فرآیند تعیین قیمت تعادلی در بازار برق ایران با رویکرد پویایی سیستمی[۱]

محمدعلی مولایی، داوود منظور و حسین رضائی*

تاریخ وصول تاریخ پذیرش

چکیده:

پژوهش حاضر به تعیین قیمت برق بعد از خروج بازار از تعادل پرداخته است. به این منظور، ابتدا بازار برق در قالب مدل پویایی‌سیستمی طراحی شد، سپس با استفاده از مدل بهینه‌یابی، مقادیر بهینه ی عرضه، تقاضا و قیمت تعیین شد. این مدل در دو بازه زمانی یک روزه در ماه مرداد و یک ماهه (مردادماه) در سال ۱۳۸۶ با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی VENSIM اجرا شده است. فرض شده است که در ابتدای هر دوره و با فرض تعادل بازار و عدم امکان افزایش تولید نیروگاه های داخل، تقاضا پنج درصد افزایش می‌یابد. در طول دوره یک روزه به دلیل عدم امکان افزایش واردات، مازاد تقاضا برطرف نمی‌شود. قیمت جدید بازار ۲۹۳/۷۵ ریال بر هر کیلووات ساعت، تقاضا ۵۵۷/۶۹ گیگاوات ساعت و عرضه ۵۴۸/۵ گیگاوات ساعت خواهد بود. نتایج مدل نشان می‌دهد که فقط در دوره زمانی یک ماهه در صورت امکان افزایش واردات، بازار به تعادل می‌رسد و خاموشی به تقاضاکنندگان تحمیل نمی‌شود. در این حالت، قیمت تعادلی ۲۹۹/۹۲ ریال بر هر کیلووات ساعت است و عرضه و تقاضا در مقدار۱۶۴۶۲/۷ گیگاوات ساعت به تعادل می‌رسند.

طبقه بندی JEL: ***D43,D50,C63,P22,C61,***

واژه‌های کلیدی: *بازار برق، تعادل بازار، پویایی سیستمی، قیمت مبنا، بهینه‌یابی*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

---

۱ این پژوهش با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شده است.

* به ترتیب، استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود، استادیار و دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه امام صادق (malimolaei@yahoo.com)

۱- مقدمه

انرژی الکتریکی در افزایش رفاه و توسعه اقتصادی کشورها سهم انکارناپذیری دارد. همچنین به سبب ماهیت ویژه این حامل انرژی از جمله لزوم تعادل لحظه به لحظه بازار و عدم امکان ذخیره‌سازی در حجم بالا، بازار برق نیز از حساسیت بالایی برخوردار است. سوال اساسی در این مقاله این است که چگونه بازیگران بازار، قیمت تعادلی را می‌یابند؟ و چگونه زمانی که عرضه با تقاضا برابر نیست قیمت تغییر می‌کند؟ پاسخ به این سؤالات تصمیم‌گیران بازار را در بهینه‌کردن نتایج بازار برق یاری خواهد نمود.

در این مقاله برای پاسخ به این سوالات از راهبرد صعود از تپه استفاده می‌کنیم. صعود از تپه یک تکنیک بهینه‌یابی است. برای مدل کردن صعود از تپه، وضعیت بهینه بازار به وضعیت کنونی آن ارتباط داده می‌شود. در واقع، عوامل برونزای متعددی که مسیر صحیح را نشان می‌دهند وضعیت فعلی بازار را تعدیل و تصحیح می‌کنند تا در نهایت بازار به هدف یا وضعیت مطلوب برسد. هنگامی‌که قیمت فعلی تعادلی بازار نامعلوم است، عاملان بازار قیمت بهینه را به قیمت کنونی بازار ارتباط می‌دهند و در پاسخ به نسبت بین عرضه و تقاضا این شکاف را تعدیل می‌کنند. اگر بازار با مازاد تقاضا مواجه شود، قیمت افزایش می‌یابد و تا زمانی که تقاضا بیش از عرضه باشد این افزایش ادامه می‌یابد. در این مقاله، بازار برق در فضای تجدیدساختار مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- بیشینه‌ی تحقیق

تیمور محمدی وجمشید پژویان (۱۳۷۹) قیمت خدمات برق را برای کاربری‌های مختلف خانگی، صنعتی، کشاورزی، تجاری و عمومی با استفاده از روش رمزی محاسبه کرده اند.

حیدری (۱۳۸۳) روشهای مختلف قیمت‌گذاری را در یک نظام دستوری و مبتنی بر بازار بیان می‌کند و در ادامه با استفاده از نرم‌افزار لوگوس قیمت برق بخشهای مختلف را براساس هزینه نهایی استخراج نموده است.

ناصر بای و محسن پارسا مقدم (۱۳۸۷) با استفاده از تئوری بازی ها به تعیین قیمت برق در بازار نقطه‌ای برق پرداخته‌اند. روش بکاررفته دراین مقاله، یک

روش بهینه‌یابی دو سطحی است که با در نظر گرفتن تمام قیود شبکه سود شرکتهای غیرمشارکتی حداکثر می‌کند. برای اجتناب از رسیدن به نقاط ماکزیمم محلی در بهینه‌سازی از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

گرین[۲] (۱۹۹۸) قیمت بهینه بازار برق انگلستان و ولز را با درنظر گرفتن محدودیت و تلفات شبکه انتقال محاسبه کرده است. در این مقاله تابع رفاه عمومی نسبت به قیود تعادل بازار، محدودیت شبکه خطوط انتقال، تولید هر تولیدکننده و تولید کل شبکه حداکثر شده است. مدل برای سیزده نقطه مختلف از شبکه انتقال انگلستان و ولز اجراء می‌شود. نتایج نشان می‌دهد اگر در هر نقطه قیمت بهینه ارائه شود رفاه عمومی حداکثر می‌شود.

