Archive of SID

First International Comprehensive Competition Conference on Engineering Sciences in Iran
September 2016
Anzali - Iran
اولین مسابقه کنفرانس بین المللی جامع علوم مهندسی در ایران
WWW.IRAN3C.COM

بررسی اهداف مختلف تولید کنندگان از تبانی در بازارهای برق

سپیده نیکنام لیل آبادی[۱]، زهیر هوشی دقتی فومنی[۲*]
(sepideh.niknam@yahoo.com)
(hooshi@tabrizu.ac.ir)
۱و۲. گروه مهندسی برق- قدرت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

چکیده

چکیده از جمله مباحثی که پیش روی تصمیم گیران صنعت برق قرار دارد بررسی جنبه های مختلف تجدید ساختار این صنعت می‌باشد یکی از این مسایل امکان تبانی در بازار برق می باشد. از آنجا که در یک محیط تجدید ساختار یافته، برق نیز مانند یک کالا به تولید رسیده انتقال یافته و به فروش می رسد، امکان تبانی با استفاده از قدرت بازار توسط هر یک از بازیگران این بازار وجود دارد. حل مسأله تبانی می تواند دارای دو جنبه باشد، یافتن راهکار تبانی مطلوب توسط بازیگران بازار و تشخیص تبانی های احتمالی توسط ناظران بازار برق. در این مقاله نخست ویژگی های بازار برق در ارتباط با تبانی به همراه برخی موارد دیده شده از تبانی در بازارهی برق دنیا تشریح شده است و سپس بازاری با سه تولید کننده در نظر گرفته شده و نقطه تعادل نش برای این بازار به دست آمده است. با استفاده از الگوریتم ژنتیک شرایطی برای تبانی شرکت کنندگان بازار چنان محاسبه گردیده که سود هر سه آنها افزایش یابد سپس با احتساب سود شرکت کنندگان در شرایط تبانی تابع هزینه هرکدام از آنها بدست آمده است و از این طریق راهکاری برای مدلسازی خطی تابع هزینه تولید کنندگان یک بازار برق در نقطه تعادل نش و نقطه کار تبانی حاصل شده است. برای برنامه نویسی و شبیه سازی روابط ارائه شده از نرم افزار MATLAB بهره برده شده است در هر کدام از مباحث فوق محاسباتی انجام و ارایه گردیده است و پاسخ‌های ارایه شده در یک مسأله نمونه مورد آزمون قرار گرفته اند.

کلمات کلیدی: تبانی، تعادل نش، نظریه بازی‌ها، بازار برق.

۱- مقدمه

انحصاری بودن صنعت برق از سال ۱۹۶۸ میلادی به چالش کشیده است در حالی که بازیگران بازار در ابتدا در خصوص تغییرات و تکامل در آینده بازار و در خصوص قیمت برق نامطمئن بودند بعد از گذشت یک دهه کشورهای آمریکای جنوبی و پس از آنها کشورهای اروپایی دارای تغییرات ساختاری گردیدند. معاهده‌ای بین جامعه اقتصادی اروپا انجام گرفت مبنی بر تاسیس یک بازار آزاد داخلی که از انحصار جلوگیری و رقابت در آن تا سالیان متمادی تشویق گردد(علی خدادادی و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین در تاریخ ۱۹۹۶ مصوبه دیگری به تصویب رسید که بر اساس آن تا پایان سال ۲۰۰۵ میلادی اعضای اتحادیه اروپا موظف شدند شرایطی مناسب جهت اطمینان از دسترسی تولید کنندگان و مشتریان به شبکه های انتقال و توزیع فراهم

www.SID.ir

Archive of SID

نمایند. در اغلب کشورها تجدید ساختار رقابت آزاد و مناسب را در صنعت برق به وجود آورده است و طبق معاهده از حالت انحصاری به صورت رقابتی تبدیل شده است (loi lei lai,2002). تجدید ساختار و تاثیرات خصوصی سازی و عملکرد تولید برق در بازار در ۳۶ کشور در حال توسعه انجام شده است (Zhang, Y.F. Parker, D. and Kirkpatrick, C.2008). خصوصی سازی نیز به نوعی تجدید ساختار در صنعت برق می باشد و به مشتریان امکان انتخاب عرضه کنندگان برق خود را می دهد. تجدید ساختار خطوط انتقال و تولید کنندگان وشبکه توزیع از هم جدا می شوند که در کشورهای پیشرفته هدف کاهش قیمت انرژی برق و افزایش کیفیت آن برای مصرف کننده است (علی نقی مصلح شیرازی و همکاران،۱۳۹:۲۰۱۳-۱۶۱) و همچنین واحد های تولیدی بر اساس سود خود رقابت می کنند در حالیکه در کشورهای در حال توسعه فشار از روی دولت برادشته شود و به منظور تامین تولیدات کافی برای تامین مصرف روز افزون انرژی الکتریکی و افزایش بهره وری ، تشویق به سرمایه گذاری در بخش های خصوصی صورت می گیرد و فروش برق تولیدی به صورت رقابتی می باشد(عبداللهی و همکاران،۲۰۰۵).

