فصلنامه اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)، دوره 9، شماره 2، تابستان 1391، صفحات 86-71
Archive of SID

فرآیند تعیین قیمت تعادلی در بازار برق ایران با رویکرد پویایی سیستمی[1]

دکتر محمدعلی مولایی، دکتر داوود منظور و حسین رضائی*

تاریخ وصول: 1390/11/8 تاریخ پذیرش: 1391/6/25

چکیده:

پژوهش حاضر به تعیین قیمت برق بعد از خروج بازار از تعادل پرداخته است. به این منظور، پس از طراحی بازار برق در قالب مدل پویایی‌سیستمی، با استفاده از مدل بهینه‌یابی، مقادیر بهینه‌ی عرضه، تقاضا و قیمت تعیین شده است. این مدل در دو بازه زمانی یک روزه در ماه مرداد و یک ماهه (مردادماه) در سال 1386 با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی Vensim اجرا شده است. برای انجام تحقیق فرض افزایش پنج درصدی تقاضا در ابتدای هر دوره و تعادل بازار و عدم امکان افزایش تولید نیروگاه های داخل در نظر گرفته شده است. بر اساس برخی از نتایج این تحقیق، فقط در دوره‌ی زمانی یک ماهه در صورت امکان افزایش واردات، امکان تعادل بازار وجود داشته است. در این حالت، قیمت تعادلی 299/92 ریال بر هر کیلووات ساعت تعیین شده است. همچنین تعادل عرضه و تقاضا در مقدار 16462/7 گیگاوات ساعت وجود داشته است.

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

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

[1] 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)

www.SID.ir

Archive of SID

1- مقدمه

انرژی الکتریکی در افزایش رفاه و توسعه اقتصادی کشورها سهم انکارناپذیری دارد. همچنین به دلیل لزوم ایجاد تعادل لحظه به لحظه بازار و عدم امکان ذخیره‌سازی در حجم بالا، بازار برق از حساسیت بالایی برخوردار است. در این مقاله چگونگی تعیین قیمت تعادلی توسط بازیگران بازار و چگونگی تغییر قیمت تعادلی با وجود عدم برابری عرضه و تقاضا با استفاده از روش صعود از تپه[2] بررسی شده است. 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 تحقیق، بازار برق در فضای تجدید ساختار مورد بررسی قرار گرفته است.

2- پیشینه‌ی تحقیق

پژویان و محمدی (1379) قیمت خدمات برق را برای کاربری‌های مختلف خانگی، صنعتی، کشاورزی، تجاری و عمومی با استفاده از روش رمزی محاسبه کرده‌اند.

حیدری (1381) روش‌های مختلف قیمت‌گذاری را در یک نظام دستوری و مبتنی بر بازار بررسی کرده است. در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار لوگوس[3] قیمت برق بخش‌های مختلف براساس هزینه‌ی نهایی استخراج شده است.

صادقی و ذوالفقاری (1389) بر اساس روش‌های غیر خطی شبکه‌های عصبی مصنوعی و تبدیل موجک و فرآیند خطی *ARMA* به پیش بینی تقاضای روزانه‌ی برق در بازه‌ی زمانی یک تا ده گام به جلو پرداخته‌اند.

---

[2] Hill- Climbing Optimization
[3] Logos

www.SID.ir

Archive of SID

گرین[4] (1998) قیمت بهینه‌ی بازار برق انگلستان و ولز را با در نظر گرفتن محدودیت و تلفات شبکه‌ی 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. این مدل برای سیزده نقطه مختلف از شبکه‌ی انتقال انگلستان و ولز اجرا شده است. بر اساس نتایج این تحقیق با ایجاد قیمت بهینه، رفاه عمومی حداکثر شده است.

ون و دیوید[5] (2001) مسأله‌ی پیشنهاد قیمت و حداکثر کردن سود به صورت یک مسأله‌ی بهینه سازی تصادفی را مدل سازی کرده است. در این تحقیق ابتدا از تکنیک مونت کارلو استفاده شده است. سپس با استفاده از تکنیک‌های ریاضی، ساده سازی‌هایی در مسأله صورت گرفته است.