آلوارادو[۳] (۲۰۰۰) با استفاده از رابطه قیمت‌گذاری پویا به تحلیل ثبات در بازارهای برق پرداخت. وی همچنین با استفاده از آن مدل نشان داد که سازوکار بازار مسیر تولید برق را تعیین نموده، سبب افزایش کارایی بازار می‌شود.

ون و دیوید (۲۰۰۱) مسأله پیشنهاد قیمت و حداکثر کردن سود به صورت یک مسأله بهینه سازی تصادفی را مدل کرده است. این مسأله به دو روش حل ده است. در روش اول، از تکنیک مونت کارلو استفاده شده، ولی در روش دوم با تکنیکهای ریاضی، ساده سازیهایی در مسأله صورت گرفته، به این ترتیب حجم محاسبات مونت کارلو بنابر ادعای نوسیندگان مقاله کاهش یافته است.

بوترود و کورپز[۴] (۲۰۰۲) در بازار رقابتی با حداکثر کردن تابع رفاه اجتماعی- اقتصادی در کوتاه‌مدت نسبت به قیود بازار، قیمت بهینه برق را محاسبه نموده‌اند. تعادل بازار، محدودیت در ظرفیت تولیدی هر نوع نیروگاه، تقاضای بخش‌های مختلف و حداکثر ظرفیت خطوط انتقال مبادلات بین‌المللی، قیود مدل هستند. آنها بدون درنظر گرفتن پیچیدگی‌های شبکه انتقال، قیمت واحدی برای کل بازار محاسبه کرده‌اند. تولید، تقاضا، صادرات و واردات بهینه از دیگر نتایج حاصل از اجرای مدل است.

هائو (۲۰۰۰)، استراتژی قیمت دهی بهینه، را با حل معادلات دیفرانسیلی که شرایط لازم برای حداکثر نمودن درآمد قیمت‌دهنده را دارد به دست می آورد.

---

[2] Richard Green
[3] Alvarado
[4] Audun Botterud, M. Korps, et al

نتایج نشان می دهد که فروشندگان با ارائه قیمتی بیشتر از هزینه خود هم امید به برنده شدن خواهند داشت. مقداری که می‌توانند بیشتر از هزینه خود، 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.

سونگ و اتال (۲۰۰۲) از تئوری بازیها و وجود نقطه تعادل نش[۵] برای یافتن استراتژی بهینه در تعیین قیمت بازار برق استفاده کرده است.

ووگستاد[۶] (۲۰۰۵) زیر مدل قیمت برق را تابعی از مدل مازاد تقاضا قرار داده است. در این مدل قیمت برق پیوسته با سه بازخورد زمان واقعی،[۷] بازار آتی‌ها و بازار لحظه‌ای، خود را تعدیل و تصحیح می‌کند. این مدل در واقع پروسه تعیین قیمت در بازار برق است.

در این مقاله ابتدا به تشریح چارچوب ساختار کلی مدل پویایی سیستمی در بازار برق می‌پردازیم. سپس برای تعیین مقادیر مبنا در مدل پویایی سیستمی به تشریح مدل بهینه‌یابی قیمت برق در بازار تجدیدساختار شده خواهیم پرداخت. در ادامه به معرفی داده‌های مورد استفاده و تعیین پارامترهای اساسی مدل مانند قیمت، عرضه و تقاضای بهینه می‌پردازیم. در پایان نتایج حاصل از اجرای سناریوهای مدل و تجزیه و تحلیل آن‌ها بیان می‌شود.

۳- بهینه‌یابی صعود از تپه[۸]

در بسیاری از مواقع مدیران یا تصمیم‌گیران تلاش می‌کنند تا عملکرد سیستمی را بهینه کنند اما به علت ناآگاهی از ساختار سیستم نمی‌توانند نقطه بهینه سیستم را تشخیص دهند. مثلاً یک بنگاه نمی‌داند چه قیمتی سود او را حداکثر می‌کند یا ترکیب نیروی کار و سرمایه‌ای که هزینه تولید او را حداقل می‌کند چه میزانی است. برای این منظور، بنگاه‌ها باید مسیر بهینه و نقطه بهینه سیستم خود را در شرایط واقعی بیابند. به عنوان مثال بنگاهی که ترکیب بهینه نیروی کار و سرمایه

---

[5] Nash

[6] Vogstad

[7] real time

[8] hill- climbing optimization

خود را نمی‌داند باید میزان بهینه این دو نهاده را تخمین بزند و با تعدیل و اصلاح در یک مسیر صحیح به نقطه بهینه برسد. چنین پروسه‌ای را اصطلاحاً صعود از تپه می‌گویند (نلسون و وینتر،[9] ۱۹۸۲).

صعود از تپه، تکنیک بهینه‌یابی است. برای مدل کردن صعود از تپه، وضعیت بهینه بازار به وضعیت کنونی آن ارتباط داده می‌شود. عوامل برونزای متعددی که مسیر صحیح را نشان می‌دهند وضعیت فعلی بازار را تعدیل و تصحیح می‌کنند تا در نهایت به هدف یا وضعیت مطلوب برسد. ساختار عمومی این پروسه به شرح زیر است:

$$SS = \frac{Y^* - Y}{T} \qquad (۱)$$

SS تغییر در وضعیت سیستم، y^* متغیر مبنا و y مقدار واقعی سیستم است. تفاوت مقدار مطلوب از مقدار واقعی در طول دوره تعدیل یک سیستم، بازخورد منفی خطی است و در صورت نبود دیگر متغیرهای جریان، سیستم را به‌صورت نمایی به سمت هدف تعدیل می‌کند.

$$= \quad Y \times (E_1 y \times E_2 y \times \ldots \times E_n y)\ y^* \qquad (۲)$$