۲ - تئوری بازی ها

در سال های اخیر تلاش های بسیاری جهت مدل سازی بازار برق صورت گرفته که عمدتاً مبتنی بر تئوری بازی هستند. تئوری بازی ها شاخه ای از ریاضیات کاربردی است که در قسمت های متفاوت و به خصوص در اقتصاد کاربردهای زیادی دارد این نظریه تلاش می کند تا نتیجه را به صورت ریاضی منطقی تعیین کند. استراتژی های بازیگران تعیین کننده نتیجه بازی خواهد بود همچنین بازیگران باید در تصمیمات خود هم همکاری و هم به تعارض توجه داشته باشند. در بازی هایی که امکان دست یابی تمام بازیگران به سود وجود دارد یا اینکه ضرر کنند درجات متفاوتی از تعارض وجود دارد و در سایر بازی ها بازی همکارانه در نظر گرفته می شود. تئوری بازی ها زمانی اهمیت دو چندان یافت که در سال ۱۹۹۴ جایزه نوبل اقتصادی به جان هاریزانی وجان نش و ریچارد سلتن جهت همکاری در آنالیز نقطه تعادل در بازی های غیر مشارکتی اهدا شد(Dr.micheal blake.2003). در بازار برق سود ناشی از فروش محصولات تولید شده برای شرکت کنندگان دارای اهمیت می باشد در نتیجه جهت کسب سود بیشتر قبل از ارائه پیشنهاد باید مواردی از جمله نحوه عملکرد دیگر بازیگران، قیمت برق در آینده، پیش بینی میزان مصرف در ساعات مختلف و همچنین محدودیت های فنی نیروگاه های سایر بازیگران و نیروگاه خود را در نظر گرفت تا بتواند بهترین پیشنهاد را در بازار ارائه دهد پاسخ بهینه در مسائل مربوط به تئوری بازی نقطه تعادل نش می باشد بازیگران جهت رسیدن به سود مناسب و شرایط پایدار باید استراتژی نش خود را انتخاب کنند(رضا کی پور, ۲۰۰۹). تنها خواست یک تولید کننده مطرح نیست بلکه دیگر بازیگران نیز سعی در بیشینه کردن سود خود از تولید محصولات دارند در این حالت بازیگران استراتژی های منطقی و معقول و راهبرد های خود را جهت به دست آوردن حداکثر سود انتخاب می کنند. برای هر سرمایه گذار یک راهبرد قابل انتخاب است و اگر راهکاری به غیر از آن را انتخاب کند به نتیجه مطلوب نخواهد رسید و با توجه به اینکه منابع تأمین سود محدود می باشد پس باید به طوری بین بازیگران تقسیم شود که اگر بازیگری در نظر داشته باشد تا سهم خود از سود را بالا ببرد نتیجه ی آن کاهش سهم بازیگر دیگر از مقدار سود شود و به دلیل اینکه انتخاب بازیگران بر اساس رفتار خردمندانه آنها می باشد پس نتیجه انتخاب خود را از قبل می دانند و بهترین حرکت را انجام می دهند(Wu Wei-Ku; Wen Dan-Hui.2007). اگر قیمت بالا باشد سطح مصرف خریداران کاهش خواهد یافت در نتیجه بازیگران قیمت محصولات خود را کاهش می دهند و یا اینکه تولید خود را افزایش می دهند تا فروش و سود خود را افزایش دهند. بازار برق به شکل یک بازار رقابت کامل در نظر گرفته می شود. تعداد بازیگران کم وکالای تولیدی همگن می‌باشد در نتیجه قیمت بازار به قدرت بازیگران و تبانی بین آنها بستگی دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