بوترود[6] (2002) 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، از قیدهای مدل بوده‌اند. در این تحقیق بدون در نظر گرفتن پیچیدگی‌های شبکه‌ی انتقال، قیمت واحدی برای کل بازار محاسبه شده است.

هائو[7] (2000) استراتژی قیمت دهی بهینه را با حل معادلات دیفرانسیلی برای حداکثر نمودن درآمد قیمت دهنده محاسبه کرده است. بر اساس برخی از نتایج این تحقیق فروشندگان با ارائه‌ی قیمتی بیشتر از هزینه نیز امید به برنده شدن داشته‌اند. محاسبه‌ی مقدار بیشتر از هزینه به کمک توزیع هزینه‌ی قیمت‌دهنده‌های دیگر، تقاضای بازار و تعداد رقبا در بازار محاسبه شده است.

وگستاد[8] (2005) مدل قیمت برق را استخراج کرده است. در این مدل قیمت برق پیوسته با سه بازخورد زمان واقعی،[9] بازار آتی‌ها و بازار لحظه‌ای، خود را تعدیل و تصحیح کرده است. این مدل در واقع پروسه تعیین قیمت در بازار برق بوده است.

---

[4] Green
[5] Wen and David
[6] Botterud
[7] Hao
[8] Vogstad
[9] Real Time

www.SID.ir

Archive of SID

در این تحقیق پس از تشریح چارچوب ساختار کلی مدل پویایی سیستمی در بازار برق برای تعیین مقادیر مبنا در مدل پویایی سیستمی به تشریح مدل بهینه‌یابی قیمت برق در بازار تجدید ساختار پرداخته شده است. سپس داده‌های مورد استفاده و تعیین پارامترهای اساسی مدل مانند قیمت، عرضه و تقاضای بهینه بررسی شده است. در پایان نتایج حاصل از اجرای سناریوهای مدل و تجزیه و تحلیل آنها بیان شده است.

3- بهینه‌یابی صعود از تپه

بهینه یابی عملکرد سیستمی بدون آگاهی از ساختار سیستم قابل دسترسی نیست. به عنوان مثال یک بنگاه درباره‌ی قیمت حداکثر کننده‌ی سود یا ترکیب نیروی کار و سرمایه‌ی حداقل کننده‌ی هزینه آگاهی ندارد. برای این منظور، بنگاه در پی شناخت مسیر بهینه و نقطه‌ی بهینه‌ی سیستم در شرایط واقعی است. فرآیند شناخت نقطه‌ی بهینه در اصطلاح صعود از تپه نام دارد (نلسون و وینتر،[10] 1982).

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 فرآیند به شرح زیر است.

$$SS = \frac{Y^* - Y}{T} \qquad (1)$$

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

$$Y \times (E_1 y \times E_2 y \times \ldots \times E_n y) \quad = y^* \qquad (2)$$

در رابطه‌ی فوق $E_i y$ اثر متغیر X_i بر متغیر مطلوب y^* است. متغیر y از نوع متغیر جریان یا متغیر کمکی مربوط به یک متغیر جریان است. T مدت زمان تعدیل است. زمان تعدیل، متوسط زمان مورد نیاز برای رسیدن وضعیت موجود به وضعیت مطلوب

[10] Nelson And Winter

www.SID.ir

Archive of SID

است. در رابطه‌ی (2)، متغیر واقعی y با ضرب در عوامل مختلف از متغیر X_i با متغیر هدف یا مطلوب y^* ارتباط داده شده است. رابطه‌ی (2) از رابطه‌ی (1) و روش نرمال

سازی[11] استخراج شده است. در صورت ثابت بودن اثر عوامل بیرونی بر وضعیت مطلوب مدل بازخورد خطی مرحله‌ی اول سیستم به صورت زیر است.

$$Y^* = ky = \frac{(k-1)y}{T} \qquad (3)$$

در رابطه‌ی فوق با فرض $k>1$ باشد، سیستم با نرخ $(\frac{k-1}{T})$ رشد نمایی و با فرض $k<1$ سیستم دارای رشد منفی نمایی است. نقطه‌ی 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.

4- ساختار مدل

بر اساس فرآیند تعیین قیمت در یک بازار لحظه‌ای 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.

قیمت P در زمان تعدیل بازار[12] با قیمت مبنا به صورت زیر برابر است.

$$\Delta p = \frac{p^* - p}{T} \qquad (4)$$

زمان تعدیل بازار در بورس چند دقیقه و برای تولیدات صنایع بزرگ چند ماه است. در صورت نامعلوم بودن قیمت فعلی تعادلی بازار، عاملان بازار، قیمت

---

[11] اغلب توابع غیرخطی با مقادیر مبنا یا نرمال نهاده‌های X_i به روش زیر قابل نرمال شدن است.

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

بر اساس نرمال سازی در صورت برابری نهاده‌های X_i با مقدار آن، Y معادل مقدار مبنای خود خواهد شد. در رابطه‌ی بالا x و y هر دو بدون واحد هستند. می‌توان اثبات کرد که رابطه‌ی (2) این تحقیق از رابطه‌ی (1) حاصل شده است.

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

در رابطه‌ی فوق e_i کشش قیمتی y نسبت به مقادیر نرمال شده است. برای اینکه مدل به راحتی تخمین زده شود از رابطه‌ی (2) لگاریتم گرفته شده است. به این طریق تابع غیر خطی به خطی تبدیل شده است.

[12] Price Adjustment Time

www.SID.ir

Archive of SID

بهینه P^* را به قیمت کنونی بازار ارتباط می‌دهند و در پاسخ به نسبت بین عرضه و تقاضا این شکاف را تعدیل می‌کنند.

$$P = P^* \times EB_p \quad (5)$$

در رابطه‌ی فوق P قیمت موجود و EB_p اثر نسبت تقاضا به عرضه بر قیمت[13] است. با فرض $f \geq 1$ و $f(1)=1$ 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 رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است.

$$EB_p = F(\frac{D}{S})^s \quad (6)$$

در رابطه‌ی فوق s بیانگر حساسیت قیمت به موازنه تقاضا به عرضه است. S نرخ سفارشات یا ظرفیت تولیدی بنگاه است. در این تحقیق ضریب امکان واردات در پاسخ‌گویی به تغییرات ناگهانی تقاضا برای S در نظر گرفته شده است. برای اجرای مدل، کشش قیمتی عرضه و تقاضا ثابت در نظر گرفته شده است.

$$D = D_r \times ED \quad (7)$$

$$ED = \frac{P}{(p_r)^{e_d}} \quad (8)$$

$$S = S_r \times ES \quad (9)$$

$$ES = \frac{P}{(pr)^{e_s}} \quad (10)$$

در رابطه‌ی فوق e_d کشش قیمتی تقاضا و e_s کشش قیمتی عرضه، 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 معادله‌ی عرضه و تقاضا به صورت زیر قابل استخراج است.

$$P_{ed} = P_r \times (\frac{Dr}{Sr})^{\frac{1}{(e_s - e_d)}} \quad (11)$$

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.

[13] Effect Of Demand/Supply Balance On Price

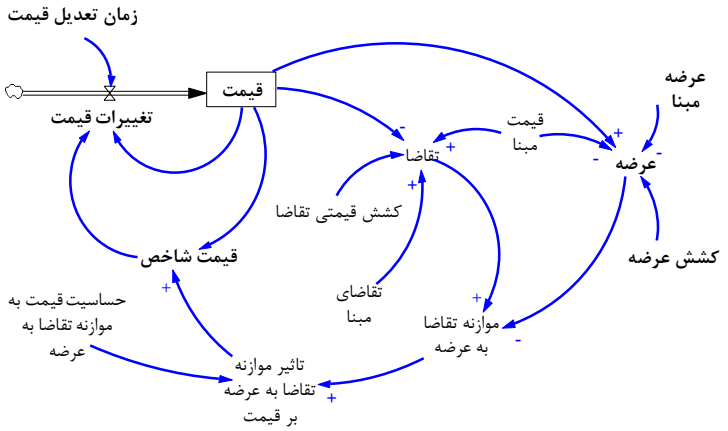
www.SID.ir

Archive of SID

4-1- نمودار جریان- حالت[14] مدل

مدل بازار برق[15] از چهار حلقه بازخورد به صورت نمودار (1) تشکیل شده است.

نمودار 1: حالت تعیین قیمت در بازار لحظه‌ای



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 حلقه‌ی بازخورد مثبت، قیمت را تعیین می‌کند.

عرضه و تقاضا نسبت به قیمت دو بازخورد منفی ایجاد می‌کنند. حلقه‌ی سوم حلقه‌ی بازخورد منفی عرضه است. زمانی که قیمت افزایش می‌یابد، عرضه‌ی انرژی الکتریکی افزایش یافته، در نتیجه موازنه‌ی تقاضا به عرضه کاهش می‌یابد، این امر ضمن کاهش اثر موازنه تقاضا به عرضه بر قیمت، کاهش قیمت شاخص را نیز در پی داشته است. این مساله کاهش تغییرات قیمت و کاهش قیمت را به‌همراه خواهد داشت. حلقه‌ی 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

[14] Stock- Flow
[15] Sterman

www.SID.ir

Archive of SID

قیمت شاخص کاهش یابد. کاهش قیمت شاخص سبب کاهش تغییرات قیمت و در نهایت کاهش قیمت می‌شود.

عرضه و تقاضا در بازار برق بلافاصله به تغییرات قیمت عکس‌العمل نشان می‌دهند. به دلیل ماهیت خاص این حامل انرژی و عدم امکان ذخیره‌سازی آن در مقیاس زیاد تغییر در موجودی انبار بی‌معنا است. در نتیجه، این مدل با جهش یا فروپاشی[16] روبه‌رو نیست.

5- داده‌های مورد استفاده و تعیین مقادیر پارامترهای الگوی پیشنهادی

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

5-1- کشش قیمتی عرضه

کشش قیمتی عرضه در واقع بیانگر عکس‌العمل تولیدکنندگان به نوسانات قیمت در بازار است. کشش قیمتی عرضه به عوامل متعددی وابسته است. دوره‌ی زمانی از جمله عوامل مهم تاثیرگذار بر آن است. در کوتاه‌مدت کشش قیمتی بسیار ناچیز است. در بلند مدت با افزایش سرمایه‌گذاری و تغییر خط تولید امکان عکس‌العمل بیشتر وجود دارد.

به دلیل اجرای مدل برای دوره‌ی کوتاه‌مدت یک روزه و یک‌ماهه، برای این دوره‌ی زمانی از ضریب ذخیره گردان و غیرگردان شبکه به‌عنوان کشش قیمتی عرضه استفاده شده است. بر اساس استاندارد تعیین ضریب ذخیره گردان در هر ساعت یا هر دوره‌ی زمانی مقدار ذخیره حداقل به اندازه‌ی بزرگترین واحد نیروگاهی لازم است. دلیل این مساله آن است که اگر به هر دلیلی یکی از واحدها از مدار خارج شد، بهره‌بردار شبکه با استفاده از واحدهای ذخیره، تعادل بازار را حفظ نماید. در شبکه‌ی برق ایران بزرگترین واحد نیروگاهی 440 مگاوات است.[17] بنابراین حداقل 440 مگاوات ظرفیت ذخیره گردان در هر ساعت در شبکه لازم است. با توجه به آمار منتشرشده در سایت مدیریت شبکه، ضریب ذخیره گردان در

[16] Overshoot and Oscillation

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

www.SID.ir

Archive of SID

مرداد ماه 0/016 محاسبه و گزارش شده است. در کوتاه مدت کشش عرضه حداکثر به همین میزان در نظر گرفته شده است.

5-2- کشش قیمتی تقاضا

دوره‌ی 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. در بلندمدت با جایگزین کردن فن‌آوری‌های جدید، استفاده از کالاهای جانشین و تغییر الگوی مصرف، امکان عکس العمل مصرف‌کنندگان در برابر تغییرات قیمت بیشتر است. به همین دلیل انتظار با کشش بودن برق در بلند مدت وجود دارد. 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 0/86- (سهیلی، 1381) و کشش قیمتی تقاضای بلندمدت در بخش‌های مختلف صنعت، کشاورزی، خانوار به ترتیب 1/42-، 0/69- و 1/36- (عسکری، 1380) استخراج شده است. در این مقاله کشش قیمتی تقاضا در بازار برق در فضای تجدید ساختار شده 0/9- فرض شده است.

5-3- 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.[18]

همچنین مقادیر مبنا می‌توانند مقادیر آن متغیر در یک سال مبنا باشند. در این تحقیق به دلیل اجرای مدل در فضای رقابتی، مقادیر بهینه عرضه، تقاضا و قیمت در بازار برق به عنوان مقادیر مبنا در نظر گرفته شده است. برای این منظور از نتایج مدل بهینه یابی قیمت برق در بازار تجدید ساختار یافته بر اساس مطالعات قبلی

[18] Sterman

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده شده است (منظور و رضایی، 1390). مقادیر مبنا برای قیمت، تقاضا و عرضه مطابق جدول (1) در نظر گرفته شده است.

جدول 1: مقادیر مبنا برای قیمت، عرضه و تقاضای برق در مردادماه سال 1386

متغیر	واحد	مقادیر مبنا
قیمت	ریال بر کیلووات ساعت	283/68
عرضه کل	گیگاوات ساعت	16532
تقاضا کل	گیگاوات ساعت	16532

6- شبیه سازی و اجرای مدل

برای بررسی رفتار مدل مقدار جدید عرضه، تقاضا و قیمت در دوره‌های مورد نظر با فرض افزایش 5 درصدی تقاضا نسبت به عرضه، مقادیر جدید عرضه بررسی شده است. همچنین تعادل بازار در دوره‌های مختلف نیز بررسی شده است. مدل برای فاصله زمانی یک روز و یک ماه با فرض امکان واردات یا عدم امکان آن اجرا شده است. به دلیل اوج مصرف ماهیانه، عدم امکان پاسخگویی ظرفیت نیروگاه‌های داخلی به مازاد تقاضا در نظر گرفته شده است.