$E_i y$ اثر متغیر X_i بر متغیر مطلوب y^* است. متغیر y می‌تواند از نوع متغیر جریان یا متغیر کمکی باشد که به یک متغیر جریان مرتبط است. T مدت زمان تعدیل است. زمان تعدیل، متوسط زمان مورد نیاز برای رسیدن وضعیت موجود به وضعیت مطلوب است. در رابطه ۲، متغیر واقعی y با ضرب در عوامل مختلف از متغیر X_i، با متغیر هدف یا مطلوب y^* ارتباط داده می‌شود. اغلب توابع غیرخطی با مقادیر مبنا یا نرمال نهاده‌های X_i به روش زیر نرمال می‌شوند:

$$E_{iy} = f(\frac{X_i}{X^*}) \qquad (۳)$$

نرمال کردن بیانگر این واقعیت است که زمانی که نهاده‌های X_i برابر مقدار خود باشد، Y معادل مقدار مبنای خود خواهد شد. در رابطه بالا x و y هر دو بدون واحد هستند

می توان اثبات کرد که رابطه (۲) از رابطه (۱) حاصل شده است:

$$E_{iy} = f(\frac{X_i}{X^*})^{e_i} \qquad (۴)$$

[9] Nelson And Winter

در این رابطه e_i کشش قیمتی y نسبت به مقادیر نرمال شده است. برای اینکه مدل به راحتی تخمین زده شود از رابطه (۲)، لگاریتم می‌گیریم. به این طریق تابع غیر خطی به خطی تبدیل می‌شود. اگر اثر عوامل بیرونی بر وضعیت مطلوب ثابت فرض شود، خواهیم داشت:

$$Y^* = ky = \frac{(k-1)y}{T} \qquad (۵)$$

رابطه فوق، فرمول بازخورد خطی مرحله اول سیستم است.

اگر $k > ۱$ باشد، سیستم با نرخ ($\frac{k-1}{T}$) رشد نمایی خواهد داشت و اگر $k < ۱$ باشد، سیستم رشد منفی نمایی می‌کند. نقطه تعادلی از پیش قابل تعیین نیست و هنگامی که مقدار y به حدی برسد که فشار برای رسیدن به هدف حذف شود، y برابر مقدار مبنای خود شده، سیستم به تعادل می‌رسد.

۴- ساختار مدل

پروسه تعیین قیمت در یک بازار لحظه‌ای را در نظر بگیرید. زمانی که قیمت افزایش می‌یابد تقاضا کاهش می‌یابد و عرضه هم‌جهت با تغییرات قیمت، تغییر می‌کند. در تعادل بازار قیمت به گونه‌ای تعیین می‌شود که عرضه با تقاضا برابر شود. اما چگونه بازیگران بازار قیمت تعادلی را می‌یابند؟ چگونه زمانی که عرضه با تقاضا برابر نیست، قیمت تغییر می‌کند؟

قیمت P در مدت "زمان تعدیل بازار"[10] با قیمت مبنا برابر می‌شود:

$$\Delta p = \frac{p^* - p}{T} \qquad (۶)$$

زمان تعدیل بازار در بورس ممکن است چند دقیقه باشد و برای تولیدات صنایع بزرگ چند ماه باشد. هنگامی‌که قیمت فعلی تعادلی بازار نامعلوم است، عاملان بازار، قیمت بهینه P^* را به قیمت کنونی بازار ارتباط می‌دهند و در پاسخ به نسبت بین عرضه و تقاضا این شکاف را تعدیل می‌کنند.

$$P = P^* \times EB_p \qquad (۷)$$

$$EB_p = F(\frac{D}{S}) \qquad (۸)$$

[10] Price adjustment time

$$f(۱)=۱,\ f\geq ۱ \quad (۹)$$

P قیمت موجود و p_r قیمت مبنا و EB_p اثر نسبت تقاضا به عرضه روی قیمت[11] است. طبق رابطه (۹)، با وجود مازاد تقاضا، قیمت افزایش می‌یابد و تا زمانی که تقاضا بیش از عرضه باشد این افزایش ادامه می‌یابد. تاثیر نسبت تقاضا به عرضه روی قیمت از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$EB_p = F(\frac{D}{S})^s \quad (۱۰)$$

که s بیانگر حساسیت قیمت به موازنه تقاضا به عرضه است. s نرخ سفارشات یا ظرفیت تولیدی بنگاه است که در این مقاله ضریب امکان واردات را در پاسخ‌گویی به تغییرات ناگهانی تقاضا برای s در نظر می‌گیریم. برای اجرای مدل، فرض می‌کنیم کشش قیمتی عرضه و تقاضا ثابت است.

$$D= D_r \times ED \quad (۱۱)$$

$$ED= \frac{P}{(pr)^{e_d}} \quad (۱۲)$$

$$S = S_r \times ES \quad (۱۳)$$

$$ED= \frac{P}{(pr)^{e_s}} \quad (۱۴)$$

e_d کشش قیمتی تقاضا و e_s کشش قیمتی عرضه است. P_r قیمت مبنا، D_r تقاضای مبنا و S_r عرضه مبنا، ED تاثیر قیمت بر تقاضا و ES تاثیر قیمت بر عرضه است. قیمت تعادلی P_{eq} از برابری معادله عرضه و تقاضا به دست می‌آید.

$$P_{ed} = P_r \times (\frac{Dr}{Sr})^{\frac{1}{(e_s-e_d)}} \quad (۱۵)$$

قیمت تعادلی فقط به میزان عرضه و تقاضا وابسته است. زمان تعدیل بازار و حساسیت قیمت به موازنه تقاضا به عرضه فقط بر رفتار غیرتعادلی بازی‌گران بازار تاثیرگذار است و تاثیری بر قیمت تعادلی ندارد.

