشتر به مقایسه این حراج با حراج UP پرداخته است.

در نتیجه مطالعات و جستجوهای انجام شده، بررسی مساله پیشنهاد قیمت از دید یک تولید کننده انرژی در ابتدای راه است. در حراج PAB به این دلیل آن که پول تخصیص یافته بابت هر مگاوات انرژی برابر با قیمت پیشنهادی ارائه شده از سوی فروشنده می‌باشد، مساله پیشنهاد قیمت از اهمیت بیشتری برخوردار است. در این بازار مقدار سود هر فروشنده دقیقا از قیمت پیشنهادی مشتری حاصل می‌شود. بنابراین در حراج PAB فروشنده با افزایش قیمت پیشنهادی مقدار سود خود را افزایش می‌دهد ولی شانس پذیرش قیمت را کاهش خواهد داد.

به طور کلی چهار روش جهت ساختن استراتژی‌های قیمت‌دهی بهینه وجود دارد. روش اول بر تخمین MCP در پریود بعدی مبادلات تکیه دارد. روش دوم بر تخمین رفتار پیشنهاد قیمت شرکت‌کننده‌گان رقیب وابسته است، روش سوم بر پایه تئوری بازی وروش چهارم بر مبنای استفاده از الگوریتم‌های هوشمند یادگیری و ... استوار است. شبیه‌سازی بازار و تحلیل‌های تجربی نیز برای مشخص کردن رفتار پیشنهاد قیمت استراتژیک به کار رفته، اما استفاده از این روشها جهت طراحی و شناخت استراتژی‌های بهینه مرسوم نیست. در این بخش روشهای فوق به اختصار مورد بررسی قرار می‌گیرند.

روش اول بر تخمین MCP در پریود بعدی مبادلات تکیه دارد. با تخمینMCP روشن است که تولیدکننده قیمت پیشنهادی خود را مقداری ارزان‌تر از MCP تخمینی ارائه دهد. اما پیش‌بینی قیمت برق در حراج احتیاج به تحلیل‌هایی دارد که پیش‌بینی تولید و دانستن رفتار رقبا و پرشدگی انتقال را در نظر می‌گیرد.

این روش در مرجع [۱] با مدلی جدید از مسأله پیشنهاد قیمت که در آن پارامترهای تصمیم‌های تخصیص واحد ، زمان‌بندی تولید و فروش به بازار، با هم ترکیب شده‌اند تا جهت حداکثر کردن سود واحد تولیدی که یک تولید کننده مستقل توان فرض شده، به کار روند.

در مرجع [۲] مسأله تصمیم‌گیری برای پیشنهاد قیمت به بازار به کمک یک فرآیند تصمیم مارکوف فرمول‌بندی شده است. به این ترتیب که حالت های بازار در هر روز و هر ساعت با فرآیند مارکوف مدل شده‌اند. رقبا نیز با پارامترهای پیشنهاد قیمت آنها و احتمال‌های مربوطه مدل شده‌اند.

الگوریتم ارائه شده در مرجع [۳] پیشنهاد قیمت را به همراه برنامه‌ریزی زمانی واحدهای آبی و حرارتی و مدیریت ریسک در نظر می‌گیرد. روش ارائه شده در این مرجع یک مسأله بهینه‌سازی است که دارای ساختار عدد صحیح و جداپذیر است. این مسأله به کمک روشی که LR و برنامه‌ریزی دینامیکی تصادفی را با هم استفاده می‌کند حل می‌شود تا منحنی‌های پیشنهادی برای بازارهای رزرو و انرژی به صورت هماهنگ با هم به دست آیند.

مرجع [۴] روشی برای یافتن استراتژی پیشنهاد قیمت براساس تئوری بهینه‌سازی Ordinal بوده و اجرای آن آسان‌تر است. در روش ارائه شده با استفاده از یک مدل تقریبی تأثیر استراتژی قیمت‌دهی بر MCP استخراج می‌شود. سپس یک منحنی پیشنهاد قیمت نامی با استفاده از روش LR برای دسته‌ای از MCP های داده شده و حل مسأله تولید بهینه توان به دست می‌آید.

روش دوم بر تخمین رفتار پیشنهاد قیمت شرکت‌کننده‌های رقیب وابسته است که این تخمین بیشتر براساس تحلیل احتمالی و مجموعه‌های فازی صورت گرفته است. به عنوان مثال تعدادی از آنها را ذکر می‌کنیم.

در مرجع [۵] استراتژی قیمت‌دهی بهینه، را با حل معادلات دیفرانسیلی که شرایط لازم برای حداکثر نمودن درآمد قیمت‌دهنده را دارد به دست می‌آورد. نتایج نشان می‌دهد که فروشندگان با ارائه قیمتی بیشتر از هزینه خود هم امید به برنده شدن خواهند داشت. مقداری که می‌توانند بیشتر از هزینه خود را به عنوان قیمت ارائه دهند به احتمال برنده شدن آنها به عنوان آخرین واحد برنده و پایین‌تر از آخرین واحد برنده بستگی دارد و این مقدار به کمک توزیع هزینه قیمت‌دهنده‌های دیگر، تقاضای بازار و تعداد رقبا در بازار محاسبه می‌شود.

در مرجع [۶] مطالعه‌ای ابتدایی با فرضیات ساده کننده بر روی پیشنهاد قیمت در پروتکل‌های قیمت‌دهی پله‌ای صورت گرفته است. در این مقاله فرض شده که N+1 فروشنده مستقل داریم که هر کدام از این فروشندگان فقط یک واحد ژنراتور در اختیار دارند. بنابراین در هنگام پیشنهاد قیمت احتیاج به هماهنگی چند واحد نخواهد بود.