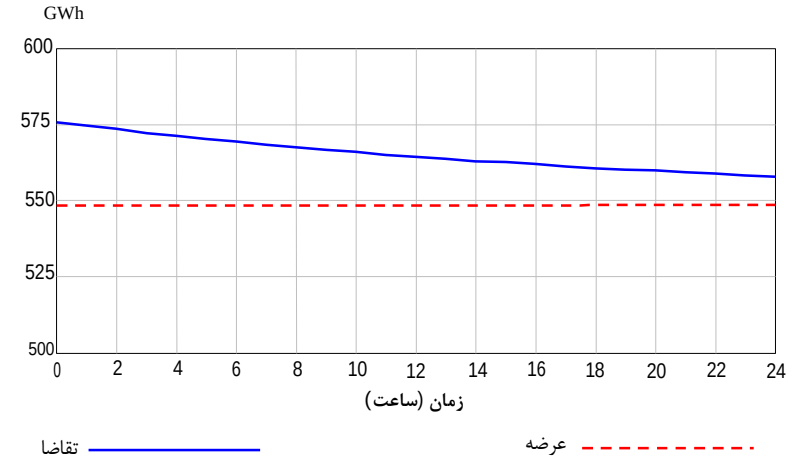
6-1- سناریوی اول: دوره‌ی زمانی یک روزه

در دوره‌ی زمانی یک روزه، امکان جبران ناگهانی افزایش تقاضا با واردات فراهم نیست. اول مرداد برای دوره‌ی زمانی یک روزه، قیمت تعادلی 283/68 ریال بر هر کیلووات ساعت و عرضه و تقاضای تعادلی 548/2 گیگاوات ساعت بوده است. با استفاده از حل معادلات تعائلی قبلی با استفاده از نرم افزار *Vensim* افزایش 5 درصدی تقاضا بررسی شده است. بر اساس نتایج، با این تغییر در پایان دوره، بازار با عدم تعادل و مازاد تقاضا روبه‌رو بوده است. بر اساس نمودارهای (2) و (3) قیمت جدید بازار برابر 293/75 ریال بر هر کیلووات ساعت، تقاضای جدید بازار 557/69 گیگاوات ساعت و عرضه 548/5 گیگاوات ساعت بوده است.

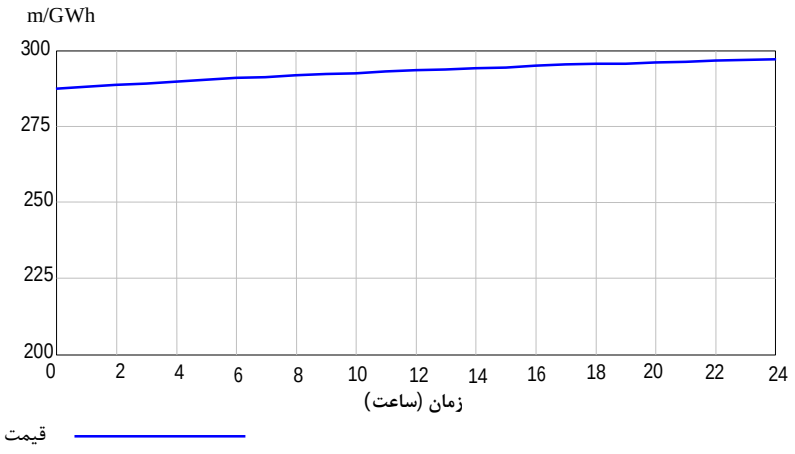
www.SID.ir

Archive of SID

نمودار 2: روند تغییرات عرضه و تقاضا در یک دوره 24 ساعته



نمودار 3: روند تغییرات قیمت در یک دوره 24 ساعته



2-6- سناریوی دوم: دوره‌ی زمانی یک ماهه، عدم امکان واردات

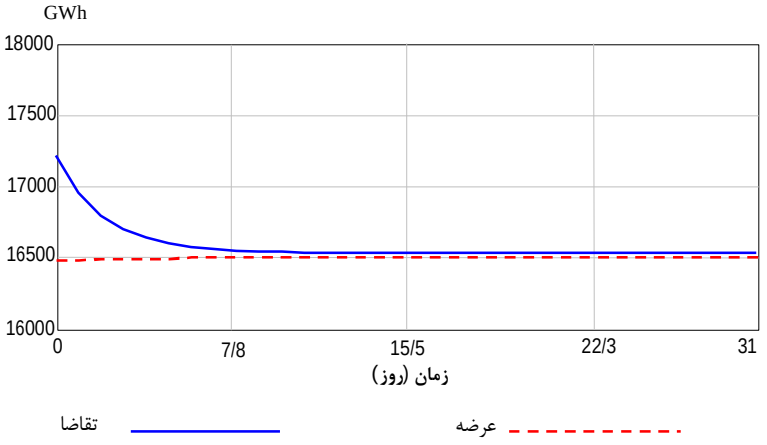
در آغاز دوره، قیمت تعادلی 283/68 ریال بر هر کیلووات ساعت و عرضه و تقاضای تعادلی 16448 گیگاوات ساعت بوده است. فرض استفاده از تمام توان عملی نیروگاه‌ها در نظر گرفته شده است. اگر در ابتدای دوره، تقاضا 5 درصد افزایش یابد، نتایج مدل مطابق نتایج نمودارهای (4) و (5) نشان می‌دهد که در پایان دوره، بازار با عدم تعادل

