بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده : برق

گروه : قدرت

عنوان: بدست آوردن نقطه تعادل نش-کارنو در یک بازار شامل نیروگاه های حرارتی و بررسی قدرت بازار

دانشجو : داود عباسی

استاد راهنما :

دکتر محسن اصیلی

استاد مشاور:

دکتر مرتضی رحیمیان

پاییز ۹۱

تقدیر و تشکر

از آنجا که من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق بر خود لازم می‌دانم از اساتید و دوستان عزیز که به صور مختلف مرا در انجام پروژه یاری کرده‌اند تشکر کنم. در ابتدا از آقایان دکتر محسن اصیلی و دکتر مرتضی رحیمیان که راهنمای من در قسمتهای سخت پروژه بوده‌اند کمال تشکر را دارم و توفیق روز افزون ایشان را از خداوند متعال خواستارم.

همچنین لازم می‌دانم از دوست عزیزم جناب آقای دکتر عبدالرضا علوی که یاریگر من بوده‌اند کمال تشکر را داشته باشم.

در ادامه از همسر عزیزم که ایشان نیز در کلیه مراحل صبورانه مرا یاری رساند تشکر ویژه دارم.

چکیده

تجربه های غیر رقابتی در صنعت برق بخصوص در بخش تولید، منجر به پیدایش مفهومی به نام قدرت بازار شده است. زمانی که مالک یک واحد تولیدی بتواند به طرز قابل توجهی (به صورت انحصاری) بر قیمت تأثیر گذار باشد قدرت بازار ظهور پیدا می کند. با توجه به اهمیت موضوع کارهای مختلفی برای ارزیابی این پارامتر و جلوگیری از بروز آن صورت گرفته است. در این پایان نامه ابتدا اصول ریاضی تئوری بازی، تابع نیکایدو ایزودا و ضریب ریسک پذیری به صورت کامل بررسی شده و جزییات با ذکر مثال های مختلف تشریح شده اند. در ادامه موارد فوق با ذکر مرجع در شرایط مشابه پیاده سازی شده و صحت کارکرد روش نشان داده شده است. سپس جهت بررسی قدرت بالقوه بازار با استفاده از تغییر شرایط عرضه و تقاضا، حالت هایی که ممکن است در آنها قدرت بازار بوجود آید شبیه سازی شده و قدرت بازار با شاخص هایی عددی نشان داده شده است. روش استفاده شده بدلیل سرعت بالا و اعتمادپذیری مناسب قابلیت بکارگیری آنلاین را نیز دارد.

کلمات کلیدی- تئوری بازی، الگوریتم ریلکسیشن، قدرت بازار، نیکایدو ایزودا، بازار برق.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

1- **Title:** Market power Analysis Based on Relaxation Algorithm and the Nikaido-Isoda Function in Electricity Markets.
Journal: International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)
Details: Vol. 2, Issue. 5, Sep.-Oct. 2012 pp-3810-3814

۲- **عنوان**: ارزیابی قدرت بازار در بازار برق با استفاده از تئوری بازی و تابع نیکایدو ایزودا

بیست و یکمین کنفرانس مهندسی برق ایران، ۲۴-۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۲- مشهد مقدس

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱-مفاهیم مربوط به بازار ۳

۱-۲- مروری بر روشها، مدلهای تعادل و کاربرد آنها در بررسی قدرت بازار ۸

فصل دوم: نقطه تعادل نش ۱۵

۲-۱-مقدمه ۱۶

۲-۲- بازی استراتژیک ۱۶

۲-۲-۱- تعریف ۱۶

۲-۲-۲- مثالی از یک بازی استراتژیک متناهی ۱۸

۲-۲-۳- توضیحی بر چگونگی تعبیر نمودن بازیهای استراتژیک ۱۹

۲-۳- تعادل نش ۲۰

۲-۳-۱- تاریخچه نظریه نش ۲۰

۲-۳-۲- تعریف مفهوم نش ۲۱

۲-۳-۳- چند مثال از نش ۲۲

۲-۴- وجود تعادل نش ۲۶

۲-۵- بازی های اکیداً رقابتی ۲۸

۲-۶- بازی های بیزی: بازی استراتژیک با اطلاعات ناکافی ۳۰

۲-۷- پایداری در نقطه تعادل نش ۳۱

فصل سوم :تئوری بازی و عملکرد تابع نیکایدو ایزودا در بدست آوردن نقطه تعادل نش ۳۴

۳-۱-مقدمه ۳۵

۳-۲- تئوری بازی ۳۵

۳-۳- الگوریتم ریلکسیشن و تابع نیکایدو ایزودا ۳۸
۳-۳-۱- مقدمه ای بر مفاهیم و تعریف ها ۳۸
۳-۳-۲- تابع نیکایدوایزودا ۳۹
۳-۳-۳- الگوریتم ریلکسیشن ۴۰
۳-۴- پیاده سازی تابع نیکایدوایزودا به همراه الگوریتم ریلکسیشن ۴۰
۳-۴-۱- حل تحلیلی تابع نیکایدوایزودا ۴۱
۳-۴-۲- حل عددی تابع نیکایدو ایزودا ۴۲
۳-۴-۳- ماتریس هسین ۴۳
۳-۴-۴- پیاده سازی نمونه برگرفته از مدل ۳۰ باس IEEE ۴۵
فصل چهارم: ارزیابی قدرت بازار با استفاده از تابع نیکایدو ایزودا ۵۲
۴-۱- مقدمه ۵۳
۴-۲- مفهوم قدرت بازار و شاخص های محاسبه آن ۵۴
۴-۲-۱- قدرت بازار ۵۴
۴-۲-۲ نحوه محاسبه قدرت بازار ۵۵
۴-۲-۳- شاخص HHI ۵۵
۴-۲-۴- شاخص هانا و کای ۵۶
۴-۲-۵- شاخص ضریب آنتروپی ۵۶
۴-۲-۶- شاخص عرضه باقی مانده بازار ۵۷
۴-۳- ارزیابی ساختار ۵۷
۴-۴- مدل کردن سهم نیروگاهها در بازار برق ۵۹
۴-۵- بررسی اجمالی نتایج سناریوهای گفته شده ۷۹
۴-۶- نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۰

مراجع ٨٢

.

فهرست اشکال

شکل (۳-۱): توان تولیدی مربوط به هر کمپانی ۵۰

شکل (۴-۱): میزان توان تولیدی هر کمپانی بر حسب مگاوات در الاستیسیته تقاضا های مختلف ۶۱

شکل (۴-۲): نحوه تغییرات تولید هر شرکت از نقطه شروع شبیه سازی تا رسیدن به تعادل نش در سه حالت ۶۳

شکل (۴-۳): میزان توان تولیدی هر کمپانی بر حسب مگاوات در الاستیسیته تقاضا های مختلف ۶۵

شکل (۴-۴): نحوه تغییرات تولید هر شرکت از نقطه شروع شبیه سازی تا رسیدن به تعادل نش در سه حالت ۶۷

شکل (۴-۵): میزان توان تولیدی هر کمپانی بر حسب مگاوات در الاستیسیته تقاضا های مختلف ۶۹

شکل (۴-۶): نحوه تغییرات تولید هر شرکت از نقطه شروع شبیه سازی تا رسیدن به تعادل نش در سه حالت ۷۰

شکل (۴-۷): میزان توان تولیدی هر کمپانی بر حسب مگاوات در الاستیسیته تقاضا های مختلف ۷۳

شکل (۴-۸): نحوه تغییرات تولید هر شرکت از نقطه شروع شبیه سازی تا رسیدن به تعادل نش در سه حالت ۷۴

شکل (۴-۹): میزان توان تولیدی هر کمپانی بر حسب مگاوات در الاستیسیته تقاضا های مختلف ۷۶

شکل (۴-۱۰): نحوه تغییرات تولید هر شرکت از نقطه شروع شبیه سازی تا رسیدن به تعادل نش در سه حالت ۷۷

فهرست جداول

جدول (۲-۱): نمایشی ساده از یک بازی دو نفرهٔ استراتژیک که هر کدام از بازیگران دو حرکت دارند ۱۸
جدول (۲-۲): تابع بازده باخ یا استراوینسکی ۲۲
جدول (۲-۳): تابع بازده موتسارت یا ماهلر ۲۳
جدول (۲-۴): تابع بازده معمای زندانی ۲۴
جدول (۲-۵): تابع بازده کبوتر- باز ۲۵
جدول (۲-۶): تابع بازده سکه های جفت ۲۵
جدول (۳-۱): واحدهای تولیدی مربوط به هر کمپانی، کف و سقف تولید مجاز هر یک و کف و سقف تولید کل کمپانی ها به تفکیک ها ۴۶
جدول (۳-۲): ضرایب c و d و e مربوط به هر یک از واحدهای تولیدی ۴۷
جدول (۳-۳): توان تولیدی و سود واحدهای تولیدی مربوط به هر کمپانی به تفکیک ۵۰
جدول (۴-۱): ضرایب c,d و ماکزیمم و مینیمم تولید هر نیروگاه و نیروگاه های متعلق به هر کمپانی ۵۹
جدول (۴-۲): سود کل و هر کمپانی به تفکیک به همراه قیمت در هر حالت ۶۰
جدول (۴-۳): سهم تولید هر کمپانی به درصد و شاخص HHI در هر حالت ۶۱
جدول (۴-۴): ضرایب c,d و ماکزیمم و مینیمم تولید هر نیروگاه و نیروگاه های متعلق به هر کمپانی ۶۴
جدول (۴-۵): سود کل و هر کمپانی به تفکیک به همراه قیمت در هر حالت ۶۵

جدول (۴-۶): سهم تولید هر کمپانی به درصد و شاخص HHI در هر حالت ۶۶
جدول (۴-۷): ضرایب c,d و ماکزیمم و مینیمم تولید هر نیروگاه و نیروگاه های متعلق به هر کمپانی ۶۷
جدول (۴-۸): سود کل و هر کمپانی به تفکیک به همراه قیمت در هر حالت ۶۸
جدول (۴-۹): سهم تولید هر کمپانی به درصد و شاخص HHI در هر حالت ۶۹
جدول (۴-۱۰): ضرایب c,d و ماکزیمم و مینیمم تولید هر نیروگاه و نیروگاه های متعلق به هر کمپانی ۷۱
جدول (۴-۱۱): سود کل و هر کمپانی به تفکیک به همراه قیمت در هر حالت ۷۲
جدول (۴-۱۲): سهم تولید هر کمپانی به درصد و شاخص HHI در هر حالت ۷۲
جدول (۴-۱۳): ضرایب c,d و ماکزیمم و مینیمم تولید هر نیروگاه و نیروگاه های متعلق به هر کمپانی ۷۵
جدول (۴-۱۴): سود کل و هر کمپانی به تفکیک به همراه قیمت در هر حالت ۷۵
جدول (۴-۱۵): سهم تولید هر کمپانی به درصد و شاخص HHI در هر حالت ۷۶
جدول (۴-۱۶): ضرایب c,d و ماکزیمم و مینیمم تولید هر نیروگاه و نیروگاه های متعلق به هر کمپانی ۷۸
جدول (۴-۱۷): سود کل و هر کمپانی به تفکیک به همراه قیمت در هر حالت ۷۹
جدول (۴-۱۸): سهم تولید هر کمپانی به درصد و شاخص HHI در هر حالت ۷۹

فصل اول

مقدمه

صنعت برق در ابتدا به صورت یک ساختار انحصاری بوجود آمد که به صورت نظارتی بهره‌برداری می‌شد. در ساختار انحصاری وظیفه‌ی تولید، انتقال و توزیع برق در هر منطقه بر عهده‌ی شرکت (شرکت‌های یکپارچه شده با ساختار عمودی (VIU)[1]) بوده و به این ترتیب این شرکت‌ها دارای حق انحصاری[2] در آن منطقه می‌باشند. در سیستم اولیه، مصرف‌کنندگان در خرید انرژی الکتریکی مورد نیاز خود هیچ‌گونه حق انتخابی ندارند و تنها گزینه برای آنها، خرید از شبکهٔ توزیع برق واقع در محل سکونتشان است.

به دنبال ظهور نتایج حاصل شده از روند تجدید ساختار[3]، خصوصی سازی و ایجاد رقابت در صنایعی دیگری چون مخابرات، هواپیمایی، . . . ایده تجدید ساختار در صنعت برق نزد تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران این صنعت قوت گرفت. هر چند در ابتدا به نظر می‌رسید به دلایل مختلفی چون عدم امکان ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی در مقیاس بالا، لزوم برقراری تعادل لحظه‌ای بین عرضه و تقاضا و عدم پاسخگویی تقاضا به تغییرات قیمت در لحظه‌ی بهره‌برداری، مشکلات و موانعی در سر راه روند تجدید ساختار و ایجاد رقابت در این صنعت ایجاد کند ولی با وجود این مسائل، روند تغییر ساختار از حالت انحصاری به رقابتی در بسیاری از کشورهای دنیا آغاز گردید.

تولیدکنندگان در صنعت برق تجدید ساختار شده، انرژی الکتریکی را همانند یک کالای اقتصادی به صورت کاملاً آزادانه تحت شرایط معینی خرید و فروش می‌نمایند. در این میان سیاست‌گذاران بر این باورند که با ایجاد رقابت در این صنعت نیز تحولات تکنولوژیکی ارزشمندی به همراه امکانات بیشتر برای مصرف‌کنندگان مهیا می‌گردد. خصوصی‌سازی در صنعت برق به منظور تشویق بخش خصوصی به سرمایه‌گذاری در این عرصه بوده [۱،۲،۳] و به همین منظور دولت‌ها به سمت تحویل اموال دولتی شرکت‌های تولیدکننده و بهره‌بردار به شرکت‌های خصوصی رفته‌اند[۴, ۵]. با توجه به افزایش پیچیدگی بازار به دلایل فوق در این فصل یکسری مفاهیم مربوط به بازار به اختصار مرور

[1] Vertically Integrated Utility(VIU)
[2] Monopoly franchise
[3] Restructuring

میگردد و سپس استراتژی تئوری بازی که برای مدل کردن رفتار بازیگران بازار از آن استفاده کرده ایم، مفهوم تعادل نش در بازار و در نهایت اصلی ترین مفهوم بازار یعنی میزان ایجاد رقابت سالم یا همان قدرت بازار توضیح داده شده است.

۱-۱- مفاهیم مربوط به بازار:

بازار برق چه رقابتی و چه انحصاری دارای مدل های مختلفی است. جهت رسیدن به اهداف بازار برق رقابتی چندین مدل مختلف برای ساختار بازار در نظر گرفته شده است[۶]. سه مدل اصلی در ادامه تشریح می شود.

مدل پولکو:

پولکو یک بازار متمرکز است که بازار را برای خریداران و فروشندگان، به تعادل می رساند. فروشندگان و خریداران توان، پیشنهادات خود را برای مورد معامله به بازار ارائه می‌کنند. فروشندگان، نه برای مشتریهای خاص، بلکه برای کسب حق تامین انرژی شبکه، با یکدیگر به رقابت می پردازند. اگر پیشنهاد شرکت کننده ای در بازار بیش از حد بالا باشد، ممکن است نتواند در فروش، موفق باشد. از طرف دیگر، خریداران برای خرید توان به رقابت می پردازند و در صورتی که پیشنهاد آنها بیش از حد پائین باشد، ممکن است موفق به خرید نشوند. در این بازار تولید کنندگان کم هزینه برندگان عمده خواهند بود. ایزو[۴] در پولکو توزیع اقتصادی بار را انجام خواهد داد و قیمت لحظه‌ای را برای برق ارائه می کند. شرکت کنندگانی که پیشنهادشان پذیرفته می شود قیمتی را که برابر بالاترین پیشنهاد برنده شده می باشد دریافت می کند و از آنجایی که ممکن است این قیمت از قیمت واقعی پیشنهاد دهندگان انتخاب شده بیشتر باشد لذا پیشنهاد دهندگان تمایل پیدا می کنند تا سهم خود در بازار را افزایش دهند که این امر منجربه خروج تولید کنندگان باقیمت بالا

[4] : Independent System Operator

از بازار خواهد شد. تغییرات در بازار برق، قیمت را به سطحی که مساوی با هزینه نهایی بهترین پیشنهاد دهندگان است سوق می دهد. پاسخ میزان مصرف به قیمت می‌تواند سبب کاهش نیاز به تولید کنندگان گران قیمت، که به ندرت استفاده می شوند گردد[۷].

مدل قراردادهای دو جانبه (دسترسی مستقیم):

قراردادهای دو جانبه، توافقهای مذاکره ای بین دومعامله گر برای دریافت و تحویل توان است. شرایط مورد توافق، مستقل از ایزو است، به عبارتی دیگر شرایط قرارداد بوسیله دو طرف بدون هیچ واسطه گری از سوی اپراتورهای سیستم تنظیم می شود، اما ایزو باید تایید کند که آیا ظرفیت انتقال کافی برای اجرای قرارداد و حفظ ایمنی شبکه انتقال وجود دارد. از این دیدگاه که طرفین می‌توانند شرایط مطلوب خود را تامین کنند، مدل قراردادهای دو جانبه قابلیت انعطاف زیادی دارد اما عیب آن به هزینه های بالای مذاکرات و تهیه قراردادها و متعهد بودن طرفین قرارداد باز می گردد. در این مدل مشتریان و تولید کنندگان بطور غیر مستقیم و از طریق اپراتور بازار با یکدیگر در ارتباطند. که اپراتور بازار در این مدل وظیفه بررسی مشکلاتی اعم از مدیریت تراکم، تلفات و خدمات جانبی دیگر را بر عهده دارد[۸].

مدل ترکیبی:

این مدل قسمتهای مختلف دو مدل قبل را ترکیب می کند. در مدل ترکیبی، استفاده از پولکو اجباری نیست و هر مشتری مجاز است به منظور تامین توان مورد نیاز خود به توافق مستقیم با عرضه کنندگان برسد یا توان را به قیمت لحظه ای بازار خریداری کند. در این مدل پولکو به تمامی شرکت کنندگان اعم از خریداران و فروشندگان که قرار دادهای دو طرفه را امضا نکرده اند، خدمات لازم را ارائه می دهد. اما اجازه به مشتریان برای مذاکره خرید توان با عرضه کنندگان، امکان انتخاب حقیقی را برای آنها ایجاد کرده و انگیزه ای برای خدمات وسیع، متنوع و گزینه های قیمت به

منظور بهترین امکان تامین نیازهای آنها خواهد بود. به عبارتی دیگر مصرف کنندگان نهایی با حداکثر انعطاف پذیری میتوانند برق را از بازار و یا بطور مستقیم از تولید کنندگان خریداری کنند، که این مسئله مهمترین مزیت این مدل از بازار می باشد.

عیب مدل ترکیبی آن است که مدلی بسیار گران برای شروع است، بدین دلیل که به دو قسمت جدا از هم{ بورس برق (PX) و هم سیستم انتقال}نیاز دارد[۶].

پس از مشخص شدن مدل بازار، عوامل موثر در مدل و اهمیت نسبی هر یک باید مشخص شود تا هنگام شبیه سازی و بررسی آن مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به گوناگونی صنایع برق بسته به مکان جغرافیایی و یا منطقه ممکن است برخی عوامل ذکر شده حذف و یا کم اهمیت تر شوند. در بازار برق عوامل مهم عبارتند از [۶،۹،۱۰].

اپراتور مستقل سیستم که به عنوان اصلی ترین عضو سیستم بهای انتقال را تعیین نموده، ایمنی سیستم را حفظ کرده و نقشی نیز در برنامه‌ریزی بلند مدت سیستم دارد. لفظ مستقل بدین علت اطلاق می‌شود که در یک محیط رقابتی، سیستم باید بگونه بهره‌برداری شود که به نفع یا ضرر یکی از شرکت‌کنندگان در بازار نباشد، لذا اپراتور مستقل سیستم مستقل از هر شرکت کننده بازار، اعم از مالکین انتقال، تولیدکنندگان، شرکتهای توزیع و مصرف کنندگان نهایی، عمل می‌کند و باید امکان دسترسی آزاد غیر قابل تبعیضی را برای تمام استفاده‌کنندگان از سیستم انتقال فراهم آورد.

در برخی از سیستمهای نوین برق، وظیفه ایجاد، کنترل و هدایت بازار برق از نظر اقتصادی بجای ایزو، بر عهده بورس برق است. معمولترین وظیفه بورس برق آن است که به عنوان بازاری برای پیشنهادات عرضه و تقاضای برق عمل کرده و قیمت تسویه بازار را تعیین نماید. به تمامی پیشنهاد دهندگان انتخاب شده، صرفنظر از قیمتهای درخواستی آنها، قیمت برق بر اساس قیمت تسویه بازار پرداخت می شود و این امر سبب می‌شود تا پیشنهاد دهندگان بازار رقابت به سمتی تمایل پیدا کنند تا برق را نزدیک به هزینه نهایی تولید خود قیمت گذاری کنند. برای مثال در صنعت برق انگلیس و ولز، وظیفه ایزو و PX هر دو در شرکت ملی شبکه (NGC) وجود دارد[۱۱].

عنصر بعدی بسیار مهم شرکتهای تولیدی[۵] هستند که مسئول بهره برداری و نگهداری نیروگاهها در بخش تولید هستند. این شرکت‌ها همچنین می‌توانند سرویس‌هایی نظیر تنظیم، کنترل ولتاژ و ذخیره را نیز برای فروش ارائه دهند که برای حفظ کیفیت و ایمنی عرضه برق مورد نیاز اپراتور سیستم[۶] است. یک شرکت تولیدی ممکن است خود مالک واحد (یا واحدهای) تولیدی بوده یا از طرف مالکین واحدها با بازار تماس داشته باشد. دسترسی آزاد به شبکه انتقال به شرکت های تولیدی این امکان را می‌دهد که بدون تبعیض و بطور عادلانه به شبکه انتفال دسترسی داشته و با یکدیگر به رقابت بپردازند. هدف شرکت‌های تولیدی حداکثر کردن سود با بهره‌برداری مناسب از واحدهای تولیدی خود می‌باشد. به عنوان نقطه کلیدی بازار این شرکت های تولیدی هستند که قیمت را تعیین می‌کنند و علاوه بر آن سرمایه‌گذاران نیز سرمایه های خود را در این قسمت به کارگیری می‌نمایند. نقطه اتصال سیستم تولید به شبکه مصرف در یک ناحیه جغرافیایی مشخص شرکت انتقال[۷] است. شرکت‌های انتقال هیچگونه مالکیت یا وابستگی با دیگر شرکت کنندگان بازار ندارند و لذا در تعیین قیمت معمولا ثابت فرض شده و یا به عنوان یک ایجاد کننده محدودیت امکان دارد در کاهش یا افزایش تولید شرکت های تولیدی بنا بدلیل موقعیت جغرافیایی نقش ایفا کنند.

در کنار شرکت های تولید و توزیع در بازار نیاز داریم که محدوده روابط بین ایزو و سایر عناصر بازار توسط نهادی مستقل تعیین شود. قانونگذار[۸] نهادی دولتی است که مسئول تضمین برقراری انصاف و بهره‌بردای با بازده[۹] در بخش صنعت برق می‌باشد. این نهاد قوانین بازار برق را تعیین یا تأیید کرده و موارد مشکوک در استفاده نادرست از این قوانین را بررسی می‌کند. کلیه عناصر بازار حتی مشتریان[۱۰] باید تحت مقررات تعیین شده توسط قانونگذار به فعالیت در بازار بپردازند[۱۲, ۱۳].

---

[5]. Generating Companies (Gen Co)
[6]. System Operator
[7]. Transmission Companies(TransCo)
[8]. Regulator
[9]. Efficient
[10]. customers

مهمترین و آخرین حلقه بازار برق مشتری یا همان مصرف کننده نهایی برق است که در حالت مشتری کوچک به سیستم توزیع و در حالت مشتری عمده، به سیستم انتقال متصل است. در صنعت برق تجدیدساختارشده مشتری برق مورد نیاز خود را به صورت مستقیم از شرکت های تولیدی‌ها خریداری نموده و یا ممکن است که آن را از طریق خرده‌فروش‌ها و یا جمع‌کننده‌ها تأمین نماید[۶].

هم شرکت های تولیدی و هم مصرف کنندگان جهت برنامه ریزی و تصمیم گیری هر چه بهتر و بدست آوردن ماکزیمم سود تمایل دارند اطلاعات کاملی از وضعیت قیمت برق داشته باشند. پیش‌بینی قابل قبول قیمت برق برای برای مصرف کنندگان جهت مدیریت مصرف و کاهش هزینه ها بسیار ضروری و راهگشا می‌باشد. از طرف دیگر، پیش بینی قیمت تصمیم‌گیریهای تولیدکننده را به گونه‌ای جهت‌دهی می‌کند که از ریسک کمتری برخوردار بوده و منجر به کسب درآمد بیشتر برای آنها گردد[۱۶,۱۵,۱۴].

برای پیش بینی قیمت بر اساس مدل، به صورتی که همه تولید کنندگان بازار حداکثر رضایت مندی ممکن را داشته باشند متداول ترین مفهوم شناخته شده نقطه تعادل نش محسوب می‌شود. نقطه تعادل نش نقطه پایداری است که هر تخطی از آن منجر به کاهش سود شرکت تولیدی خاطی می‌گردد. در قسمت دوم این فصل مفهوم تعادل نش و روشهای رسیدن به آن و در ادامه کاربرد آن در بیان عدالت در رقابت یا همان مفهوم قدرت بازار تشریح شده است.