۴-۱- نمودار جریان-حالت[12] مدل

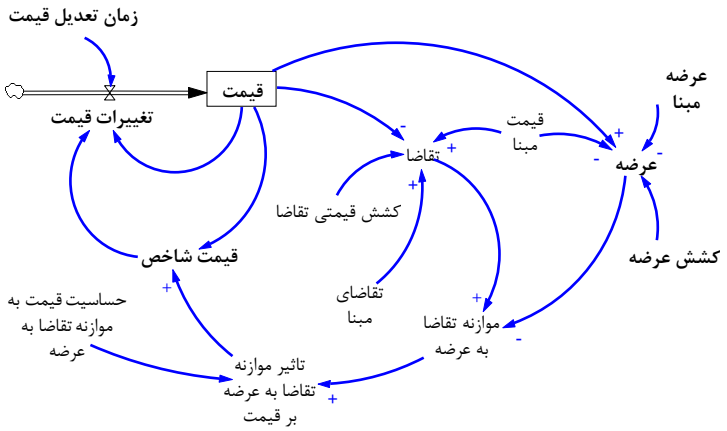
مدل بازار برق[13] از چهار حلقه بازخورد تشکیل شده است (نمودار ۱):

---

[11] Effect Of Demand/Supply Balance On Price

[12] stock- flow

نمودار ۱: حالت تعیین قیمت در بازار لحظه ای



مدل فوق، از چهار بازخورد تشکیل شده است. در روابط قیمت دو حلقه بازخورد منفی و مثبت وجود دارد. بازخورد منفی، شکاف بین قیمت مطلوب و قیمت واقعی را کاهش می‌دهد. در واقع قیمت تعادلی وابسته به وضعیت کنونی قیمت است و حلقه بازخورد مثبت، قیمت را تعیین می‌کند.

عرضه و تقاضا نسبت به قیمت دو بازخورد منفی ایجاد می‌کنند. حلقه سوم حلقه بازخورد منفی عرضه است. زمانی که قیمت افزایش می‌یابد، عرضه انرژی الکتریکی افزایش یافته، در نتیجه موازنه تقاضا به عرضه کاهش می‌یابد، این امر سبب می‌شود که اثر موازنه تقاضا به عرضه بر روی قیمت کاهش یافته، سبب کاهش قیمت شاخص شود. این امرمنجر به کاهش تغییرات قیمت و به تبع آن کاهش قیمت را به‌همراه خواهد داشت. حلقه چهارم، حلقه بازخورد منفی تقاضا است. با افزایش قیمت، تقاضا کاهش می‌یابد و به دنبال آن موازنه تقاضا به عرضه کاهش می‌یابد. این امر سبب می‌شود تا اثر موازنه تقاضا به عرضه بر قیمت کاهش یافته و در نتیجه قیمت شاخص کاهش یابد. کاهش قیمت شاخص سبب کاهش تغییرات قیمت ودر نهایت کاهش قیمت می‌شود.

[13] Sterman J , Ch 13

عرضه و تقاضا در بازار برق بلافاصله به تغییرات قیمت عکس‌العمل نشان می‌دهند و به دلیل ماهیت خاص این حامل انرژی، ذخیره‌سازی آن در مقیاس زیاد ممکن نیست. به همین دلیل تغییر در موجودی انبار بی‌معنا بوده، در نتیجه، این مدل با جهش یا فروپاشی[۱۴] مواجه نمی‌شود.

۵- داده‌های مورد استفاده و تعیین مقادیر پارامترهای الگوی پیشنهادی

قبل از اجرای مدل لازم است پارامترهای مورد استفاده در آن با توجه به داده‌های تاریخی صنعت برق کشور تعیین شود.

۵-۱- کشش قیمتی عرضه

کشش قیمتی عرضه در واقع بیانگر عکس‌العمل تولیدکنندگان به نوسانات قیمت در بازار است. کشش قیمتی عرضه به عوامل متعددی بستگی دارد. دوره زمانی از جمله عوامل مهم تاثیرگذار بر آن است. در کوتاه‌مدت کشش قیمتی بسیار ناچیز است، زیرا تولیدکنندگان قادر به افزایش ظرفیت تولید و تغییر خط تولید خود نیستند ولی در بلند مدت با افزایش سرمایه‌گذاری و تغییر خط تولید می‌توانند در برابر تغییرات قیمت عکس‌العمل بیشتری نشان دهند.

به دلیل اینکه مدل برای دوره کوتاه‌مدت یک روزه و یک‌ماهه اجرا می‌شود، بنابراین برای این دوره زمانی از ضریب ذخیره گردان و غیرگردان شبکه به‌عنوان کشش قیمتی عرضه استفاده می‌کنیم. استاندارد تعیین ضریب ذخیره گردان این گونه است که در هر ساعت یا هر دوره زمانی مقدار این ذخیره باید حداقل به اندازه بزرگترین واحد نیروگاهی باشد، تا اگر به هر دلیلی یکی از واحدها از مدار خارج شد، بهره‌بردار شبکه با استفاده از واحدهای ذخیره، تعادل بازار را حفظ نماید. در شبکه برق ایران بزرگترین واحد نیروگاهی ۴۴۰ مگاوات است.[۱۵] بنابراین حداقل باید ۴۴۰ مگاوات ظرفیت ذخیره گردان در هر ساعت در شبکه باشد. با توجه به آمار منتشرشده در سایت مدیریت شبکه ضریب ذخیره گردان در مردادماه ۰/۰۱۶ محاسبه و گزارش شده است می توان فرض کرد در کوتاه مدت کشش عرضه حداکثر به همین میزان باشد.

---

[14] Overshoot and Oscillation

[۱۵] شرکت مدیریت شبکه برق ایران، معاونت راهبری، گروه ترازنامه انرژی

۵-۲- کشش قیمتی تقاضا

دوره زمانی و میزان دسترسی به انرژی‌های جانشین از عوامل موثر در کشش قیمتی تقاضا است. مصرف‌کنندگان در کوتاه مدت، در برابر تغییرات قیمت امکان عکس‌العمل کمتری دارند به همین دلیل کشش قیمتی تقاضای برق در کوتاه‌مدت بسیار ناچیز است ولی در بلندمدت با جایگزین کردن فن‌آوری‌های جدید، استفاده از کالاهای جانشین و تغییر الگوی مصرف، مصرف‌کنندگان می‌توانند در برابر تغییرات قیمت عکس‌العمل بیشتری نشان دهند، به همین دلیل انتظار بر این است که در بلندمدت تقاضای برق باکشش باشد. مطالعات انجام شده در کشور به طور عمده، بخش‌های مختلف تقاضا به ویژه تقاضای خانگی و صنعتی را بررسی کرده‌اند. کشش قیمتی کل تقاضای برق ۰/۸۶- (سهیلی کیومرث،۱۳۸۱) و کشش قیمتی تقاضای بلندمدت در بخش‌های مختلف صنعت، کشاورزی، خانوار به ترتیب ۱/۴۲-، ۰/۶۹- و ۱/۳۶- (علی عسکری ۱۳۸۱) تعیین شده است. در این مقاله کشش قیمتی تقاضا در بازار برق در فضای تجدید ساختار شده ۰/۹- فرض شده است.