www.SID.ir

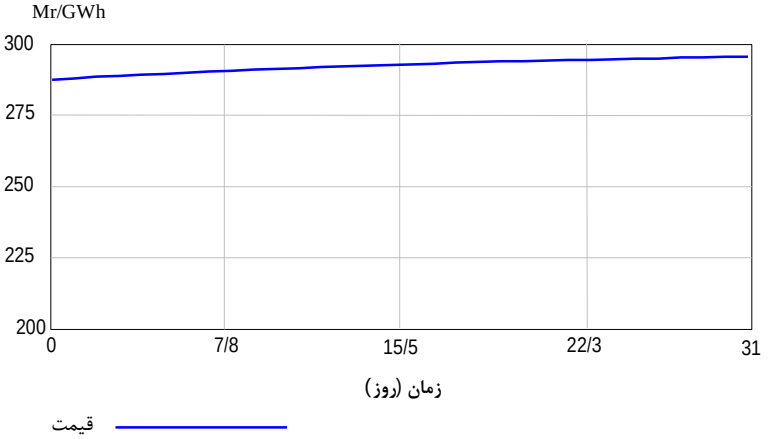
Archive of SID

مواجه شده است. به عبارت دیگر مازاد تقاضا همچنان برقرار بوده است. قیمت جدید بازار به 295/2 ریال بر هر کیلووات ساعت افزایش یافته است. تقاضا 16661/2 گیگاوات ساعت و عرضه برابر 16458/5 گیگاوات ساعت بوده است.

نمودار 4: روند تغییرات عرضه و تقاضا برای دوره‌ی یک ماهه بدون واردات



نمودار 5: روند تغییرات قیمت در یک دوره‌ی زمانی یک ماهه



3-6- سناریوی دوم: دوره‌ی زمانی یک ماهه، امکان واردات

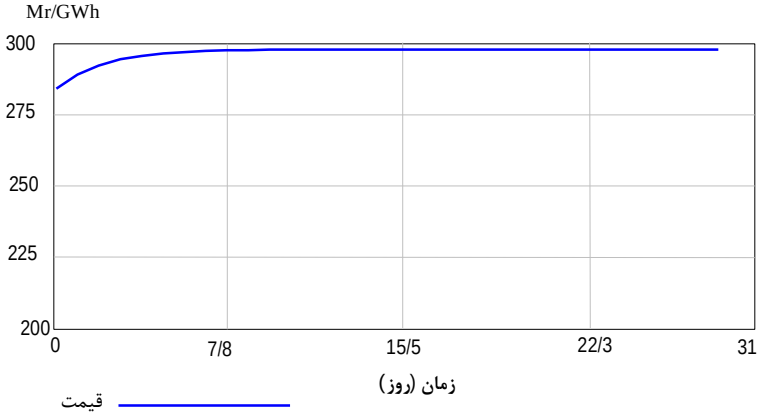
در آغاز دوره قیمت تعادلی 283/68 ریال بر هر کیلووات ساعت و عرضه و تقاضای تعادلی 16448 گیگاوات ساعت بوده است. با فرض استفاده از تمام ظرفیت تولیدی نیروگاه‌های داخلی با فرض افزایش 5 درصدی تقاضا مطابق نتایج نمودارهای (6) و (7)، بازار با مازاد تقاضا روبه‌رو بوده است. در صورت، پوشش