۳- تبانی در بازار برق

ترکیب و توافق بازیگران به منظور افزایش یا کاهش قیمت در بازار که باعث افزایش سود کلیه بازیگران شود را تبانی می گویند. تبانی به دو حالت ضمنی یا صریح صورت می گیرد در حالت ضمنی بازیگران هیچ ارتباطی با یکدیگر نداشته وطبق برداشتی که از قیمت دهی دیگر بازیگران می‌کنند برای داشتن سود بیشتر قیمت دهی می‌کنند در حالت صریح بازیگران با یکدیگر در ارتباطند و حتی در شرایط پایین بودن سطح بار نیز همکاری می نمایند و قیمت بالایی را طلب می کنند. در شرایطی که به دلیل کاهش تقاضا تبانی سود آور نباشد بازیگران قیمت را کاهش می دهند تا سود بیشتری به دست بیاورند. در یک تبانی بایستی دوره اولیه و مراحل شناسایی سپری گردد همچنین شرایطی مانند سطح بار و ساختار بازار در اعمال قدرت بازار متاثر است در حالیکه این امکان وجود دارد که در شرایطی مانند پایین بودن سطح بار و یا شرایط شبکه واحدها با یکدیگر همکاری نموده و قیمت را افزایش دهند. بازار برق از بسیاری جهات یک بازار یکتا به شمار می رود از این رو محلی مناسب برای تبانی به شمار می رود.کشش تقاضا در بازار برق برای انواع تقاضاهای مختلف خانگی تا صنعتی متفاوت است همچنین توابع هزینه واحدها و اختلاف بین تکنولوژی آن ها نیز یک مشکل اساسی در برقراری تبانی است. توانایی تولید کنندگان در بالا بردن قیمت به سطح بالاتر از هزینه نهایی تولید را قدرت بازار می نامند(حسن مردانی و همکاران،۲۰۱۰).

در یک بازار انحصار چندگانه، به دنبال رقابت و یا به میزان بیشتری تبانی بین واحدهای بازار افزایش قیمت حاصل می شود. در مقالاتی که تبانی در بازار برق را مورد قرار داده اند نتیجه چنین بوده که پس از طی دوره گذرای بازار و با مشخص شدن میزان قدرت واحدهای بازار افزایش قیمت در یک تبانی تعیین می گردد.جهت بدست آوردن افزایش قیمت، مقایسه ای بین تبانی واحدها و رقابت در فضای انحصار چندگانه صورت گرفته شده است. همانطور که گفته شد با توافق بین واحدها افزایش قیمت صورت می گیرد این در حالی است که مقدار بهینه این افزایش قیمت برای همه واحدها به صورت یکسان حاصل نمی-شود در نتیجه واحدهای بازار سعی بر آن دارند تا مقدار توافقی حاصله برابر مقدار پیشنهادی خود آنها باشد این امر موجب چانه زنی بین واحدها جهت راضی ساختن همدیگر در قبول قیمت پیشنهادی ایشان است. افزایش قیمت نهایی به موقعیت واحدها در بازار و بسته به وزن تعیین می گردد که بایستی این قیمت در بخش مثبت منحنی مازاد سود تمام واحدهای بازار قرار داشته باشد. در نتیجه به دلیل اینکه ممکن است قسمتی از تولید واحدهای ارزان کاهش یابد و در نتیجه به میزان تولید واحدهای گران تر افزوده شود ولی در حالت رقابتی هر یک از واحدها نسبت به میزان قدرت خود در بازار می توانند با تغییر در سطح تولید یا قیمت به طوریکه سود خود را افزایش دهند در قیمت بازار تغییری ایجاد کنند. نتایج نشان می دهند که سود انحصار از تبانی بیشتر است (آرمین محمد عظیم و همکاران،۱۳۸۹: ۴۴-۵۴).

همچنین می توان به مقاله ای اشاره نمود که در آن دو حالت رقابتی و حالتی که تبانی صورت گرفته شده است به وسیله یک الگوریتم ابتکاری بر مبنای PSO انجام شده است که نتایج حاصل شده نشان می دهد که قیمت بازار حتی در شرایط رقابت واحدها می تواند دارای مقدار بالاتر از حد هزینه حدی واحدها باشد که این مقدار نتیجه قدرت بازار هر یک از واحدهای بازار است. همچنین نشان داده شد که تبانی در بازار سبب تغییر بسیار زیاد قیمت در بازار و نیز کاهش نوسانات را در بر خواهد داشت(محمد عظیم آرمین و حبیب رجبی مشهدی،۲۰۱۱)

در یک مقاله به بررسی الگوریتمی جهت تشخیص پتانسیل واحدها در تشکیل تبانی با در نظر داشتن پاسخ سمت تقاضا به صورت تابعی از قیمت انرژی پرداختند و نقطه تعادل را با حل یک مسأله دو سطحی و با استفاده از پخش بار DC بدست

www.SID.ir

Archive of SID

آوردند. ISO اطلاعات مورد نیاز واحدها و شبکه را در اختیار دارد و با بکارگیری الگوریتمی که لیستی از ضرایب حساسیت را در نقطه تعادل نش بدست می آورد می تواند حساسترین واحد را نسبت به سایرین بدست آورد و از آن طریق می تواند پتانسیل تشکیل تبانی را شناسایی نماید (مریم طارمی و اصغر اکبری فرود،۲۰۱۱).

در یک مقاله بررسی یک روشی جدید برای تشخیص تبانی ضمنی را نشان می دهد . در این مقاله از روش بهینه سازی پراکنده برای پیدا کردن درآمد حاصل تبانی ضمنی و مقایسه آن با درآمد حاصل از تعادل نش استفاده شده است این روش ادغام تئوری بازی و تفکیک بهینه سازی به منظور پیش بینی درآمدهای بازار می باشد (Moiseeva, E.; Hesamzadeh, M.R.; Dimoulkas, I.. 2014: 1- 5).

در یک مقاله یک ابزار عملی برای اپراتورها در بازار و سیاست گذاران به منظور تجزیه و تحلیل قیمت آنی تعادل و رفتار استراتژیک از GENCO، با توجه تبانی ضمنی به علت تکرار مکرر این بازی، ارائه شده است. همچنین بوسیله چند مطاله نشان داده شده است که در یک بازار برق انحصاری ، به طور کلی GENCO ها ، با تبانی ضمنی نسبت به بدون تبانی دارای سود و بهره بالاتر و بیشتری هستند. علاوه بر این نتایج بازار به طور کلی بیشتر محافظه کارانه تر می شود. بنابراین، این الگوریتم می تواند تنظیم کننده اجرای قوانین بازار باشد که می تواند به کاهش تاثیر تبانی ضمنی کمک کند. (Nazir,M.S;Galiana,F.D.2012:1-8). اما در هیچکدام از مقالات توابع هدف مختلف مورد استفاده قرار نگرفته است.

۴- شبیه سازی بازار با فرض تبانی بین واحدها

در این مقاله ابتدا محاسبات مربوط به تبانی چند شرکت کننده در حالتی که تابع هزینه خطی است ارائه شده است و رابطه سود شرکت کنندگان در نقطه تعادل نش و شرایط تبانی به دست آمده است.

در این مدل بازار به تعداد سه شرکت کننده با توابع هزینه درجه دو در ذیل تعریف شده اند که به توافق رسیده اند تا تبانی با یکدیگر را بپذیرند که قیمت های پیشنهادی خود را به مقدار خاصی افزایش دهند سپس مدل خطی تابع هزینه برای برای این سه تولید کننده حاصل گردیده است و طی یک شبیه سازی مورد آزمایش قرار گرفته است. در حالت تئوری به صورت زیر محاسبه می شود:

$$C_A = ۱۵ + ۱.۴P_A + ۰.۰۴P_A^۲$$

$$C_B = ۲۵ + ۱.۶P_B + ۰.۰۵P_B^۲$$

$$C_C = ۲۰ + ۱.۸PC + ۰.۰۲P_C^۲$$

$$\pi = ۱۲۰ - D$$

$$D = P_A + P_B + P_C$$

$$\Omega = \pi P_A - C_A$$

در معادلات فوق π تابع تقاضا، Dکل عرضه، Ω سود شرکت کنندگان می باشد.

معادلات جهت محاسبه نقطه تعادل نش به صورت زیر بیان شده است:

www.SID.ir

Archive of SID

$$\Omega_A(P_A, P_B) = \pi(D).P_A - C_A(P_A) \quad (۱)$$

$$\Omega_B(P_A, P_B) = \pi(D).P_B - C_B(P_B) \quad (۲)$$

$$D = P_A + P_B \quad (۳)$$

$$\frac{\partial \Omega_A}{\partial P_A} = \pi(D) - \frac{dC_A}{dP_A} + P_A . \frac{d\pi}{dD} . \frac{dD}{dP_A} = 0 \quad (۴)$$

$$\frac{\partial \Omega_B}{\partial P_B} = \pi(D) - \frac{dC_B}{dP_B} + P_B . \frac{d\pi}{dD} . \frac{dD}{dP_B} = 0 \quad (۵)$$

نتایج طبق روابط (۱- ۵) بدین صورت حاصل می‌شود:

$$\frac{\partial \Omega_A}{\partial P_A} = \frac{\partial \pi}{\partial D} . \frac{\partial D}{\partial P_A} P_A + \pi - 1.4 - 0.08 P_A$$

$$= -2.08 P_A + 118.6 - P_B - P_C = 0$$

$$\frac{\partial \Omega_B}{\partial P_B} = \frac{\partial \pi}{\partial D} . \frac{\partial D}{\partial P_B} P_B + \pi - 1.6 - 0.1 P_B$$

$$= -2.1 P_B + 118.4 - P_A - P_C = 0$$

$$\frac{\partial \Omega_C}{\partial P_C} = \frac{\partial \pi}{\partial D} . \frac{\partial D}{\partial P_A} P_A + \pi - 1.8 - 0.04 P_C$$

$$= -2.04 P_C + 118.2 - P_A - P_B = 0$$

$$P_C = \frac{-P_A}{2.04} - \frac{P_B}{2.04} + \frac{118.02}{2.04}$$

$$-1.59 P_A - 0.51 P_B + 60.66 = 0$$

$$-0.51 P_A - 1.61 P_B + 60.46 = 0$$

www.SID.ir

Archive of SID

$P_A = 29.05$

$P_B = 28.36$

$P_C = 29.81$

با استفاده از نقطه تعادل نش قیمت و سود واحدها به این صورت بدست آمده است:

$\pi = ۳۲.۷۸ \quad \$/MWh$

$\Omega_A = 862.83\ \$$

$\Omega_B = 819.05\ \$$

$\Omega_C = 885.74\ \$$

طبق خاصیت مهم نقطه تعادل نش هیچکدام از بازیگران نمی توانند به تنهایی و با تغییر توان تولیدی خود، سود خود را افزایش دهند.

پس از حصول شرایط نقطه تعادل نش هدف رسیدن به شرایط تولیدی است که بازیگران سود بیشتری نسبت به این نقطه تعادل بدست بیاورند. رسیدن به این شرایط بدون همکاری تولید کنندگان با هم امکانپذیر نمی باشد. به این حالت تبانی اطلاق می گردد. برای بررسی شرایط تبانی و اینکه هرکدام از تولیدکنندگان باید چه مقدار توانی تولید کنند تا سودشان بیشتر شود از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک استفاده شده است.

توابع هدف مختلفی برای این الگوریتم قابل بیان می باشد. در این مقاله چهار نوع تابع هدف که هرکدام از دیدگاهی سود تولیدکنندگان را افزایش می دهد معرفی و استفاده گردیده است.

پارامترهایی که برای بهینه کردن توابع هدف استفاده شده اند عبارتند از میزان توان تولیدی هر واحد که در این مساله تعداد آنها ۳ عدد می باشد. قیمت برق و سود هرکدام از تولیدکنندگان تابعی از توانشان است.

اگر تابع هدف برابر مجموع سودهای سه تولیدکننده باشد داریم:

$$Obj.Func۱ = \Omega_A + \Omega_B + \Omega_C \qquad (۶)$$

اگر از رابطه (۶) استفاده شود امکان دارد مجموع سودها بیشینه گردد اما سود چند بازیگر تغییر چندانی ننماید. بنابراین لازمه استفاده از تابع هدف مذکور این است که تولید کنندگان هرکدام در شرایط تبانی با هم ملزم باشند که دیگران را هم در سود خود سهیم نمایند. نحوه تقسیم سود بین تولید کنندگان در این حالت بسته به توافق طرفین دارد.

اگر تولیدکنندگان تمایل داشته باشند که سود هرکدامشان بطور مستقل افزایش یابد می توان از تابع هدف ذیل (۷) استفاده نمود:

www.SID.ir

Archive of SID

$$Obj.Func۲ = \sqrt{\Omega_A} + \sqrt{\Omega_B} + \sqrt{\Omega_C} \qquad (۷)$$

در صورت استفاده از (۷) افزایش سود برای تمام تولیدکنندگان رخ خواهد داد.
اگر افزایش سود وزنی مدنظر باشد. یعنی تولید کننده ای که قبل از تبانی سود بیشتری داشته است ادعا کند که باید در شرایط تبانی نیز افزایش مضاعفی را تجربه نماید می توان از رابطه (۸) استفاده کرد.

$$Obj.Func۳ = \Omega_A^*(\Omega_A - \Omega_A^*) + \Omega_B^*(\Omega_B - \Omega_B^*) + \Omega_C^*(\Omega_C - \Omega_C^*) \qquad (۸)$$

که در آن $\Omega_C^*, \Omega_B^*, \Omega_A^*$ به ترتیب سودهای تولیدکنندگان C, B, A در تعادل نش می باشند.
اگر هدف از تبانی این باشد که واحد گرانتر که در شرایط سالم بازار نمی تواند تولید و سود مناسبی داشته باشد به تولید بیشتر بپردازد می توان تابع هدفی مانند رابطه (۹) تعریف کرد که منجر به افزایش نسبی سود و تولید واحد گرانتر گردد.

$$Obj.Func۴ = \frac{\Omega_A - \Omega_A^*}{\Omega_A^*} + \frac{\Omega_B - \Omega_B^*}{\Omega_B^*} + \frac{\Omega_C - \Omega_C^*}{\Omega_C^*} \qquad (۹)$$

نتایج حاصل از بهینه سازی روابط (۶) تا (۹) در جدول (۱) ذکر گردیده است.

جدول(۱) نتایج بهینه سازی با استفاده از توابع هدف

www.SID.ir

Archive of SID

	تولید A (MW h)	تولید B (MW h)	تولید C (MW h)	مجموع سودها	قیمت ($/MWh)
	سود A ($)	سود B ($)	سود C ($)		
	افزایش سود A	افزایش سود B	افزایش سود C		
تعادل نش	۲۹,۰۵	۲۸,۳۶	۲۹,۸۱	۲۵۶۷,۶۲	۳۲,۷۸
	۸۶۲,۸۳	۸۱۹,۰۵	۸۸۵,۷۴		
	۰	۰	۰		
Obj.Func1	۱۷,۹۳	۲۵,۹۶	۲۵,۹۶	۳۴۰۵,۶	۵۰,۱۵
	۱۰۳۵,۹	۸۳۱,۴	۱۵۳۸,۳		
	۱۷۳,۰۷	۱۲,۳۵	652.26		
Obj.Func2	۲۴,۶۸	۲۴,۳۹	۲۵,۴	۳۱۴۳,۹	۴۵,۵۱
	1049.6	1016.7	1077.6		
	186.77	197.65	191.86		
Obj.Func3	۱۷,۸۶	۱۴,۳۳	۲۶,۳۹	۳۴۰۵,۶	۶۱,۴۰
	۱۰۴۴,۵	۸۸۲,۰	1539.1		
	۱۸۱,۶۷	۳	۶۵۳,۳۶		
Obj.Func4	۱۵,۰۲	۲۷,۹۱	۱۵,۳۱	۳۳۹۰,۹۴	۶۱,۷۵
	۸۸۲,۴۸	۱۶۱۵,۳	۸۹۳,۱۶		
	۱۹,۶۵	۷۹۶,۲۵	۷,۴۲		

همانگونه که در جدول (۱) مشاهده می شود وقتی از تابع هدف ۱ استفاده می گردد مجموع سودها زیاد شده است اما سود تک تک واحدها افزایش چشمگیر نداشته است و فقط واحد C نفع قابل توجهی برده است. برای اینکه دو واحد دیگر هم به این تبانی رضایت بدهند لازم است که سود واحد C بین تمام واحدها تقسیم گردد. این قسمت بندی می تواند با توجه به سودهای پیشین هرکدام از واحدها در تعادل نش و به همان نسبت صورت بگیرد. در این صورت داریم:

$$\Omega_A = ۳۴۰۵.۶ \times \frac{۸۶۲.۸۳}{۲۵۶۷.۶۲} = ۱۱۴۴.۴۲$$

$$\Omega_B = ۳۴۰۵.۶ \times \frac{۸۱۹.۰۵}{۲۵۶۷.۶۲} = ۱۰۸۶.۳۵$$

$$\Omega_C = ۳۴۰۵.۶ \times \frac{۸۸۵.۷۴}{۲۵۶۷.۶۲} = ۱۱۷۴.۶$$

به نظر می آید این حالت بهترین و منصفانه ترین حالت برای تولیدکنندگان است به شرطی که تولیدکننده C به تقسیم سودش رضایت دهد. در غیر اینصورت نزدیکترین حالت به این شرایط حالتی است که از تابع هدف شماره ۲ استفاده می شود. با اینکه سود هرکدام از تولیدکنندگان کمی کمتر از C است اما احتیاج به تبادل پول بین تولیدکنندگان نیست.

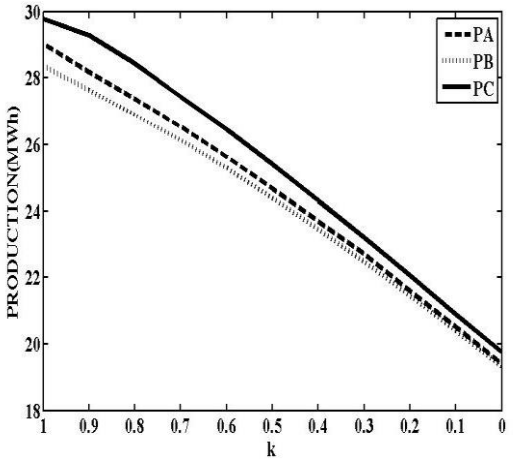
www.SID.ir

Archive of SID

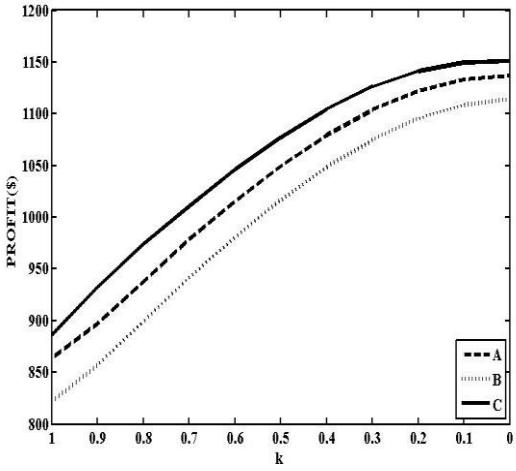
نکته ای که در جدول (۱) مشاهده می شود افزایش قیمت برق بر اثر وقوع تبانی بین تولیدکنندگان است که تشخیص وقوع تبانی را برای ناظر شبکه آسان می کند. در این راستا تولیدکنندگان می توانند با تغییر فرم تابع هدف به صورت (۱۰) تبانی را به صورت تدریجی پیاده کنند تا روند افزایش قیمت طبیعی تر به نظر بیاید.

$$Obj.Func_{\Delta} = \sqrt{\Omega_A} + \sqrt{\Omega_B} + \sqrt{\Omega_C} - k \times (\pi - \pi^*) \quad (۱۰)$$

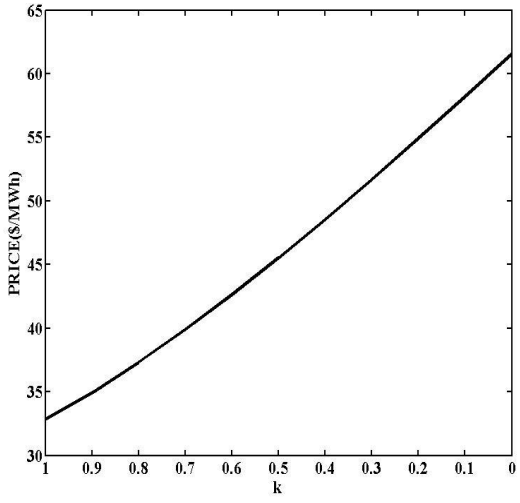
که در آن k ضریب پیشرفت تدریجی تبانی، π قیمت در شرایط تبانی و π^* قیمت در شرایط تعادل نش است.
شکلهای زیر روند این اتفاقات را نشان می دهند. شکل (۱) نشانگر نحوه تغییرات توان تولیدی هر واحد و شکل (۲) نشانگر نحوه تغییرات سود آنها است. شکل (۳) هم نمودار تغییرات قیمت در طول این فرآیند است.



شکل(۱) تغییرات توان تولیدی هر واحد



شکل (۲) تغییرات سود



شکل (۳) تغییرات قیمت در طول فرآیند

www.SID.ir

Archive of SID

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک امکان تبانی در یک بازار برق با سه شرکت کننده بررسی شده است. تبانی کنندگان با کمک ۴ تابع هدف سعی بر بیشینه کردن سود خود از بازار شدند. در حالت اول سود واحدها افزایش یافته است و یکی از واحدها افزایش سود چشمگیری داشته است که طبق توافق بایستی واحدهای دیگر را در سهم خود شریک کند. اما در حالت دوم هر یک از واحدها به صورت مستقل سود خود را از بازار دریافت کرده‌اند. در حالت سوم واحدی که پیش از تبانی سود بیشتری داشته است در نتیجه می تواند ادعا کند که در شرایط تبانی نیز بایستی افزایش سود بیشتری داشته باشد که این حالت منطقی‌تر می‌باشد. در حالت چهارم واحد گران‌تر افزایش نسبی سود و تولید داشته است. اما از نتایج بدست آمده حالت دوم محتمل‌تر می‌باشد. همچنین ناظران باید به این نکته نیز توجه داشته باشند که واحدها می توانند جهت طبیعی نشان دادن قیمت در بازار به حالت پله‌ای قیمت را افزایش دهند. هدف کیفیت بازار است و اینکه بتوان تبانی را تشخیص داد.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

۱- آرمین محمد عظیم، رجبی مشهدی حبیب، لطفعلی پور محمدرضا (۱۳۸۹) « مدل سازی تبانی واحدهای تولیدی در بازار برق به کمک نظریه بازی‌ها»، مجله کنترل;۴ (۲) : ۴۴-۵۴

۲- حسن مردانی، مجتبی جورلی و غلامرضا لطیف شبگاهی (۲۰۱۰) «سنجش قدرت بازار در بازار برق ایران»، بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق

۳- عبداللهی، امیر، واعظی، کاوه و سارا افاضاتی (۲۰۰۵) «تجدید ساختار در صنعت برق ایران» هشتمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق، ایران، تهران

4- علی خدادادی،ودود قاسم طالبی،محمد حسینعلی زاده (۲۰۱۱)«تاثیر قیمت های ضربه ای بر روی پیش بینی قیمت انرژی در صنعت برق تجدید ساختار شده»، بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق

5- علی نقی مصلح شیرازی،احمد طالب نژادو نرگس زمانی(۲۰۱۳) «بررسی تداوم استراتژی های تجدید ساختار صنعت برق ایران» ، شناسنامه علمی شماره، دوره ۲ شماره ۸، صفحه ۱۲۹-۱۶۱

6- رضا کی پور ؛ مریم حضرتی؛ نرجس قرایی و فرشید صالحی(۲۰۰۹) «تعادل نش در بازار رقابتی برق با در نظر گرفتن تراکم»، *بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق*، تهران، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو،

7- محمد عظیم آرمین،حبیب رجبی مشهدی(۲۰۱۱) « شبیهسازی تبانی در بازار برق با کمک الگوریتمPSO»، نوزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران

8- مریم طارمی و اصغر اکبری فرود (۲۰۱۱) « بررسی تاثیرات پاسخ سمت تقاضا و قیود شبکه بر روی امکان بروز و موفقیت تبانی در بازارهای برق»، *بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق*، تهران، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو

9. Dr Michieal blake. (2003). "Game Theory and Electricity Markets". Drayton Analytics Research paper serieas

10. Loi Lei Lai. (2002). power system restructuring and deregulation. John Wiley & Sons Ltd ,, pp 172-217,.

11. Moiseeva, E.; Hesamzadeh, M.R.; Dimoulkas, I. (2014) “Tacit Collusion with Imperfect Information: Ex-Ante Detection” IEEE Conference & Exposition,pp.1- 5

12. Nazir, M.S.; Galiana, F.D. (2012)“ Fast computation of equilibrium market outcomes considering tacit collusion” IEEE International Conference on the European Energy Market (EEM),pp. 1 - 8

13. Wu Wei-Ku; Wen Dan-Hui. (2007) “Preventing Tacit Collusion in Chinese Electricity Reform,” IEEE International Conference on Service Systems and Service Management, pp. 1-5

14. Zhang, Y.F. Parker, D. and Kirkpatrick, C., (2008). Electricity sector reform in developing countries: an econometric assessment of the effects of privatization, competition and regulation, Journal of Regulatory Economics, Vol. 33: 159–178.

www.SID.ir