۵-۳- مقادیر مبنا

مقادیر مبنای Y^* و X^*_i می‌توانند ثابت یا متغیر باشند که بیانگر سطح تعادلی آن دو یا وضعیت بهینه سیستم یا مقادیر مطلوب درگذشته است. در یکی از روشهای تعیین مقادیر مبنا، مدل‌ساز می‌تواند مقادیر ثابتی را مادامی که با مدل سازگار باشند، به اختیار خود انتخاب کند. به عنوان مثال، بهره‌وری مبنا می‌تواند بهره‌وری یک ماه نفرکار، یا معادل ده سال کاری تعریف شود.[۱۶]

همچنین مقادیر مبنا می‌توانند مقادیر آن متغیر در یک سال مبنا باشند، مثلا فارستر[۱۷] در سال ۱۹۷۱ متوسط نرخ رشد جهانی پرندگان را در سال مبنای۱۹۷۰ به عنوان متغیر مبنای نرخ رشد جمعیت پرندگان تعیین کرد. در این مقاله به دلیل اینکه مدل در فضای رقابتی اجرا می‌شود مقادیر بهینه عرضه، تقاضا و قیمت در بازار برق به عنوان مقادیر مبنا در نظر می‌گیریم. برای این منظور از نتایج مدل بهینه یابی قیمت

[16] sterman

[17] Forrester

برق در بازار تجدید ساختار یافته که توسط مولفین طراحی و اجراء شده است، استفاده خواهیم کرد (منظور و رضایی ۱۳۹۰). بدین ترتیب، مقادیر مبنا برای قیمت، تقاضا و عرضه به گونه ای که در جدول (۱) ملاحظه می شود، در نظر گرفته می شود.

جدول ۱: مقادیر مبنا برای قیمت، عرضه و تقاضای برق در مردادماه سال ۱۳۸۶

مقادیر مبنا	واحد	مرداد
قیمت	ریال بر کیلووات ساعت	۲۸۳/۶۸
عرضه کل	گیگاوات ساعت	۱۶۵۳۲
تقاضا کل	گیگاوات ساعت	۱۶۵۳۲

۶- شبیه سازی و اجرای مدل

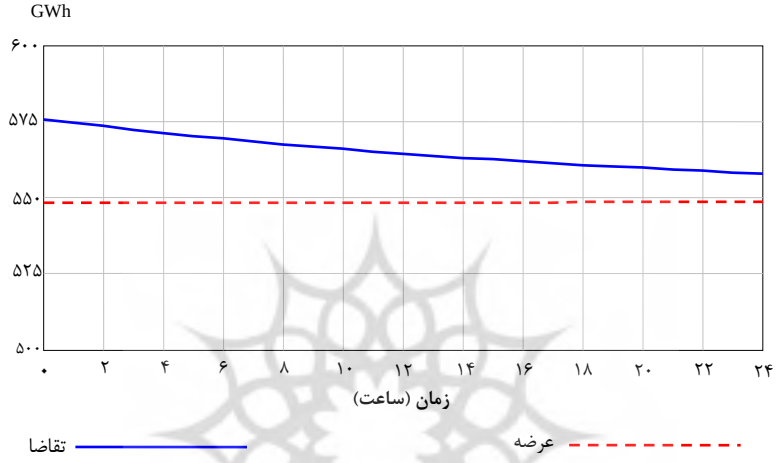
در ابتدای دوره فرض می شود قیمت، عرضه و تقاضا در همان سطح مقادیر مبنای خود در جدول (۱) قرار دارد. برای بررسی رفتار مدل به بررسی این سوال می پردازیم که با فرض افزایش ۵ درصدی تقاضا نسبت به عرضه، مقادیر جدید عرضه، تقاضا و قیمت در دوره‌های مورد نظر چه میزان خواهد بود؟ آیا بازار در طول دوره‌های مورد نظر، به تعادل می‌رسد؟ مدل را برای فاصله زمانی یک روز و یک ماه با فرض امکان واردات یا عدم امکان آن اجرا می‌کنیم. به دلیل اوج مصرف ماهیانه، از تمام ظرفیت تولید نیروگاه‌های داخلی استفاده می‌شود و فرض می شود ظرفیت نیروگاه‌های داخلی امکان پاسخ‌گویی به این مازاد تقاضا را ندارند.

با افزایش تقاضا، توازن بین عرضه و تقاضا مختل می‌شود و بازار با مازاد تقاضا مواجه می‌شود. مازاد تقاضا سبب می‌شود عوامل بازار قیمت تعادلی را بالاتر از قیمت بازار تعیین کنند. این امر سبب افزایش قیمت شده، در مدت کوتاهی افزایش قیمت، تقاضا را کاهش و عرضه را به آرامی افزایش می‌دهد. تا زمانی که قیمت تعادلی بالاتر از قیمت بازار باشد، افزایش قیمت ادامه می‌یابد تا تقاضا و عرضه برابر شود، در این حالت بازار به تعادل می‌رسد. نسبت تقاضا به عرضه تنها عامل برون‌زایی است که سبب افزایش قیمت می‌شود.