www.SID.ir

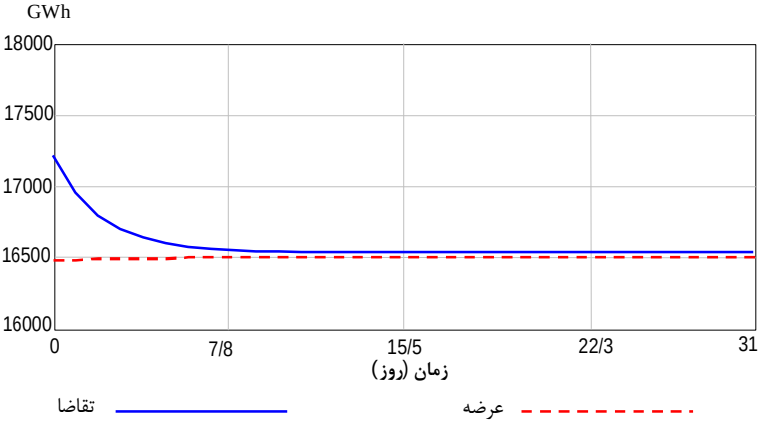
Archive of SID

مازاد تقاضای بازار برق با افزایش واردات طبق نتایج حاصل از مدل، بازار پس از بیست روز به تعادل رسیده است. در تعادل جدید، قیمت 299/92 ریال بر هر کیلووات ساعت و عرضه و تقاضا نیز در مقدار 16462/7 برحسب گیگاوات ساعت تعادل داشته است.

نمودار 6: روند تغییرات قیمت در یک دوره‌ی زمانی یک ماهه با امکان واردات



نمودار 7: روند تغییرات عرضه و تقاضا برای دوره‌ی یک ماهه با امکان واردات



7- نتیجه‌گیری

انرژی الکتریکی در افزایش رفاه و توسعه‌ی اقتصادی کشورها سهم انکارناپذیری دارد. به علت ماهیت ویژه این حامل انرژی از جمله لزوم تعادل لحظه به لحظه

www.SID.ir

Archive of SID

بازار و عدم امکان ذخیره‌سازی در حجم بالا، بازار برق از حساسیت بالایی برخوردار بوده است. در این تحقیق با استفاده از تکنیک صعود از تپه چگونگی رسیدن به تعادل در حالت خروج از تعادل بازار برق بررسی شده است.

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. این تحقیق در دو بازه‌ی زمانی یک روزه در ماه مرداد و یک ماهه (مردادماه) در سال 1386 با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی *Vensim* انجام شده است.

در طول دوره‌ی یک روزه به دلیل عدم امکان افزایش واردات و عدم پوشش ذخایر گردان و غیر گردان، با افزایش 5 درصدی تقاضا مازاد تقاضا برطرف نشده است. قیمت جدید بازار 293/75 ریال بر هر کیلووات ساعت، تقاضا 557/69 گیگاوات ساعت و عرضه 548/5 گیگاوات ساعت بوده است. در دوره‌ی زمانی یک ماهه بازار برق در پایان دوره با مازاد تقاضا روبه‌رو بوده است. فقط در دوره‌ی زمانی یک ماهه با امکان افزایش واردات، بازار به تعادل رسیده است. در این حالت قیمت تعادلی جدید 299/92 ریال بر هر کیلووات ساعت و عرضه و تقاضا نیز در سطح 16462/7 گیگاوات ساعت به تعادل رسیده است.

www.SID.ir

Archive of SID

فهرست منابع:

آمار تفصیلی صنعت برق ایران سال 1386.

پژوهان، جمشید و تیمور محمدی. (1379). قیمت گذاری بهینه برای صنعت برق. پژوهشهای اقتصادی ایران، 6 (3): 39-62.

حیدری، کیومرث. (1381). 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. (1381). روابط پویای بین متغیرهای کلان موثر بر تقاضای انرژی در ایران کاربردی از مدل تصحیح خطای برداری. فصلنامه پژوهشی دانشگاه امام صادق (ع)، 15: 139-111.

صادقی، حسین و مهدی ذوالفقاری. (1389). پیش بینی کوتاه مدت تقاضای برق کشور با استفاده از شبکه‌های عصبی و تبدیل موجک. اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)، 7(2): 56- 27.

عسکری، علی. (1380). تخمین تقاضای برق در بخش خانگی و برآورد کشش‌های قیمتی و درآمدی. مجله برنامه و بودجه، (63): 119- 103

منظور، داود و حسین رضائی. (1390). محاسبه قیمت سایه‌ای انرژی الکتریکی در بازار برق ایران. فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، 2(6): 172 - 155.

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

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.

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

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

Sterman 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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

www.SID.ir