در مرجع [۷] مسأله پیشنهاد قیمت و حداکثر کردن سود به صورت یک مسأله بهینه‌سازی تصادفی مدل شده و این مسأله به دو روش حل شده است. در روش اول، از تکنیک مونت کارلو استفاده شده ، ولی در روش دوم با تکنیک‌های ریاضی، ساده‌سازی‌هایی در مسأله صورت گرفته و به این ترتیب حجم محاسبات مونت‌کارلو بنا بر ادعای نویسندگان مقاله کاهش یافته است.

در مراجع [۸] و [۹] و[۱۰] روشی که برای مدلسازی قیمت‌دهی و یافتن استراتژی بهینه استفاده شده براساس منحنی تقاضای باقیمانده[6] می‌باشد. فرض مقاله بر این است که سناریوهای ممکن در روز بعد و در نتیجه منحنیهای تقاضای باقیمانده در روز بعد در دسترس است.

روش سوم، استفاده از برخی روش‌ها و تکنیکهای تئوری بازی است. دو رویه بیشتر از همه در این روش به کار گرفته شده است. رویه اول براساس ماتریس بازی است که استراتژی‌های پیشنهاد قیمت به صورت گسسته (قیمت بالا، قیمت متوسط، قیمت پایین) در نظر گرفته شده است. با این استراتژی‌های گسسته، ماتریس‌های درآمد با محاسبه همه ترکیبات ممکن از استراتژی‌ها به دست می‌آید و یک حالت تعادل بازی پیشنهاد قیمت که مربوط به استراتژی‌های بهینه برای بازیگران است یافت می‌شود. اما در حالت‌های واقعی، استراتژی‌ها می‌توانند پیوسته باشد و بنابراین از لحاظ تئوری تضمینی جهت وجود حالت تعادل برای بازار برق وجود ندارد. این روش جهت تحلیل غیر دقیق رفتارهای استراتژیک تولید کننده‌های توان مناسب است. ولی ابزار مناسب جهت یافتن استراتژی‌های بهینه نیست. رویه دوم بازی‌های انحصاری را دنبال می‌کند که از جمله می توان به مدلهای Stakelberg, cournot و مدل تابع تولید اشاره کرد. این رویه ها نیز اصولاً جهت تحلیل قدرت بازار مناسب هستند و کمتر در طراحی رفتار استراتژیک به کار می روند.

در مرجع [۱۱] بازار برق به صورت بازی noncooperatve با اطلاعات کامل مدل شده است که حل آن در دامنه استراتژی‌های پیوسته جهت رسیدن به تعادل Nash صورت می‌گیرد. با این ترتیب با استخراج نقطه تعادل Nash ، نقطه تعادل بازار که سود همه بازیگران حداکثر است استخراج می‌شود.

در مرجع [۱۲] از تئوری بازی و وجود نقطه تعادل Nash برای یافتن استراتژی بهینه استفاده شده است.

در مرجع [۱۳] براساس تئوری بازی یک مدل جدید برای تعادل چند کالا که برای مدلسازی بازار به کار می‌رود، ارائه شده است. در این مدل تعادل چند بازار مختلف نظیر بازار انرژی و بازار سرویس‌های جانبی در نظر گرفته شده است. مدل ارائه شده برای بازار، مدلی است که قیود انتقال را در نظر می‌گیرد. در ضمن تأثیر قراردادهای دو طرفه نیز در این مدل بررسی شده است. از طرفی در این مرجع مقایسه‌ای بین

[1] Residual demand curve

مدل‌های cournot و مدل ارائه شده در این مرجع انجام شده است.

در **روش چهارم** که در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته سیستم‌های تک‌عاملی و چندعاملی جهت به دست آوردن استراتژی‌های بهینه مورد استفاده قرار گرفته‌اند که این روش‌ها بسیار نوپا هستند. در این روش شبیه‌سازی بازار و تحلیل‌های تجربی نیز برای مشخص کردن رفتار پیشنهاد قیمت استراتژیک به کار رفته، اما روش‌های مرسومی جهت ساختن استراتژی‌های پیشنهاد قیمت بهینه نیستند.

در مرجع [۱۴] روشی ارائه شده که استراتژی‌های پیشنهاد قیمت فازی را تکامل بخشید. در این مرجع فرض شده که استراتژی‌ها به وسیله سیستم‌هایی براساس قوانین فازی مدل شده‌اند. به کمک الگوریتم‌های ژنتیک مدل‌های پیشنهاد قیمت استخراج می‌شوند واین کار با بهینه سازی پایگاه اطلاعات انجام می‌شود (در یک ساختار خاص بازار برق). در حقیقت یک سیستم GFRBS[6] ارائه شده که پایگاه داده‌ها و پایگاه قوانین را تکامل می‌دهد تا استراتژی سودآور بهینه را بیابد.

در مرجع [۱۵] روشی با استفاده از یادگیری براساس تغییرات حدسی [5] که استراتژی پیشنهاد قیمت را بالحاظ کردن عکس‌العمل مورد انتظار رقبا بهبود می‌دهد، ارائه شده است. در مرجع [۱۶] از ترکیب برنامه‌ریزی ژنتیک و اتوماتای حالت محدود برای به دست آوردن استراتژی‌ها استفاده شده است. در مرجع [۱۷] از تئوری مجموعه‌های فازی استفاده شده است و در مرجع [۱۸] استراتژی قیمت‌دهی با استفاده از الگوریتم C-میانگین فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه شده است.

۳- توصیف مساله

هنگامی که هدف حل یک مساله در محیط واقعی است، باید شرایط دقیق مساله مورد توجه قرار گیرد. هدف ما دراین مقاله دستیابی به استراتژی بهینه پیشنهاد قیمت از دید شرکت برق منطقه‌ای خراسان ودرچارچوب بازار برق است. شرکت برق منطقه‌ای خراسان دارای ۴ بلوک سیکل ترکیبی، ۶ واحد بخاری، ۲۰ واحد گازی و واحدهای دیزل می‌باشد. در چارچوب قوانین بازار برق ایران نحوه حراج به صورت PAB بوده و پروتکل پیشنهاد قیمت برای فروشندگان ۱۰ پله ای است. با این فرض صورت مساله پیشنهاد قیمت بهینه به صورت زیر خواهد بود.

$$profit=\sum_{T=1}^{m}\sum_{i=1}^{n_T}(\rho_{p,i,T}-c_{p,i,T})G_{p,i,T}U_{\rho,j,T} \qquad (1)$$

که پارامترهای مساله به صورت زیر می‌باشند.

$Profit$ مقدار سود

$\rho_{p,i,T}$ قیمت پیشنهادی برای پله i ام در زمان T

$c_{p,i,T}$ هزینه متوسط تولید برای پله i ام در زمان T

$G_{p,i,T}$ مقدار تولید پیشنهادی پله i ام در زمان T

n_T تعداد پله های پیشنهادی در زمان T

m تعداد ساعات پریود پیشنهاد قیمت

$U_{\rho,j,T}$ متغیر گسسته ای که نشان دهنده پذیرفته شدن قیمت پله i ام در زمان T می‌باشد

مساله بهینه‌سازی ارائه شده در رابطه (۱) شبیه مساله تخصیص توان در محیط سنتی است. ولی حل این مساله بسیار مشکل‌تر است زیرا مقدار سود و مقادیر متغیرهای گسسته به رابطه قیمت پیشنهادی و قیمت بسته شدن بازار بستگی دارد. این در حالی است که قیمت بسته شدن بازار قبل از اجرای برنامه بازار مشخص نیست.

این مساله دارای دو دسته قیود فنی و اقتصادی است. **قیود فنی** همان قیودی است که در فرآیند حل مساله تخصیص توان به واحدها، مورد توجه قرار می‌گرفتند. قید حداقل و حد اکثر تولید، قید نرخ افزایش و کاهش توان، قید حداقل زمان خاموشی و ... جزء این قسود محسوب می‌شوند.

قیود اقتصادی قیودی هستند که از خواسته های شرکت تولید برق و قوانین بازار استخراج می‌شوند. از جمله این قیود می‌توان قیود درآمد، حداقل مقدار فروش مورد نیاز و ... را نام برد. این دسته از قیود در محیط سنتی وجود نداشته ولی در محیط جدید باید حتما لحاظ شوند.

[1] Genetic Fuzzy Role – Based System
[2] Conjectural Variation (CV)

قیددرآمد،قیدیاست که یک شرکت به واسطه سیاست‌های مالی خود لحاظ می‌کند. به طور مثال از سیاست‌های کلی شرکت این نتیجه به دست آمده که در آمد شرکت در طول یک دوره پیشنهاد قیمت از یک مقدار خاص نباید کمتر باشد. این مساله در فرآیند پیشنهاد قیمت باید لحاظ شود.

قید حداقل فروش، قیدی است که برای اجتناب از جریمه پیشنهاد قیمت لحاظ می‌شودزیرا اگر قیمت واحد های بخاری یا سیکل ترکیبی برنده نشوند دچار جریمه ۰/۹ حد اقل قیمت می‌شوند. بنابراین حداقل تولید مجاز واحدهای بخاری به فروش خواهد رسید. پس قیمت این واحدها باید به گونه‌ای ارائه شود تا تولید موجب ضرر نشود و از طرفی دچار جریمه نیز نگردد.

در فرآیند حل مساله پیشنهاد قیمت، جهت دستیابی به روش‌های کارا جهت حل مساله باید پارامترهایی که بر پاسخ مساله و قیمت بهینه تاثیر می‌گذارند، استخراج گردند. این پارامترها بسته به قوانین بازار، شرایط شبکه انتقال و موقعیت جغرافیایی تغییر می‌کنند. بنابراین برای هر شرکتی باید پارامترهای موثر به صورت جداگانه استخراج شوند. پارامترهای موثر بر قیمت‌دهی برق خراسان و نحوه تاثیر آنها به صورت زیر به دست آمده است.

۱. دما و وضعیت هوای کشور در سه روز آینده

از آنجا که فرآیند پیشنهاد قیمت در بازار برق ایران سه روز قبل انجام می‌شود، پیش بینی وضعیت دما که تاثیر مستقیم بر مصرف برق دارد، امری ضروری است. با افزایش مصرف برق قیمت برق افزایش خواهد یافت. زیرا با افزایش تقاضای تولید، فروشندگان انرژی قیمت پیشنهادی خود را افزایش می‌دهند.

۲. منحنی نرخ حرارتی[5] نیروگاه ها و راندمان آنها

با استفاده از منحنی نرخ حرارتی نقطه‌ای از تولید که ژنراتور دارای حداکثر راندمان است استخراج می‌شود. این نقطه، نقطه‌ای است که در صورت برنده شدن واحد تولید در مناقصه بهتر است این مقدار توان را تولید کند. تا هزینه سوخت آن به ازای مگاوات تولید شده کاهش یابد. البته لازم به ذکر است که ارائه یک پله با میزان فوق شانس برنده شدن را می تواند کاهش دهد.

۳. تغییرات متوسط موزون برق کشور

تغییرات متوسط موزون برق تا حدودی رفتار دیگر شرکت کنندگان را نشان می‌دهد، ولی این پارامتر نشان دهنده رفتار همه شرکت کنندگان نیست. در حالی که فقط رفتار بعضی از شرکت کنندگان نظیر برق مازندران بر استراتژی و پذیرش قیمت برق خراسان تاثیر دارد.

۴. حداکثر نرخ پذیرفته شده واحد های خراسان

این پارامتر معیار مناسبی جهت برآورد قیمت خرید برق از برق خراسان است. این معیار به همراه حداقل قیمت رد شده از سوی بازار محدوده‌ای که با ریسک پیشنهاد قیمت همراه است را نشان می‌دهد.

۵. توجه به رفتار دیگر رقبا

اگر پیش‌بینی رفتار رقبا امکان‌پذیر باشد، مساله پیشنهاد قیمت را تا حد زیادی ساده می‌کند. ولی داده‌ها بازار به صورت محرمانه بوده وگزارشات سالیانه یا ماهه بازار نیز اعتبارلازم برای بررسی را ندارد. در صورت استفاده از ین داده‌ها تحلیل رفتار رقبا با تاخیر در اختیار بازیگران قرار می‌گیرد.

۶. هزینه تمام شده نیروگاهها

این پارامتر حداقل قیمتی که می‌توان پیشنهاد داد را مشخص می‌کند. برنده شدن در بازار با قیمتی کمتر از این مقدار باعث ضرر خواهد شد. با کاهش این هزینه می‌توان قیمت پیشنهادی را کاهش داد و شانس برنده شدن را افزایش داد.

۷. توجه به ساعات حداقل بار شبکه

در این ساعات باید قیمت‌ها طوری تنظیم شوند که پیشنهاد قیمت دچار جریمه نشود. ناحیه خراسان در ساعات حداقل بار با مازاد تولید مواجه بوده و این مساله از اهمیت خاصی برخوردار است. البته خروج واحدها برای تعمیر می‌تواند اهمیت این مساله را تا حدی کاهش دهد.

[1]Heat rate

۸ . محدودیت‌های واحدهای نیروگاهی

این محدودیت‌ها در فرآیند پیشنهاد قیمت باید مدنظر قرار داد تا پیشنهاد بهینه حاصل شود. درست است که در بازار ایران این محدودیت‌ها توسط بهره‌بردار بازار لحاظ می‌شود ولی باز هم در فرآیند پیشنهاد قیمت این مساله باید مورد توجه قرار گیرد.

۹. نیاز مصرف ساعتی کشور و منطقه

مصرف مورد نیاز کشور و منطقه به معنای افزایش مقدار تقاضا می‌باشد. افزایش مقدار مصرف برق کشور تا حدودی نشان دهنده افزایش قیمت متوسط موزون خواهد بود. به این ترتیب شرکت‌های برق این فرصت را دارند که قیمت پیشنهادی خود را افزایش دهند. افزایش نیاز مصرف منطقه نیز محدوده‌ای را که به صورت انحصاری به برق خراسان تعلق دارد افزایش می‌دهد و این موجب ایجاد فرصت جهت افزایش قیمت پیشنهادی می‌شود.

۱۰-گرفتگی و محدودیت‌های انتقال بین مناطق و درون منطقه‌ای

توجه به این محدودیت‌ها از دید شرکت‌هایی که فرصت استفاده از این آنها را دارند بسیار مهم است. زیرا گرفتگیهای شبکه موجب بروز انحصار و قدرت در بازار می‌شود. قدرت در بازار نیز باعث می‌شود که یک شرکت‌کننده، مستقل از دیگران قیمت خرید برق را تعیین کند.

۱۱- میزان ریسک فروشنده

وجود عدم قطعیت در حل مساله پیشنهاد قیمت بهینه که به پذیرش یا عدم پذیرش قیمت برق و بروز اتفاقات در شبکه انتقال بر می‌گردد، موجب بروز ریسک در فرآیند پیشنهاد قیمت برق می‌شود. هر چه درجه رقابت کمتر باشد مقدار ریسک بیشتر است. بنابراین با توجه به مقدار ریسک‌پذیری هر شرکت‌کننده، قیمت بهینه پیشنهادی آن را متاثر خواهد کرد.

۱۲- آرایش بهینه واحدهای نیروگاهی

این آرایش حالتی است که حداقل هزینه را به شرکت کننده تحمیل می‌کند، بنابراین از دید شرکت کننده بهترین حالت برای برنده شدن می‌باشد. درست است که این آرایش مطلوب شرکت کننده است ولی لزوما" این آرایش منطبق بر آرایش بهینه بهره‌بردار بازار نیست حتی اگر همانند بازار ایران محدودیت‌های شرکت توسط بهره‌بردار بازار لحاظ شود.

۱۳- وضعیت واحدهای نیروگاهی موجود

وضعیت واحدها در منطقه خراسان و در کشور و به خصوص در نواحی رقیب کمک زیادی در پیش‌بینی استراتژی اتخاذ شده توسط رقبا خواهد کرد. با کمک این اطلاعات می‌توان استراتژی را به نحو مطلوب تعیین کرد.

۱۴- سیاست‌های مالی شرکت

مشخص شدن سیاست های مالی شرکت بهینگی استراتژی را تعریف می‌کند. مثلا" ممکن است یک شرکت به دنبال حداکثر سود باشد، ولی شرکتی دیگر به دنبال حداکثر درآمد و فروش باشد. بنابراین الزاما" استراتژی بهینه در دو شرکت مختلف یکی نخواهد بود.

۱۵- وضعیت ذخیره گردان و سرد کشور و منطقه

به این ترتیب با مشخص شدن پارامترهای تاثیر گذار بر تعیین استراتژی، حال می‌توان به دنبال راه حل مساله بود. همانطور که مشخص است حل این مساله بسیار مشکل بوده و ابعاد بسیار گسترده‌ای دارد.

۴- راهکارها و نتایج عددی

همانطور که در بخش قبل مشاهده شد حل مساله پیشنهاد قیمت بهینه بسیار مشکل بوده و احتیاج به بحث و بررسی بسیار دارد. این مساله از حالت خاصی برخوردار بوده و شرایطی که در تحقیقات انجام شده قبلی مد نظر بوده، قابل اعمال نمی‌باشد. به علاوه اغلب تحقیقات انجام شده قبلی در محیط UP انجام گرفته است. زیرا قیمت‌گذاری مناقصه‌ها در اکثر بازار های برق جهان با قانون UP انجام می‌گیرد. بنابراین جهت حل مساله در محیط PAB باید از راه حل‌های دیگر استفاده نمود. بررسی تحلیلی مساله قیمت دهی در محیط PAB در مقاله اخیر نویسندگان در کنفرانس PSCC ارائه شده است.[۲۱]

در این قسمت چند راه حل مناسب جهت حل مساله پیشنهاد شده و در انتها هم به مقداری از تجربیات تحقیقاتی در مورد پیشنهاد قیمت پله‌ای می‌پردازیم.

در ابتدا اشاره‌ای به تدوین آرایش بهینه داریم. از آنجا که هزینه تمام شده تولید نیروگاهها در دسترس می‌باشد می‌توان به صورت تجربی و با استفاده از منحنیهای هزینه تولید نیروگاه ها را رتبه‌بندی کرد. به این ترتیب رتبه بندی نیروگاه ها به صورت زیر خواهد بود.(از واحد ارزان به گران)

۱- واحد بخار

۲- واحد گازی

ضمنا واحدهای دیزل که دارای تولید حداکثر ۵۰ مگاوات در برق خراسان است با توجه به نیاز منطقه و علاوه بر نیاز بازار در مدار قرار می‌گیرند. به این ترتیب رتبه‌بندی قیمت ها مشخص می‌شود. یعنی قیمت پیشنهادی برای واحدهای دیزلی در هر پله نباید کمتر از قیمت پیشنهادی واحدهای گازی باشد. این کار مساله را مقداری ساده‌تر می‌کند و مقداری از ابعاد مساله می‌کاهد. این کار را برای ایجاد آرایش بهینه به کار می‌گیریم و به عبارت دیگر آرایش بهینه را بر اساس منحنی هزینه و بدون توجه به پذیرش قیمت پیشنهادی انجام می‌دهیم. حال به بیان روش پیشنهادی می‌پردازیم. با استفاده از داده‌های جمع آوری شده از پیشنهاد قیمت در طول سه ماه آنالیزی انجام شد. این داده‌ها شامل موارد زیر می‌باشند.

۱. حداکثر قیمت پذیرفته شده در هر ساعت

۲. حداقل قیمت رد شده در هر ساعت

۳. نیاز مصرف در هر ساعت

۴. قیمت متوسط موزون برق کشور در هر ساعت

۵. توان تبادلی از خط اتصال دهنده شبکه خراسان به شبکه کشور

مقادیر همبستگی بین داده های مختلف محاسبه شده است. این کار جهت ارتباط داده ها با هم و پیش بینی پذیری بازار مورد انجام شده است. مطالب بیشتر در این مورد در مرجع [۲۲] ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشان دهنده همبستگی داده ها با هم و پیش‌بینی‌پذیری بازار می‌باشد. مقادیر همبستگی بین داده‌های مختلف به صورت جداول زیر می‌باشد.

جدول ۳-۱- ضرایب همبستگی بین حداکثر قیمت پذیرفته شده و نیاز مصرف در هر ساعت

H12	H11	H10	H9	H8	H7	H6	H5	H4	H3	H2	H1
0.28	0.32	-0.04	0.17	0.11	0.30	0.61	0.42	0.40	0.077	0.038	0.25
H24	H23	H22	H21	H20	H19	H18	H17	H16	H15	H14	H13
0.072	-0.06	-0.07	0.39	0.53	0.43	0.20	0.22	0.10	0.071	0.13	0.17

جدول ۳-۲- ضرایب همبستگی بین حداقل قیمت رد شده و نیاز مصرف در هر ساعت

H12	H11	H10	H9	H8	H7	H6	H5	H4	H3	H2	H1
0.28	0.3	-0.04	0.20	0.09	0.16	0.05	0.004	-0.06	-0.13	-0.11	0.19
H24	H23	H22	H21	H20	H19	H18	H17	H16	H15	H14	H13
0.12	0.06	-0.01	0.001	0.04	0.53	0.42	0.208	0.223	0.112	0.05	0.12

جدول ۳-۳- ضرایب همبستگی بین حداکثر قیمت پذیرفته شده و قیمت متوسط موزون برق در هر ساعت

H12	H11	H10	H9	H8	H7	H6	H5	H4	H3	H2	H1
0.84	0.83	0.81	0.42	0.52	0.93	0.96	0.97	0.97	0.97	0.66	0.83
H24	H23	H22	H21	H20	H19	H18	H17	H16	H15	H14	H13
0.84	0.74	0.51	0.31	0.45	0.65	0.78	0.77	0.84	0.82	0.85	0.87

جدول ۳-۴- ضرایب همبستگی بین حداقل قیمت رد شده و قیمت متوسط موزون برق در هر ساعت

H12	H11	H10	H9	H8	H7	H6	H5	H4	H3	H2	H1
0.84	0.84	0.82	0.48	0.14	0.12	0.25	0.28	0.27	0.33	0.36	0.79
H24	H23	H22	H21	H20	H19	H18	H17	H16	H15	H14	H13
0.84	-0.01	0.26	0.067	0.44	0.66	0.78	0.78	0.85	0.82	0.84	0.87

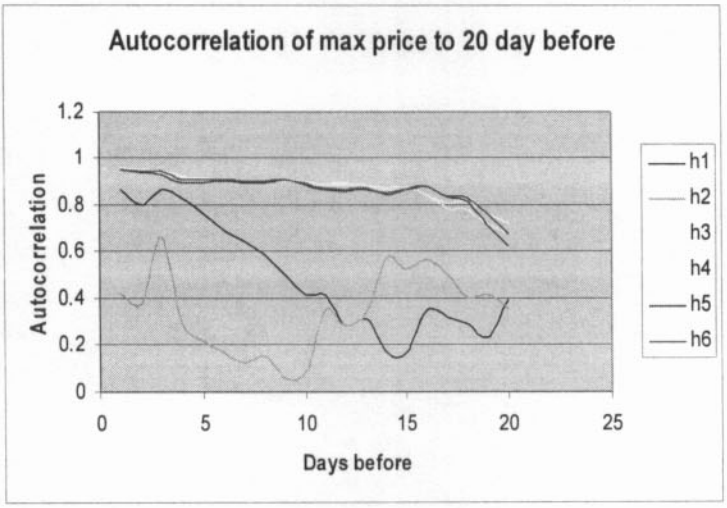
جدول ۳-۵- ضرایب همبستگی بین حداکثر قیمت پذیرفته شده و توان تبادلی در هر ساعت

H12	H11	H10	H9	H8	H7	H6	H5	H4	H3	H2	H1
0.38	0.23	0.18	-0.007	-0.06	0.046	0.005	0.11	0.18	0.33	0.18	0.10
H24	H23	H22	H21	H20	H19	H18	H17	H16	H15	H14	H13
0.09	0.08	0.22	0.1729	0.058	0.14	0.17	0.12	0.15	0.30	0.30	0.32

جدول ۳-۶- ضرایب همبستگی بین حداقل قیمت رد شده و توان تبادلی در هر ساعت

H12	H11	H10	H9	H8	H7	H6	H5	H4	H3	H2	H1
0.38	0.24	0.170	-.06	-0.116	-0.05	-0.04	-0.03	-0.10	-0.14	-0.16	0.027
H24	H23	H22	H21	H20	H19	H18	H17	H16	H15	H14	H13
0.088	-0.4	-0.16	-.04	0.0456	0.139	0.172	0.122	0.154	0.305	0.307	0.32

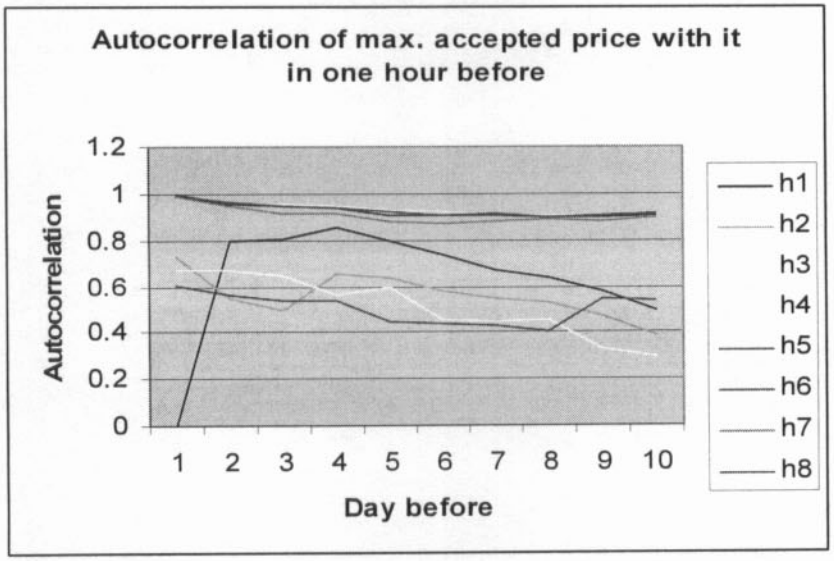
اشکال زیر نیز مقدار خود همبستگی حداکثر قیمت پذیرفته شده را با قیمت در همان ساعت و در روزهای قبل نشان می‌دهد.



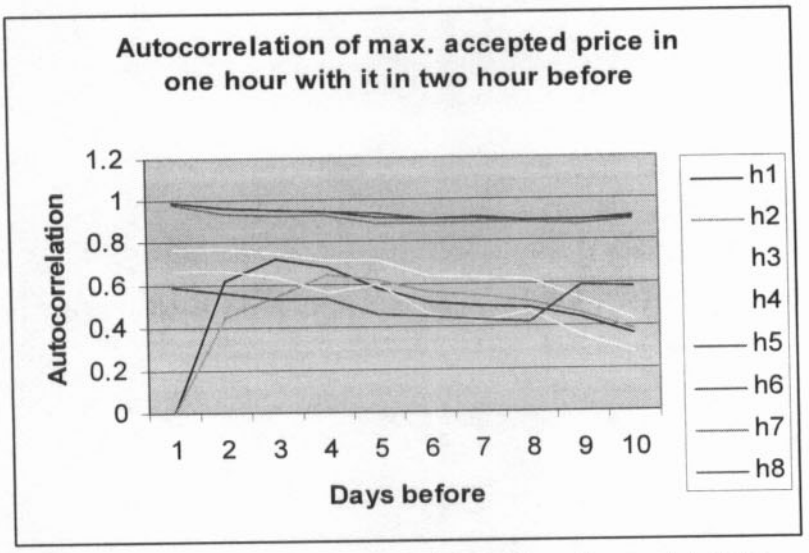
شکل ۳-۱- خود همبستگی حد اکثر قیمت پذیرفته شده در هر روز با همان قیمت در روز های قبل تا ۲۰ روز

(۶ ساعت اول پریود پیشنهاد قیمت)

اشکال زیر نیز مقدار خود همبستگی حداکثر قیمت پذیرفته شده را با قیمت در ساعات قبل و در روزهای قبل نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵- خود همبستگی حد اکثر قیمت پذیرفته شده در هر ساعت با قیمت در ساعت قبل در روز های قبل تا ۱۰ روز (۸ ساعت اول پریود پیشنهاد قیمت)



شکل ۳-۸- خود همبستگی حد اکثر قیمت پذیرفته شده در هر ساعت با قیمت در دو ساعت قبل در روز های قبل تا ۱۰ روز(۸ ساعت اول پریود پیشنهاد قیمت)

تحلیل‌های آماری فوق برروی داده‌های مربوط به سه ماه تابستان انجام شده است. تحلیل‌های مشابهی بر روی داده‌های فصول دیگر هم قابل انجام است. در خواص داده‌های مربوط به بار و قیمت و داده‌های از این جنس فصل و حتی هفته‌ها و روزهای کاری مؤثر هستند. بنابراین ویژگی های مختلف قابل تعمیم‌به‌فصول‌دیگرنیست.این تحلیل‌ها نتایج زیر را در بر دارد.

چون داده‌ها مربوط به فصل اوج مصرف برق می‌باشد در ساعات پیک مصرف قیمت به صورت انحصاری از سوی برق خراسان تعیین شده است. این مساله از جداول ۳-۱ و ۳-۳ مشخص است. همچنین همبستگی بین حداکثر قیمت پذیرفته شده و نیاز مصرف خراسان و قیمت متوسط موزون در ساعات غیر پیک کمتر است. با توجه به این که در این ساعات حداکثر قیمت به بازار پیشنهاد شده است و مورد پذیرش نیز واقع شده است این استراتژی بهینه بوده و به درستی اتخاذ شده است.

مساله مهم پیشنهاد قیمت در ساعات کم مصرف است. پیشنهاد راهگشا در این ساعات می‌تواند به قیمت‌دهی در ساعات کم مصرف در فصول دیگر نیز کمک کند. در این ساعات همانگونه که از جداول و نمودار ها بر می‌آید وابستگی بین حداکثر قیمت پذیرفته شده، نیاز مصرف مورد و نیز قیمت متوسط موزون مورد بررسی قرار گرفته است. وابستگی این سیگنال با دما و نیاز مصرف کشور نیز باید مورد بررسی قرار گیرد تا داده‌هایی که می‌تواند برای پیش بینی به کار رود استخراج شود. البته نکته مهم اینجا است که از داده ها در ساعت‌هایی برای تحلیل باید استفاده شود که هم قیمت پذیرفته شده و هم قیمت رد شده داریم. این تحلیل‌ها نشان دهنده پیش‌بینیپذیری سیگنال های حدکثر قیمت پذیرفته شده و حداقل قیمت رد شده خواهند بود.

وابستگی حداکثر قیمت پذیرفته شده در ساعات حداکثر مصرف و حداقل مصرف و عدم وابستگی این قیمت ها در ساعات حد فاصل ساعات حداکثر و حداقل نیز کاملا در جداول مشهود است. این مساله نشان می‌دهد که از قیمت در ساعات قبل و در روزهای قبل می‌توان برای پیش بینی استفاده کرد. این امر در ساعات حداقل مصرف در طول روز مناسب است. چون در ساعاتی که اوج مصرف است استراتژی مشخص است.

با توجه به نتایج بدست آمده و این مساله که بازیگران بازار خیلی استراتژی های خود را تغییر نمی‌دهند قیمت قابلیت پیش‌بینی را دارد. سیگنال هایی که مناسب برای پیش بینی می‌باشند حداقل قیمت رد شده و حد اکثر قیمت پذیرفته شده

هستند. حد اکثر قیمت پذیرفته شده قیمتی را نشان می‌دهد که با ارائه آن قابل پذیرش است ولی این مساله به این معنی نیست که قیمت بیش از آن قابل پذیرش نیست. حداقل قیمت رد شده نیز قیمت را نشان می‌دهد که در صورت ارائه رد خواهد شد. بنابراین این دو قیمت فاصله ای را نشان می‌دهند که شرکت کننده می‌تواند در آن ریسک کند. از آنجا که قیمت‌دهی پله‌ای ابزاری برای مدیریت ریسک است، می‌توان از آن در مکانیزم قیمت‌دهی بازار برق ایران استفاده نمود. یک راه مناسب آن است که حداکثر قیمت پذیرفته شده قابل پیش‌بینی را به عنوان قیمت پله اول انتخاب کنیم و پله های دیگر با هدفی که از مدیریت ریسک داریم تعیین کنیم. البته نقطه شکست پله ها نیز از اهمیت بالایی برخوردار هستند.

برای پیش‌بینی قیمت‌ها می‌توان از شبکه عصبی استفاده کرد و با استفاده از ورودی های مناسب آن، کیفیت پیش بینی را بالا برد. ورودی های مناسب را با استفاده از تحلیل‌هایی مشابه آنچه دیده شد می‌توان تعیین کرد. نکات زیر را در استفاده از شبکه‌های عصبی باید مدنظر قرار داد. در هر ساعت از یک شبکه عصبی برای پیش بینی استفاده می‌کنیم.

از داده‌های روزهای مشابه برای آموزش شبکه‌های عصبی باید استفاده کرد.

در آموزش شبکه‌های عصبی باید به فصول هم دقت کرد.

از داده‌هایی برای آموزش شبکه‌های عصبی باید استفاده کرد که هم قیمت رد شده و قیمت پذیرفته شده در آن ساعات وجود داشته باشند.

ورودی‌های نمونه برای پیش بینی قیمت در یک ساعت می‌تواند دما در آن روز، قیمت پذیرفته شده و رد شده روز قبل و دو روز قبل در همان ساعت و ساعات قبل به شرطی که روز های خاص نباشند، قیمت ها در آن روز و در همان ساعت در هفته گذشته و نیاز مصرف خراسان و کشور باشد.

برای هر روز می‌توان شبکه را با داده‌های جدید آموزش دادتا شبکه اطلاعات جدید را هم برای پیش بینی استفاده کند.

علاوه بر نتایج برآمده از شبکه عصبی تجربیات افراد خبره در تصحیح بیشتر نتایج کارا خواهد بود.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به نوپا بودن بازار برق ایران و محدودیتهای موجود در این بازار، مساله پیشنهاد قیمت برای شرکتهای فروشنده برق دارای اهمیت بسیار بوده و فاکتور مهمی‌در جهت کسب درآمد و سود آوری برای این شرکتها خواهد بود. در این مقاله ضمن شناسایی عوامل موثر بر قیمت‌دهی میزان وابستگی آن در ساعتهای مختلف به قیمت، مورد بررسی قرار گرفته است.

بررسی روشهای موجود برای پیشنهاد قیمت مورد استفاده در سایر کشورها با شرایط و محدودیتهای شبکه برق ایران و خراسان نشان میدهد که روش پیش‌بینی که شامل پیش‌بینی حداکثر قیمت پذیرفته شده و حداقل قیمت رد شده است در بازار برق ایران کاربرد خواهد داشت. بنابراین با توجه به حداکثر قیمت پذیرفته شده میتوان قیمت‌دهی را بگونه انجام داد که برق تولیدی فروخته شده و از طرفی با توجه به محدوده حداکثر قیمت پذیرفته شده و حداقل قیمت رد شده میتوان قیمت بهینه را تعیین کرد. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های بازار برق خراسان نشان میدهد که به دلیل محدودیتهای موجود قدرت عملکرد بازار کم رنگ شده و در اکثر موارد پیش‌بینی قیمت پذیرفته شده پارامتر موثری در دستیابی به قیمت بهینه است.

مراجع

[1]. K.Bhattacharya, "Strategic Bidding and Generation Scheduling in Electricity Spot-Markets "Proceeding of the IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies 2000,City University ,London ,4th -7th April 2000,PP.108-113.

[2]. H.Song and et al, "Optimal Electricity Supply Bidding by Markov Decision Process", IEEE Transactions on Power Systems,Vol.15,No.2,May 2000,PP.618-624.

[3].E.Ni and P.B.Luh,"Optimal Integrated Generation Bidding and Scheduling with

Risk Management under a Deregulated Power Market", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.19,No.1,February 2004,PP.600-609.

[4]. X.Guan and etal"An Ordinal Optimization Based Bidding Strategy for Electric Power Suppliers in the Daily Energy Market", IEEE Transactions on Power System, Vol.16, PP.788-797, November 2001.

[5]. S.Hao,"A Study of Basic Bidding Strategy in Clearing Pricing Auctions", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.15, No.3, August 2000, PP.975-980.

[6]. L.Ma and etal,"A Preliminary Study on Strategic Bidding in Electricity Markets with Step-wise Protocol", IEEE 2002.

[7].F.Wen andA.K.David,"Optimal Bidding Strategies and Modeling of Imperfect Information among Competitive Generators", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.16, No.1, February 2001, PP.15-21.

[8]. A.Baillo and etal,"Strategic Bidding in a Competitive Electricity Market : A Decomposition Approach",Peresented at the IEEE Porto PowerTech 2001,10th - 13th September,Porto,Portugal

[9]. A.Baillo and etal, "*Optimal Offering Strategies for Generation Companies Operating in Electricity Spot Markets* ", IEEE 2004.

[10]. A.J.Conejo and etal,"Optimal Response of an Oligopolistic Generating Company to a Competitive Pool-Based Electric Power Market", IEEE Transactions on Power Systems,Vol.17,No2,May 2002,PP.424-430.

[11]. J.Park and etal,"A Continuous Strategy Game for Power Transactions Analysis in Competitive Electricity Markets", IEEE Transactions on Power Systems,Vol.16,No.4,November 2001,PP.847-855.

[12] H.Song and etal,"Nash Equilibrum Bidding Strategies in a Bilateral Electricity Market", IEEE Transactions on Power Systems,Vol.17,No.1,February 2002,PP.73-79.

[13] D.Chattopadhyay,"Multicommidity Spatial Cournot Model for Generator Bidding Analysis", IEEE Transactions on Power Systems,Vol.19,No2,February 2004,PP.267-275.

[14] I.Walter and F.Gomide,"Evolving Fuzzy Bidding Strategies in Competitive Electricity Markets", IEEE 2003.

[15] Y.Song and etal,"Conjectural Variation Based Learning of Generator's Behavior in Electricity Market", IEEE 2003.

[16] C.W.Richter and etal,"Comprehensive Bidding Strategies withGenetic Programming/Finite State Automata", IEEE Transactions on Power Systems,Vol.14,No.4,November 1999,PP.1207-12.

[17] M.Widjaja and etal,"Fuzzy Model of Generator Bidding System in Competitive Electricity Markets",Proceeding of 2001 IEEE Internatinal Fuzzy System Conference,2001,PP.1396-99.

[18] T.F.Bbreshahan, "Duopoly Models with Consistent Conjectures",The Anerican Economic Review,Vol.71,Issue 5,December 1981,PP.934-945.

[19] M.Marmiroli and etal,"*Influence of Auction Rules on Short-Term Generation Scheduling*",IEEE 1999.

[20] G.Federico and D.Rahman,"*Bidding in an Electricity Pay-as-Bid Auction*", Paper provided by Economics Group, Nuffield College, University of Oxford in its series" Economics Papers" with number 2001-W5. April2001

[21] H.rajabi Mashhadi and etal,"*Optimal Supply Bidding with Risk Management in an Electricity Pay-As-Bid Auction*", 15th Power System Computation Conference, 22-26 August, Belgium

[۲۲] امیر احمری‌نژاد، حبیب رجبی مشهدی و جواد ساده؛ "*بررسی و تحلیل پیش‌بینی‌پذیری قیمت برق دربازارهای رقابتی انرژی الکتریکی*"، کنفرانس PSC2004، تهران، پاییز ۱۳۸۳