۶-۱- سناریوی اول: دوره زمانی یک روزه

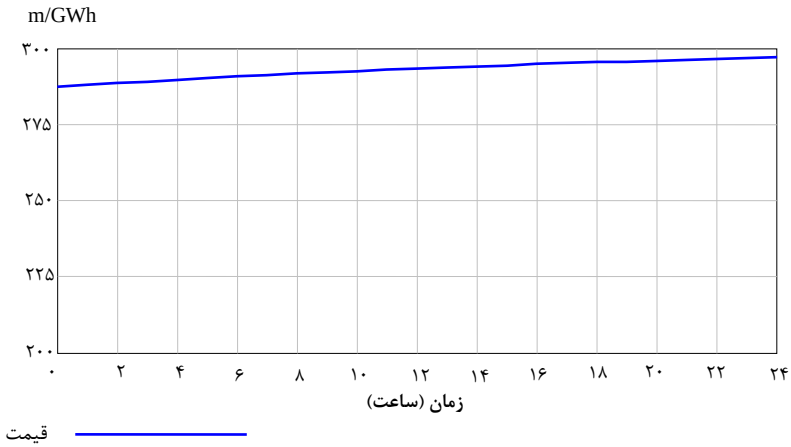
در دوره زمانی یک روزه، امکان جبران ناگهانی افزایش تقاضا با واردات فراهم نیست. اول مرداد برای دوره زمانی یک روزه، قیمت تعادلی ۲۸۳/۶۸ ریال بر هر کیلووات ساعت و عرضه و تقاضای تعادلی ۵۴۸/۲ گیگاوات ساعت است. اگر تقاضا ۵ درصد افزایش یابد، از حل معادلات (۶) تا (۱۵) با استفاده از نرم افزار *Vensim* در پایان دوره بازار با عدم‌تعادل مواجه شده، مازاد تقاضا همچنان برقرار است. قیمت جدید بازار به ۲۹۳/۷۵ ریال بر هر کیلووات ساعت افزایش می یابد، تقاضای جدید بازار ۵۵۷/۶۹ گیگاوات ساعت و عرضه ۵۴۸/۵ گیگاوات ساعت خواهند بود. نمودارهای (۲) و (۳) روند تغییرات ذکر شده را نشان می‌دهد.

نمودار ۲: روند تغییرات عرضه و تقاضا در یک دوره ۲۴ ساعته



نمودار ۳: روند تغییرات قیمت در یک دوره ۲۴ ساعته

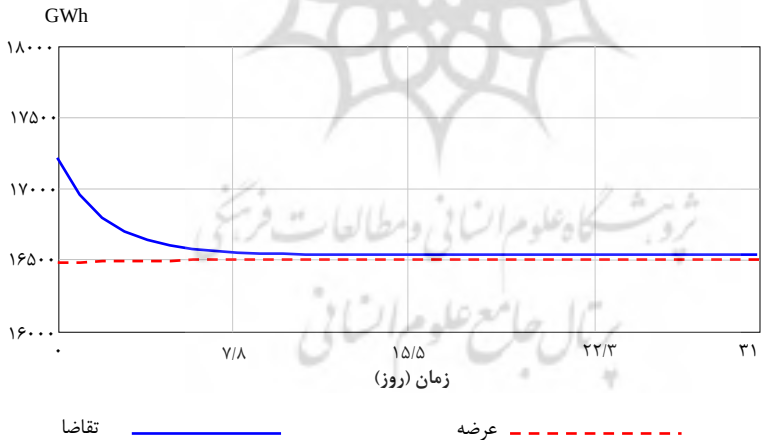
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



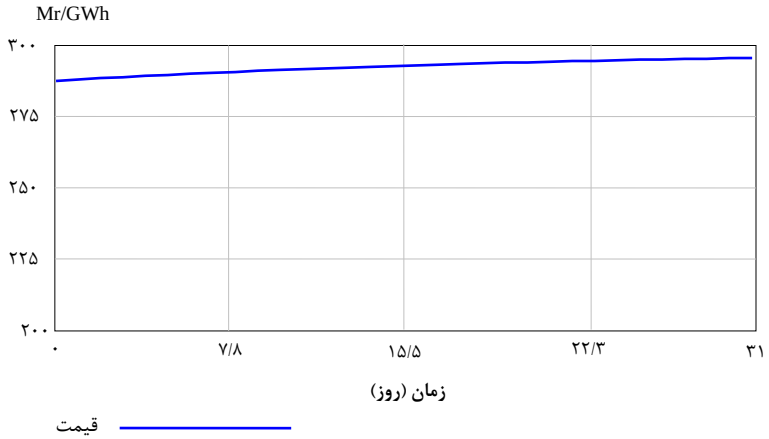
۶-۲- سناریوی دوم: دوره زمانی یک ماهه، عدم امکان واردات

در آغاز دوره، قیمت تعادلی ۲۸۳/۶۸ ریال بر هر کیلووات ساعت و عرضه و تقاضای تعادلی ۱۶۴۴۸ گیگاوات ساعت است. فرض می‌شود از تمام توان عملی نیروگاه‌ها استفاده شده است. اگر در ابتدای دوره، تقاضا ۵ درصد افزایش یابد، نتایج مدل نشان می‌دهد که در پایان دوره، بازار با عدم تعادل مواجه شده است، یعنی مازاد تقاضا همچنان برقرار است. قیمت جدید بازار افزایش یافته و با توجه به معادلات (۶) تا (۱۵) و با استفاده از نرم افزار*Vensim* به ۲۹۵/۲ ریال بر هر کیلووات ساعت می‌رسد، تقاضا ۱۶۶۶۱/۲ گیگاوات ساعت و عرضه ۱۶۴۵۸/۵ گیگاوات ساعت خواهند بود. نمودارهای (۴) و (۵) روند تغییرات ذکر شده را نشان می‌دهند.