۱-۲- مروری بر روشها، مدلهای تعادل و کاربرد آنها در بررسی قدرت بازار

هدف بازار خصوصی یا رقابتی ایجاد انگیزه برای سرمایه گذاری است. لازمه این کار ایجاد یک فضای کاملا رقابتی و دور از انحصار می‌باشد. تمامی عوامل موثر در بازار باید در این زمینه به صورت مناسب جهت دهی شود. در صورتی که قانونگذار قوانین را بدرستی تدوین کرده باشد عدالت در رقابت را می‌توان با شاخص هایی تحت عنوان قدرت بازار نشان داد. قدرت بازار برای یک تولید کننده خاص به فرم تحمیل قیمت مورد نظر آن شرکت به بازار تعریف می‌گردد که این قیمت با قیمت تعادل اختلاف دارد. در حقیقت قدرت بازار را می‌توان به صورت توانایی یک یا جمعی از فروشندگان برای کنترل قیمت لحظه‌ای، کنترل خروجی کل یا کنارگذاری رقبا از بازار مربوطه برای دورهٔ زمانی قابل توجه تعریف نمود که بدیهی است وجود آن به معنای انحصاری شدن بازار است. قدرت بازار می‌تواند از رقابت در تولید توان، کیفیت خدمات و ابداعات تکنولوژیکی جلوگیری کند. نتیجه خالص قدرت بازار، انتقال ثروت از خریداران به فروشندگان از طریق ایجاد انحصار است.

انحصار در بازار یا قدرت بازار ممکن است به صورت عمدی یا تصادفی تجربه شود. به عنوان مثال در زمینهٔ تولید، یک تولید کننده می‌تواند میزان زیادی از تولید را به بازار عرضه و واحدهای ضعیف تر یا گرانتر را از گردونه رقابت خارج کند. یا همین تولید کننده در حالتیکه بازار با کمبود تولید ممکن است روبرو شود با وارد مدار کردن واحدهای گرانقیمت خود به بهانه حفظ قابلیت اطمینان در حالی که واحدهای ارزانتر در دسترس بوده‌اند قیمت را به نفع خود افزایش دهد. قیود انتقال و محدودیت های شبکه در موارد خاص به صورت اتفاقی می‌تواند ظرفیت انتقال را در یک ناحیه بخصوص محدود کند و موجب کمبود توان در آن ناحیه و قدرت بازار برای تولید کننده‌ای شود که در آن ناحیه است و محدودیتی از نظر قیود شبکه برای عرضه توان ندارد. وجود اطلاعات ساعتی قیمت یا قیمت متفاوت در ساعات مختلف می‌تواند مشتریان را به مدیریت مصرف و کم مصرف کردن زمانی که در ساعت اوج قیمتها بالا می‌روند تشویق کند. فقدان اطلاعات ساعتی می‌تواند شرکتهای تولید کننده را به افزایش قیمتها به نفع خود در شرایطی که منابع کم است تشویق کند در حالیکه

مشتریان و مصرف کنندگان آگاهی از وضعیت موجود دارند. در دوره اولیه تجدید ساختار، مالکان انتقال می توانستند با ارائه اطلاعات صحیح انتقال به شرکتهای تولید وابسته به خود و عدم ارائه آن به دیگر رقبا قدرت بازار را تجربه کنند. مقامات مسئول در صنعت برق باید شرایطی را که در آن برخی شرکتها صاحب قدرت می‌شوند تشخیص داده و آنرا اصلاح کنند. هر گاه بازار به طور عادلانه تحقق نیابد، یک فروشنده خاص می تواند قیمتها را به صورت سودآوری بالاتر از سطوح رقابتی به بازار تحمیل کند. از آن جا که هزینه های تحقق یافته تولید، جزو اطلاعات محرمانه واحدهای تولیدی هستند و دسترسی به آن ها جز در شرایط خاص ممکن نیست، بنابراین در جهت کشف منشا قدرت بازار لازم است شاخص هایی طراحی شوند که بدون نیاز به اطلاعات خصوصی بازیگران قادر به تشخیص قدرت بازار باشند. توانایی پیش بینی قدرت بازار پیش از به کارگیری آن و محاسبه میزان همبستگی میان قدرت بازار و قیمت برق در بازار را می‌توان از دیگر ویژگیهای یک شاخص خوب دانست. در بازاری همچون بازار برق ایران که مالکیت و مدیریت اغلب نیروگاهها تا چند سال پیش دولتی بوده است، این احتمال وجود دارد که هنوز برخی از فروشندگان از قدرت اقتصادی خود بی‌خبر بوده و از آن استفاده نکنند. بنابراین باید توجه خاصی به قدرت بازار بالقوه داشت. قانونگذار در تدوین قوانین، مدل و برهمکنش بین اجزای سیستم باید طوری طراحی شود که تا حد امکان احتمال این موضوع و یا تمرکز منابع مشخص شود و با اتخاذ تدابیر مناسب هیچ تولیدکننده و یا عنصر خاصی در مدل قابلیت تحمیل نظرات خود، متفاوت با نقطه تعادل کلی سیستم را نداشته باشد.

برای تشخیص قدرت بازار بالقوه و جلوگیری از رخدادن آن، ایزو باید بتواند مدل بازار را پیاده سازی و رفتار بازیگران در آنرا از قبل پیش بینی نماید. یکی از جدیدترین و بهترین روشهای موجود در شبیه سازی سیستمهای اینچنینی تئوری بازی است. نظریه بازی‌ها در تلاش است توسط ریاضیات رفتار سیستم را در شرایط راهبردی یا بازی‌ها، که در آنها موفقیت فرد در انتخاب کردن وابسته به انتخاب دیگران می‌باشد، بدست آورد. یک بازی شامل مجموعه‌ای از بازیکنان، مجموعه‌ای از

حرکت‌ها یا راهبردها و نتیجه مشخصی برای هر ترکیب از راهبردها می‌باشد. پیروزی در هر بازی تنها تابع یاری شانس نیست بلکه اصول و قوانین ویژه خود را دارد و هر بازیکن در طی بازی سعی می‌کند با به کارگیری آن اصول خود را به برد نزدیک کند. هدف نهایی این دانش یافتن راهبرد بهینه برای بازیکنان است.

بدست آوردن سود حداکثر در دراز مدت در حقیقت رقابتی بین تولید کنندگان محسوب می شود. این رقابت در قالب یک بازی که بازیکنان آن تولید کنندگان برق می باشند قابل مدل سازی است. کلیه بازیکنان اعم از تولیدکننده و مصرف کنندگان در صددند که در این بازی منافع بیشتری را بدست آورند. در چنین شرایطی لازم است تولید کنندگان ضمن توجه به فعالیتهای خود به فعالیتهای سایر رقبا نیز توجه نموده و استراتژی خود را بر اساس عملکرد آنها تعیین نمایند. پس بطور خلاصه این نظریه دارای دو جزء می باشد. در جزء اول هر بازیکن حرکت خود را در بازی بطور منطقی براساس حرکت رقبا انتخاب می کند. درجزء دوم هر یک از بازیکنان در خلال بازی فرض می‌کند که حرکت حریف یک حرکت صحیح و درست می‌باشد. در این قسمت از نظریه بازیها مفهوم تعادل نش وارد می‌شود. مجموعه ای از راهبردها را در صورتی می‌توان تعادل نش در نظر گرفت که هیچیک از بازیکنان با تغییر یک جانبه استراتژی خود در بازی، نتواند بهتر عمل کند. تعادل نش یک راه حل از نوع فضای حالتی است که در آن تصمیم بازیگران به دانش آنها از تعادل وابسته می-باشد. تعادل نش برای بازی های استراتژیک استفاده می‌گردد. یک بازی استراتژیک مدلی از تصمیم گیری برهم کنشی است که در آن هر تصمیم گر برنامه حرکت خود را یک بار و برای همیشه انتخاب می‌کند، و این انتخاب به صورت همزمان انجام می گیرد. این مدل از مجموعه ای متناهی از N بازیگر و برای هر بازیگر i یک مجموعه از حرکتها X_i و یک رابطه اولویت روی مجموعه حرکات تشکیل شده است. تفاوت اساسی یک بازی استراتژیک با یک مساله تصمیم گیری، در لزوم تعریف تابع اولویت روی مجموعه X به جای X_i ها می‌باشد. هر بازیگر نه تنها باید نگران حرکتهای خود باشد، بلکه باید به حرکت بازیگران دیگر هم توجه داشته باشد. اگر مجموعه حرکت های هر بازیگر متناهی

باشد، بازی را متناهی می نامیم. انعطاف پذیری مدلبازی‌های استراتژیک این امکان را به وجود می-آورد که در وضعیت های بسیار متنوعی بکار رود. یک بازیگر ممکن است یک انسان به صورت یک فرد، یا هر موجود تصمیم گیرنده دیگری مانند یک دولت، هیات مدیره یک شرکت و یا رهبر یک جنبش انقلابی باشد. مدل هیچ محدودیتی روی مجموعه حرکت های موجود برای یک بازیگر ندارد. برای مثال، این امکان وجود دارد که مجموعه مذبور تنها تعداد اندکی عضو داشته باشد و یا یک مجموعه بزرگ شامل نقشه های پیچیده که در برگیرنده اتفاقات متنوعی است، باشد. با این وجود محدوده کاربرد مدل با توجه به لزوم وجود یک رابطه اولویت برای هر بازیگر محدود می گردد. برای به دست آوردن نتایج جالب توجه از یک مساله، می‌بایست به ویژگی های خاص آن نیز توجه نمود. در بعضی از مسایل اولویتها به طور طبیعی بر روی حرکتهای بازیگران تعریف نمی‌گردد و بر روی نتایج حرکتهای بازیگر تعریف می‌شوند. گاهی ما درپی مدل سازی شرایطی هستیم که نتیجهٔ نمای حرکتهای بازیگران قبل از حرکت برای آنها آشکار نیست و تحت اثر متغیرهای تصادفی برونی می-باشد و تنها بعد از حرکت است که بازیگران میتوانند پی به نتیجه کار خود ببرند. هر بازیگر جزییات بازی و این واقعیت که تمامی بازیگران عقلانی حرکت می‌کنند را می‌داند و بازیگران حرکاتشان را تواماً و مستقل از هم انتخاب می‌نمایند. با این تعبیر هر بازیگر هنگامی که حرکت خود را انتخاب میکند از انتخاب هایی که توسط دیگران شده است بی اطلاع است. در این مدل هیچ اطلاعاتی بجز اصول تعریف شده در مدل که بتوان برپایه آن رفتار دیگر بازیگران را پیش‌بینی نمود وجود ندارد. در مدلسازی یک سیستم با استفاده از بازی استراتژیک تنها مساله دارای اهمیت تصمیم گیری مستقل بازیگران است، به زبان دیگر هیچ بازیگری اطلاعی از انتخاب سایر بازیگران قبل از حرکت خود ندارد. برای محاسبه تعادل در یک بازی استراتژیک بین کلیه عوامل از مفهوم نش کمک می‌گیریم که برای اولین بار در نظریه انحصار چند جانبه مورد استفاده قرار گرفته است[20]. در تئوری نش-کارنو آمده که بنگاه ها چگونه محصول بیشتر برای تولید حداکثر کردن سود خود انتخاب میکنند و با این حال، بهترین محصول برای یک شرکت بستگی به محصولات دیگران دارد. تعادل نش هنگامی که

هر بنگاه سود هر محصول خود را با توجه به محصول های شرکت های دیگر حداکثر می کند رخ می‌دهد. مفهوم نوین تئوری بازی و تعادل نش بر حسب استراتژی های ترکیبی تعریف می‌گردد. جایی که بازیکنان یک توزیع احتمال از اقدامات امکان پذیر مواجهند و در این شرایط انتخاب می کنند. در این حالت تعادل نش پرکاربردترین الگوریتم حل در نظریه بازیها می‌باشد. یک بازی استراتژیک یا همان مدل بازار یک سیستم چند متغیره (دارای چند عنصر مهم) و چند بعدی (دارای چند تولید کننده) محسوب می‌شود. برای حل چنین سیستم چند بعدی و محاسبه درست نقطه تعادل نش نیاز به یک رابطه ریاضی مناسب است که بتواند فضای جستجوی چند بعدی نش را به یک فضای تصمیم گیری واحد تبدیل کند. برای این کار در این پایان نامه از رابطه نیکایدو ایزودا استفاده شده است[25]. تابع نیکایدو ایزودا در واقع مجموع تغییر سود کلیه بازیگران با توجه به عملکرد جدید هر بازیگر به صورت مستقل و به ازای ثابت ماندن عملکرد بقیه بازیکنان است. با توجه به توضیحات قبل هرگاه در نقطه تعادل نش باشیم این عدد تغییر سود باید به صفر برسد. حال در یک بازی به صورت طبیعی کلیه بازیگران یا همان تولیدکنندگان سعی می‌کنند این عدد را به ازای عملکرد مجموعه بازیگران دیگر ماکزیمم کنند. این حرکت ها یا تلاش ها در نهایت به نقطه تعادل نش ختم می‌شود.

اگر هر شرکت تولیدی فقط به سود خود فکر کند و فرض کند سایر بازیگران شرایط قبلی خود را حفظ می‌کنند ممکن است بدلیل حرکات جدید آنان دچار خسارت سنگین شود و لذا عقلانی است برای بالا بردن ضریب اطمینان و کم کردن ریسک، قسمتی از شرایط قبلی خود را در برنامه ریزی لحاظ کند. میزان لحاظ کردن شرایط قبلی و تغییر استراتژی بر اساس برآورد جهت بالا بردن سود تابع قدرت ریسک پذیری شرکت تولید کننده است. برای مثال اگر شرکتی در هر بازه زمانی فقط ده درصد عملکرد جدید از خود نشان دهد و نود درصد سیاست قبلی خود را حفظ کند بدیهی است که شرکتی محافظه کار محسوب می‌شود و بالعکس اگر نود درصد تغییر داشته باشد و تنها ده درصد از وضعیت قبلی خود را حفظ کند ریسک پذیری بالایی دارد. این موضوع که چند درصد

تغییر مطلوب است تابع پارامترهای زیادی است. برای مثال شرایط ثبات اقتصادی، ثبات قوانین، افزایش مصرف با توجه به رشد اقتصادی، برنامه ریزیهای کلان و بلند مدت و .... همه می‌توانند در این موضوع موثر باشند.

بدست آوردن نقطه تعادل بازار در شرایط مشخص با استفاده از تابع نیکایدوایزودا و اعمال ضریب ریسک پذیری توسط افراد مختلف قبلا صورت گرفته است. در [23] تابع نیکایدو ایزودا و الگوریتم ریلکسیشن برای مدل ۳۰ باس IEEE و یک بازار قرارداد دو جانبه با ۳ باس پیاده سازی و نتایج آورده شده است که بدلیل اهمیت موضوع و نشان دادن صحت روش شبیه سازی انجام شده در این پایان نامه کلیه نتایج [23] دوباره تحت همان شرایط محاسبه و انطباق کامل آنها با نتایج مقاله نشان داده شد. در [24] همین روش در سناریویی متفاوت برای بازاری با تعداد بالای نیروگاه آبی (بازار شیلی) پیاده شده است. [25] نیز مشابه [23, 24] عملکرده است با این تفاوت که کاربردهای متفاوتی را مثال زده است. در این پایان نامه ابتدا اصول ریاضی تئوری بازی، تابع نیکایدو ایزودا و ضریب ریسک پذیری به صورت کامل در فصول دو و سه بررسی شده و جزییات با ذکر مثال های مختلف تشریح شده اند. در نهایت در فصل سه نتایج مراجع گذشته، با ذکر مرجع در شرایط مشابه پیاده سازی شده و صحت کارکرد روش پیاده شده نشان داده شده است. پس از اطمینان از صحت کارکرد روش پیاده شده، جهت بررسی قدرت بالقوه بازار در فصل چهار از این روش و نقطه تعادل محاسبه شده توسط آن استفاده شده است. قدرت بازار بدلیل اهمیت آن در مراجع مختلفی و در شرایط متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. در [۳۰، ۳۱، ۳۲] برای محاسبه قدرت بازار و عوامل رخداد آن در بازارهایی با ساختارهای کاملا متفاوت و عوامل موثر گوناگون بررسی های مختلفی صورت گرفته است. در این پروژه از بین حالات مختلف ممکن برای شرکت های تولیدی از نظر نحوه تخصیص منابع سیستم (نیروگاهها) چند حالت مختلف انتخاب و تحلیل برای این حالات (سناریوها) صورت گرفته است. بدیهی است بدترین حالت ممکن در اختیار داشتن تمامی نیروگاهها توسط یک شرکت (بازار انحصاری) و بهترین حالت تخصیص نیروگاهها به صورت کاملا مساوی چه

از نظر راندمان و هزینه تولید و چه از نظر شرایط جغرافیایی و منطقه ای به تمامی شرکتهاست. حالات دیگر مابین این دو قرار خواهند گرفت. شاخص های محاسبه قدرت بازار که معمولا در بازارهای رقابتی به آنها استناد می‌شود از مراجع مختلف [۲۷، ۲۸] استخراج و در نهایت به ازای یک شاخص مناسب قدرت بازار در بین سناریوهای مختلف مقایسه شده است. نتایج بدست آمده در فصل چهار انطباق کاملی با استدلالات شهودی مبتنی بر سناریوها دارند.

فصل دوم

نقطه تعادل نش

۲-۱-مقدمه

در این فصل به مطالعه مدلهای برهمکنش استراتژیک میان عاملها که به نام بازی استراتژیک مشهور هستند خواهیم پرداخت. این مدل برای هر بازیگر یک مجموعه از حرکتهای ممکن و یک ترتیب اولویت بر روی این حرکتهای ممکن را مشخص می‌نماید. در ادامه تعادل نش[11] را که به طور گسترده به عنوان راه حل برای بازیهای استراتژیک استفاده گردیده توضیح خواهیم داد. سپس به توضیح دو تعادل نزدیک به هم به یعنی تعادل استراتژی آمیخته و تعادل همبسته که در آنها حرکتهای بازیگران لزوماً قطعی نیستند میپردازیم. تعادل نش یک راه حل از نوع فضای حالتی است که در آن تصمیم بازیگران به دانش آنها از تعادل وابسته میباشد. در نهایت مفاهیم راه حل استنتاجی به مانند عقلانی سازی و حذف حرکات مغلوب که فرض دانستن ماهیت تعادل توسط بازیگران دیگر وجود ندارد مطالعه می‌گردد و توضیح مدلی از دانش آورده شده که شالوده راه حلهای تعریف گشته می‌باشد.

۲-۲- بازی استراتژیک

۲-۲-۱- تعریف

یک بازی استراتژیک مدلی از تصمیم گیری برهم کنشی است که در آن هر تصمیم گر برنامه حرکت خود را یک بار و برای همیشه انتخاب می کند، و این انتخاب به صورت همزمان انجام می گیرد. این مدل از مجموعه ای متناهی از N بازیگر و برای هر بازیگر i یک مجموعه از حرکتها X_i و یک رابطه اولویت روی مجموعه حرکات تشکیل شده است. تفاوت اساسی یک بازی استراتژیک با یک مساله تصمیم گیری، در لزوم تعریف تابع اولویت روی مجموعه X به جای X_iها می‌باشد. هر بازیگر نه تنها باید نگران حرکتهای خود باشد، بلکه باید به حرکت بازیگران دیگر هم توجه داشته باشد. اگر مجموعه حرکت های هر بازیگر متناهی باشد، بازی را متناهی می نامیم.

[11] Nash Equilibrium

درجه بالای انتزاعی بودن مدل این امکان را به وجود می‌آورد که در وضعیت های بسیار متنوعی بکار رود. یک بازیگر ممکن است یک انسان به صورت یک فرد، یا هر موجود تصمیم گیرنده دیگری مانند یک دولت، هیات مدیره یک شرکت، رهبر یک جنبش انقلابی یا حتی یک گیاه یا حیوان باشد. مدل هیچ محدودیتی روی مجموعه حرکت های موجود برای یک بازیگر ندارد. برای مثال، این امکان وجود دارد که مجموعه مذبور تنها تعداد اندکی عضو داشته باشد و یا یک مجموعه بزرگ شامل نقشه های پیچیده که در برگیرنده اتفاقات متنوعی است، باشد. با این وجود محدوده کاربرد مدل با توجه به لزوم وجود یک رابطه اولویت برای هر بازیگر محدود می گردد. رابطه اولویت یک بازیگر می تواند به سادگی بازتابی از احساس او از برآمدهای ممکن یا در مورد یک موجود زنده(مثل یک گیاه) که آگاهانه عمل نمی کند، شانس موفقیت او در تولید مثل باشد.

این واقعیت که مدل فوق مدلی بسیار انتزاعی است از یک سو از محاسن آن است که موجب کاربرد آن در

محدوده وسیعی از مسائل می گردد، اما به دلیل آنکه مدل به ویژگی های منحصر به فرد مساله وابسته نیست، نقطه ضعفی برای آن محسوب می گردد. در واقع در این مدل نتایج معدودی از برآمد بازی به دست می‌آید. برای به دست آوردن نتایج جالب توجه از یک مساله، می‌بایست به ویژگی های خاص آن نیز توجه نمود.

در بعضی از مسایل اولویتها به طور طبیعی بر روی حرکتهای بازیگران تعریف نمی‌گردد و بر روی نتایج

حرکتهای بازیگر تعریف می‌شوند. برای مثال، در مدل سازی انحصار چند جانبه، مجموعه بازیگران را مجموعه بنگاه‌های موجود میگیریم و مجموعه حرکتهای آنها را مجموعه قیمتهای ممکن انتخابی بنگاهها تعریف می‌نماییم، در این مساله ما علاقمند به مدلسازی این فرض هستیم که بنگاه ها تنها سود را در نظر میگیرند و به شرایط دیگر کاری ندارند.

گاهی ما درپی مدل سازی شرایطی هستیم که نتیجهٔ نمای حرکتهای بازیگران قبل از حرکت برای آنها آشکار نیست و تحت اثر متغیرهای تصادفی برونی[۱۲] می‌باشد و تنها بعد از حرکت است که بازیگران میتوانند پی به نتیجه کار خود ببرند.

۲-۲-۲- مثالی از یک بازی استراتژیک متناهی

جدول (۲-۱): نمایشی ساده از یک بازی دو نفرهٔ استراتژیک که هر کدام از بازیگران دو حرکت دارند.

	L	R
T	$_2, W_1W$	$_2, X_1X$
B	$_2,Y_1Y$	$_2, Z_1Z$

در جدول فوق یک بازی استراتژیک متناهی که در آن دو بازیگر وجود دارند آورده شده است. حرکات یک بازیگر در سطرها و حرکات بازیگر دیگر در ستونها قابل مشاهد می‌باشند. در دو عددی که محل برخورد سطر و ستون در جدول قرار میگیرند مولفه اول بازدهی بازیگر سطر و دیگری بازده بازیگر ستون در بازی می‌باشد. بدین طریق در بازی نشان داده شده در جدول فوق مجموعه حرکتهای بازیگر سطر، T, B و برای بازیگر ستون L, R خواهد بود. برای مثال بازده کار (T, L) برای بازیگر سطرW_1 و و بازده بازیگر ستونW_2 خواهد شد.

[12] Exogenous

۲-۲-۳- توضیحی بر چگونگی تعبیر نمودن بازیهای استراتژیک

تعبیر معمول از یک بازی استراتژیک، مدل واقعه‌ای می باشد که تنها یک بار اتفاق میافتد. هر بازیگر جزییات بازی و این واقعیت که تمامی بازیگران عقلانی هستند را میداند و بازیگران حرکاتشان را تواماً و مستقل از هم انتخاب می‌نمایند.

با این تعبیر هر بازیگر هنگامی که حرکت خود را انتخاب میکند از انتخاب هایی که توسط دیگران شده است بی اطلاع است. در این مدل هیچ اطلاعاتی بجز اصول تعریف شده در مدل که بتوان برپایه آن رفتار دیگر بازیگران را پیش‌بینی نمود وجود ندارد.

تعبیر دیگر این است که بازیگران می‌توانند چنین پیش بینی از رفتار دیگران را (بر پایه اطلاعاتی که از روش بازی دارند و یا بازیهای مشابه که در قبل انجام یافته) انجام دهند. تنها زمانی میتوان دنباله ای از بازیها را با بازی استراتژیک مدل سازی نمود که ارتباط استراتژیکی میان دنباله این بازیها وجود نداشته باشد. در واقع در این نوع تعبیر از بازی استراتژیک، فردی که بازی را به تعداد زیاد بازی میکند می‌بایست تنها بازده لحظه‌ای را در نظر گرفته و اثر حرکت فعلی خود را بر رفتار آینده سایر بازیگران نادیده انگارد. در این نوع تلقی، بازی استراتژیک مدلی مطلوب برای شرایطی است که ارتباط استراتژیک و دائمی میان رویدادن برهمکنش ها وجود ندارد.

هنگامی که به حرکتهای بازیگران در یک بازی استراتژیک به عنوان حرکتهای توام اشاره می‌نماییم، لزوماً به این معنا نیست که این حرکات در یک لحظه از زمان صورت گرفته اند. می‌توان این نوع بازی را اینگونه در نظر گرفت که، بازیگران در مکانهای مختلفی در مقابل یک ترمینال رایانه قرار گرفته اند و حرکات بازیگران و بازده برای عموم آنها توضیح داده شده از این رو دانش مشترکی میان تمامی بازیگران وجود دارد. سپس هر بازیگر حرکت خود را انتخاب کرده و با یک پیغام به رایانه مرکزی ارسال می‌دارد، زمانی که تمامی پیغامها دریافت شدند، بازیگران از مقدار بازده حرکت خود آگاه خواهند شد. در هر حال، کارایی بازی استراتژیک بسیار گسترده تر از مثال بالا می‌باشد. در مدلسازی

یک سیستم با استفاده از بازی استراتژیک تنها مساله دارای اهمیت تصمیم گیری مستقل بازیگران است، به زبان دیگر هیچ بازیگری اطلاعی از انتخاب سایر بازیگران قبل از حرکت خود ندارد.

۲-۳- تعادل نش

۲-۳-۱- تاریخچه نظریه نش

یک نسخه از مفهوم تعادل نش برای اولین بار توسط آنتونی آگوستین کارنو[۱۳] در نظریه خود در انحصار چند جانبه مورد استفاده قرار گرفت [۱۷]. در تئوری کارنو آمده که بنگاه ها چگونه محصول بیشتر برای تولید حداکثر کردن سود خود انتخاب میکنند. با این حال، بهترین محصول برای یک شرکت بستگی به محصولات دیگران دارد. تعادل کارنو هنگامی که هر بنگاه سود هر محصول خود را با توجه به محصول های شرکت های دیگر حداکثر می کند رخ می‌دهد. مفهوم نوین تئوری بازی از تعادل نش بر حسب استراتژی های ترکیبی تعریف شده است. جایی که بازیکنان یک توزیع احتمال از اقدامات امکان پذیر را انتخاب می کنند. مفهوم استراتژی ترکیبی تعادل نش توسط جان فون نویمان[۱۴] و اسکار مورگنسترن[۱۵] در [۱۷] با عنوان نظریه بازی ها و رفتار اقتصادی معرفی شده است. با این حال، تجزیه و تحلیل آنها برای حالت خاصی از بازی با مجموع صفر محدود بود. آنها نشان دادند که استراتژی ترکیبی تعادل نش برای هر بازی مجموع صفر با یک مجموعه متناهی از اقدامات وجود خواهد داشت. جان فوربز نش[۱۶] در [۱۷] به تعریف یک استراتژی مختلط تعادل نش برای هر گونه بازی با یک مجموعه متناهی از اقدامات پرداخت و ثابت کرد که حداقل یک (استراتژی مختلط) تعادل نش باید در چنین بازی وجود داشته باشد. از آنجایی که توسعه مفهوم تعادل نش را نظریه پردازان تئوری بازی کشف کرده اند در شرایط معینی پیش بینی های گمراه

[13] Antoine Augustine Cournot
[14] John von Neumann
[15] Oskar Morgenstern
[16] John Forbes Nash

کننده ای ایجاد می کند. بنابراین راه حل بسیاری از مفاهیم مرتبط پیشنهاد شده (همچنین اصلاحات تعادل نش) طراحی شده که برای غلبه بر نقص در درک مفهوم نش می باشد. یک موضوع خیلی مهم این است که برخی از تعادلهای نش ممکن است مبتنی برآن خطراتی باشد که معتبر نیست. بنابراین، در [۱۸] پیشنهاد شده که تعادل کامل با بازی فرعی به عنوان یک بهبود وابستگی به تعادل در تهدیدهای غیر معتبر را حذف می کند.

۲-۳-۲- تعریف مفهوم نش

تعادل نش پرکاربردترین الگوریتم حل در نظریه بازیها می‌باشد. این مفهوم یک تعبیر فضای حالت گونه از یک بازی استراتژیک است، که در آن هر بازیگر پیش بینی درستی از رفتار سایر بازیگران دارد و بر پایه این پیش بینی عقلانی عمل می‌نمایید. در این مفهوم تلاشی به منظور آزمودن فرایندی که این فضای حالت به وجود آمده، صورت نمی‌پذیرد.

یک تعادل نش بازی استراتژیک را با نماد X^*_i به صورت زیر تعریف میکنیم:

(۱-۲)

$$\forall\ i, X_i \in S_i, X_i \neq X_i^* : f_i(X^*_i, X^*_{-i}) \geq f_i(X_i, X^*_{-i})$$

که در آن: Si استراتژی اتخاذ شده توسط بازیکن i ام

i ε[1,n] از مجموعه بازیکنان

fi تابع سود بازیکن i ام

حال X^*_{-i} را استراتژی همه بازیکنان بجز بازیکن i ام در نظر می گیریم. اگر هرگونه تغییریک جانبه ای در استراتژی توسط بازیکن برای آن بازیکن سودمند نباشد، آنگاه استراتژی $x^* \in S$ یک تعادل نش است. به طور خلاصه، هیچ بازیگری نمیتواند با توجه به حرکتهای داده شده دیگران حرکتی سود آور بر خلاف آنها انجام دهد.

۲-۳-۳- چند مثال از نش

بازیهای کلاسیکی که در بخش زیر ارائه گشته اند هر یک شرایط استراتژیک مختلفی را نشان میدهند. این

بازیهای بسیار ساده هستند: هر یک فقط دو بازیگر و هر بازیگر تنها دو حرکت ممکن دارد. با این حال هر کدام از این بازیهای بیانگر ماهیت اصلی انواع برهمکنش های استراتژیکی می‌باشد که به کرات در شرایط پیچیده تر بروز می‌نماید.

مثال ۱: باخ[۱۷] یا استراوینسکی[۱۸]؟ دو فرد تمایل دارند بایکدیگر به یک کنسرت موسیقی بروند که میتواند با اجرای آثار باخ و یا استراوینسکی باشد. مساله اصلی آنها همراه یکدیگر بودن در کنسرت است، اما یکی باخ و دیگری استراوینسکی را ترجیح می‌دهد. اولویتهای آنها با استفاده از تابع بازده شان در جدول ۲-۲ نشان داده شده است.

جدول (۲-۲): تابع بازده باخ یا استراوینسکی

	باخ	استراوینسکی
باخ	2,1	0, 0
استراوینسکی	0, 0	1, 2

این بازی معمولاً به نام کارزار دو جنس[۱۹] نامیده می‌شود [۱۹].

این وضعیت شرایطی را مدلسازی می‌نماید که بازیگران متمایل به همکاری در رفتارشان هستند، اما هریک دارای منافع متضادی می‌باشند. این بازی دو تعادل نش دارد: باخ، باخ و استراوینسکی، استراوینسکی. از اینرو، این بازی دو فضای حالت دارد: اول آنکه هر دو بازیگر همیشه باخ را انتخاب می‌نمایند و دیگر آنکه هر دو همیشه استراوینسکی را انتخاب می‌نمایند.

مثال ۲: بازی همکارانه

[17] Bach
[18] Stravinsky
[19] Battle of the Sexes

به مانند مثال قبل، دو بازیگر تمایل به همراهی یکدیگر در کنسرت دارند، اما بر خلاف آن بازیگران در مورد برنامه موسیقی مطلوب تر اتفاق نظر دارند. جدول ۲-۳ نشان دهنده چنین شرایطی است. بر خلاف مثال قبل بازیگران در این بازی تمایل مشترکی برای رسیدن یکی از این دو تعادل یعنی موتسارت[۲۰]، موتسارت دارند، اما برپایه تعریف تعادل نش فضای حالت مربوط به تعادل ماهلر[۲۱]، ماهلر که به برآمدی کمتر از دیگری می‌انجامد حذف نمیگردد.

جدول (۲-۳): تابع بازده موتسارت یا ماهلر

	موتسارت	ماهلر
موتسارت	2,2	0, 0
ماهلر	0, 0	1, 1

مثال ۳: معمای زندانی

دو متهم به یک جرم در دو سلول جدا از هم نگهداری می‌شوند. اگر هر دو نفر به جرم خود اعتراف نمایند هر یک به سه سال زندان محکوم خواهند شد. اگر تنها یکی از آنها اعتراف نماید آزاد گشته و به عنوان شاهد علیه دیگری شهادت خواهد داد. در این حالت زندانی دیگر به چهار سال زندان محکوم می‌گردد. در صورتی که هر دو اعتراف ننمایند، آنها به تخلفی کوچکتر محکوم گشته و هر دو یک سال را در زندان خواهند گذراند. در جدول ۲-۴ بازده این بازی و انتخابهای بازیگران نشان داده شده است.

جدول (۲-۴): تابع بازده معمای زندانی

	اعتراف کردن	اعتراف نکردن
اعتراف کردن	3,3	0,4
اعتراف نکردن	4,0	1,1

[20] Mozart
[21] Mahler

در این بازی منفعت بازیگران در همکاری با یکدیگر است. بهترین بازده برای هر دو بازیگر حالتی میباشد که هیچ یک از آنها اعتراف ننمایند. اما هر یک از بازیگران انگیزه ای برای استفاده از سواری مجانی[۲۲] دارند. هر حرکتی بازیگر انجام دهد دیگری اعتراف را به نسبت اعتراف نکردن ترجیح خواهد داد، از این رو بازی یک نقطه تعادل نش اعتراف، اعتراف دارد.

مثال ۴: باز -کبوتر

دو حیوان شکارچی بر سر یک طعمه مبارزه می‌نمایند. هر کدام میتواند رفتار باز و یا کبوتر گونه از خود نشان دهند. بهترین بازده برای هر یک زمانی است که رفتارش شبیه باز بوده و در همان حال دیگری رفتاری کبوتر گونه داشته باشد، بدترین بازده زمانی است که هر دو باز گونه رفتار نمایند. برای هر کدام رفتار باز گونه در شرایطی که دیگری رفتار کبوتر گونه داشته باشد، اولویت دارد. بازیی که این شرایط را نشان میدهد درجدول ۲-۵ آورده شده است. این بازی دو تعادل نش دارد، کبوتر، باز و باز، کبوتر، که هر یک به دو توافق مختلف در مورد منفعت بازیگران مربوط می‌باشد.

جدول (۲-۵): تابع بازده کبوتر- باز

	کبوتر	باز
کبوتر	3,3	1,4
باز	4,1	0,0

مثال ۵: سکه های جفت

دو بازیگر میان خط و یا شیر یکی را انتخاب می‌نمایند، اگر انتخابهای آنها متفاوت باشد، بازیگر 1 به بازیگر 2 یک دلار خواهد داد، اگر انتخابهای آنها مشابه بود بازیگر 2 به بازیگر 1 یک دلار پرداخت خواهد کرد. هر بازیگر نیز تنها به پول دریافتی از بازی می‌اندیشد. بازی که مدل چنین شرایطی است

[22] Free Ride

در جدول ۲-۶ نشان داده شده است. چنین بازیی، که در آن منافع بازیگران به صورت قطری متضاد باشد، اکیداً رقابتی[۲۳] نامیده می‌شود. بازی سکه های جفت تعادل نش ندارد.

جدول (۲-۶): تابع بازده سکه های جفت

	شیر	خط
شیر	1,-1	-1,1
خط	-1,1	1,-1

مثال ۶: حراج

شئی در غالب حراج به یک بازیگر واگذار می‌گردد. ارزش شیئی مذبور از دید بازیگر i مقدار V_i است و ارزش گذاری تمامی بازیگران به صورت $V_1 > V_2 > V_3 > .....V_n > 0$ می‌باشد. مکانیسمی که برای واگذاری شیئی مذبور استفاده میگردد یک حراج بصورت مزایده (پیشنهاد در پاکت بسته) است. بازیگران همزمان (پاکت سربسته) پیشنهادات (اعداد غیر منفی) خود را ارائه می نمایند، و شیئی مذبور به بازیگری واگذار میگردد که کمترین اندیس را در میان کسانی که بیشترین پیشنهاد را ارائه داده اند داشته باشد.

در یک حراج به شیوه اولین قیمت وجه نقد پرداختی برنده مقدار پیشنهاد او می‌باشد.

مثال ۷: جنگ فرسایشی[۲۴]

دو بازیگر بر سر بدست آوردن شیئی در جدال هستند. ارزش این شیئی برای بازیگر i مقدار V_i است. در این مدل، زمان همچون یک متغیر پیوسته از صفر آغاز و الی نهایت ادامه خواهد داشت. هر بازیگر زمانی را که حاضر به انصراف از رقابت و واگذاری شی به دیگری است را انتخاب می‌نماید. اگر بازیگر در زمان t از رقابت انصراف دهد، در همان زمان شی به دیگری واگذار خواهد شد. اگر هر

[23] Strictly Competitive
[24] A War of attrition

دو بازیگر در زمان t انصراف دهند شی به تساوی میانشان تقسیم می‌گردد، یعنی به هر دو بازیگر Vi /2 خواهد رسید.

در این بازی زمان متغیر اصلی است: تا زمان اولین انصراف به ازای هر واحد گذر زمان یک واحد از بازده بازیگر کم می‌شود.

۲-۴- وجود تعادل نش

همانند آنچه در مورد بازی سکه های جفت (مثال ۵) دیده شد، تمامی بازیهای استراتژیک دارای تعادل نش نیستند. مطالعات گسترده‌ای بر روی شرایطی که در آن مجموعه تعادل‌های نش تهی نباشد انجام گرفته است. بحث در مورد وجود و یکتایی نقطه تعادل نش بسیار گسترده بوده و لذا در این قسمت تنها به ارائه نتیجه چند قضیه در مورد وجود و یکتایی تعادل نش می‌پردازیم.

مطالعه وجود تعادل نش در یک بازی دو فایده اصلی دارد. اول اینکه اگر بازیی داشته باشیم که فرضیات وجود تعادل نش را داشته باشد، میتوان امیدوار بود تلاش برای یافتن تعادل به موفقیت انجامد. دوم و مهمتر اینکه، وجود نقطه تعادل نشان میدهد که بازی سازگار با راه حل فضای حالت است. از این گذشته، وجود تعادلها برای یک خانوادهای از بازیها اجازه مطالعه خواص آن را بدون آنکه آنها را به صورت صریح یافت و یا با خطر مطالعه مجموعه تهی روبرو بوده باشیم به ما خواهد داد.

برای اینکه نشان دهیم که بازی تعادل نش دارد کافیست ثابت کنیم که یک بردار X^* از حرکت بازیکنان وجود دارد که برای تمامی

(۲-۲)

$$\forall i \in N,\ f(X_i^*) \geq f(X_i)$$

برای اثبات این رابطه از قضیه نقطه ثابت[۲۵] به صورت زیر استفاده می‌کنیم[۲۰]

25 Fixed Point Theorems

اگر X یک مجموعه محدب از فضای R^n و f یک تابع ارزش(که در کار ما تابع سود می‌باشد) باشد که در شرایط زیر صدق کند:

الف: برای تمام $x \in X$، f ناتهی و محدب است.

ب. تابع f بسته است.

ج. X فشرده است.

آنگاه بازی الزاما دارای تعادل نش خواهد بود.

قضیه فوق یک قضیه عمومی بوده و می‌توان آن را برای بازی‌های استراتژیک به شرح ذیل بازنویسی کرد:

مجموعه X_i از حرکات بازیگر i یک مجموعه ناتهی و محدب فشرده است. تابع f پیوسته است و تابع f بر روی X شبه محدب است.

در این صورت بازی تحت این شرایط حداقل دارای یک نقطه ثابت است که هر نقطه ثابت یک نقطه تعادل نش بازی می‌باشد. این نتیجه تضمین می‌کند که هر بازی استراتژیکی که دارای شروط مشخصی باشد حداقل یک نقطه تعادل نش دارد.

۲-۵- بازی های اکیداً رقابتی

در مورد مجموعه تعادلهای نش یک بازی دلخواه نمیتوان چیزهای زیادی گفت، تنها در دسته های محدودی از بازیها میتوان چیزهایی در مورد مشخصه کیفی تعادلها اظهار داشت. یکی از این نوع بازیها، بازی دو نفره ای می‌باشد که اولویتهای دو بازیگر به طور قطری متضاد باشند. اگر بازیگران را 1و 2 بنامیم

یک بازی استراتژیک اکیداً رقابتی است اگرو فقط اگر مجموع بازده دو بازیگر الزاما صفر شود. به عبارت دیگر اگر رابطه اولویت بازیگر اول را U_1 و رابطه اولویت بازیگر دوم را U_2 بنامیم آنگاه

$$U_1 + U_2 = 0 \qquad (۳-۲)$$

به این دلیل گاهی به بازی اکیداً رقابتی بازی مجموع صفر[۲۶] نیز می‌گویند.

در صورتی که بازیگر i حرکتی را با فرض اینکه بازیگر دیگر، بدون توجه به حرکت او حرکتی را انجام دهد که بیشترین ضرر ممکن را بر وی وارد نماید انتخاب کند، می توان بازیگر را بازیگر ماکسیمایز[۲۷] نامید. می‌توان نشان داد در یک بازی اکیداً رقابتی که داری تعادل نش است، جفت حرکات تعادل نش خواهند بود اگر و تنها اگر حرکتهای هر یک از بازیگران به صورت ماکسیمایز باشد. این نتیجه بسیار جالب توجه است از اینرو که رابطه ای میان تصمیم گیری فردی و مفهوم محوری تعادل نش ایجاد می‌نماید. در بسط این نتیجه می‌توان نتیجه قویتری را نیز اثبات کرد که در بازیهای اکیداً رقابتی داری تعادلهای نش، بازده هر یک از این تعادلها با یکدیگر برابر می‌باشد. چنین نتیجه ای به ندرت در بازیهای که اکیداً رقابتی نیستند به وجود می‌آید.

قضیه: فرض کنید بازی یک بازی اکیداً رقابتی باشد .حرکت $x^* \in X_1$ یک حرکت ماکسیمایز برای بازیگر اول است اگر برای تمامی

(۴-۲)

$$\forall x \in X_1 \quad \min_{y \in A_2} U_1(x^*, y) \geq \min_{y \in A_2} U_1(x, y)$$

[26] Zerosum
[27] Maximizes

به صورت مشابه حرکت $y^* \in X_2$ یک حرکت ماکسیمایز برای بازیگر دوم است اگر برای تمامی

(۵-۲)

$$\forall y \in X_2 \quad \min_{x \in A_1} U_1(x, y^*) \geq \min_{x \in A_1} U_1(x, y)$$

به بیان غیر ریاضی، حرکت ماکسیمین کننده است برای بازیگر i حرکتی است که بیشترین بازده تضمینی را برای او در پی داشته باشد. یک حرکت ماکسیمایز کننده برای بازیگر اول حل مساله $Max_x \; Min_y \; U_1(x, y)$ و برای بازیگر دوم $Max_y \; Min_x \; U_2(x, y)$ می‌باشد.

براحتی و با توجه به اینکه $U_1 = -U_2$ می‌توان فهمید که ماکسیمایز کردن بازده بازیگر دوم معادل مینیمم کردن بازده بازیگر اول است بدون آنکه به کلیت مساله خللی وارد شود.

نتایج زیر که در [۲۱] آمده است برای بدست آوردن نقطه تعادل نش در بازی های اکیدا رقابتی بسیار مهم محسوب می‌شود:

الف: اگر G یک بازی اکیدا رقابتی باشد و x^*, y^* یک تعادل نش بازی G باشند حرکت x^* یک حرکت ماکسیمایز برای بازیگر اول و حرکت y^* یک حرکت ماکسیمایز برای بازیگر دوم است.

ب.اگر G یک بازی اکیدا رقابتی باشد و x^*, y^* یک تعادل نش بازی G باشد آنگاه

(۶-۲)

$$\max_x \min_y U_1(x, y) = \max_y \min_x U_2(x, y) = U_1(x^*, y^*)$$

از اینرو تمامی تعادل‌های نش بازی G بازدهی یکسانی خواهد داشت.

ج. اگر رابطه ۲-۶ برقرار باشد (به طور خاص، اگر G داری تعادل نش باشد و حرکت x^* یک حرکت ماکسیمایز برای بازیگر اول و حرکت y^* یک حرکت ماکسیمایز برای بازیگر دوم باشد، آنگاه x^*, y^* یک تعادل نش بازی G خواهد بود.

نتیجه قسمت(ج) از این رو در خور توجه می باشد که با استفاده از آن میتوان تنها با حل مساله های $\max_x \min_y U_1(x, y)$ و $\max_y \min_x U_2(x, y)$ استراتژی تعادل نش بازیگران را یافت. استفاده از این واقعیت خصوصاً در مسائلی که بازیگران تصادفی عمل می‌نمایند بسیار سودمند است.

قابل ذکر است که با استفاده از قسمتهای الف و ب میتوان نتیجه گرفت که تعادلهای نش بازی اکیداً رقابتی تبادل پذیر[۲۸] هستند به این مفهوم که اگر x^*, y^* و x, y تعادلهای نش بازی باشند آنگاه x^*, y و x, y^* نیز تعادلهای نش خواهند بود.

قسمت ب نشان می‌دهد رابطه ۲-۶ برای هر بازی اکیداً رقابتی که داری تعادل نش باشد صحیح است.

نامساوی $U_1(x', y) \le \min_y \max_x U_1(x, y)$، اگر x' ماکسیمایز کننده باشد، با توجه به رابطه بالا بازای هر y ای برقرار خواهد بود. در صورتی نقاط بیشینه و کمینه خوشتعریف نباشند میتوان به جای بیشینه سازی و کمینه سازی به ترتیب از سوپریمم سازی و اینفیمم سازی استفاده نمود. بنابر این در هر بازی، چه بازی مذکور اکیداً رقابتی باشد و چه نباشد، بازدهی که بازیگر اول برای خود تضمین می‌کند بیشترین میزانی است که بازیگر دوم می تواند بازده او را پایین نگه دارد. فرض اینکه بازی تعادل نش دارد، فرضی ضروری برای به وجود آوردن نامساوی بالا است.

۲-۶- بازی های بیزی[۲۹]: بازی استراتژیک با اطلاعات ناکافی

اغلب مواقع به مدل سازی شرایطی که در آن گروهی از بازیگران نسبت به مشخصات گروهی دیگر تردید دارند علاقه مند هستیم. مدل بازی بیزی، که بسیار به بازی استراتژیک نزدیک است، به این منظور طراحی گشته است.

[28] interchangeable
[29] Bayesian game

مشابه بازیهای استراتژیک، بازی بیزی نیز دارای دو مجموعه X_i شامل مجموعه حرکات بازیگران و N تعداد بازیگران است. عدم قطعیت بازیگران نسبت به یکدیگر را با معرفی مجموعه Ω شامل شرایط ممکن برای حرکتهای بازیکنان نشان می‌دهیم.

همانند بازی استراتژیک، هر بازیگر برای انتخاب حرکت خود کل حرکتها را در نظر می‌گیرد، علاوه بر آن در بازیهای بیزی بازیگران می‌بایست حالت فعلی را نیز در نظر داشته باشند. حال حتی اگر بازیگر از حرکت هر بازیگر دیگر در هر حالت فعلی آگاه باشد، ممکن است در مورد حرکت خود که بایست انجام دهد از آن رو که اطلاعات کاملی در مورد حالت بعدی ندارد مطمئن نباشد.

به طور خلاصه هر بازیگر برای رسیدن به تعادل نش در یک بازی بیزی حرکت خود را بر اساس وضعیت فعلی و باور او از حرکتهای سایر بازیگران که از این علامت استنتاج گردیده است انجام خواهد داد.

۲-۷- پایداری در نقطه تعادل نش

مفهوم پایداری، در تجزیه و تحلیل بسیاری از انواع تعادل مثل تعادل نش می‌تواند استفاده شود. تعادل نش برای بازی استراتژیک ترکیبی، پایدار است اگر یک تغییر کوچک (به طور خاص، تغییر بینهایت کوچک) در احتمال وقوع برای یک بازیکن باعث تغییر موقعیت آن به دو حالت زیر شود

الف. بازیکنی که تغییری نکرد هیچ استراتژی بهتری در شرایط مالی جدید نداشته باشد

ب. بازیکنی که تغییر انجام می دهد در حال حاضر با استراتژی به شدت بدتر بازی می کند

اگر این دو مورد به ازای یک تغییر بسیار کوچک هر دو برقرار شد، بازیکن با تغییر کوچک در استراتژی ترکیبی خود فورا به تعادل نش باز خواهد گشت و تعادل نش با ثبات می باشد.

اگر شرط الف برقرار نباشد تعادل الزاما ناپایدار است. اگر فقط شرط الف برقرار باشد ممکن است تعداد نامحدود از استراتژی های بهینه برای بازیکنی که تغییر کرده وجود داشته باشد و نقطه تعادل

نش از پایداری خارج شود. جان نش نشان داد که وضعیت دوم که در طیف وسیعی از بازی های به خوبی تعریف شده نمی تواند بوجود بیاید.

در بازی مثال ۱ باخ یا استراوینسکی هر دو تعادل پایدار و ناپایدار وجود دارد. تعادل شامل استراتژی های ترکیبی با احتمال ۱۰۰ ٪ پایدار میباشند. اگر هر دو بازیکن کمی احتمالات خودشان را تغییر بدهند، و حریف خود هیچ دلیلی برای تغییر استراتژی خود در عوض نداشته باشد. تعادل (۵۰ ٪، ۵۰ ٪) ناپایدار است. اگر هر دو بازیکن احتمالات خود را تغییر بدهند بازیکن دیگر بلافاصله یک استراتژی بهتر را انتخاب میکند.

زمانی که استراتژی ترکیبی از هر بازیکن کاملا ناشناخته است، اما هر بازیکن باید از توزیع آماری در اقدامات خود در بازی استنتاج کند، پایداری نقطه تعادل نش بسیار مهم است. در عمل بوجود آمدن تعادل ناپایدار بسیار بعید است اما از آنجا که در هر دقیقه تغییر در سهم هر استراتژی دیده می شود در نظر نگرفتن آن می‌تواند منجر به تغییر در استراتژی و شکست در رسیدن به تعادل شود.

تعادل نش تنها بر حسب انحرافات یک جانبه، پایداری را تعریف می کند. در بازی های مشارکتی این تعربف یک بعدی کافی نیست.

تعادل عمومی نش برای مدل کردن انحرافات یا تغییرات همزمان همه بازیگران بسیار بهتر است. از دید این مفهوم، تعادل عمومی نش هنگامی بدست می‌آید که هیچ تغییر همزمان همه بازیگران نتواند منجر به تغییر استراتژی از وضعیت کنونی شود. در نظر گرفتن اقداماتی که خود به عنوان مکمل داده می شود یا با همکاری تعدادی از بازیگران و تغییر شرایط بازی رخ میدهد شامل این مفهوم نمی‌شود. با این حال در تعادل نش عمومی گاهی ارتباط یا مشارکتهای محدود نیز مجاز است و منجر به تغییر استراتژی نخواهد شد.

تعادل نش اصلاح شده، معروف به تعادل نش ضد اتحاد [۳۰]هنگامی رخ میدهد که بازیکنان نمی توانند بهتر عمل کنند حتی اگر به آنها اجازه برقراری ارتباط و ایجاد توافق داده شود.

[30] Coalition-Proof Nash Equilibrium

فصل سوم

تئوری بازی و عملکرد تابع نیکایدو ایزودا در

بدست آوردن نقطه تعادل نش

۳-۱-مقدمه

در این فصل ابتدا تئوری بازی توضیح داده شده و در نهایت اصول تئوری الگوریتم ریلکسیشن و تابع نیکایدو ایزودا[۳۱] بیان گردیده است. سپس یک روش عددی بر پایه الگوریتم ریلکسیشن[۳۲] و تابع نیکایدو ایزودا برای بدست آوردن نقطه تعادل نش کارنو در بازارهای برق بیان شده و در نهایت روش پیشنهادی با یک مثال برگرفته شده از مدل ۳۰ باس IEEE پیاده سازی شده است.

۳-۲- تئوری بازی

نظریه بازی‌ها شاخه‌ای از ریاضیات کاربردی است که در علوم اجتماعی و به ویژه در اقتصاد، زیست‌شناسی، مهندسی، علوم سیاسی، روابط بین‌الملل، علوم کامپیوتر و فلسفه مورد استفاده قرار گرفته است. نظریه بازی‌ها در تلاش است توسط ریاضیات رفتار را در شرایط راهبردی یا بازی‌ها، که در آنها موفقیت فرد در انتخاب کردن وابسته به انتخاب دیگران می‌باشد، بدست آورد.

یک بازی شامل مجموعه‌ای از بازیکنان، مجموعه‌ای از حرکت‌ها یا راهبردها و نتیجه مشخصی برای هر ترکیب از راهبردها می‌باشد. پیروزی در هر بازی تنها تابع یاری شانس نیست بلکه اصول و قوانین ویژه خود را دارد و هر بازیکن در طی بازی سعی می‌کند با به کارگیری آن اصول خود را به برد نزدیک کند. رقابت دو کشور برای دست‌یابی به انرژی هسته‌ای، سازوکار حاکم بر روابط بین دو کشور در حل یک مناقشه بین‌المللی، رقابت دو شرکت تجاری در بازار بورس کالا نمونه‌هایی از بازی‌ها هستند.

نظریه بازی تلاش می‌کند تا رفتار ریاضی حاکم بر یک موقعیت استراتژیک (تضاد منافع) را مدل‌سازی کند. این موقعیت زمانی پدید می‌آید که موفقیت یک فرد وابسته به راهبردهایی است که دیگران انتخاب می‌کنند. هدف نهایی این دانش یافتن راهبرد بهینه برای بازیکنان است.

---

[31] Nikaido Isoda
[32] Relaxation

پیش بینی قیمت برق در دراز مدت در حقیقت رقابتی بین تولید کنندگان محسوب می شود. این رقابت در قالب یک بازی که بازیکنان آن تولید کنندگان برق می باشند قابل مدل سازی است.کلیه بازیکنان در صددند که در این بازی منافع بیشتری را بدست آورند. در چنین شرایطی لازم است تولید کنندگان ضمن توجه به فعالیتهای خود به فعالیتهای سایر رقبا نیز توجه نموده و استراتژی خود را بر اساس عملکرد آنها تعیین نمایند. بر اساس نظریه تعادل نش[۲۲]، اگر فرض کنیم در هر بازی با استراتژی مختلط، بازیکنان به طریق منطقی و معقول راهبرد خود را انتخاب کنند و به دنبال حداکثر سود در بازی باشند، دست کم یک راهبرد برای بدست آوردن بهترین نتیجه برای هر بازیکن قابل انتخاب است و چنانچه آن بازیکن راهکار دیگری به غیر از آن را انتخاب کند، نتیجه بهتری بدست نخواهدآورد.

پس بطور خلاصه این نظریه دارای دو جزء می باشد. در جزء اول هر بازیکن حرکت خود را در بازی بطور منطقی براساس حرکت حریف انتخاب می کند. درجزء دوم هر یک از بازیکنان در خلال بازی چنین تصور می کند که حرکت حریف یک حرکت صحیح و درست می باشد. مجموعه ای از راهبرد ها را در صورتی می توان تعادل نش در نظر گرفت که هیچیک از بازیکنان با تغییر یک جانبه استراتژی خود در بازی، نتواند بهتر عمل کند. فرض کنید به هر بازیکن در بازی، راهبردهای سایر بازیکنان گفته شود ودر این حالت هر بازیکن از خودش سئوال کند آیا با تغییر استراتژی خود می توانم امتیاز بیشتری کسب کنم؟ اگرچنانچه پاسخ مثبت باشد این مجموعه از راهبردها تعادل نش نیست. ولی اگر هر یک بازیکنان تغییر استراتژی را صلاح نبیند و در واقع پاسخ سئوال فوق منفی باشد آنگاه تعادل نش برقرار است.

در [۲۳] ضمن بررسی و مطالعه مفاهیم اصلی تئوری بازیها ومدلهای بازار برق، نقطه تعادل نش در تولید انرژی برق توسط نیروگاهها در یک بازار برق محاسبه شده است. اصولا بازار برق، یک بازار

مبتنی بر رقابت است. در چنین بازاری هر تولید کننده مستقیما به همه مصرف کنندگان دسترسی دارد. همچنین مصرف کنندگان نیز قادرند خرید خود را به هریک از فروشندگان سفارش دهند لذا میتوان تحلیل ریاضی زیر را انجام داد

فرض کنید (S , f) یک زوج دو جمله ای است که فضای بازی شامل n بازیکن بر اساس آن تعریف شود اگر S مجموعه استراتژیهای قابل انتخاب و f تابع سود(بهره) باشد آنگاه داریم[۲۱]:

$$\forall\ i, X_i \in S_i, X_i \neq X_i^* : f_i(X_i, X_{-i}^*) \geq f_i(X_i, X_{-i}^*) \qquad (۱-۳)$$

S_i استراتژی اتخاذ شده توسط بازیکن i ام

$i \in [1, n]$ از مجموعه بازیکنان

f_i تابع سود بازیکن i ام

حال x_{-i} را استراتژی همه بازیکنان بجز بازیکن i ام در نظر می گیریم. اگر هرگونه تغییر یک جانبه‌ای در استراتژی توسط بازیکن برای آن بازیکن سودمند نباشد، آنگاه استراتژی $x^* \in S$ یک تعادل نش است. مفاهیم تعادل نش برای تحلیل نتایج ناشی از تعاملات استراتژیک در جاهایی که چندین تصمیم گیرنده وجود دارد، استفاده می شود. به عبارت دیگر تعادل نش راهی است برای پیش بینی نتیجه آنچه که چندین نفر یا چندین بنگاه با هم در یک زمان تصمیم می گیرند و تصمیم هرکدام وابسته به تصمیم دیگری باشد بطوریکه اگر استراتژی هریک از تصمیم گیرندگان فوق را بصورت جداگانه مورد تجزیه تحلیل قرار دهیم نمی توانیم نتایج را از قبل پیش بینی کنیم.

۳-۳- الگوریتم ریلکسیشن و تابع نیکایدو ایزودا

۳-۳-۱- مقدمه ای بر مفاهیم و تعریف ها :

برای بیان بهترنحوه عملکرد تابع نیکایدو ایزودا لازم است یک سری مفاهیم اولیه را بازگو وبرای این منظور ابتدا کلیه بازیگران شرکت کننده در بازی را در یک مجموعه n عضوی مطابق زیر تعریف می نماییم

$$N:\{1,2,3,...,n\}$$
$$\begin{Bmatrix} N,(x_i),(\Phi_i) \\ i\in N \end{Bmatrix} \qquad (۲-۳)$$

X_i بعنوان مجموع استراتژی های بازیگر i ام معرفی می‌شود که در اینجا منظور از استراتژی بازیگر میزان توان تولیدی بازیگر می باشد.

تابع سود یا تابع تسویه بازیگر i ام نیز با φ_i نمایش داده شده است که در ادامه به بررسی آن می پردازیم، لازم به ذکر است هم در مجموعه استراتژی ها و هم در تابع تسویه معرفی شده شرط اینکه $i\in N$ باشد الزامی است.

با فرض اینکه هر بازیگر تصمیم خود را جداگانه می گیرد میتوان مجموعه عمکرد کل بازیگران را مطابق رابطه زیر به تصویر کشید، که در این رابطه $(x_1,x_2,...,x_n)$ هر یک به تنهایی استراتژی تک تک بازیگران را نشان می دهد.

$$x=(x_1,x_2,...,x_n) \qquad (۳-۳)$$

سپس عملکرد بازیگر iام به شرط ثابت بودن عملکرد کلیه بازیگران را به شکل زیر تعریف می‌کنیم که y_i می تواند شامل همه اقدامات احتمالی از سوی بازیگر i ام باشد.

$$\left(y_i/x\right)=(x_1,...,x_{i-1},y_i,x_{i+1},...,x_n) \qquad (۴-۳)$$

تابع سود دارای دو متغیر y_i وx بوده ویک تابع پیوسته و الزاما دارای تحدب در نقطه y_iاست، مجموعه عملکرد بازیکن باید غیر تهی، بسته و در همه نقاط متعلق به X تحدب خود را حفظ کند. حاصلضرب دکارتی همه تصمیم های بازیگران را بصورت زیر نمایش می دهیم.

$$x = x_1 \times x_2 \times .... \times x_n \qquad (۵-۳)$$

از طرفی نقطه تعادل نش کارنو را بصورت $x^* = \left(x_1^*, x_2^*, ..., x_n^*\right)$ تعریف می‌کنیم به قسمی که به ازای هر i بتوان گفت[۲۴]:

$$\phi_i\left(x^*\right) == \max_{(x_i/x^* \in X)} \phi_i\left(x_i/x\right) \qquad (۶-۳)$$

رابطه بالا بیانگر این موضوع است که سود به ازای نقطه تعادل نش زمانی حاصل خواهد شد که با شرط رسیدن دیگر بازیگران به نقطه تعادل، بیشترین سود به ازای آخرین تغییر استراتژی برای بازیگر i ام را به همراه داشته باشد، و چنانچه بازیگر اقدام به هر تغییر مجددی نماید سود کمتری حاصل خواهد شد.

۳-۳-۲- تابع نیکایدوایزودا

در حقیقت تابع نیکایدوایزودا برای انتقال فضای جستجوی چند بعدی نش به یک فضای تصمیم گیری واحد از رابطه زیر استفاده می نماید.

$$\Psi_{(x,y)} = \sum_{i=1}^{N}\left[\phi_i\left(y_i \diagup x^*\right) - \phi_i\left(x\right)\right] \qquad (۷-۳)$$

تابع داخل کروشه، تغییر سود بازیگر y_i در صورت عملکرد جدید و به ازای ثابت ماندن عملکرد بقیه بازیکنان است و هنگامی که به نقطه تعادل نش برسیم این عبارت باید نزدیک به صفر شده

باشد. اگر سعی کنیم در هر لحظه $\Psi_{(x,y)}$ را به ازای عملکرد مجموعه بازیگران ماکزیمم کنیم در نهایت به نقطه تعادل نش خواهیم رسید.

در نهایت پاسخ بهینه نشان داد شده در زیر عملکرد بازیگران را نمایش می دهد، به قسمی که تمامی آنها مستقل از هم و در حال تلاش برای ماکزیمم کردن سود خود، با فرض ثابت بودن بقیه هستند.

$$Z(x) = \arg Max_{y \in X} \Psi_{(x,y)}, \qquad x, Z(x) \in X \qquad (۸-۳)$$

۳-۳-۳- الگوریتم ریلکسیشن

این الگوریتم مطابق فرمول زیر به منظور پیدا کردن نقطه تعادل، محل جدید یا بردار جدید، $Z(x)$ را با یک وزن مشخص با بردار قبلی x جمع می کند (نقطه شروع x می باشد)

$$x(j+1) = (1-\alpha(j))x(j) + \alpha(j)Z(x(j)) \qquad (۹-۳)$$

$$0 < \alpha(j) \leq 1$$

$\alpha(j)$ رایک عدد بین ۰ تا ۱ انتخاب می نماییم. هرچه به صفر نزدیکتر شویم از دقت بالاتر اما سرعت همگرایی کمتری برخورداریم و بالعکس اگر به یک نزدیک شویم دقت پایین آمده و حتی درمواقعی سیستم واگرا می‌شود، در غالب اوقات به عنوان بهترین ضریب ۰/۵ پیشنهاد می گردد[۲۵].

۳-۴- پیاده سازی تابع نیکایدوایزودا به همراه الگوریتم ریلکسیشن

میزان تولید کمپانی های تولید کننده از طریق پروسه ریلکسیشن به یک تابع نیکایدوایزودا اعمال شده که بازای آن ماکزیمم سود برای کل مجموعه حاصل میگردد.

هدف بازار بررسی شده، ماکزیمم کردن سود کمپانی ها می باشد که در این امر تولید کننده ها، مصرف کننده ها، مالکان خطوط انتقال و تمام بازیگران و عوامل مؤثر در قیمت پیشنهادی مؤثر هستند. زمانیکه چند بازیگر وجود دارد ما نیاز داریم تا با استفاده از قواعد تئوری بازی که شامل قرارداد های دو طرفه و تابع کرنل[۳۳] می شود برای محاسبه هزینه تسویه بازیگران به حل معادله بازی بپردازیم.

۳-۴-۱- حل تحلیلی تابع نیکایدوایزودا

در یک بازار فرضی تعداد دو بازیگر (تولید کننده) در حال فروش برق تولیدی خود هستند.

و رابطه قیمت با تولید به شکل زیر نشان داده شده است

$$p(x)=\alpha-\rho(x_1+x_2) \qquad (۱۰-۳)$$

α کف قیمت

λ ضریب هزینه خطی

ρ عکس الاستیسیته

رابطه سود بازیگر i ام خواهد بود:

$$\phi_i(x)=p(x)x_i-\lambda x_i=\left[\alpha-\lambda-\rho(x_1+x_2)\right]x_i \qquad (۱۱-۳)$$

سپس برای ماکزیمم کردن رابطه سود برای هردو بازیگر رابطه زیر را که همان تابع نیکایدوایزودا می باشد مطابق زیر تعریف می کنیم[۲۳].

$$\Psi(x,y)=\left[\alpha-\lambda-\rho(y_1+x_2)\right]y_1-\left[\alpha-\lambda-\rho(x_1-x_2)\right]x_1+\left[\alpha-\lambda-\rho(x_1+y_2)\right]y_2-\left[\alpha-\lambda-\rho(x_1+x_2)\right]x_2 \qquad (۱۲-۳)$$

[33] kernel

با توجه به اینکه رابطه فوق خطی است، برای ماکزیمم کردن تابع $\Psi(x,y)$ کافیست از رابطه فوق نسبت به y_1 و y_2 مشتق گرفته و مساوی صفر قرار دهیم تا نقاط اپتیمم حاصل گردد. لازم به ذکر است بدلیل نداشتن محدودیت در این مثال خاص قادر به انجام این کار هستیم و چنانچه محدودیت می داشتیم به شکل تحلیلی حل نمی شد.

در صورتی که بخواهیم به صورت عددی و نه تحلیلی رابطه بالا را حل کنیم، برای شروع x_1 و x_2 را صفر در نظر می گیریم و y_1 و y_2 بدست آمده را در رابطه ریلکسیشن قرار داده و با توجه به ضریب α که 0.5 در نظر گرفته شده مقادیر جدید و اصلاح شده را دوباره به داخل رابطه نیکایدوایزودا به عنوان مقادیر اولیه باز می‌گردانیم و y_1 و y_2 جدید را محاسبه می نماییم. این کار آنقدر تکرار می شود تا مقدار قدرمطلق $\Psi(x,y)$ به صفر نزدیک شود و در نهایت داریم

$$Z(x)=\arg\max_{y\in x}\ \Psi(x,y)=\frac{\alpha-\lambda}{2\rho}(1,1)-\frac{1}{2}(x_1,x_2)$$
$$Z(x_1,x_2)=(y_1,y_2) \qquad (۱۳-۳)$$
$$y_1=\frac{\alpha-\lambda}{2\rho}-\frac{x_2}{2} \qquad y_2=\frac{\alpha-\lambda}{2\rho}-\frac{x_1}{2}$$

۳-۴-۲- حل عددی تابع نیکایدو ایزودا

برای حل یک معادله غیر خطی چند متغیره و پیدا کردن یک نقطه مشخص و یا ماکزیمم و مینیمم کردن تابع، روشهای مختلفی وجود دارد. در صورتی که معادله به صورت صریح و از نوع دیفرانسیلی نباشد، می توان از روشهای متعارفی مثل صفر قرار دادن مشتقات جزئی تابع نسبت به متغیرهای مختلف برای یافتن نقطه اکسترمم کمک گرفت.

با اضافه شدن قیود به برخی متغیرها، دیگر روشهای متعارف معمولی به تنهایی کارا نبوده و نیاز به ترکیب آنها با روشهای برنامه ریزی غیر خطی[۳۴] یا روشهای هوش مصنوعی[۳۵] است.

الگوریتم های مختلفی برای مینیمم کردن توابع چند متغیره با قبول قیود خطی وجود دارد که این قیود میتواند شامل سقف و کف برای متغیر و یا جمع و تفریق خطی تعدادی از متغیرها باشد. این الگوریتم ها عمدتا بصورت همزمان از برنامه ریزی غیر خطی و صفر کردن مشتقات جزئی استفاده می کنند. پایه این روش‌ها بر ماتریس هسین[۳۶] استوار است.

۳-۴-۳- ماتریس هسین :

ماتریس هسین عبارتست از ماتریس مربعی، متشکل از مشتق دوم یک تابع چند متغیره نسبت به کلیه متغیرهای دخیل و مشتق جزئی ترکیب هر جفت دو تایی از متغیر ها است.

در حقیقت ماتریس هسین خمیدگی[۳۷] یا انحنای یک تابع چند متغیره را در فضای n بعدی مدل می‌کند.

اگر $f(x_1, x_2, \ldots\ldots, x_n)$ یک تابع با مقادیر حقیقی باشد آنگاه H(f) ماتریس هسین خواهد بود.

$$H(f)=\begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{bmatrix} \qquad (۱۴-۳)$$

[34] Nonlinear Programming
[35] Artificial Intelligence
[36] Hessian Matrix
[37] Curvature

ماتریس هسین در حقیقت ماتریس ژاکوبین گرادیان f می باشد. در روشهای بهینه سازی مبنی بر الگوریتم نیوتن ضرایب درجه دوم بسط تیلورتابع ظاهر می شود، که همین ضرایب منجر به استفاده از ماتریس هسین می گردد.

$$y = f(x+\Delta x) \approx f(x) + j(x)\Delta x + \frac{1}{2}\Delta x^T H(x)\Delta x \qquad (۱۵-۳)$$

که در رابطه فوق

$j(x)$ ماتریس ژاکوبین Δx ماتریس تغییرات $H(x)$ ماتریس هسین

در عمل محاسبه ماتریس هسین بصورت عددی با توجه به تعداد متغیرها، کاری زمانبر است و لذا الگوریتم های شبه نیوتنی برای محاسبه تقریبی ماتریس هسین [۲۶] بسط داده شده است که از جمله میتوان به الگوریتم BFGS اشاره کرد. برای محاسبه مشتق ها در تابع هسین چند فرض ضروری وجود دارد.

الف. مشتقات اول و دوم f در کلیه بازه های تمام متغیرها باید پیوسته باشد، بدیهی است به ازای این فرض داریم

$$f(x,y) = f(y,x)$$
$$\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} = \frac{\partial^2 f}{\partial x_j \partial x_i} \qquad (۱۶-۳)$$

ب. اگر مشتق در برخی نقاط صفر شود یا کل گرادیان f به ازای نقاط خاصی صفر شود آن نقطه را یک نقطه بحرانی می‌نامیم که طبیعی است گذر از چنین نقطه ای در حین حل می تواند منجر به واگرایی الگوریتم و عدم رسیدن به جواب شود. پس از محاسبه مشتق، برای کنترل قیود یک تست مشتق دوم یا اصطلاحا هسین حاشیه دار[۳۸] استفاده می‌شود.

در صورتی که شرطی مانند $c = g(x_1, x_2, ..., x_n)$ یک قید محسوب شود آنگاه داریم

[38] Bordered Hessian

$$H(f,g)=\begin{bmatrix} 0 & \frac{\partial g}{\partial x_1} & \frac{\partial g}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial g}{\partial x_n} \\ \frac{\partial g}{\partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial g}{\partial x_2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial g}{\partial x_n} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{bmatrix}$$

اگرm قید برای تابع در نظر بگیریم در قسمت بالا سمت چپ ماتریس یک بلوک $m\times m$ از درایه های صفر خواهیم داشت.

در مسئله مورد بحث در این فصل با توجه به قیمت و تحدب تابع نیکایدو ایزودا از هیچ نقطه بحرانی در ماتریس هسین عبور نمی کنیم و لذا تحت شرایط مسئله، الگوریتم کاملا همگرا است. اگر به هر دلیل قیمت یا سود به عددی منفی تبدیل شود این شرایط میتواند نقض شده و الگوریتم ممکن است واگرا شود که در ادامه به این موضوع در پیاده سازی توجه شده است.

۳-۴-۴- پیاده سازی نمونه برگرفته از مدل ۳۰ باس IEEE

در این مثال فرض شده ما سه کمپانی تولید کننده داریم که هر کدام تعدادی واحد تولیدی را در اختیار دارد. در جدول ۳-۱، واحدهای تولیدی مربوط به هر کمپانی، کف و سقف تولید مجاز هر

یک و کف و سقف تولید کل کمپانی آورده شده است. تابع هزینه برای هر واحد تولیدی i بصورت زیر آورده شده که ضرایب c و d و e مربوط به هر یک از واحدهای تولیدی در جدول ۴-۲ نشان داده شده است.

$$C_i(P_{gi}) = \frac{c_i}{2} P_{gi}^2 + d_i P_{gi} + e_i \qquad (۱۷-۳)$$

جدول (۳-۱): واحدهای تولیدی مربوط به هر کمپانی، کف و سقف تولید مجاز هر یک و کف و سقف تولید کل کمپانی ها به تفکیک ها

company	unit	P_g (min)	P_g (max)	P_c (min)	P_c (max)
1	1	0	80	0	80
2	2	0	80	0	130
	3	0	50		
3	4	0	55	0	125
	5	0	30		
	6	0	40		

حال فرض کنید که تقاضا تابعی اکیداً نزولی از قیمت است و تابع تقاضا در هر بازه زمانی در یک روز مشخص که مورد مطالعه است می تواند استاندارد سازی شده و بصورت رابطه زیر نوشته شود

$$P_{load}(p) = P_{load}^0(p) + \alpha p \qquad (۱۸-۳)$$

که $P_{load}^0(p)$ تقاضای پیش بینی شده برای آن بازه زمانی و α الاستیسیته تقاضا است. در شرایط بار استاندارد سی باس IEEE در یک بازه زمانی طبق [۲۳] می توان فرض کرد.

$$p_{load}(p) = 189.2 - 0.5p \qquad (۱۹-۳)$$

که می توان رابطه فوق را برحسب قیمت بصورت زیر نوشت

$$p = 378.4 - 2P_{load}(p)$$
$$P_{load}(p) = \sum_{i=1}^{ng} P_{gi} - P_{loss} \qquad (۲۰-۳)$$

جدول (۳-۲): ضرایب c و d و e مربوط به هر یک از واحدهای تولیدی

unit	c	d	e
1	0.04	2	0
2	0.035	1.75	0
3	0.125	1	0
4	0.0166	3.25	0
5	0.05	3	0
6	0.05	3	0

ng تعداد کل تولید کنندها و P_{loss} اتلاف سیستم انتقال را نمایش می دهد که در این مثال از اتلاف صرف نظر شده اما به راحتی می توان اثر اتلاف را بصورت تابعی از توان تولیدی در ماتریس B آنچنان که در مرجع [۲۷] نشان داده شده لحاظ کرد. با توجه به روابط فوق سود کمپانی j ام که شامل ngj واحد تولیدی است برابر رابطه زیر خواهد بود.

$$\varphi_j(P_{gj}) = p\sum_{j=1}^{ngj} P_{gj} - \sum_{j=1}^{ngj} C_j(P_{gj}) = \left(378.4 - 2\sum_{i=1}^{ng} P_{gi}\right)\sum_{j=1}^{ngj} P_{gj} - \sum_{j=1}^{ngj}\left(\frac{C_j}{2}P_{gj}^2 + d_j P_{gj} + e_j\right) \qquad (۲۱-۳)$$

تابع نیکایدو ایزودا را می توان برای رابطه بالا مشابه مثال قبل به شکل رابطه (۳-۲۳) نمایش داد. با باز کردن رابطه به تفکیک کمپانی، متغیرهای جدید y_j با متغیرهای Pgj جایگزین خواهد شد و در نهایت برای کمپانی های مختلف به تفکیک مطابق رابطه (۳-۲۴) نوشته می شود

$$Q(x,y)=\Psi_{xx}(x,y)\mid_{y=x}-\Psi_{yy}(x,y)\mid_{y=x}=$$

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x_1}\psi_{x_1}(x_1,x_2,y_1,y_2) & \frac{\partial}{\partial x_2}\psi_{x_1}(x_1,x_2,y_1,y_2) \\ \frac{\partial}{\partial x_1}\psi_{x_2}(x_1,x_2,y_1,y_2) & \frac{\partial}{\partial x_2}\psi_{x_2}(x_1,x_2,y_1,y_2) \end{pmatrix}\Bigg|_{y=x} -$$

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial y_1}\psi_{y_1}(x_1,x_2,y_1,y_2) & \frac{\partial}{\partial y_2}\psi_{y_1}(x_1,x_2,y_1,y_2) \\ \frac{\partial}{\partial y_1}\psi_{y_2}(x_1,x_2,y_1,y_2) & \frac{\partial}{\partial y_2}\psi_{y_2}(x_1,x_2,y_1,y_2) \end{pmatrix}\Bigg|_{y=x} =$$

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x_1}(2\rho x_1+2\rho x_2-\rho y_2) & \frac{\partial}{\partial x_2}(2\rho x_1+2\rho x_2-\rho y_2) \\ \frac{\partial}{\partial x_1}(2\rho x_1+2\rho x_2-\rho y_1) & \frac{\partial}{\partial x_2}(2\rho x_1+2\rho x_2-\rho y_1) \end{pmatrix}\Bigg|_{y=x} -$$

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial y_1}(-\rho x_2-2\rho y_1) & \frac{\partial}{\partial y_2}(-\rho x_2-2\rho y_1) \\ \frac{\partial}{\partial y_1}(-\rho x_1-2\rho y_2) & \frac{\partial}{\partial y_2}(-\rho x_1-2\rho y_2) \end{pmatrix}\Bigg|_{y=x} =$$

$$\rho\begin{pmatrix}2&1\\1&2\end{pmatrix}-(-\rho)\begin{pmatrix}2&1\\1&2\end{pmatrix}=2\rho\begin{pmatrix}2&1\\1&2\end{pmatrix} \qquad (۲۲-۳)$$

در رابطه (۳-۲۴) سه عبارت مشخص به چشم می خورد.

قسمت مربوط به کمپانی ۱ شامل یک تولید کننده وقسمت مربوط به کمپانی ۲ شامل دو تولید کننده و قسمت مربوط به کمپانی ۳ شامل سه ترم مثبت Pgjو یک ترم منفی y_j است از این قرار می توان فرض کرد که بازی فوق الزاماً محدب است.

$$\Psi(P_{gj}, y_j) = \{[278.4 - 2(y_1 + P_{g2} + ... + P_{g6})]y_1 - (\frac{c_1}{2} y_1^2 + d_1 y_1 + e_1)\}$$

$$- \{[378.4 - 2(P_{g1} + P_{g2} + ... + P_{g6})]P_{g1} - (\frac{c_1}{2} P_{g1}^2 + d_1 P_{g1} + e_1)\}$$

$$+ \{[378.4 - 2(P_{g1} + y_2 + y_3 + ...)](y_2 + y_3) - (\frac{c_2}{2} y_2^2 + d_2 y_2 + e_2)$$

$$- (\frac{c_3}{2} y_3^2 + d_3 y_3 + e_3)]\}$$

$$- \{[378.4 - 2(P_{g1} + P_{g2} + P_{g3} + ...)] \times (P_{g2} + P_{g3}) - (\frac{c_2}{2} p_{g2}^2 + d_2 P_{g2} + e_2)$$

$$- (\frac{c_3}{2} p_{g3}^2 + d_3 P_{g3} + e_3)\} + \{[378.4 - 2(P_{g1} + ... + y_4 + y_5 + y_6)$$

$$\times (y_4 + y_5 + y_6) - (\frac{c_4}{2} y_4^2 + d_4 y_4 + e_4) - (\frac{c_5}{2} y_5^2 + d_5 y_5 + e_5)$$

$$- (\frac{c_6}{2} y_6^2 + d_6 y_6 + e_6)\}$$

$$- \{[378.4 - 2(P_{g1} + ... + P_{g4} + P_{g5} + P_{g6})] \times (P_{g4} + P_{g5} + P_{g6})$$

$$- (\frac{c_4}{2} P_{g4}^2 + d_4 P_{g4} + e_4) - (\frac{c_5}{2} P_{g5}^2 + d_5 P_{g5} + e_5) - (\frac{c_6}{2} P_{g6}^2 + d_6 P_{g6} + e_6)\}. \quad (۲۳-۳)$$

باتوجه به توضیحات فوق برای تابع نیکایدو ایزودا پاسخ بهینه به شرح زیر قابل بیان خواهد بود.

(۲۴-۳)

$$Z(x) = \arg\max_y \ \Psi(P_{gj}, y_j)$$
$$P_{\min gj} \le y_j \le P_{\max gj}$$

با در نظر گرفتن قیود سقف و کف تابع نیکایدو ایزودا و تابع هدف، رابطه فوق باید نقطه بهینه برای تمام متغیرهای P_{g1} و P_{g2} تا P_{g6} را پیدا کند.

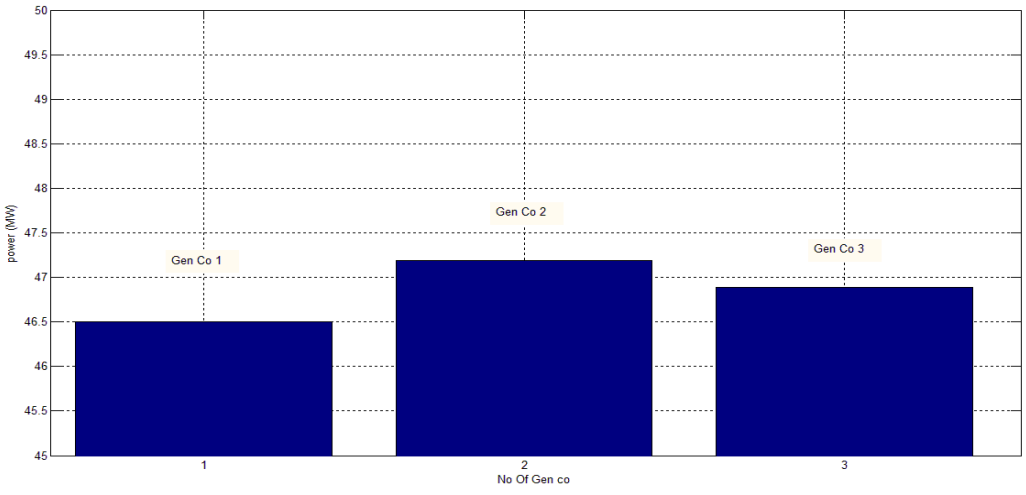
با توجه به تحدب تابع و غیر خطی بودن تابع هدف و قیود مسئله نیاز به یک الگوریتم بهینه سازی (ماکزیمم یا مینیمم کردن) غیر خطی با در نظر گرفتن قیود است. بدیهی است الگوریتم های مختلفی می‌تواند در این قسمت استفاده شود که در قسمت ۳-۴-۲ فصل توضیح داده شده است.

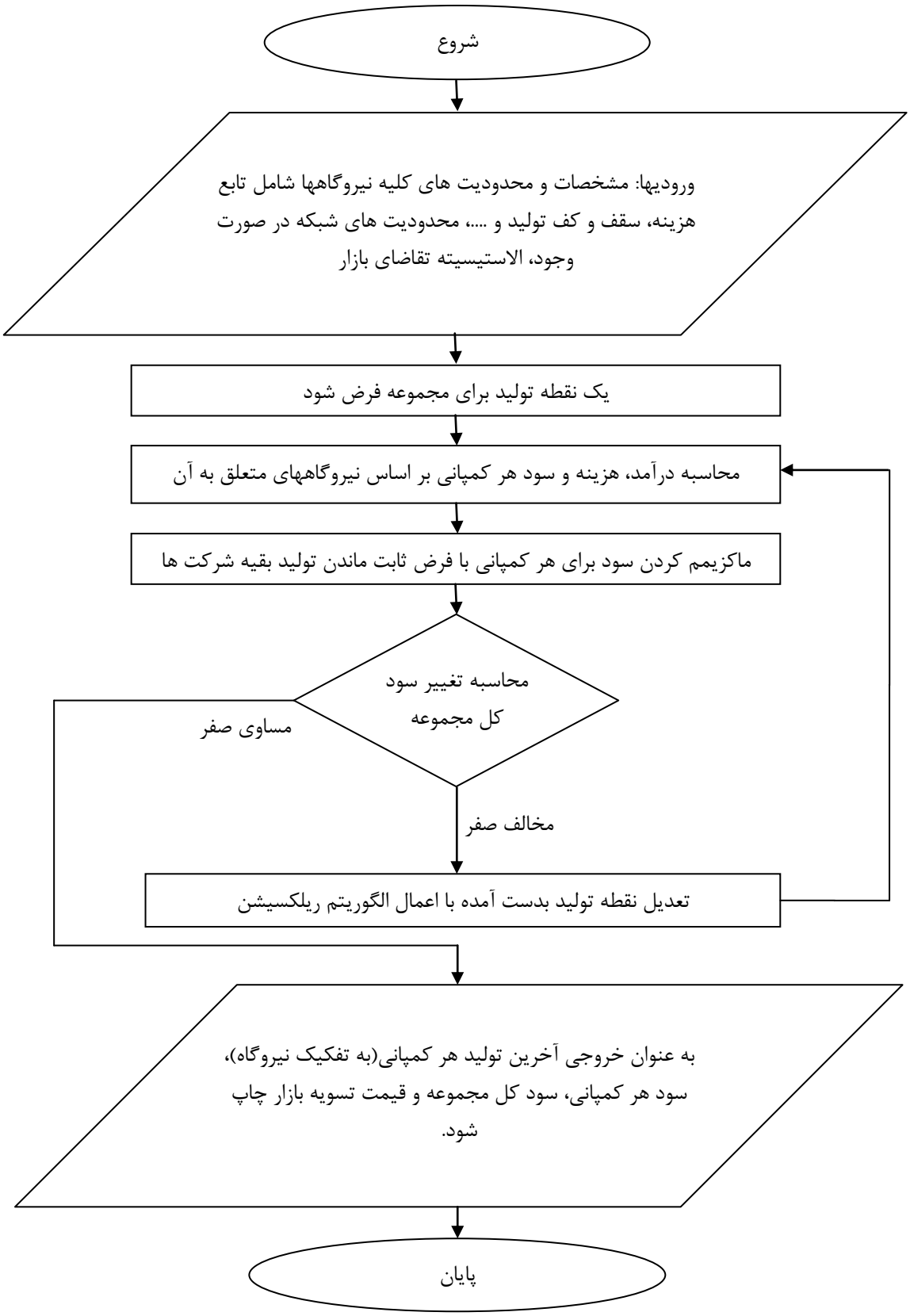
مشکل استفاده از این الگوریتمها به تنهایی ناپایداری خروجی به دلیل غیر خطی بودن و تحدب تابع است که برای حل این مشکل الگوریتم ریلکسیشن با گرفتن سرعت تغییرات خروجی و اعمال فیدبک از جواب قبل، پاسخ را پایدار می‌کند و انتخاب صحیح این ضریب که بیانگر میزان تأثیر خروجی قبل و خروجی جدید الگوریتم است بسیار دارای اهمیت است.

در نهایت مثال فوق با ضریب ریلکسیشن ۰/۱ و نقطه شروع صفر برای همه نیروگا ها پیاده سازی شد و پس از ۴۱ تکرار قیمت برابر ۹۷/۲ واحد و نتایج مطابق جدول ۳-۳ و شکل ۳-۱ بدست می-آید. نتایج بدست آمده با نتایج مندرج در [۲۳] کاملا مطابقت دارد.

جدول (۳-۳): توان تولیدی و سود واحدهای تولیدی مربوط به هر کمپانی به تفکیک

تولید هر واحد نیروگاهی	تولید هر کمپانی	سود هر واحد نیروگاهی	سود هر کمپانی
Pg1=46.5047	Pc1=46.5047	Profit = 4385.779	Profit = 4385.779
Pg2=32.2562	Pc2=47.1892	Profit = 3054.584	Profit = 4485.063
Pg3=14.9330		Profit = 1430.479	
Pg4=22.2653	Pc3=46.8870	Profit = 2078.906	Profit = 4401.287
Pg5=12.3108		Profit = 1161.18	
Pg6=12.3109		Profit = 1161.202	




شروع
ورودیها: مشخصات و محدودیت های کلیه نیروگاهها شامل تابع هزینه، سقف و کف تولید و ....، محدودیت های شبکه در صورت وجود، الاستیسیته تقاضای بازار
یک نقطه تولید برای مجموعه فرض شود
محاسبه درآمد، هزینه و سود هر کمپانی بر اساس نیروگاههای متعلق به آن
ماکزیمم کردن سود برای هر کمپانی با فرض ثابت ماندن تولید بقیه شرکت ها
محاسبه تغییر سود کل مجموعه
مساوی صفر
مخالف صفر
تعدیل نقطه تولید بدست آمده با اعمال الگوریتم ریلکسیشن
به عنوان خروجی آخرین تولید هر کمپانی(به تفکیک نیروگاه)، سود هر کمپانی، سود کل مجموعه و قیمت تسویه بازار چاپ شود.
پایان

فصل چهارم

ارزیابی قدرت بازار با استفاده از تابع نیکایدو ایزودا

۴-۱- مقدمه

تجربه های غیر رقابتی در صنعت برق بخصوص در بخش تولید، منجر به پیدایش مفهومی به نام قدرت بازار[۳۹] شده است. زمانی که مالک یک واحد تولیدی بتواند به طرز قابل توجهی (به صورت انحصاری) بر قیمت یا امکان دسترسی به برق تأثیر گذار باشد قدرت بازار ظهور پیدا می کند. در صنعت برق تجدید ساختار شده قدرت بازار می تواند از رقابت و حق انتخاب مشتری جلوگیری کند.

می توان قدرت بازار را به صورت توانایی یک فروشنده یا جمعی از فروشندگان برای کنترل قیمت لحظه ای غالب بر سطح رقابتی، کنترل خروجی کل یا کنارگذاری رقبا از بازار مربوطه برای دورهٔ زمانی قابل توجه تعریف کرد. قدرت بازار می تواند از رقابت در تولید توان، کیفیت خدمات و ابداعات تکنولوژیکی جلوگیری کند. نتیجه خالص قدرت بازار، انتقال ثروت از خریداران به فروشندگان از طریق جایابی نامطلوب منابع است .

انحصار در بازار یا قدرت بازار ممکن است به صورت عمدی یا تصادفی تجربه شود. به عنوان مثال در زمینهٔ تولید، یک تولید کننده می‌تواند میزان زیادی از تولید را به بازار عرضه و واحدهای ضعیف تر یا گرانتر را از گردونه رقابت خارج کند. یا همین تولید کننده در حالتیکه بازار با کمبود تولید ممکن است روبرو شود با وارد مدار کردن واحدهای گرانقیمت خود به بهانه حفظ قابلیت اطمینان در حالی که واحدهای ارزانتر در دسترس بوده‌اند قیمت را به نفع خود افزایش دهد. قیود انتقال و محدودیت های شبکه در موارد خاص به صورت اتفاقی می‌تواند ظرفیت انتقال را در یک ناحیه بخصوص محدود کند و موجب کمبود توان در آن ناحیه و قدرت بازار برای تولید کننده‌ای شود که در آن ناحیه است و محدودیتی از نظر قیود شبکه برای عرضه توان ندارد. وجود اطلاعات ساعتی قیمت یا قیمت متفاوت در ساعات مختلف می‌تواند مشتریان را به مدیریت مصرف و کم مصرف کردن زمانی

[39] Market Power

که در ساعت اوج قیمتها بالا می‌روند تشویق کند. فقدان اطلاعات ساعتی می‌تواند شرکتهای تولید کننده را به افزایش قیمتها به نفع خود در شرایطی که منابع کم است تشویق کند در حالیکه مشتریان و مصرف کنندگان آگاهی از وضعیت موجود دارند. در دوره اولیه تجدید ساختار، مالکان انتقال می توانستند با ارائه اطلاعات صحیح انتقال به شرکتهای تولید وابسته به خود و عدم ارائه آن به دیگر رقبا قدرت بازار را تجربه کنند. مقامات مسئول در صنعت برق باید شرایطی را که در آن برخی شرکتها صاحب قدرت می‌شوند تشخیص داده و آنرا اصلاح کنند.

۴-۲- مفهوم قدرت بازار و شاخص های محاسبه آن

۴-۲-۱- قدرت بازار

رایج ترین تعریف از قدرت بازار، توانایی فروشنده در قرار دادن قیمتها به طور سودآور بالاتر از سطوح رقابتی است. از آن جا که هزینه های تحقق یافته تولید، جزو اطلاعات محرمانه واحدهای تولیدی هستند و دسترسی به آن ها جز در شرایط خاص ممکن نیست، بنابراین در جهت کشف منشا قدرت بازار لازم است شاخص ها یی طراحی شوند که بدون نیاز به اطلاعات خصوصی بازیگران قادر به تشخیص قدرت بازار باشند. یک شاخص ایده آل قدرت بازار، شاخصی است که به وسیله یک عدد ساده، توانایی اعمال قدرت بازار را به نمایش بگذارد[۲۸]. توانایی پیش بینی قدرت بازار پیش از به کارگیری آن و محاسبه میزان همبستگی میان قدرت بازار و قیمت برق در بازار را میتوان از دیگر ویژگیهای یک شاخص ایده آل دانست. برای نسبت دادن یک عدد به مفهوم کیفی قدرت بازار، شاخص‌ها ی متفاوتی تعریف می شوند که هر یک میزان یکی از عوامل ایجادکننده قدرت بازار، نظیر تمرکز تولید، میزان نیاز به فروشنده و غیره را در نظر می‌گیرند. یکی دیگر از ویژگی های تمیزدهنده شاخص های قدرت بازار، توانایی آن ها در تشخیص قدرت بازار بالقوه یا بالفعل است. یعنی شاخص هایی که توانایی تشخیص قدرت بازار بالفعل را دارند، تنها قادر به ارزیابی این پدیده، پس از وقوع و به کارگیری آن هستند درحالیکه شاخص های بالقوه، قادر به

تشخیص توانایی بازیگر در به کارگیری قدرت بازار، پیش از تحقق آن هستند. این دسته از شاخص ها، در صورتیکه به شیوهای مناسب طراحی شده باشند، حتی در صورتیکه خود بازیگر از قدرت بازار خویش آگاه نباشد، میتوانند ایزو را از وجود بالقوه این توانایی با خبر سازند. در بازاری همچون بازار برق ایران که مالکیت و مدیریت اغلب نیروگاهها تا چند سال پیش دولتی بوده است، این احتمال است که هنوز برخی از فروشندگان از قدرت اقتصادی خود بی‌خبر بوده و از آن استفاده نکنند. بنابراین باید توجه خاصی به قدرت بازار بالقوه داشت.

۴-۲-۲ نحوه محاسبه قدرت بازار

در تحلیل قدرت بازار، دسته ای از شاخص ها وجود دارند که با عنوان شاخص های ارزیابی رقابتی بودن بازار شناخته می‌شوند. در این نوع از شاخص ها فارغ از نوع جایگاه و رفتار هر یک از بازیگران بازار، به ساختار کلی بازار پرداخته می‌شود[۲۸]. بدین معنی که بازاری که در آن معاملات برق انجام می‌شود، از لحاظ ساختاری، جغرافیایی و شبکه ای چه نقشی می‌تواند در اجرای صحیح و عادلانه بازار داشته باشد. آیا شرایط بازار و محدودیت هایی که موقعیت بازار با آن ها روبه روست، در میزان قدرت بازیگر یا بازیگرانی خاص تأثیر می گذارد یا خیر؟ آیا این شرایط باعث به وجود آمدن یک بازار غیر رقابتی و یا حتی انحصاری می‌شود یا خیر؟ به بیان دیگر با بررسی و محاسبه و درنهایت تحلیل این دسته از شاخص ها به میزان رقابتی بودن بازار و مهیا بودن شرایط بازار برای ایجاد یک رقابت عادلانه می‌پردازیم.

۴-۲-۳- شاخص HHI[۴۰]

فرض کنید S_i سهم شرکت کننده i از بازار باشد. S_i را میتوان به صورت کسری کوچک تر از یک و یا درصدی در نظر گرفت که حالت دوم معمولتر است. با این فرض، شاخص HHI برای یک بازار به صورت زیر تعریف می‌شود[۲۸]

[40] Herfindahl-Hirschman Index

(۱-۴)

$$HHI = \sum S_i^2$$

به طور سنتی رابطه تمرکز بازار با مقدار HHI را می توان به صورت زیر بیان کرد:

HHI کمتر 1000 نشان دهنده بازار نامتمرکز است. بین 1000 و 1800 نشان دهنده بازار نسبتاً متمرکز است و بزرگ تر از 1800 نشان دهنده بازار به شدت متمرکز است.

۴-۲-۴- شاخص هانا و کای[41]

این شاخص، تعمیم یافته شاخص HHI است. در شاخص HHI به سهم بنگاهها توان دو داده شده است درحالیکه در شاخص هانا و کای توان سهم بازار به صورت کلی و با نماد α که توسط پژوهشگر مشخص می شود تعریف می‌شود. α پارامتر کشش است و هرچه بزرگ تر باشد، وزن بنگاه های بزرگ تر در اندازه این شاخص بیشتر خواهد بود و بر عکس.

$$HK = \sum_{i=1}^{N} S_i^{\alpha} \qquad (۲-۴)$$

۴-۲-۵- شاخص ضریب آنتروپی

معیار آنتروپی به عنوان گزینه ای برای واریانس به کار برده می‌شود، در واقع آنتروپی معیار معکوس تمرکز است، هنگامی که آنتروپی افزایش می‌یابد تمرکز کاسته می شود:

(۳-۴)

$$E = \sum_{i=1}^{N} S_i \log(\frac{1}{S_i})$$

در رابطه بالا Si همان سهم بازار است و مقدار این شاخص برای بازار تک انحصاری برابرصفر است و با رقابتی شدن بازار به طور غیرخطی افزایش می‌یابد[۲۸]

[41] Hanna & Kai

۴-۲-۶- شاخص عرضه باقی مانده بازار

شاخص عرضه باقی مانده به منظور تعیین میزان نیاز به یک بازیگر مورد استفاده قرار می گیرد. این شاخص بالقوه بوده و می‌تواند بیان کننده محوری بودن یا نبودن یک بازیگر با توجه به ساختار بازار، میزان مصرف شبکه و توان قابل تولید دیگر بازیگران باشد. این شاخص به صورت زیر برای هر تولیدکننده تعریف می‌شود و بیان کننده میزان نیاز به یک ژنراتور خاص برای تأمین تقاضای کل شبکه است[۲۸].

$$RSI_j = \frac{\sum_{i=1}^{k} AC_i - AC_j}{D} \qquad (۴-۴)$$

RSI_j شاخص عرضه بازیگر باقی مانده j ام

$\sum_{i=1}^{k} AC_i$ ظرفیت کل در دسترس

AC_j ظرفیت در دسترس بازیگر j ام

D میزان کل تقاضا

برای محاسبه شاخص عرضه باقی مانده بازار ابتدا شاخص RSI برای هر بازیگر محاسبه می شود و سپس مقدار شاخصRSI برای کل بازار را برابر کمترین RSI بازیگران در نظر می گیرند . این شاخص به منظور سنجش استقلال بازار استفاده می‌شود[۲۸].

۴-۳- ارزیابی ساختار

تمام صنایعی که دارای مدیریت مرکزی هستند یک ارزیابی کلی وابسته مقدماتی از ساختار بازار، قیمتها و کارایی بازار انجام داده و نتیجه را منتشر می کنند. در بازار برق بدلایل ماهیت انرژی برق و اینکه یک متغیر به هم پیوسته و غیر قابل ذخیره سازی در حجم بالا است و نیاز به تحویل آنی به مصرف کننده دارد، الاستیسته تقاضای پایین، درخواست مصرف کننده برای امنیت بالای برق تحویلی، تغییرات فصلی بسیار شدید در مصرف، این ارزیابی مقدماتی می تواند دچار مشکل شود و

این نشانگر این موضوع است که برق تولیدی در هر لحظه که شامل مخلوطی از نیروگاههای با هزینه های خیلی کم، متوسط و خیلی بالا است هیچگاه قابل پیش بینی دقیق نیست. از این رو و با توجه به اینکه نیروگاههای با هزینه پایین برای ۹۰٪ سال روشن باشند و نیروگاههای با هزینه بالا ممکن است فقط چند ساعت در یک سال روشن باشند می توان گفت استراتژی و ساختار بازار بسیار مهم است.

با توجه به توضیحات فوق این تمایل طبیعی در بازار وجود دارد که کمپانی های رقیب به سمت بازیگران جدا از هم سوق داده شوند تا هیچ یک از بازیگران که شامل انواع مختلفی از نیروگاههای ممکن باشند نتوانند نقش عمده ایفا کنند و قیمت بازار را به سمت قیمت مورد نظر خود سوق دهند و از این کار سهم سود بیشتری را از نیروگاههای خود ببرند.

اگر دورنمایی از آینده ساختار بازار برق را بخواهیم ترسیم کنیم باید این موضوع که سعی شود کلیه شرکتها سهم متناسبی از در اختیار داشتن هر سه نوع تولید کننده را داشته باشند در آن لحاظ شود. علاوه بر آن اثرات پیشنهادی طرف های مقابل هم باید مد نظر قرار گیرد در [۲۹] پیشنهاد شده که در یک بازار برق دارای هسته مرکزی، بخشهای مختلفی شامل بارپایه و بارپیک تشکیل شود. در چنین حالتی قدرت بازار یا ساختار بازار بصورت طبیعی تمایل به تمرکز در این دو بخش خواهد داشت.

این موضوع می تواند با توجه به قوانین بازار پیچیده باشد. برای مثال اگر یک بازار بسیار بزرگ با یک قیمت تک برای همه توانها در همه زمانها داشته باشیم یا در بازاری که قیمت ها بسته به نوع نیروگاه و زمان فرق می کند پیاده سازی چنین موردی آسان نیست این پایان نامه با گرایش به توسعه یک چهارچوب استاندارد برای بررسی مسائل و پاسخگویی به سؤالات در مورد وابستگی داخلی در این بازار طراحی شده است.

۴-۴- مدل کردن سهم نیروگاهها در بازار برق

در این قسمت چند حالت مختلف از یک بازار برق واقعی[۲۴] آورده شده است. نیروگاههای مختلف به کمپانی های مختلف در حالتهایی که ممکن است درصد سهم تولید به نحوی اختصاص یابد که موجب بدست گرفتن قدرت بازار (ظرفیت تولید) توسط یک کمپانی[۴۲] خاص شود اختصاص داده شده، مدل بازار بررسی و نتایج آورده شده است. در نهایت شاخص های محاسبه قدرت بازار در حالات مختلف بررسی و نتیجه گیری نهایی انجام می‌شود.

سناریو الف

برای مدل کردن بازار برق مورد بحث، یک شبکه با ۱۹ نیروگاه و سه کمپانی در نظر گرفته شده است.

جدول (۴-۱): ضرایب c,d و ماکزیمم و مینیمم تولید هر نیروگاه و نیروگاه های متعلق به هر کمپانی

شماره نیروگاه	نوع کمپانی	مینیمم تولید (مگاوات)	ماکزیمم تولید(مگاوات)	C	d
1	1	0	736	0.00021	0
2	2	0	501.8	0.0003	0
3	3	0	354.8	0.00046	0
4	3	0	261	0.0006	0
5	1	0	340	0.00466	31.68
6	1	0	379	0.00194	14.68
7	2	0	379	0.00171	12.97
8	3	0	368.4	0.00183	13.52
9	2	0	304	0.00377	22.91
10	3	0	250	0.00471	23.57
11	3	0	244.9	0.00347	16.99
12	1	0	128	0.01099	28.13
13	2	0	108	0.04202	90.76
14	3	0	97	0.06649	129
15	3	0	58	0.11197	129.88
16	2	0	49	0.07562	74.11
17	1	0	23.8	0.26658	126.89
18	1	0	16	0.05076	58.88
19	3	0	12	0.41042	98.5

[42] Gen Co

ضرایب هزینه نیروگاهی [۲۴] و ماکزیمم و مینیمم توان تولیدی مجاز هر نیروگاه و همچنین مالکیت کمپانیها برای تمامی نیروگاه ها منطبق بر سناریو الف در جدول ۴-۱ آورده شده است. در جدول فوق نیروگاههای شماره ۱ تا ۴ جزو گروه نیروگاههای با هزینه های c,d پایین یا در واقع نیروگاههای بار پایه[۴۳] محسوب می‌شوند. c,d نیروگاههای شماره ۵ تا ۱۱ طوری در نظر گرفته شده که این نیروگاه ها از دسته نیروگاه های متوسط[۴۴] به حساب آمده و در نهایت مابقی نیروگاه ها با هزینه های c,d بالا و در دسته نیروگاه های پیک قرار می‌گیرند.

چیدمان تعلق نیروگاهها به هر کمپانی در سناریو الف، مطابق جدول ۴-۱ طوری در نظر گرفته شده که همه کمپانی ها به نسبت تقریبا مساوی از همه انواع نیروگاهها در اختیار دارند. به عبارت دیگر بازار مدل، یک بازار توزیع شده مناسب محسوب می‌شود.

در بازار مدل شده رابطه قیمت با الاستیسیته تقاضا به شکل زیر بدست می‌آید[۲۴]

(۱-۴)

$$p = \alpha - \beta P_{load}(p)$$

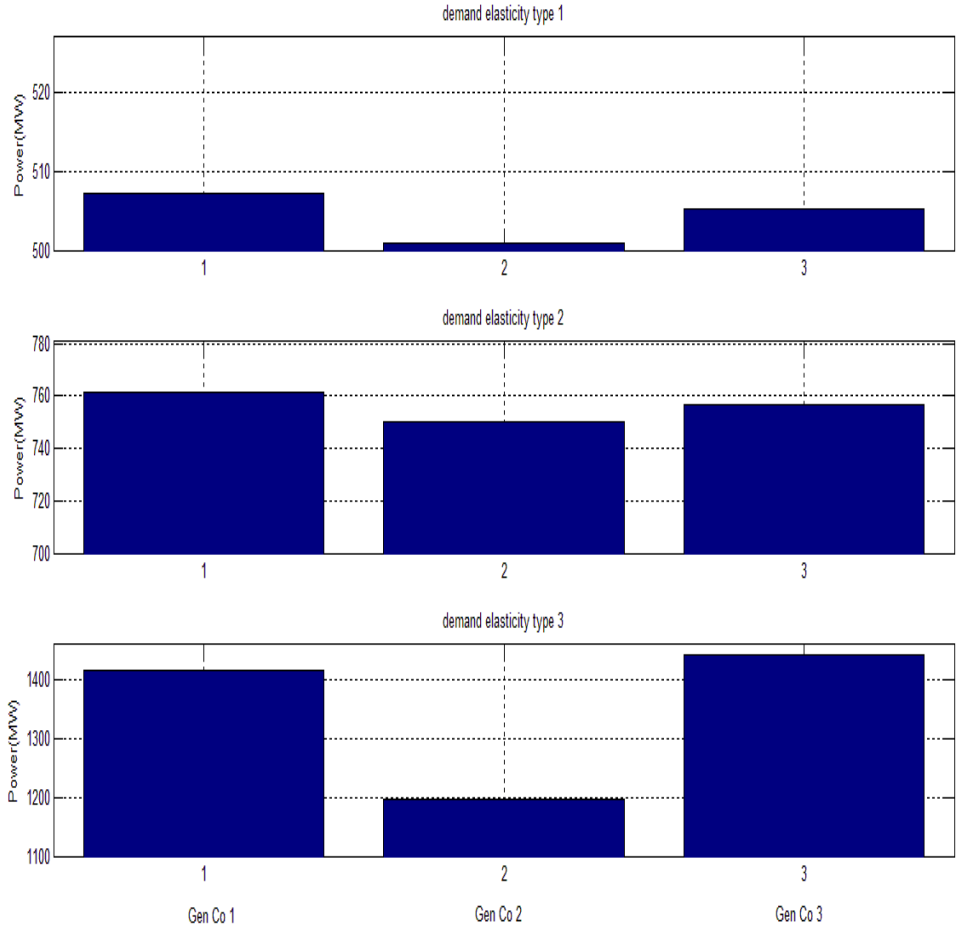
برای بررسی درصد سهم هر کمپانی در توان تولیدی کل (قدرت بازار) با تغییرات در ضرایب α و β در سه حالت با الاستیسیته تقاضاهای مختلف بازار پیاده سازی شده است. این ضرایب طوری انتخاب شده که منحنی رابطه ۴-۵ نمودار تولید را در سه نقطه در نواحی بار پایه، متوسط و پیک قطع می‌کند.

جدول (۴-۲): سود کل و هر کمپانی به تفکیک به همراه قیمت در هر حالت

سناریو الف	سود کمپانی ۱	سود کمپانی ۲	سود کمپانی ۳	سود کل	قیمت
حالت ۱	516448.72	508797.93	513686.67	1538933.32	1023.4
حالت ۲	1264799.64	1214044.41	1241125.49	3719969.54	1673.89
حالت ۳	4389293.47	3702676.98	4479941.43	12571911.88	3229.17

[43] Base load
[44] mid-merit

پیاده سازی بازار مطابق شرایط توضیح داده شده در فصل سوم و بر اساس تابع نیکایدو ایزودا و الگوریتم ریلکسیشن صورت گرفته و نقطه تعادل نش بازار بدست امده است. نتایج حاصل از پیاده سازی برای سناریو الف در جداول ۴-۲، ۴-۳ و شکل ۴-۱ آورده شده است.



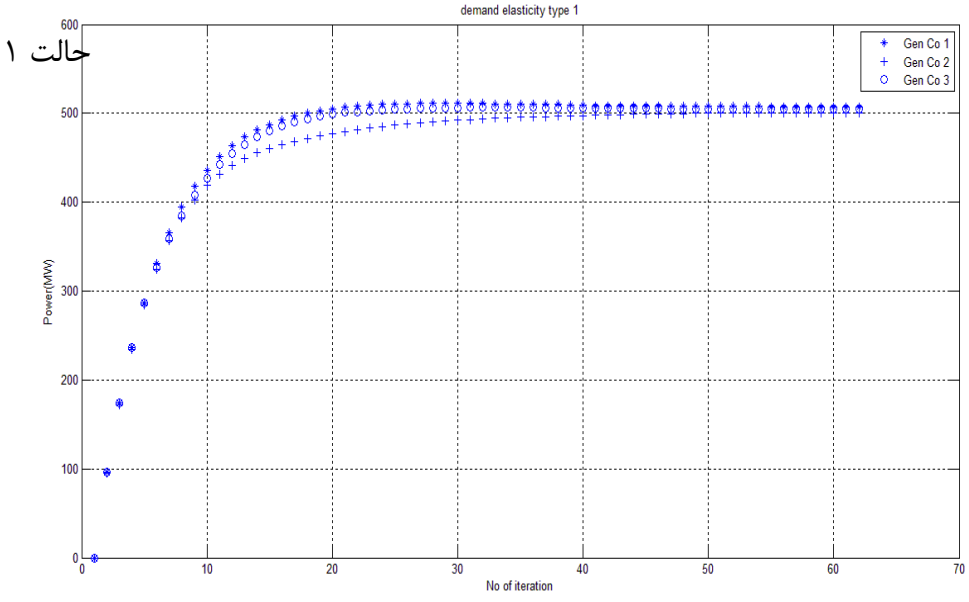
شکل (۴-۱): میزان توان تولیدی هر کمپانی بر حسب مگاوات در الاستیسیته تقاضا های مختلف

جدول (۴-۳): سهم تولید هر کمپانی به درصد و شاخص HHI در هر حالت

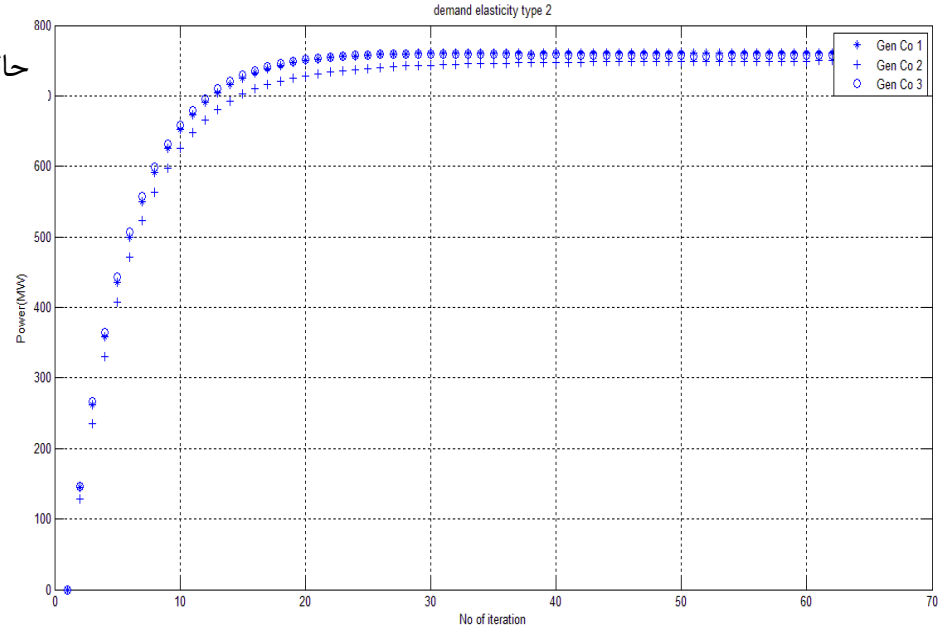
سناریو الف	تولید کل	درصد کمپانی ۱	درصد کمپانی ۲	درصد کمپانی ۳	HHI
حالت ۱	1513.3	33.52	33.1	33.38	3333.43
حالت ۲	2268.05	33.56	33.06	33.37	3333.46
حالت ۳	4055.41	34.9	29.51	35.59	3355.51

مطابق نتایج بدست آمده در بالا بدلیل اینکه نیروگاه ها به صورت نسبتا یکسان بین کمپانی ها توزیع شده‌اند، طبیعتا درصد تولید و مقدار سود همه کمپانی ها در هر سه حالت تقریبا مساوی است. در واقع در این سناریو پایین ترین قیمت ممکن را داریم زیرا قدرت بازار در اختیار کمپانی خاصی قرار نگرفته است. با توجه به اینکه ضریب HHI یکی از متداولترین شاخص‌های ارزیابی قدرت بازار محسوب می‌شود، این ضریب برای تحلیل قدرت بازار انتخاب و در هر سناریو مقدار آن به تفکیک برای هر سه حالت محاسبه شده است. ضریب HHI مجموعه در این سناریو در هر سه حالت از ۳۵۰۰ کمتر است که بیانگر بازار نامتمرکز است.

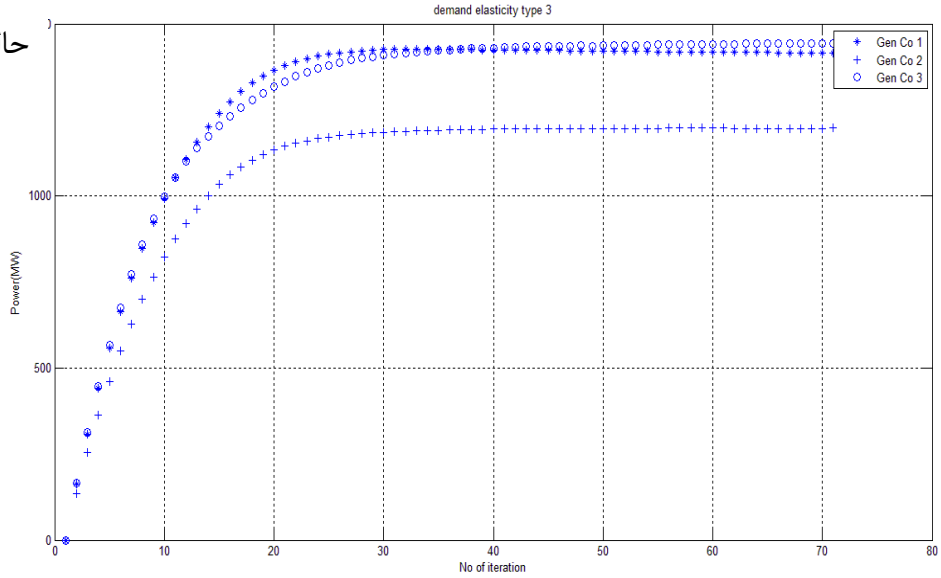
برای نشان دادن نحوه همگرا شدن الگوریتم عددی استفاده شده به نقطه تعادل نش برای هر کمپانی و حجم محاسبات مورد نیاز در هر مرحله، شکل ۴-۲ را که نحوه تغییرات تولید هر شرکت از نقطه شروع شبیه سازی تا رسیدن به تعادل نش است رسم کرده ایم. بدیهی است تعداد تکرار کم الگوریتم هنگام رسیدن به جواب نشانگر سرعت بالای همگرایی بوده و کاربردهای چنین روشهایی را حتی به صورت لحظه ای نیز ممکن می‌سازد. شکل ۴-۲ در سه قسمت به تفکیک سه حالت تقاضا رسم و نحوه تغییر تولیدات هر شرکت در هر حالت به صورت منحنی جداگانه در هر حالت رسم شده است.



حالت ۲



حالت ۳



شکل (۴-۲): نحوه تغییرات تولید هر شرکت از نقطه شروع شبیه سازی تا رسیدن به تعادل نش در سه حالت

سناریو ب

ضرایب هزینه نیروگاهی و ماکزیمم و مینیمم توان تولیدی مجاز هر نیروگاه و همچنین مالکیت کمپانیها برای تمامی نیروگاه ها منطبق بر سناریو ب در جدول ۴-۴ آورده شده است.

جدول (۴-۴): ضرایب c,d و ماکزیمم و مینیمم تولید هر نیروگاه و نیروگاه های متعلق به هر کمپانی

شماره نیروگاه	نوع کمپانی	مینیمم تولید (مگاوات)	ماکزیمم تولید(مگاوات)	C	d
1	1	0	736	0.00021	0
2	1	0	501.8	0.0003	0
3	1	0	354.8	0.00046	0
4	1	0	261	0.0006	0
5	2	0	340	0.00466	31.68
6	3	0	379	0.00194	14.68
7	2	0	379	0.00171	12.97
8	3	0	368.4	0.00183	13.52
9	2	0	304	0.00377	22.91
10	3	0	250	0.00471	23.57
11	3	0	244.9	0.00347	16.99
12	2	0	128	0.01099	28.13
13	3	0	108	0.04202	90.76
14	2	0	97	0.06649	129
15	3	0	58	0.11197	129.88
16	2	0	49	0.07562	74.11
17	3	0	23.8	0.26658	126.89
18	2	0	16	0.05076	58.88
19	3	0	12	0.41042	98.5

چیدمان تعلق نیروگاهها به هر کمپانی در سناریو ب، مطابق جدول ۴-۴ طوری در نظر گرفته شده که نیروگاههای با هزینه های c,d پایین یا در واقع نیروگاههای بار پایه در اختیار کمپانی ۱ قرار دارند.

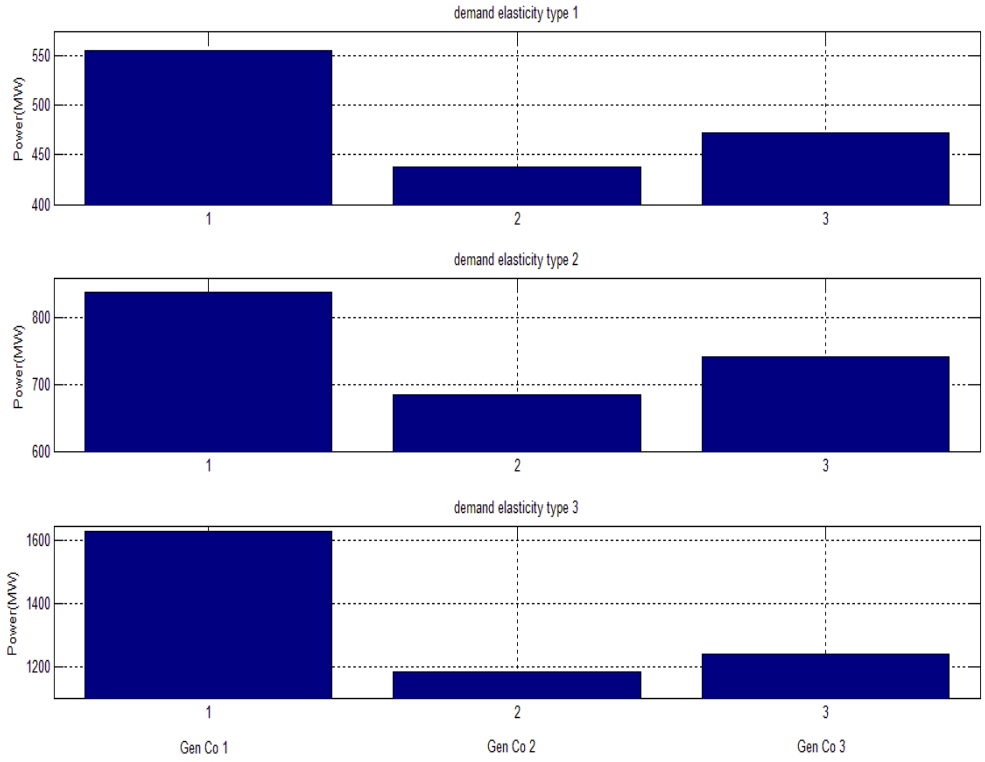
برای بررسی درصد سهم هر کمپانی در توان تولیدی کل (قدرت بازار) مشابه سناریو الف در سه حالت با الاستیسیته تقاضاهای مختلف بازار پیاده سازی شده است.

پیاده سازی مشابه سناریو قبل انجام و نقطه تعادل نش بازار بدست امده است. نتایج حاصل از پیاده سازی برای این سناریو در جداول ۴-۵، ۴-۶ و شکل ۴-۳ آورده شده است.

شکل ۴-۴ نیز در سه قسمت به تفکیک سه حالت تقاضا رسم و نحوه تغییر تولیدات هر شرکت در الگوریتم عددی به صورت منحنی‌های جداگانه رسم شده است. تعداد تکرار کم الگوریتم هنگام رسیدن به جواب مشابه حالت قبل و اختلاف تولید کمپانی ها با یکدیگر بدلیل فرم سناریو در سه حالت تقاضا کاملا مشهود است.

جدول (۴-۵): سود کل و هر کمپانی به تفکیک به همراه قیمت در هر حالت

سناریو ب	سود کمپانی ۱	سود کمپانی ۲	سود کمپانی ۳	سود کل	قیمت
حالت ۱	620793.95	415518.76	453096.35	1489409.06	1122.1
حالت ۲	1407778.09	1005773.82	1121793.74	3535345.65	1686.11
حالت ۳	5264842.32	3488842.61	3772183.04	12525867.97	3248.43



شکل (۴-۳): میزان توان تولیدی هر کمپانی بر حسب مگاوات در الاستیسیته تقاضا های مختلف

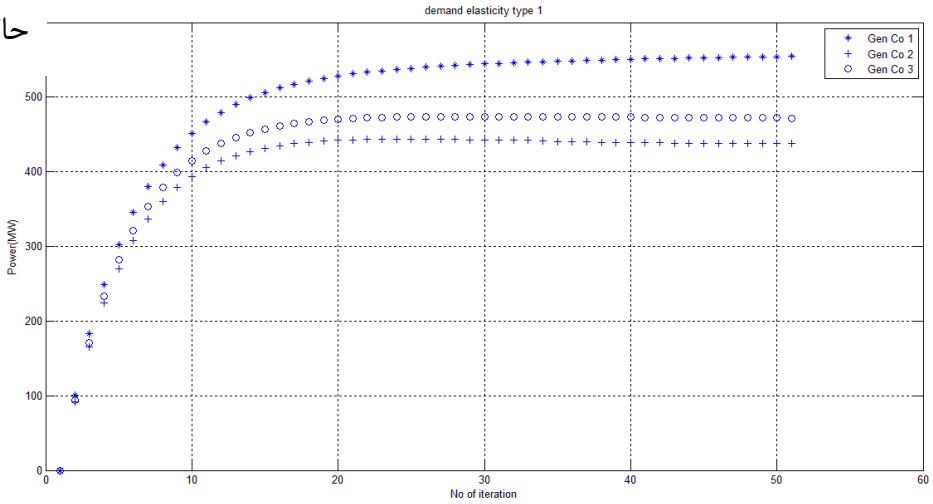
مطابق نتایج بدست آمده در بالا بدلیل اینکه بیشتر نیروگاه های بار پایه در اختیار کمپانی یک می-باشند، طبیعتا درصد بیشتری از تولید را در هر سه حالت به خود اختصاص داده است و به همان نسبت مطابق جدول ۴-۵، درصد بیشتری از سود را هم در اختیار دارد. در واقع در این سناریو قدرت بازار تا حدی در اختیار کمپانی یک قرار گرفته است.

جدول (۴-۶): سهم تولید هر کمپانی به درصد و شاخص HHI در هر حالت

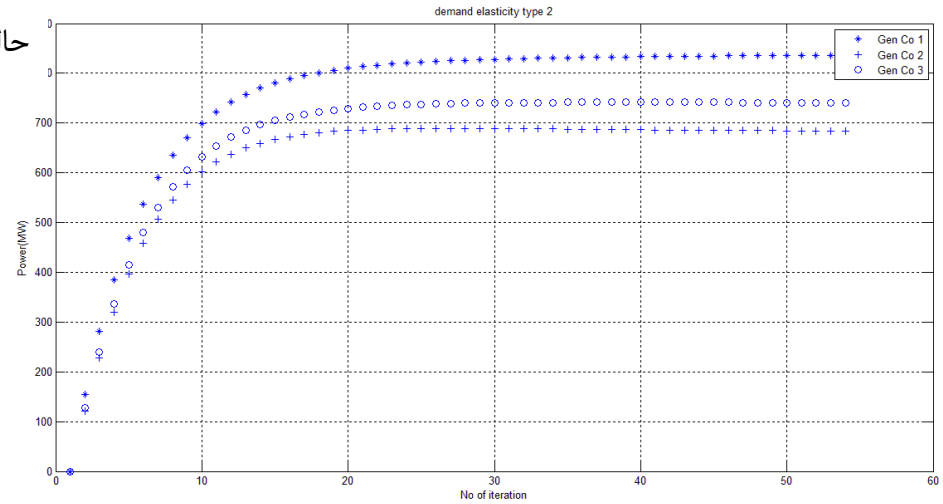
سناریو ب	تولید کل	درصد کمپانی ۱	درصد کمپانی ۲	درصد کمپانی ۳	HHI
حالت ۱	1463.95	37.87	29.89	32.24	3366.95
حالت ۲	2261.94	36.99	30.24	32.78	3356.6
حالت ۳	4045.78	40.14	29.21	30.65	3403.94

مطابق نتایج بدست آمده نه تنها قیمت تمام شده در تمام حالات افزایش یافته بلکه شاخص HHI نیز هم از بازار نامتمرکز (سناریو الف) فاصله گرفته است.

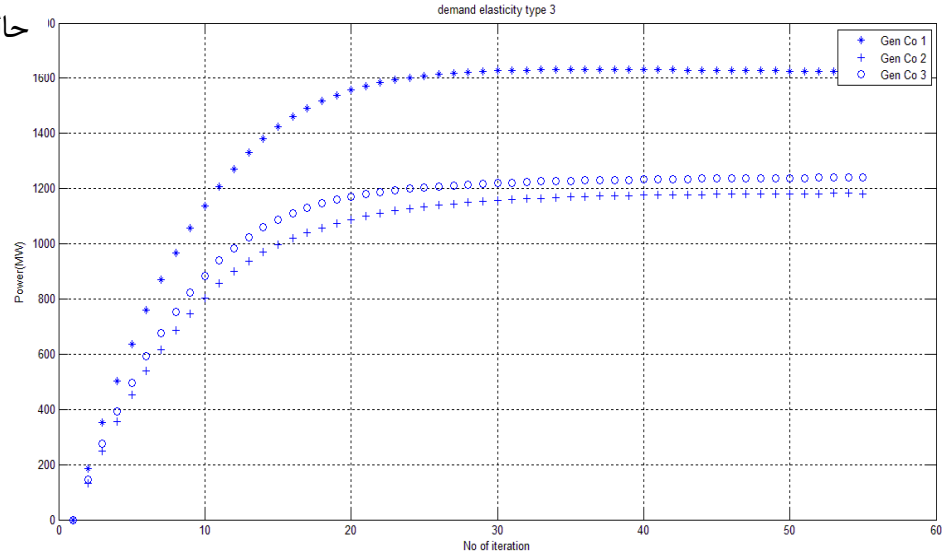
حالت ۱



حالت ۲



حالت ۳



شکل (۴-۴): نحوه تغییرات تولید هر شرکت از نقطه شروع شبیه سازی تا رسیدن به تعادل نش در سه حالت

جدول (۴-۷): ضرایب c,d و ماکزیمم و مینیمم تولید هر نیروگاه و نیروگاه های متعلق به هر کمپانی

شماره نیروگاه	نوع کمپانی	مینیمم تولید (مگاوات)	ماکزیمم تولید(مگاوات)	C	d
1	2	0	736	0.00021	0
2	3	0	501.8	0.0003	0
3	2	0	354.8	0.00046	0
4	3	0	261	0.0006	0
5	2	0	340	0.00466	31.68
6	3	0	379	0.00194	14.68
7	2	0	379	0.00171	12.97
8	3	0	368.4	0.00183	13.52
9	2	0	304	0.00377	22.91
10	3	0	250	0.00471	23.57
11	2	0	244.9	0.00347	16.99
12	1	0	128	0.01099	28.13
13	1	0	108	0.04202	90.76
14	1	0	97	0.06649	129
15	1	0	58	0.11197	129.88
16	1	0	49	0.07562	74.11
17	2	0	23.8	0.26658	126.89
18	3	0	16	0.05076	58.88
19	3	0	12	0.41042	98.5

سناریو ج

ضرایب هزینه نیروگاهی و ماکزیمم و مینیمم توان تولیدی مجاز هر نیروگاه و همچنین مالکیت کمپانیها برای تمامی نیروگاه ها منطبق بر سناریو ج در جدول ۴-۷ آورده شده است.

چیدمان تعلق نیروگاهها به هر کمپانی در سناریو ج، مطابق جدول ۴-۷ طوری در نظر گرفته شده که غالب نیروگاههای بار پیک در اختیار کمپانی ۱ هستند.

برای بررسی درصد سهم هر کمپانی در توان تولیدی کل (قدرت بازار) مشابه سناریوهای قبل در سه حالت با الاستیسیته تقاضاهای مختلف بازار پیاده سازی شده است.

پیاده سازی انجام و نقطه تعادل نش بازار بدست امده است. نتایج حاصل از پیاده سازی برای این سناریو در جداول ۴-۸، ۴-۹ و شکل ۴-۵ آورده شده است. شکل ۴-۶ نیز سرعت همگرایی در سه حالت را نشان میدهد. در این حالت نیز اختلاف بالای تولید میان کمپانی ها بدلیل سناریو و تعداد تکرار کم هنگام رسیدن به جواب مشخص است.

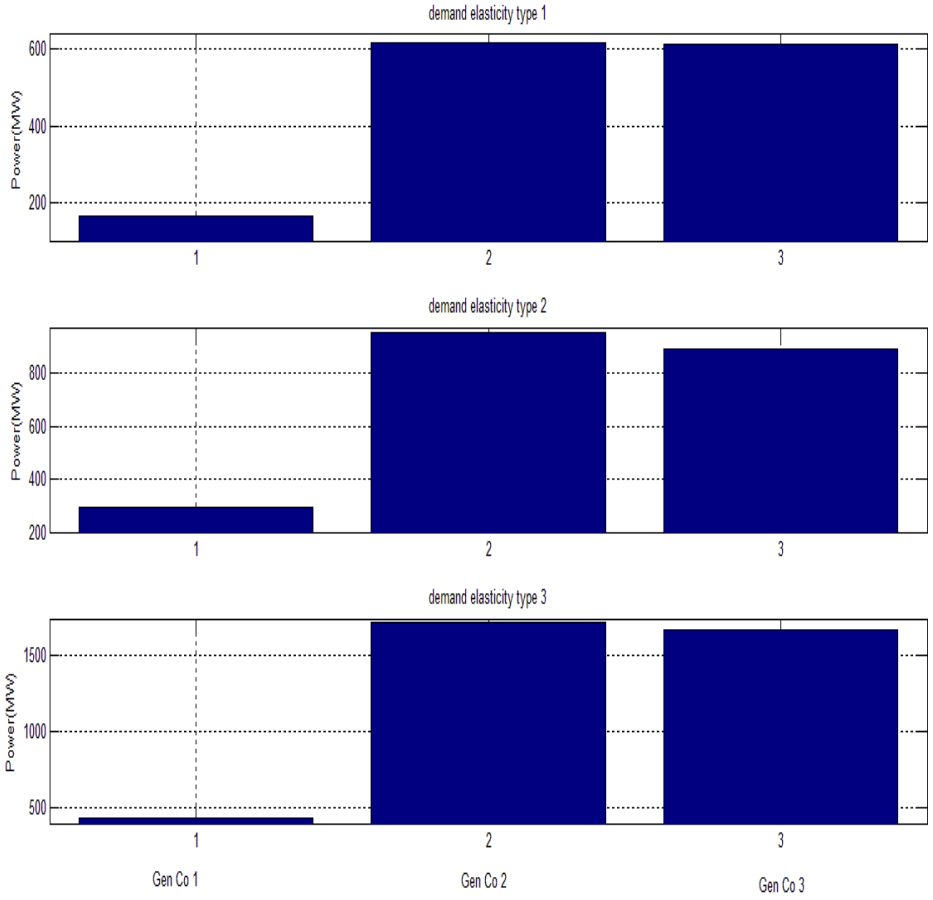
جدول (۴- ۸): سود کل و هر کمپانی به تفکیک به همراه قیمت در هر حالت

سناریو ج	سود کمپانی ۱	سود کمپانی ۲	سود کمپانی ۳	سود کل	قیمت
حالت ۱	129542.91	772618.19	767223.54	1669384.64	1253.05
حالت ۲	343974.32	1836206.68	1693729.97	3873910.97	1931.09
حالت ۳	1151732.34	6212885.67	5949849.2	13314467.21	3672.94

مطابق نتایج بدست آمده در بالا بدلیل اینکه بیشتر نیروگاه های بار پیک در اختیار کمپانی یک می‌باشند، کمپانی ۱، درصد خیلی کمی از تولید در حالت های یک و دو و درصد نسبتا کمی را در حالت ۳ به خود اختصاص داده است و به همان نسبت مطابق جدول ۴- ۸ سود کمپانی بشدت کاهش یافته است. در واقع در این سناریو بازار تا حدی از حالت رقابتی فاصله گرفته است لذا نه تنها قیمت تمام شده در تمام حالات افزایش یافته، شاخص HHI نیز از بازار نامتمرکز خیلی فاصله گرفته است.

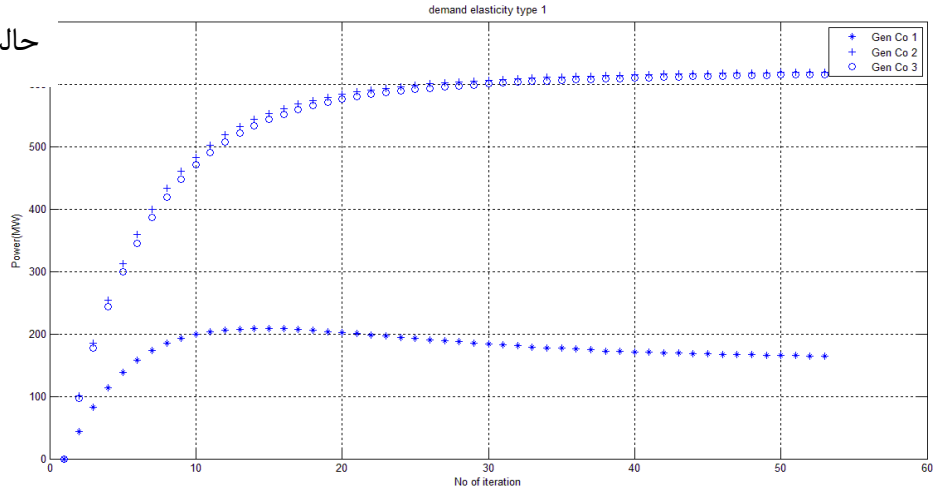
جدول (۴-۹): سهم تولید هر کمپانی به درصد و شاخص HHI در هر حالت

سناریو ج	تولید کل	درصد کمپانی ۱	درصد کمپانی ۲	درصد کمپانی ۳	HHI
حالت ۱	1398.47	11.76	44.25	44	4031.8
حالت ۲	2139.45	13.81	44.6	41.58	3909.39
حالت ۳	3833.53	11.45	45.01	43.54	4052.58

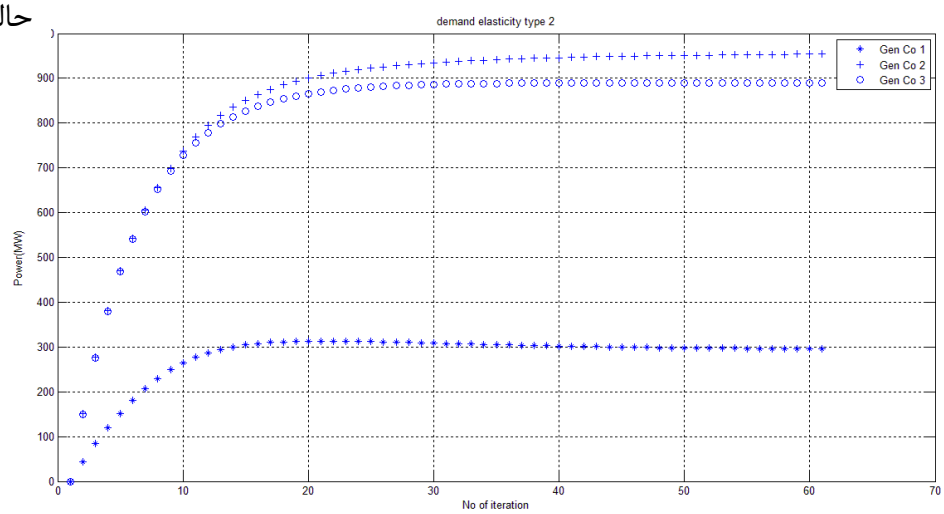


شکل (۴-۵): میزان توان تولیدی هر کمپانی بر حسب مگاوات در الاستیسیته تقاضا های مختلف

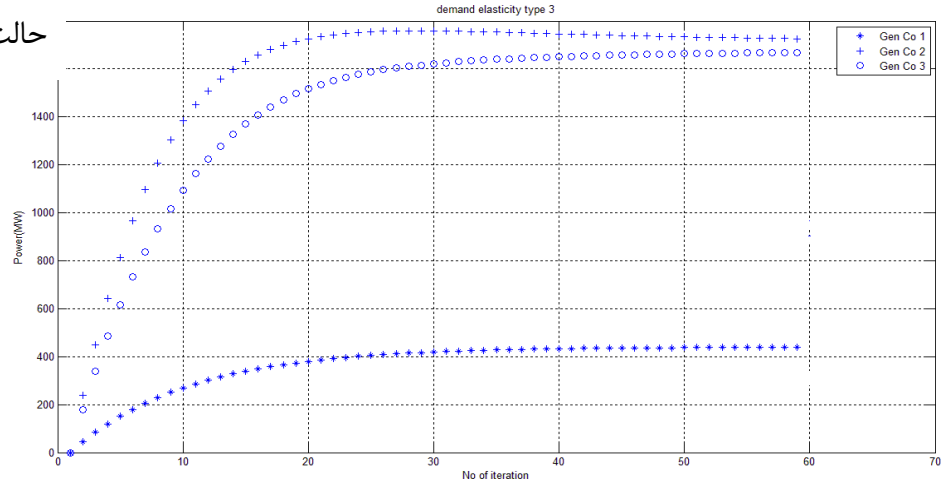
حالت ۱



حالت ۲



حالت ۳



شکل (۴-۶): نحوه تغییرات تولید هر شرکت از نقطه شروع شبیه سازی تا رسیدن به تعادل نش در سه حالت

سناریو د

ضرایب هزینه نیروگاهی و ماکزیمم و مینیمم توان تولیدی مجاز هر نیروگاه و همچنین مالکیت کمپانیها برای تمامی نیروگاه ها در جدول ۴-۱۰ آورده شده است.

چیدمان تعلق نیروگاهها به هر کمپانی در سناریو د، مطابق جدول ۴-۱۰ طوری در نظر گرفته شده که غالب نیروگاههای بار پایه وپیک در اختیار کمپانی ۱ هستند.

برای بررسی درصد سهم هر کمپانی در توان تولیدی کل (قدرت بازار) مشابه سناریوهای قبل در سه حالت با الاستیسیته تقاضاهای مختلف بازار پیاده سازی شده است.

جدول (۴- ۱۰): ضرایب c,d و ماکزیمم و مینیمم تولید هر نیروگاه و نیروگاه های متعلق به هر کمپانی

شماره نیروگاه	نوع کمپانی	مینیمم تولید (مگاوات)	ماکزیمم تولید(مگاوات)	C	d
1	1	0	736	0.00021	0
2	1	0	501.8	0.0003	0
3	1	0	354.8	0.00046	0
4	3	0	261	0.0006	0
5	2	0	340	0.00466	31.68
6	3	0	379	0.00194	14.68
7	2	0	379	0.00171	12.97
8	3	0	368.4	0.00183	13.52
9	2	0	304	0.00377	22.91
10	3	0	250	0.00471	23.57
11	2	0	244.9	0.00347	16.99
12	1	0	128	0.01099	28.13
13	1	0	108	0.04202	90.76
14	1	0	97	0.06649	129
15	1	0	58	0.11197	129.88
16	1	0	49	0.07562	74.11
17	2	0	23.8	0.26658	126.89
18	3	0	16	0.05076	58.88
19	3	0	12	0.41042	98.5

جدول (۴- ۱۱): سود کل و هر کمپانی به تفکیک به همراه قیمت در هر حالت

سناریو د	سود کمپانی ۱	سود کمپانی ۲	سود کمپانی ۳	سود کل	قیمت
حالت ۱	601342.96	426002.42	487644.54	1514989.92	1103.18
حالت ۲	1375516.05	1040569.72	1152984.41	3569070.18	1666.33
حالت ۳	4919772.19	3649018.67	3760205.86	12328996.72	3144.52

پیاده سازی انجام و نقطه تعادل نش بازار بدست امده است. نتایج حاصل از پیاده سازی برای این سناریو در جداول ۴-۱۱، ۴-۱۲ و اشکال ۴-۷ و ۴-۸ آورده شده است.

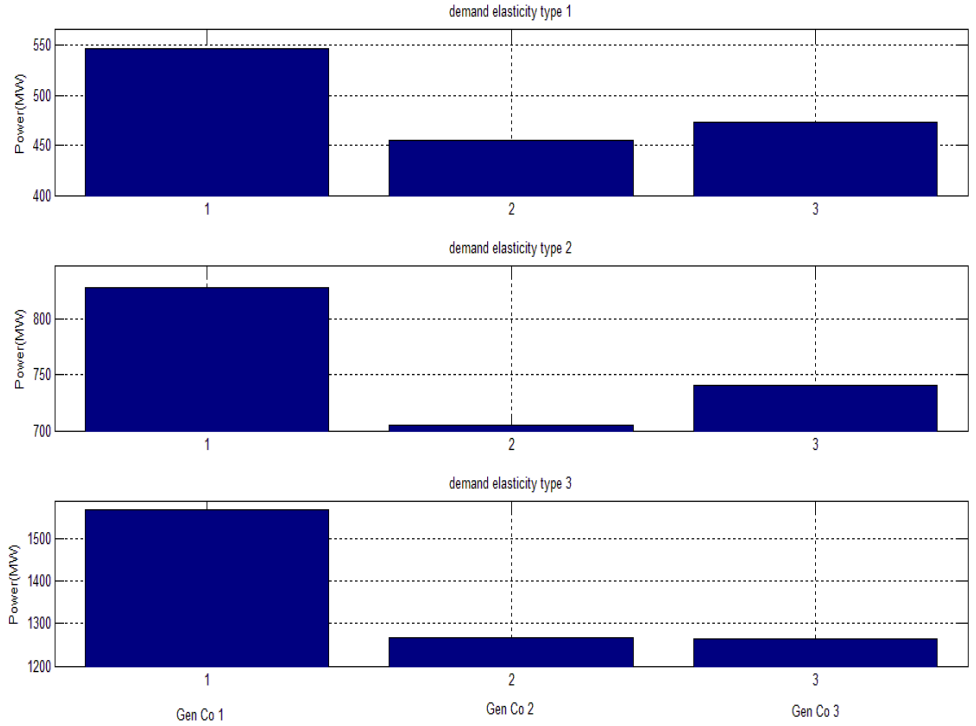
مطابق نتایج بدست آمده در بالا بدلیل اینکه بیشتر نیروگاه های بار پایه وپیک در اختیار کمپانی یک می‌باشند، کمپانی ۱، درصد نسبتا خوبی از تولید را به خود اختصاص داده است و به همان نسبت مطابق جدول ۴-۱۱ سود کمپانی ۱ بهتر از آن دو کمپانی دیگر است. در واقع در این سناریو بازار اندکی از حالت رقابتی فاصله گرفته است لذا قیمت تمام شده در تمام حالات افزایش یافته و شاخص HHI نیز از بازار نامتمرکز کمی فاصله گرفته است.

جدول (۴-۱۲): سهم تولید هر کمپانی به درصد و شاخص HHI در هر حالت

سناریو د	تولید کل	درصد کمپانی ۱	درصد کمپانی ۲	درصد کمپانی ۳	HHI
حالت ۱	1473.41	37.08	30.84	32.08	3355.22
حالت ۲	2271.83	36.42	31	32.57	3348.89
حالت ۳	4097.74	38.27	30.91	30.81	3369.95

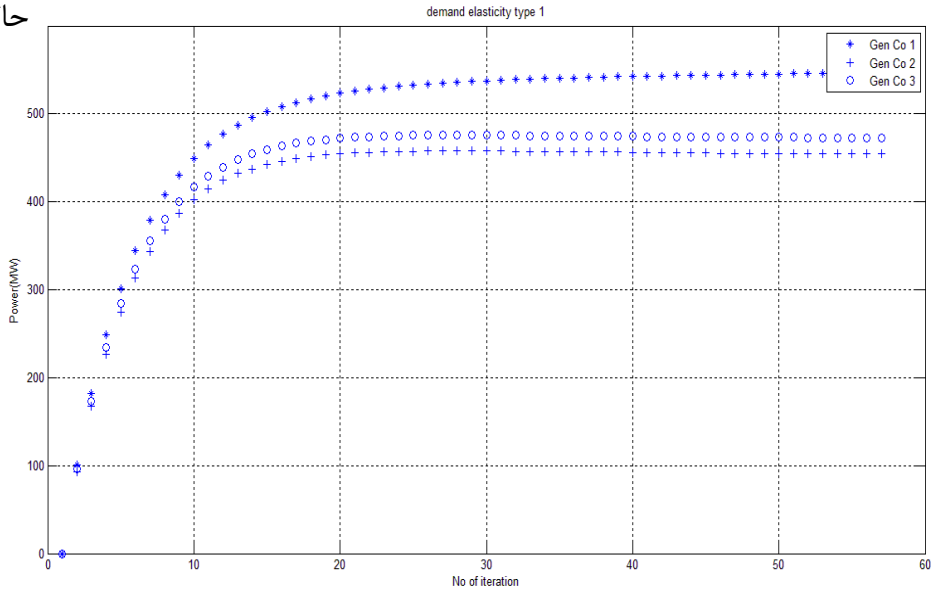
سناریو ه

ضرایب هزینه نیروگاهی و ماکزیمم و مینیمم توان تولیدی مجاز هر نیروگاه و همچنین مالکیت کمپانیها برای تمامی نیروگاه ها منطبق بر سناریو ه، در جدول ۴-۱۳ آورده شده است.

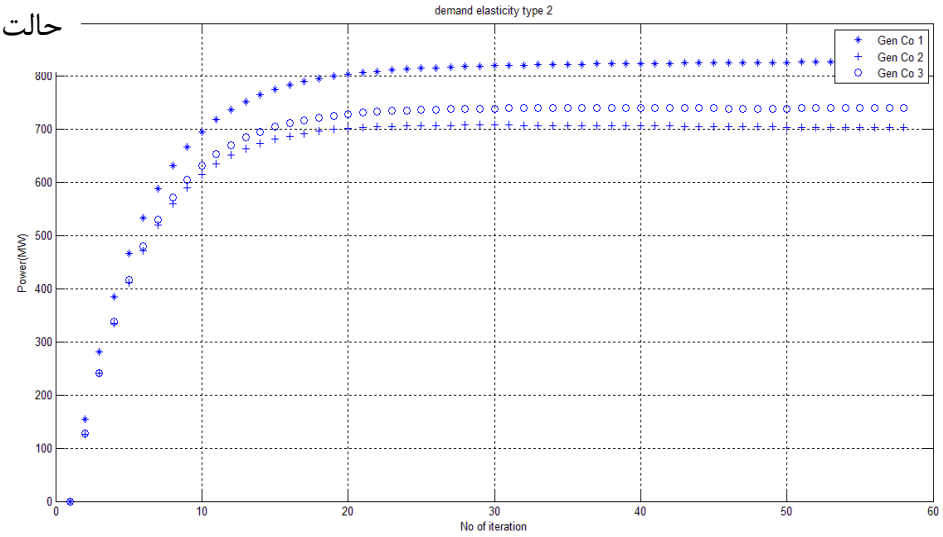


شکل (۴-۷): میزان توان تولیدی هر کمپانی بر حسب مگاوات در الاستیسیته تقاضا های مختلف

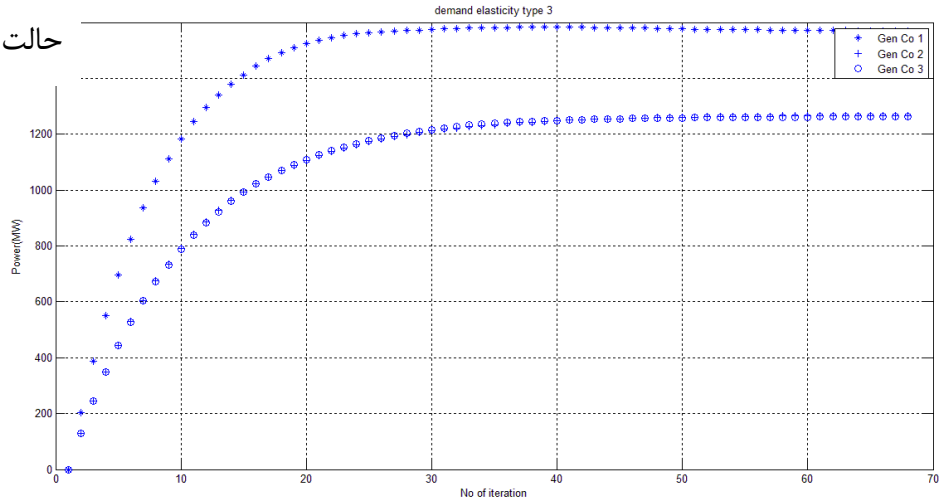
حالت ۱



حالت ۲



حالت ۳



شکل (۴-۸): نحوه تغییرات تولید هر شرکت از نقطه شروع شبیه سازی تا رسیدن به تعادل نش در سه حالت

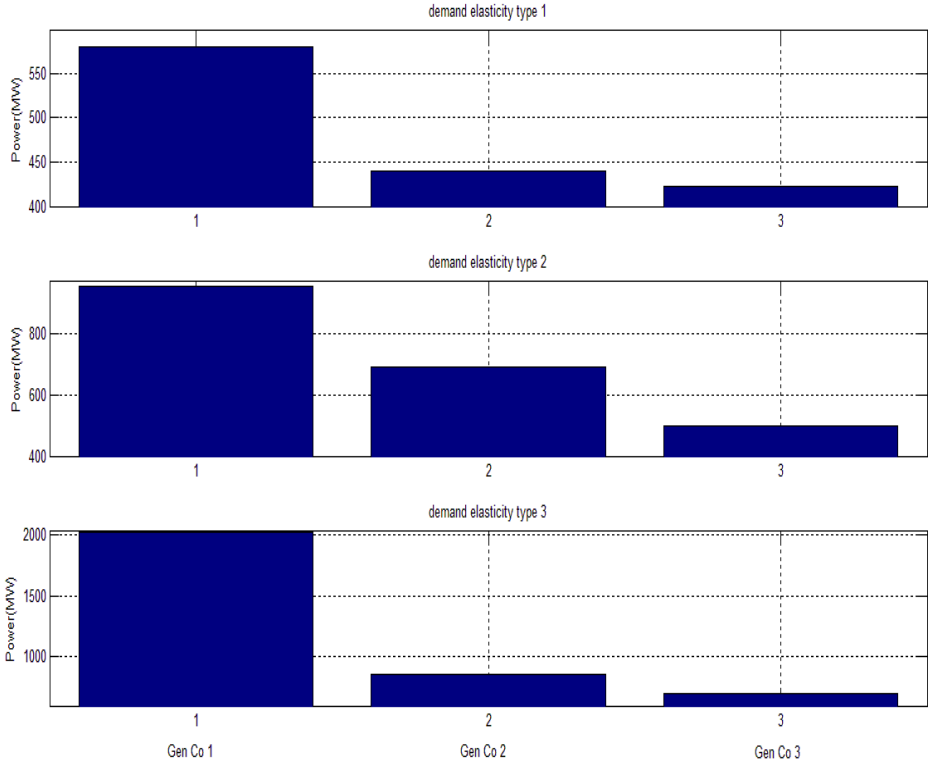
چیدمان تعلق نیروگاهها به هر کمپانی در سناریو ه، مطابق جدول ۴-۱۳ طوری در نظر گرفته شده که بیشتر نیروگاههای با بار پایه ومتوسط در اختیار کمپانی ۱ قرار دارند. برای بررسی درصد سهم هر کمپانی در توان تولیدی کل (قدرت بازار) مشابه سناریو های قبل در سه حالت با الاستیسیته تقاضاهای مختلف بازار پیاده سازی شده است. نتایج حاصل از پیاده سازی برای این سناریو در جداول ۴-۱۴، ۴-۱۵ و شکل ۴-۹ آورده شده است.

جدول (۴-۱۳): ضرایب c,d و ماکزیمم و مینیمم تولید هر نیروگاه و نیروگاه های متعلق به هر کمپانی

شماره نیروگاه	نوع کمپانی	مینیمم تولید (مگاوات)	ماکزیمم تولید(مگاوات)	C	d
1	1	0	736	0.00021	0
2	1	0	501.8	0.0003	0
3	1	0	354.8	0.00046	0
4	2	0	261	0.0006	0
5	1	0	340	0.00466	31.68
6	1	0	379	0.00194	14.68
7	1	0	379	0.00171	12.97
8	1	0	368.4	0.00183	13.52
9	2	0	304	0.00377	22.91
10	3	0	250	0.00471	23.57
11	3	0	244.9	0.00347	16.99
12	2	0	128	0.01099	28.13
13	3	0	108	0.04202	90.76
14	2	0	97	0.06649	129
15	3	0	58	0.11197	129.88
16	2	0	49	0.07562	74.11
17	3	0	23.8	0.26658	126.89
18	2	0	16	0.05076	58.88
19	3	0	12	0.41042	98.5

جدول (۴-۱۴): سود کل و هر کمپانی به تفکیک به همراه قیمت در هر حالت

سناریو ه	سود کمپانی ۱	سود کمپانی ۲	سود کمپانی ۳	سود کل	قیمت
حالت ۱	674989.85	464005.19	391417.16	1530412.2	1166.86
حالت ۲	1827767.46	1193932.73	826664.13	3848364.32	1917.45
حالت ۳	8403715.89	3242221.7	2529087.17	14175024.76	4197.44



شکل (۴- ۹): میزان توان تولیدی هر کمپانی بر حسب مگاوات در الاستیسیته تقاضا های مختلف

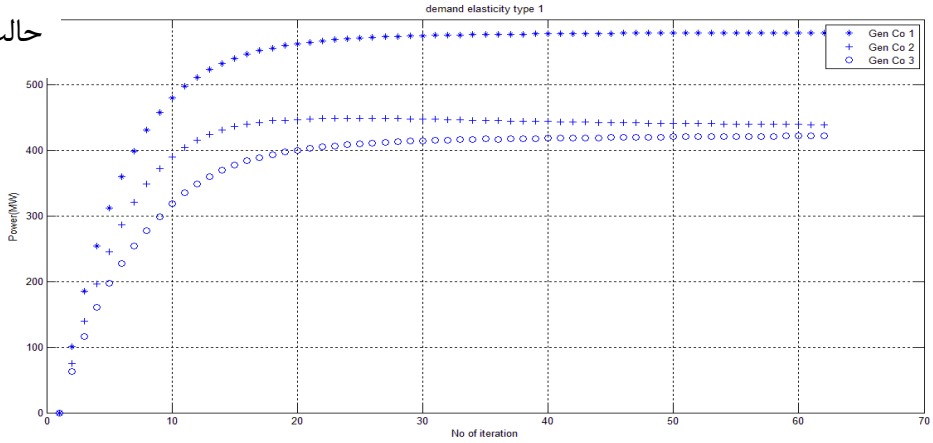
مطابق نتایج بدست آمده در بالا، بدلیل اینکه بیشتر نیروگاه های بار پایه و متوسط در اختیار کمپانی یک می‌باشند، طبیعتا این کمپانی درصد بیشتری از تولید را در هر سه حالت به خود اختصاص داده است و به همان نسبت مطابق جدول ۴-۱۴، درصد بیشتری از سود را هم در اختیار دارد. در واقع در این سناریو قدرت بازار تا حدی در اختیار کمپانی یک قرار گرفته است.

جدول (۴-۱۵): سهم تولید هر کمپانی به درصد و شاخص HHI در هر حالت

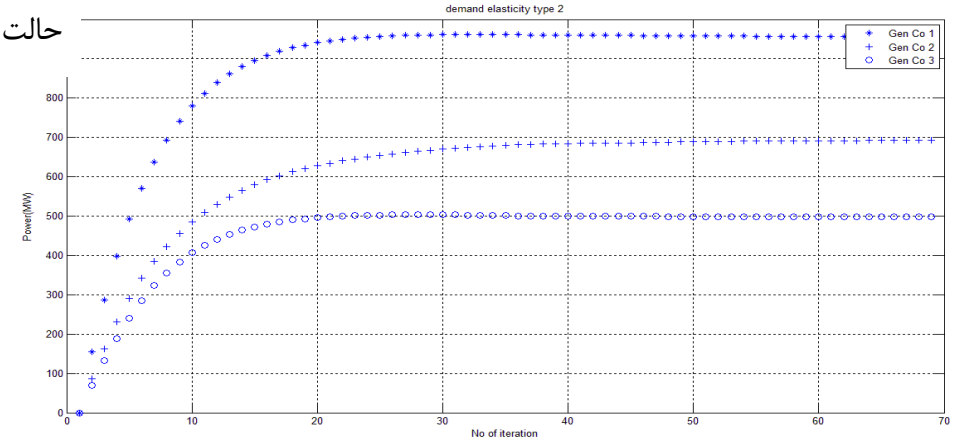
سناریو ه	تولید کل	درصد کمپانی ۱	درصد کمپانی ۲	درصد کمپانی ۳	HHI
حالت ۱	1441.57	40.22	30.49	29.29	3405.3
حالت ۲	2146.27	44.52	32.26	23.22	3562.02
حالت ۳	3571.28	56.57	23.93	19.5	4152.95

مطابق نتایج بدست آمده نه تنها قیمت تمام شده در تمام حالات افزایش یافته بلکه شاخص HHI نیز هم از بازار نامتمرکز (سناریو الف) فاصله نسبتا زیادی گرفته است.

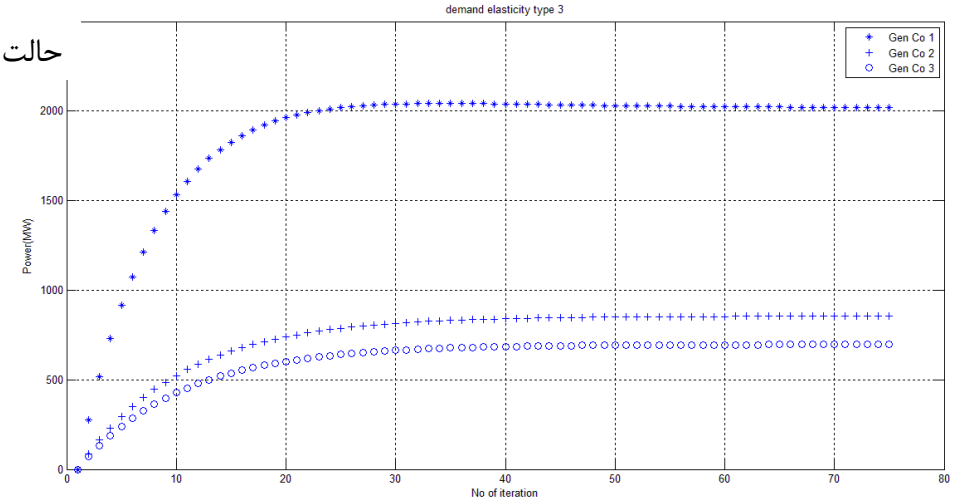
حالت ۱



حالت ۲



حالت ۳



شکل (۴-۱۰): نحوه تغییرات تولید هر شرکت از نقطه شروع شبیه سازی تا رسیدن به تعادل نش در سه حالت

سناریو و

ضرایب هزینه نیروگاهی و ماکزیمم و مینیمم توان تولیدی مجاز هر نیروگاه و همچنین مالکیت کمپانیها برای تمامی نیروگاه ها منطبق بر سناریو و در جدول ۴-۱۶ آورده شده است.

جدول (۴-۱۶): ضرایب c,d و ماکزیمم و مینیمم تولید هر نیروگاه و نیروگاه های متعلق به هر کمپانی

شماره نیروگاه	نوع کمپانی	مینیمم تولید (مگاوات)	ماکزیمم تولید(مگاوات)	C	d
1	1	0	736	0.00021	0
2	1	0	501.8	0.0003	0
3	1	0	354.8	0.00046	0
4	1	0	261	0.0006	0
5	1	0	340	0.00466	31.68
6	1	0	379	0.00194	14.68
7	1	0	379	0.00171	12.97
8	1	0	368.4	0.00183	13.52
9	1	0	304	0.00377	22.91
10	1	0	250	0.00471	23.57
11	1	0	244.9	0.00347	16.99
12	1	0	128	0.01099	28.13
13	1	0	108	0.04202	90.76
14	1	0	97	0.06649	129
15	1	0	58	0.11197	129.88
16	1	0	49	0.07562	74.11
17	1	0	23.8	0.26658	126.89
18	1	0	16	0.05076	58.88
19	1	0	12	0.41042	98.5

چیدمان تعلق نیروگاهها در سناریو و، مطابق جدول ۴-۱۶ طوری در نظر گرفته شده که همه نیروگاهها در اختیار کمپانی ۱ هستند.

مشابه سناریوهای قبل در سه حالت با الاستیسیته تقاضاهای مختلف بازار پیاده سازی شده است و قیمت بازار و سود کمپانی بدست آمده است.

نتایج حاصل از پیاده سازی برای این سناریو در جداول ۴-۱۷، ۴-۱۸ آورده شده است.

جدول (۴- ۱۷): سود کل و هر کمپانی به تفکیک به همراه قیمت در هر حالت

سناریو و	سود کمپانی ۱	سود کل	قیمت
حالت ۱	2046027.02	2046027.02	2048.82
حالت ۲	4810436.86	4810436.86	3141.53
حالت ۳	15902321.57	15902321.57	5785.97

جدول (۴-۱۸): سهم تولید هر کمپانی به درصد و شاخص HHI در هر حالت

سناریو و	تولید کل	درصد کمپانی ۱	HHI
حالت ۱	1000.59	100	10000
حالت ۲	1534.23	100	10000
حالت ۳	2777.01	100	10000

مطابق نتایج بدست آمده در بالا بدلیل اینکه همه نیروگاه ها در اختیار کمپانی یک می‌باشند، قیمت بشدت بالا رفته و شاخص HHI حداکثر مقدار ممکن را دارد. در این سناریو بازار کاملا انحصاری محسوب می‌شود و دیگر رقابتی وجود ندارد.

۴-۵- بررسی اجمالی نتایج سناریوهای گفته شده

با بررسی نتایج بدست آمده در می‌یابیم که بهترین شاخص HHI و کمترین قیمت در سناریو الف حاصل شده و بازار از نظر رقابتی کاملا متعادل محسوب می‌گردد و نامتمرکزترین حالت بازار در این سناریو دیده می‌شود. از طرف دیگر بدترین شاخص HHI و بیشترین قیمت در سناریو و حاصل شده که بازار انحصاری و از نظر رقابتی کاملا نامتعادل گردیده است.

مابین این دو سناریو سناریوهای ب تا ه قرار دارند که شاخص های HHI و قیمت تسویه بازار در آنها از حالت الف بیشتر و از حالت و، کمتر است. در واقع در این سناریوها بازار از حالت نامتمرکز با درصدهای مختلف فاصله گرفته و به بازار انحصاری نزدیک شده است. بدیهی است ایزو همواره سعی در تحلیل وضعیت موجود و سوق دادن آن به سمت سناریو الف دارد. هر چه ایزو بتواند تخصیص نیروگاهها به کمپانی ها را به صورت پراکنده تر از نظر نوع مالکیت انجام دهد وضعیت رقابتی بازار کاملتر خواهد بود.

۴-۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

پس از به دست آوردن نتایج و نمودارهای مربوط به سناریوهای مختلف، لازم است در این قسمت به بررسی نتایج کلی پرداخته شود. برای همین مطلوب است میزان همبستگی شاخص HHI بازار را با قیمت تسویه بازار به دست آوریم. این مقدار میتواند نشان دهنده ارتباط میان مقدار شاخص در هر سناریو با قیمت تسویه بازار در همان سناریو باشد. به عبارتی دیگر، آیا در مواردی که این شاخص ها از مقدار مطلوب فاصله گرفته اند، قیمت تسویه بازار هم دچار تغییرات شده است یا خیر؟ نتایج مقدار همبستگی شاخص HHI بازار با قیمت تسویه بازار محاسبه و مقدار ۰/۹۸ بدست آمد. این بدین معنی است که میزان تغییرات در شاخص بازار HHI، تأثیرات بسزایی بر روی قیمت تسویه بازار می‌گذارد که این واقعیت باید مورد توجه دست اندرکاران بازار و واحدهای نظارتی قرار بگیرد.

نکته مهم در بررسی شاخصHHI، توجه به این مهم است که باید با توجه به تعاریف مختلفی که از مفهوم بنگاه اقتصادی در بازار برق ایران وجود دارد، به تحلیل شاخص ها پرداخته شود تا نتایج گرفته شده درست و قابل اعمال در بازار ایران باشد.

نکته دیگری که در بررسی شاخص های ارزیابی بازیگران باید مورد توجه قرار گیرد، توجه به موقعیت جغرافیایی بازیگر مورد بررسی است. برای ناحیه خاص، در مواقع خاص ممکن است

محدودیت های شبکه یا هنگامی که اختلاف میان میزان عرضه و تقاضا به حداقل خود میرسد بازار متمرکز و غیر رقابتی به وجود آید. در حقیقت محدودیت های شبکه در این ناحیه است که میتواند سرمنشأ بروز قدرت بازار در نزد بازیگران شود.

در حالت کلی می‌توان گفت که بازار ایران دارای کاستی هایی در ایجاد فضای رقابتی میان بازیگران است. وجود تمرکز بالا هم باعث بروز اختلال در ارائه خدمات و هم موجب بالا رفتن قیمت تسویه بازار می شود. با توجه به این نکته و با رویکرد کاستن از میزان تمرکز و حرکت به سمت بازاری رقابتی، پیشنهادهایی برای توسعه شاخص های رقابتی بودن بازار ارائه شده که در ادامه آورده می‌شود.

الف . مطالعه های پژوهشی به منظور به دست آوردن مقادیر آستانه برای هر یک از شاخص هایی که قابلیت محاسبه در بازار ایران را دارند، صورت گیرد.

ب . به منظور افزایش دقت در محاسبه شاخص ها و تحلیل نتایج به دست آمده از آن ها پیشنهاد می‌شود، با لحاظ کردن قابلیت اطمینان در توان قابل تولید نیروگاهها به محاسبه شاخص ها پرداخته شود.

ج . نیروگاههایی خصوصی به شبکه برق ایران افزوده شود تا از میزان تمرکز در بازار کاسته شود.

د . اعمال مالیات و تحلیل آن به عنوان عاملی بازدارنده در بوجود آمدن قدرت بازار بررسی شود.

ه. اعمال رویه‌های نظارتی برای جلوگیری از اعمال قدرت بازار توسط بازیگران و پیش‌بینی رفتارهای انحصاری توسط بازیگران خصوصا در مواقعی که شاخص HHI از مقدار متعارف خود تجاوز می‌کند بسیار مهم است. در این مواقع به علت وجود تمرکز بالا، بازار از حساسیت زیادی برخوردار است و بازیگران در صورت آگاهی از زمانهایی که این اتفاق در حال وقوع است، می‌توانند با بالا بردن قیمتهای پیشنهادی خود باعث بالا رفتن قیمت تسویه بازار شوند.

مراجع

[1] V. Vahidinasab, S. Jadid, A. Kazemi, "Day-ahead price forecasting in restructured power systems using artificial neural networks", Electric Power Systems Research, Volume 78, Issue 8, August 2008, Pages 1332-1342.

[2] Amjady .N, Hemmati .M, "Energy Price Forecasting - Problems and Proposals for such Predictions" IEEE Power & Energy Magazine, Vol. 4, No. 2, 2006, pages. 20-29.

[۳]پروفسور محمد شاهیده پور، دکتر حاتم یمین، دکتر زوی لی، ترجمه:دکتر حسین سیفی،دکتر غلامرضا یوسفی، دکتر میر محسن پدرام، "عملیات بازار در سیستمهای الکتریکی قدرت"، دانشگاه تربیت مدرس(مرکز مطالعات و برنامه ریزی شبکه های قدرت)، ۱۳۸۴.

[4] Rafał Weron, Adam Misiorek, "Forecasting spot electricity prices: A comparison of parametric and semiparametric time series models", International Journal of Forecasting, Volume 24, Issue 4, October-December 2008, Pages 744-763.

[5] Rosemarie T. Leclair, "Monitoring Report on the IESO-Administered Electricity Markets",
Ontario Energy Board, April 2012.

[6] Wagner N., Michalewicz Z., Khouja M., McGregor R. R., 2006 "Time Series Forecasting for Dynamic Environments: The DyFor Genetic Program Model," IEEE Transactions on evolutionary computation 1089-778X.

[۷] نیرومندحسینعلی،۱۳۷۱،تجزیه وتحلیل سری‌های زمانی.

[8] Tsay, R.S., "Analysis of Financial Time Series Financial Econometrics", John Wiley & Sons, 2002.

[9] Chatfield, C, "The Analysis of Time Series: an Introduction", Chapman & Hall/CRC, 1996.

[10]Mbamalu, G. A.N., and El-Hawary, M. E., 1993, Load and price forecasting via suboptimal autoregressive models and iteratively recursive least squares estimation. IEEE Transactions on Power Systems, 8, 343-348.

short- [11]Hyde, O., and Hodnett, P. F., 1997b, Adaptable automated procedure for Systems, 12,84-94. term electricity price forecasting. IEEE Transactions on Power

[12]Moghram, I., and Rahman, S., 1989, Analysis and evaluation of five short-term price forecasting techniques. IEEE Transactions on Power Systems, 4, 1484-1491.

[13]Mbamalu, G. A.N., and El-Hawary, M. E., 1992, Price forecasting via suboptimal seasonal autoregressive models and iteratively reweighted least squares estimation. IEEE Transactions on Power Systems, 8, 343-348.

[14] Cryer, J.D., "Time Series Analysis", Wadsworth Publ. Co, 1986.

[15] Liu, K., Subbarayan, S., Shoults, R. R., Manry, M. T., Kwan, C.,Lewis, F. L., Naccarino, J., 1996, Comparison of very short-term load and price forecasting. and IEEE Transactions on Power Systems, 11, 877-882.

[16] Huang, S. R., 1997, Short-term price forecasting using threshold autoregressive models. IEE Proceedings: Generation, Transmission, and Distribution, 144, 477-481.

[17] Hobbs, B. F. "Linear Complementarity Models of Nash-Cournot Competition in Bilateral and POOLCO Power Markets", IEEE Transactions on Power Systems, 16 (2), 194-202, 2001.

[18] Selten, R, Spieltheoretische Behandlung eines Oligopolmodells mit Nachfragetragheit, Zeitschrift für die gesamte Staatrwissenschaft, 121, 301 - 24, 667–689, 1965.

[19] Luce, R. Duncan, Raiffa. Howard, Games and Decisions; introduction and critical survey. A study of the Behavioral Models Project, Bureau of Applied Social Research, Columbia University. New York: John Wiley & Sons Inc. 1957.

[20] Kakutani, Shizuo, "A generalization of Brouwer's fixed point theorem". Duke Mathematical Journal 8 (3): 457–459, 1941.

[21] http://www.economics.utoronto.ca/osborne/cgt/farsi02.pdf

[22] Rosen J.B., "Existence and uniqueness of equilibrium points for concave N -person games," Econometrica, vol. 33, no. 3, 1965.

[23] J. Contreras, M. Klusch, and J. B. Krawczyk, "Numerical solutions to Nash-Cournot equilibria in coupled constraint electricity markets," IEEE Trans. Power Syst. , vol. 19, no. 1, pp. 195–206, Feb. 2004.

[24] Juan Pablo Molina, Juan Manuel Zolezzi, Javier Contreras, Hugh Rudnick, María José Reveco, "Nash-Cournot Equilibria in Hydrothermal Electricity Markets", IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 26, No. 3, 1089-1101, August 2011.

[25] Jacek B. Krawczyk , Stanislav Uryasev, "Relaxation algorithms to find Nash equilibria with economic applications", Environmental Modeling and Assessment, vol 5, 63–73, 2000.

[26] Anton. H, Rorres. C, "elementary Linear Algebra- Application Version", 8th edition, New York: John Wiley & Sons Inc, 2000.

[27] A. Maiorano, Y. H. Song and M. Trovato, “Dynamics of noncollusive oligopolistic electricity markets,” in Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting, Singapore, 838–844, 2000.

[۲۸]جعفر رزمی، سید فرید قادری، امین ذکایی آشتیانی، "تحلیل شاخص های ارزیابی رقابتی بودن بازار برق ایران: مطالعه موردی"، نشریه مدیریت بازرگانی، دوره ۲، شماره ۵، صفحه ۴۱ تا ۶۰، پاییز ۱۳۸۹.

[29] Borenstein, S., J. Bushnell, E. Kahn, And S. Stoft, “Market Power In California Electricity Markets,” Utilities Policy, 5 (3-4), 219-236, 1995.

[30] Wakeel A. Isola, “An Analysis of Electricity Market structure and its Implications for Energy Sector Reforms and Management in Nigeria”, Global Advanced Research Journal of Management and Business Studies, Vol. 1(5), 141-149, June 2012.

[31] David B. Patton, Pallas LeeVan Schaick and Jie Chen, “2011 Assessment of the ISO New England Electricity Markets”, Report by: Potomac Economics, June 2012.

[32] Bruce Mountain, “Market power and generation from renewables: the case of wind in the South Australian electricity market”, Carbon Renewables and Energy Efficiency Briefing, presentation, Sydney, Australia, 30th August 2012.

Abstract

The issue of evaluating market power is an important challenge in power system planning. This thesis develops an analysis based on a relaxation algorithm and Nikaido–Isoda function for calculation of Nash equilibrium and evolution of market structure and performance. This is done through the development of a generation company trading game that, via Nikaido–Isoda function, simulates how players coordinate their behavior in generation to maximize their profit. In this thesis, with changing type of power plants belonging to generation company and demand elasticity, market performance is evaluated. The results for pool-based markets shows, generation companies coordination is a very important factor and able to decrease competition and efficiency in market.

Keywords: Market power, Nikaido–Isoda, relaxation algorithm, Nash equilibrium, electricity markets, demand elasticity

Shahrood University of Technology

Faculty of electrical engineering

Market Power Analysis and Calculation of Nash-Cournot Equilibrium in Thermal Electricity Markets

Davoud Abbasi

Supervisor: Mohsen Assili

Advisor: Morteza Rahimian

Fall 2012