نمودار ۴: روند تغییرات عرضه و تقاضا برای دوره یک ماهه بدون واردات



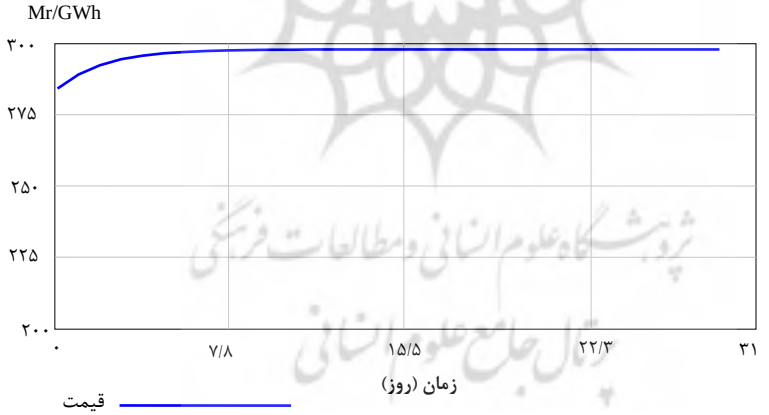
نمودار ۵: روند تغییرات قیمت در یک دوره زمانی یک ماهه



۶-۳- سناریوی دوم: دوره زمانی یک ماهه، امکان واردات

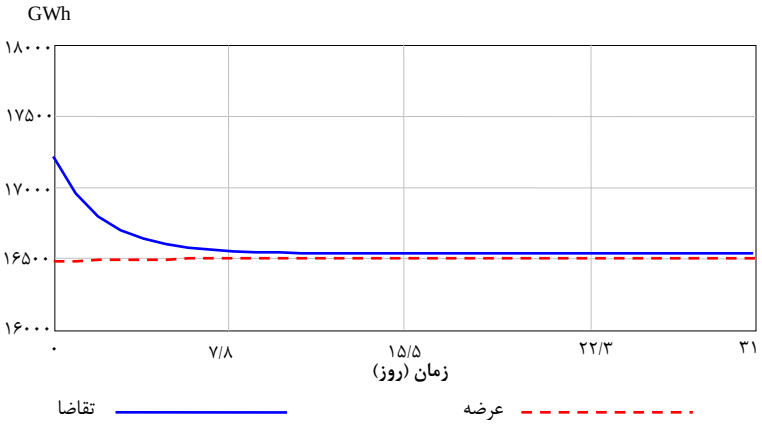
در آغاز دوره قیمت تعادلی ۲۸۳/۶۸ ریال بر هر کیلووات ساعت و عرضه و تقاضای تعادلی ۱۶۴۴۸ گیگاوات ساعت است. فرض شده است که از تمام ظرفیت تولیدی نیروگاه‌های داخلی استفاده شده است، با فرض افزایش ۵ درصدی تقاضا، بازار با مازاد تقاضا روبه‌رو می‌شود، در صورتی که بازار برق بتواند با افزایش واردات مازاد تقاضای خود را پوشش دهد، طبق نتایج حاصل از مدل، بازار پس از بیست روز به تعادل می‌رسد. در تعادل جدید، قیمت ۲۹۹/۹۲ ریال بر هر کیلووات ساعت می‌شود، عرضه و تقاضا نیز در مقدار ۱۶۴۶۲/۷ برحسب گیگاوات ساعت به تعادل می‌رسند (نمودار ۶ و۷).

نمودار ۶: روند تغییرات قیمت در یک دوره زمانی یک ماهه با امکان واردات



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نمودار ۷: روند تغییرات عرضه و تقاضا برای دوره یک ماهه با امکان واردات



۷- نتیجه‌گیری

انرژی الکتریکی در افزایش رفاه و توسعه اقتصادی کشورها سهم انکارناپذیری دارد. به علت ماهیت ویژه این حامل انرژی از جمله لزوم تعادل لحظه به لحظه بازار و عدم امکان ذخیره‌سازی در حجم بالا، سبب شده است که بازار برق از حساسیت بالایی برخوردار شود. در این مقاله با استفاده از تکنیک صعود از تپه نشان داده می‌شود که پس از خروج بازار از تعادل، بازیگران بازار به چه نحوی قیمت تعادلی را می‌یابند و در شرایطی که عرضه و تقاضا با یکدیگر برابر نیست، قیمت بازار چگونه تغییر می‌کند.

صعود از تپه یک تکنیک بهینه‌یابی است. برای مدل کردن صعود از تپه، وضعیت بهینه بازار به وضعیت فعلی آن ارتباط داده می‌شود. وضعیت فعلی بازار توسط عوامل برونزای متعددی که مسیر صحیح را نشان می‌دهند تعدیل و تصحیح می‌شود تا در نهایت به هدف یا وضعیت مطلوب برسد. هنگامی‌که قیمت تعادلی بازار نامعلوم است، عاملان بازار قیمت بهینه را به قیمت کنونی بازار ارتباط می‌دهند و در پاسخ به نسبت بین عرضه و تقاضا این شکاف را تعدیل می‌کنند. اگر بازار با مازاد تقاضا مواجه شود، قیمت افزایش می‌یابد و تا زمانی که تقاضا بیش از عرضه باشد این افزایش ادامه می‌یابد. این مدل در دو بازه زمانی یک روزه در ماه مرداد و یک ماهه (مردادماه) در سال ۱۳۸۶ با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی *VENSIM* اجراء می‌شود.

در ابتدای هر دوره با فرض اینکه تقاضا ۵ درصد افزایش یابد، در طول دوره یک روزه به دلیل عدم امکان افزایش واردات و عدم پوشش ذخایر گردان و غیر گردان، مازاد تقاضا برطرف نمی‌شود و قیمت جدید بازار ۲۹۳/۷۵ ریال بر هر کیلووات ساعت، تقاضا ۵۵۷/۶۹ گیگاوات ساعت و عرضه ۵۴۸/۵ گیگاوات ساعت خواهند بود. نتایج مدل نشان می‌دهد که در دوره زمانی یک ماهه که امکان جبران تقاضا با افزایش واردات وجود ندارد بازار برق در پایان دوره با مازاد تقاضا همراه است. فقط در دوره زمانی یک ماهه با امکان افزایش واردات، بازار به تعادل رسیده، خاموشی به تقاضاکنندگان تحمیل نمی‌شود. در این حالت قیمت تعادلی جدید ۲۹۹/۹۲ ریال بر هر کیلووات ساعت است، عرضه و تقاضا نیز در سطح ۱۶۴۶۲/۷ گیگاوات ساعت به تعادل می‌رسند.

فهرست منابع:

آمار تفصیلی صنعت برق ایران سال ۱۳۸۶

آمار تفصیلی صنعت برق ایران سال ۱۳۸۶، توزیع نیروی برق

بایی، ناصر و محسن پارسا مقدم. (۱۳۸۷). پیشنهاد قیمت بهینه در بازار برق با استفاده از تئوری بازی ها. نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، ۶ (۳).

پژوهان، جمشید و تیمور محمدی. (۱۳۷۹). قیمت گذاری بهینه برای صنعت برق. پژوهشهای اقتصادی ایران، ۶ (۳): ۳۹-۶۲.

حیدری، کیومرث. (۱۳۸۱). بررسی قیمت‌گذاری در صنعت برق با اعمال روش رمزی با استفاده از هزینه نهایی ناشی از بکارگیری نرم‌افزار *LOGOS*. هفدهمین کنفرانس بین‌المللی برق.

سهیلی، کیومرث. (۱۳۸۱). روابط پویای بین متغیرهای کلان موثر بر تقاضای انرژی در ایران کاربردی از مدل تصحیح خطای برداری. فصلنامه پژوهشی دانشگاه امام صادق (ع)، ۱۵: ۱۳۹-۱۱۱.

صادقی، حسین. (۱۳۷۴). طرح مطالعاتی هزینه قطع برق در ایران. به سفارش شرکت توانیر، دانشگاه تربیت مدرس.

عسکری، علی. (۱۳۷۹). تخمین تقاضای برق در بخش خانگی و برآورد کشش های قیمتی و درآمدی. مجله برنامه و بودجه، (۶۲): ۱۱۹- ۱۰۳

لاجوردی، حسن و نسرین محدث. (۱۳۸۸). مقایسه هزینه تمام شده هر کیلووات ساعت برق در شیوه های مختلف قیمت‌گذاری. هفتمین کنفرانس بین‌المللی انرژی.

منظور، داود و حسین رضائی. (۱۳۹۰). محاسبه قیمت سایه‌ای انرژی الکتریکی در بازار برق ایران. فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، مرحله چاپ

Botterud, Audun. (2002). Long-Term Planning in Restructured Power Systems Dynamic Modelling of Investments in New Power Generation Under Uncertainty. A PHD Thesis Submitted to:the Norwegian University of Science and Technology, (NTNU).

Choynowski, P., (2002). Measuring Willingness to Pay For Electricity. Asian Development Bank.

Forrester, J., (1971). Counterintuitive Behavior of Social Systems. Theory and Decision, 2 (2): 109-140

Green, R. (1998). Electricity Transmission Pricing: How much does it cost to get it wrong. Power Working Paper, PWP-058. University of California Energy Institute

Lim, H., and G. Jenkins. (2000). Electricity Demand and Electricity Value. Development Discussion Papers.

Mota, W., F. Alvarado. (2001). Dynamic Coupling Between Power Markets and Power Systems. Revista Controle & Automaç Ao ,12 (1): 36-41.

Richard R. Nelson, Sidney G. Winter. (1982). An Evolutionary Theory Of Economic Change, Cambridge MA: Belknap press of Harvard University Press.

Strman J., (2002). Business Dynamics:Systems Thinking And Modeling For a Complex World, Mcgraw-Hill College.

Vogstad, K., (2005). A System Dynamics Analysis of the Nordic Electricity Market: the Transition from Fossil Fuelled Towards a Renewable Supply Within a Liberalised Electricity Market. Doctoral Thesis, Norwegian University of Science and Technology, NTNU.

World Bank. (1996). Orissa Power Sector Restructuring Project. Staff Appraisal Report. India, 19.

Hao S., (2000). Study of Basic Bidding Strategy in Clearing Pricing Auctions. IEEE Transactions on Power Systems, 15 (3):975-980

Song H.and etal. (2002). Nash quilibrum Bidding Strategies in a Bilateral Electricity Market. IEEE Transactions on Power Systems, 17 (1):73-79.

Wen F., A.K. David. (2001). Optimal Bidding Strategies and Modeling of Imperfect Information among Competitive Generators. IEEE Transactions on Power Systems, 16 (1):15-21.

http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/overview/index.html

http://www.pep.moe.org.ir

http://www.tavanir.org.ir

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Process of determining market equilibrium price of electricity: system dynamics approach

Mohammad Ali Molaei (Ph.D) , Davoud Manzour(Ph.D) and Hossein Rezaee (M.Sc)*

Abstract

In this paper, Power price after disequilibrium market is determined using hill climbing optimization. For this purpose, initially we model power market by system dynamics approach, then reference supply, reference demand and price are determined in the optimal linear programming model. The System dynamics model will be run for one day and one month (Mordad) in 1389 with two optimization and simulation software GAMS and VENSIM. By market equilibrium and fixed capacity of domestic plants we assume a five percent rise in demand. In one-day period since there is no possibility of rising import the excess demand doesn't clear. The new price is 293/4 Rial/Kwh, demand and supply will be 558/34 Gwh and 548/5 Gwh respectively. The results show that only in one-month period with the possibility of raising import the market will clear and no outage will be imposed. If so the equilibrium price will be 299/92 Rial/Kwh and supply and demand will clear at 16462/7 Kwh.

JEL classification: ***D43, D50, C63, P22, C61***

Keywords: electricity market, equilibrium market, system dynamics, reference price, optimization.

* Assistant professor at Shahroud Industrial University, Assistant professor of economics at Imam Sadegh University and Ph.D. student of economics at Imam Sadegh University, respectively, Iran.
Email: (malimolaei@yahoo.com)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی