98-F-SEA-0140

ارزیابی نقش قراردادهای تضمینی ظرفیت در پایداری بلند مدت بازار برق

محسن اصیلی
آزمایشگاه تخصصی مطالعات سیستم و تجدید ساختار
دانشگاه فردوسی مشهد
ایران

محمد حسین جاویدی
آزمایشگاه تخصصی مطالعات سیستم و تجدید ساختار
دانشگاه فردوسی مشهد
ایران

رضا قاضی
دانشگاه فردوسی مشهد
ایران

واژه‌های کلیدی: : بازار برق، سرمایه‌گذاری تولید، دینامیک سیستم، پرداخت ظرفیت

چکیده

سرمایه‌گذاری مناسب در صنعت برق امروزه از مهمترین دغدغه‌های سیاستگذاران و متولیان بازارهای برق است. نوسانات بلند مدت در سرمایه‌گذاری و به تبع آن در ظرفیت تولید، که نمونه‌های کمابیش مشابه با آن قبلاً در سایر بخشهای اقتصادی تجربه شده بود، امروزه گریبانگیر بازارهای برق نیز شده است. افزایش بی‌رویه قیمت برق و کاهش شدید قابلیت اطمینان سیستم در دوره‌هایی و برعکس رشد بیش از اندازه عرضه، کاهش شدید قیمتها و مقرون به صرفه نبودن تولید و سرمایه‌گذاری در مقاطعی دیگر از این جمله است. این تبعات در صورت عدم پیش‌بینی تمهیدات لازم، در بلند مدت قادر است به ناپایداری و فروپاشی بازار منجر شود. در این مقاله ضمن بررسی مدل دینامیکی سرمایه‌گذاری در بازار برق وشبیه‌سازی آن، نقش قراردادهای تضمینی پرداخت بابت ظرفیت در کاهش نوسان سرمایه‌گذاری مورد پژوهش قرار گرفته است. نشان داده‌ایم که انعقاد این نوع قراردادها علاوه بر اینکه ریسک سرمایه‌گذاری را کاهش می‌دهد، در بلند مدت به نفع خریداران بازار می‌باشد.

۱- مقدمه

تجدید ساختار در صنعت برق در سالهای اخیر سیاست‌گذاران و همینطور شرکتهای برق را با مشکلاتی در برنامه‌ریزی بلندمدت دچار کرده است. در سیستم یکپارچه سنتی، سرمایه‌گذاری با توجه به طرح بهینه توسعه تولید در سطح منطقه‌ای و یا ملی صورت می‌پذیرفت. در حالیکه در محیط جدید، برنامه‌ریزی توسط مشارکت کنندگان در بازار و به صورت غیر متمرکز انجام می‌شود. به علت محدودیتها و عدم‌قطعیتهای متعددی که در این محیط وجود دارد، برخی از بازارها الگوهایی از رشد و نزول را در سرمایه‌گذاری در بخش تولید تجربه کرده‌اند. این مسئله در شرایط عدم کفایت تولید، به قیمتهای بالای برق منجر شده است.

معمولا شرکتهایی که در بازار شرکت می‌کنند روشهای متفاوتی را جهت برنامه‌های سرمایه‌گذاری خود مورد استفاده قرار می‌دهند[1,2]. در صورتیکه سیاستهای تعریف شده مناسبی توسط سیاستگذاران و تنظیم‌کنندگان مقرات بازار مهیا نباشد، ممکن است انگیزه برای سرمایه‌گذاری در بازار کاهش پیدا کند. سرمایه‌گذاری در نیروگاهها و صنعت برق از جمله سرمایه گذاریهای برگشت ناپذیر[1] به شمار می‌آید که به علت اشتباه در پیش‌بینی، ممکن است هزینه هنگفتی را به سرمایه‌گذار تحمیل کند. بنابراین برای سرمایه‌گذاری در چنین بازاری باید اطمینان زیادی از بازگشت سرمایه در بلند مدت وجود داشته باشد تا عملاً سرمایه‌گذار تشویق به سرمایه‌گذاری گردد. این امر سیاستگذاران بازار را دچار چالش می‌کند زیرا علاوه بر اینکه باید راهکارهایی برای اطمینان از بازگشت سرمایه برای سرمایه‌گذار ایجاد کنند، نباید هدف بیشینه شدن رفاه اجتماعی که در طراحی بازار مد نظر است، به فراموشی سپرده شود.

در شرایط عملی، عوامل زیر باعث ایجاد دوره‌های بلند مدت نوسان در سرمایه‌گذاری و به تبع آن قیمت در بازار می‌گردد [3,4]:

۱- عدم دقت در پیش‌بینی، و دنباله‌روی از قیمت بازار در سرمایه‌گذاری

۲- تاخیر در سرمایه‌گذاری به علت شفافتر شدن وضعیت آینده

۳- تاخیر در ایجاد ظرفیت جدید که به علت تاخیر در صدور مجوزها و دوره عملیات ساخت واحدها ایجاد می‌شود.

در واقع توسعه هماهنگ عرضه و تقاضا (تولید و مصرف) که سبب جلوگیری از نوسان قیمتها در بلند مدت می‌گردد به عنوان یک شاخص برای یک بازار با عملکرد مناسب به شمار می‌رود.

برای تحلیل نوسانات بلند مدت، دیدگاههای استاتیکی و محاسبات براساس نقطه تعادل کافی نیست[5]. به علت پیچیدگی و تعامل متغیرهای مختلف در طول زمان با یکدیگر نه تنها باید شرایط نقطه تعادل نهایی در نظر گرفته شود، بلکه باید مسیری که برای رسیدن به این نقطه تعادل طی شده است نیز مدنظر قرار گیرد. بنابراین اهمیت یک مدل دینامیکی برای تحلیل سرمایه‌گذاری اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند.

اساسا تحلیل برهم کنش سیستمهای اقتصادی و اجتماعی در مقایسه با سیستمهای فیزیکی معمولی پیچیدگیهای بیشتری دارد. متغیرها و ارتباطات متنوع و پیچیده بین اجزای این سیستمها تحلیلهای همه جانبه را دچار مشکل می‌کند. در این میان معادلات دیفرانسیل غیر خطی برای تحلیل این نوع سیستمها مورد استفاده قرار گرفته که در ادبیات موضوع به «تحلیل دینامیک سیستم[2]» معروف است. به مواردی از استفاده از تحلیل دینامیک سیستم در اقتصاد صنعت برق در [6] اشاره شده است. زمینه‌های مهم دیگر استفاده از این روش در بازارهای انرژی را می‌توان در مطالعات بر روی بازار برق انگلستان [7-9] ، مطالعات دینامیک سرمایه‌گذاری در بازارهای برق ایالات متحده و بحران برق کالیفرنیا [3,4,10] . بررسی تاثیر مشوقهای اقتصادی در بازار برق کلمبیا [11] ، بازار مجوزهای محیط زیستی قابل خرید و فروش[3] و تاثیر قوانین محیط زیستی بر روی سرمایه‌گذاری [12-15] و سایر تحقیقات مشابه، ملاحظه کرد.

از جمله مکانیزمهای پیشنهادی که برای اطمینان از تامین ظرفیت کافی برای آینده توسط بعضی از بازارهای برق موجود در دنیا مورد استفاده قرار گرفته است عبارتند از:

۱- پرداخت بابت ظرفیت[4]

۲- بازارهای ظرفیت[5]

۳- قراردادهای قابلیت اطمینان[6]

در این مقاله ما تاثیر نوعی پرداخت بابت ظرفیت را در بازار مد نظر قرار داده‌ایم. در این مکانیزم گردانندگان بازار قراردادهایی تضمینی برای ظرفیت ورودی به بازار با سرمایه‌گذاران منعقد می‌کنند که بر مبنای آن تا پایان دوره

1. irreversible

2. System dynamic analysis
3. Tradable Green Certificates (TGCs)
4. Capacity payment
5. Capacity market
6. Reliability contract

بهره‌برداری مفید واحد، مبلغ ثابتی به سرمایه‌گذار پرداخت می‌شود. این مبلغ می‌تواند تمام و یا بخشی از سرمایه‌گذاری را در طول دوره بهره‌برداری به سرمایه‌گذار بازگرداند. اطمینانی که از بازگشت سرمایه در سرمایه‌گذار بوجود می‌آید او را به سرمایه‌گذاری ترغیب خواهد کرد.

با تنظیم هوشمندانه این قرارداد و تغییر مناسب آن در پرداخت به سرمایه‌گذاریهای جدید می‌توان اهرمی در دست سیاستگذار در جهت متعادل کردن بازار و جلوگیری از افت و خیزهای شدید در سرمایه‌گذاری و قیمت در بلند مدت ایجاد کرد.

۲- توصیف مدل سرمایه‌گذاری در بازار

سرمایه‌گذاری فرآیندی با یک بازه زمانی چند ساله است بنابراین در قیاس با فرآیندهای کوتاه مدتی مانند ورود و خروج واحدها، تعامل روزانه فروشندگان و خریداران برق، نوسانات لحظه‌ای و ساعتی قیمتها و ... فرآیندی بلند مدت محسوب می‌شود. در علم کنترل اصطلاحاً می‌توان آن را فرآیندی با ثابت زمانی بالا نامید. در تحلیل این نوع فرآیندها باید عواملی را که در این بازه زمانی تاثیرگذار هستند مورد شناسایی قرار دهیم و از دخالت پیچیدگیهایی که از نظر زمانی دارای تاثیرات کوتاه مدت هستند و نیز در نظر گرفتن دینامیک آنها پرهیز کنیم. زیرا این عوامل عملاً در نتایج تاثیر زیادی نخواهند گذاشت. معمولاً به جای درنظر گرفتن دینامیکهای سریع از میانگین و یا روند تغییرات آنها استفاده می‌شود. برای مثال برای کسی که در بلند مدت قصد برنامه ریزی برای سرمایه گذاری دارد نوسانات روزانه قیمت مهم نیست بلکه آنچه در سرمایه گذاری برای او حائز اهمیت است متوسط قیمت و روند افزایش و کاهش این قیمت متوسط در بلند مدت است.

می‌توان گفت مهمترین عامل در تصمیم برای سرمایه‌گذاری توسط یک سرمایه‌گذار، قیمت برق می‌باشد. سرمایه‌گذار با توجه به قیمت برق در وضعیت حال و گذشته باید پیش‌بینی مناسبی از قیمت برق در آینده نیز داشته باشد.

معمولا در بازارهای یکنواخت، ISO ها موظفند اطلاعات قیمت نهایی پذیرفته شده را برای هر ساعت در اختیار شرکت‌کنندگان قرار دهند. در ایران که حراج pay as bid صورت می‌گیرد معمولاً قیمتهای متوسط برق در ساعتهای مختلف روز به طور متوسط در هر ماه برای یک سال منتهی به آن ماه اعلام می‌شود.

روشهای پیچیده‌ای برای پیش‌بینی قیمت برق بر مبنای سریهای زمانی و شبکه‌های عصبی و ... وجود دارد که برخی از شرکتها نیز از آن بهره می‌برند. اما در یک بازار با تعدد شرکت‌کنندگان، یک راه حل منطقی برای شبیه‌سازی عملکرد مجموعهٔ شرکت کنندگان در پیش‌بینی قیمت بلند مدت برق، توجه به فرضیه عقلانیت محدود شده[1] است. طبق این فرضیه در شرایطی که عدم قطعیتهای فراوانی وجود دارد، عملاً امکان پیش‌بینی محدود می‌شود و نمی‌توان فرض کرد که تمام شرکت‌کنندگان از نظر اقتصادی دارای عملکرد کاملاً منطقی هستند و حتماً بهینه‌ترین تصمیم‌گیری را در آینده خواهند داشت.[2] بنابراین به علت وجود عدم قطعیتهای فراوان، می‌توان بجای استفاده از مدلهای پیچیده از مدلهای ساده‌تر و با درجه آزادی بیشتر استفاده کرد. بر این مبنا [16] نشان داده است که استفاده از روشهای پیش‌بینی مانند هموارسازی نمایی و یا برون‌یابی با استفاده از روند تغییرات، برای بسیاری از متغیرهای اقتصادی مانند تورم، قیمت متوسط و رشد تقاضا در بلند مدت بطور منطقی قابل استفاده است.

گام مهم بعدی هر سرمایه‌گذار محاسبه قابلیت سودآوری طرح است. شاخصهای مختلفی را می‌توان برای این منظور تعریف کرد که موارد استفاده وسیعی دارند. از مهمترین روشها استفاده از روشهای مبتنی بر NPV [3] می‌باشد. در این راستا روش IRR [4] یا نرخ داخلی بازگشت سرمایه از پرکاربردترین روشهاست که در ارزیابی‌های سرمایه‌گذاری بکار می‌رود. اساساً در هر

1. Bounded Rationality Hypothesis (BRH)

۲. فرض عملکرد کاملاً اقتصادی و بهینه شرکت‌کنندگان در بازار در بسیاری از تحلیلها یک فرض مبنایی است.

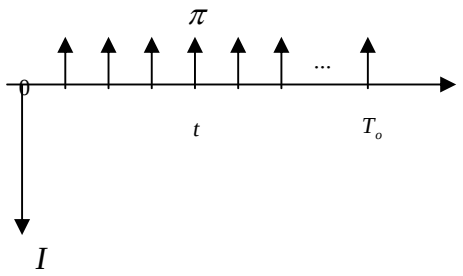
3. Net Present Value

4. Internal Rate of Return

فرآیند سرمایه‌گذاری عواید حاصل از سرمایه‌گذاری در طول سالهای بهره‌برداری باید بتواند با نرخ بازگشت مناسبی، سرمایه‌گذاری را جبران کند. هر چه این نرخ بازگشت بیشتر باشد سرمایه‌گذاری سودآورتر خواهد بود [17].

از جمله روشهای دیگر مقایسه اقتصادی طرحها خصوصاً برای طرحهایی با طول عمر متفاوت، روش AEV [1] می‌باشد. در این روش سودآوری سالانه طرح که از تفاضل درآمد با هزینه‌های سالانه محاسبه می‌شود با مقدار متوسط سرمایه‌گذاری اولیه که در طول سالهای عمر مفید پروژه به صورت معادل پخش شده، مقایسه می‌گردد [17].

شکل ۱ دیاگرام نقدی[2] مرتبط با ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها را نشان می‌دهد. برای سادگی فرض شده که تمام سرمایه‌گذاری در ابتدای پروژه انجام می‌گردد همچنین درآمدزایی طرح از سال اول شروع خواهد شد.



شکل ۱ : دیاگرام جریان نقدی ترسیم شده جهت ارزیابی اقتصادی پروژه ها

شاخص زیر را می‌توان به عنوان شاخص قابلیت سودآوری[3] پروژه تعریف کرد:

$$PI = \frac{\pi}{\bar{I}}$$

که π سود حاصل از فروش برق در سال می‌باشد و $\bar{I}$ ارزش معادل سالانه سرمایه‌گذاری پروژه است.

اگر I سرمایه‌گذاری اولیه پروژه و r حداقل نرخ مطلوب بازگشت سرمایه برای پروژه های تولید و T_o عمر مفید پروژه باشد، در این صورت $\bar{I}$ از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$\bar{I} = \frac{r(1+r)^{T_o}}{(1+r)^{T_o}-1}.I$$

در صورتیکه پروژه تنها سرمایه‌گذاری اولیه خود را در طول سالهای عمر مفیدش بپوشاند، $PI = 1$ خواهد شد. برای پروژه‌های سودآور $PI > 1$ و برای پروژه‌های زیانده $PI < 1$ خواهد بود. پوشیده نیست که هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد سرمایه‌گذاران در امر سرمایه‌گذاری بیشتر تشویق می‌شوند. برای مدلسازی مناسب تصمیم‌گیری که متاثر از این شاخص باشد باید به موارد زیر که برگرفته از شرایط واقعی است توجه کرد:

الف) معمولاً در شرایطی که $PI = 1$ است، یعنی زمانی که سود سرمایه‌گذاری صفر می‌باشد سرمایه‌گذار جدیدی وارد بازار نمی‌شود و سرمایه‌گذاران قبلی بازار تنها به میزانی سرمایه‌گذاری می‌کنند که سهم خود را از بازار حفظ نمایند. این مقدار معادل با ظرفیت واحدهای از رده خارج شده بعلاوهٔ پوشش سهم تولید کننده از افزایش تقاضای جدید است.

(ب) افزایش میزان شاخص، با تصمیم برای سرمایه‌گذاری رابطه خطی ندارد. به علت وجود محدودیتهایی که عمدتاً در منابع اعم از منابع مالی، فنی، انسانی و قانونی وجود دارد همچنین عدم قطعیتهای موجود، رشد بیش از حد سودآوری تا میزان مشخصی به افزایش تصمیم برای سرمایه‌گذاری کمک می‌کند و پس از آن رشد کاهش می‌یابد.

(پ) کاهش میزان شاخص سودآوری ($PI < 1$) ناگهان تمام سرمایه‌گذاران را نسبت به سرمایه‌گذاری منصرف نمی‌کند بلکه به تدریج با کاهش میزان سود آوری، تصمیم برای سرمایه‌گذاری کم شده و به صفر گرایش پیدا می‌کند. زیرا برخی از شرکت کنندگان در بازار در این شرایط نیز به امید افزایش قیمت و از دست ندادن سهم بازار به سرمایه گذاری البته در حجم کمتری ادامه می‌دهند.

با توجه به موارد فوق می‌توان مشابه با [18] تابع زیر را به عنوان رابطه بین شاخص سودآوری و تصمیم برای سرمایه‌گذاری سالانه در کل بازار درنظر گرفت:

1. Average Equivalent Value
2. Cash flow diagram
3. Profitability Index

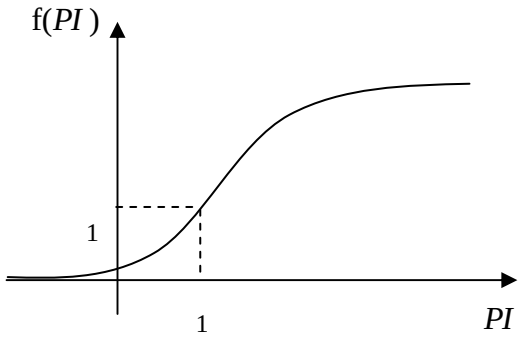
$$\Delta C_I = \mathrm{f}\left(PI\right).\left(\Delta R + \Delta L\right)$$

در رابطه فوق، ΔL میزان رشد بار و ΔR ظرفیت بازنشسته شده می‌باشد. ΔC_I میزان ظرفیتی است که در بازار شروع به سرمایه‌گذاری می شود. واحد این سه کمیت مگاوات در سال می‌باشد.

تابع f را می‌توان از نظر شکل، تابعی لجستیک (شکل ۲) دانست که باید شرط زیر را برآورده نماید:

$$\mathrm{f}(1) = 1$$

این شرط برای آنست که مفاد بند (الف) برآورده شود.



شکل ۲: منحنی لجستیک تصمیم برای سرمایه‌گذاری

سطح اشباع این منحنی به عوامل مختلفی که در بند (ب) اشاره شد بستگی دارد.

پس از اینکه سرمایه‌گذار تصمیم به سرمایه‌گذاری بر روی حجم مشخصی از ظرفیت می‌گیرد تا هنگامیکه این ظرفیت به صورت عملی محقق شده و وارد بازار گردد، فاصلهٔ زمانی وجود دارد. این فاصله به زمان صدور مجوزهای لازم و دوره ساخت واحد بستگی دارد. تاخیر در پروژه‌های تولید بستگی به نوع تکنولوژی دارد و حدود دو سال برای واحدهای گازی ، حدود سه سال برای واحدهای سیکل ترکیبی و بیش از ۱۰ سال برای واحدهای اتمی و آبی بزرگ تغییر می‌کند.

اگر دوره دریافت مجوز و ساخت پروژه‌ها را بطور متوسط T_c درنظر بگیریم، تغییر ظرفیت تولید بازار (ΔC) در هر سال از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta C\left(n\right) = \Delta C_I\left(n - T_c\right) - \Delta R\left(n\right)$$

در اینصورت مقدار کل ظرفیت بازار (C) در پایان سال n ام را می‌توان توسط رابطه زیر محاسبه کرد:

$$C\left(n\right) = C\left(0\right) + \sum_{i=1}^{n} \Delta C\left(i\right)$$

قیمت برق در بازار طی تعامل عرضه و تقاضا تعیین می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود با افزایش ظرفیت عرضه شده در بازار و درصورت افزایش نیافتن تقاضا، کاهش قیمت متوسط بازار را در بلند مدت شاهد باشیم. می‌توان گفت تفاضل بین ظرفیت عرضه شده و تقاضا (بار بیشینه کل سیستم) که همان ظرفیت رزرو می‌باشد، در تعیین قیمت برق در بلند مدت نقشی کلیدی ایفا می‌کند. افزایش رزرو سبب می‌شود که احتمال از دست دادن بار[1] (LOLP) یا به عبارت دیگر احتمال پوشش ندادن تقاضا توسط عرضه کاهش یابد. شرکتها در بازار هر جا که احساس کنند احتمال پوشش تقاضا کمتر است قیمتهای خود را بالا می‌برند و بالعکس در هر زمان که کمبود وجود ندارد و یا به بیان بهتر احتمال آن کم باشد، به خاطر رقابت قیمت ها را کاهش خواهند داد.

برای محاسبه قیمت با توجه به تغییر LOLP از رابطه احتمالی زیر استفاده شده است:

$$price = MC\,.\,\left(1 - LOLP\right) + CAP\,.\,LOLP$$

در رابطه فوق MC هزینه حدی تولید برق و CAP قیمت سقف بازار است که توسط نهاد تنظیم‌کننده بازار تعیین می‌شود. در شرایطی که بار تامین نمی‌شود، شرکت کنندگان بالاترین قیمت (قیمت سقف بازار) را ارائه می‌دهند.

۳- مدل قراردادهای تضمینی ظرفیت

همانطور که قبلاً اشاره شد برای تامین ریسک سرمایه‌گذاری، گردانندگان بازار بر اساس ظرفیت ورودی به بازار قراردادهایی تضمینی با سرمایه‌گذاران منعقد می‌کنند که بر مبنای آن مبلغ ثابتی تا پایان دوره بهره‌برداری مفید واحد به سرمایه‌گذار پرداخت می‌شود. این مبلغ می‌تواند تمام و یا بخشی از سرمایه را در طول دوره بهره‌برداری به سرمایه‌گذار

1. Lost of load probability

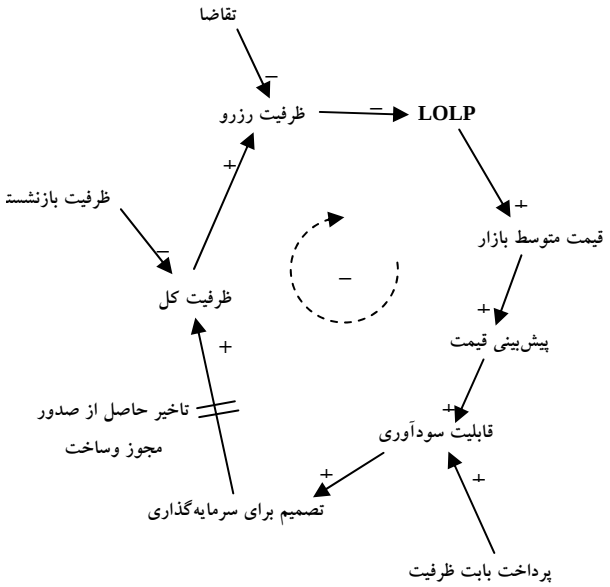
بازگرداند. برای مدلسازی قراردادهای تضمینی ظرفیت باید به نقش آن در ترغیب سرمایه‌گذاران جهت سرمایه‌گذاری توجه ویژه‌ای داشته باشیم. از این رو شاخص قابلیت سودآوری (PI) که قبلا تعریف شده بود باید مورد بازنگری قرار گیرد. شاخص جدید را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$PI = \frac{\pi + k\bar{I}}{\bar{I}}$$

$$0 \le k \le 1$$

k کسری از سرمایه‌گذاری است که طبق قرارداد، سالانه به سرمایه‌گذار پرداخت می‌شود. اگر $k = 0$ باشد هیچ نوع پرداختی بابت ظرفیت انجام نمی‌شود و اگر $k = 1$ باشد تمام مبلغ سرمایه‌گذاری در طول مدت بهره‌برداری از واحد به سرمایه‌گذار بازگردانده خواهد شد.

شکل ۳ دیاگرام علی[1] ارتباط متغیرهای مختلف شبیه‌سازی از جمله تاثیر قرار دادهای تضمین ظرفیت را نشان می‌دهد.

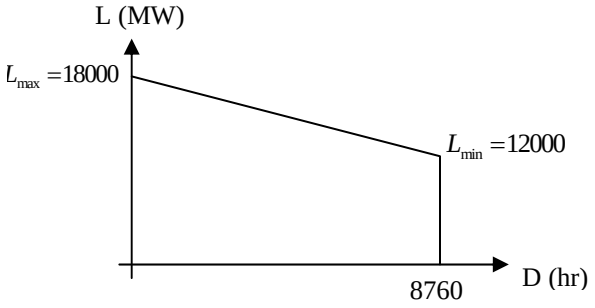


شکل ۳ : دیاگرام علی ارتباط عوامل موثر در شبیه‌سازی سرمایه‌گذاری

۴- شبیه‌سازی نوسان ظرفیت و قیمت در بازار

همانطور که در مقدمه مطرح شد، برای شبیه‌سازی و ارائه فرضیات مناسب باید بازه زمانی شبیه‌سازی مدنظر قرار گیرد. عدم قطعیتهای فراوانی چه از نظر مدل و چه از نظر مقادیر وجود دارد که باید از وارد کردن جزئیات و پیچیدگیهای بی‌موردی که نقش تعیین کننده‌ای در نتایج ندارند احتراز شود. همانطور که اشاره شد محاسبات را معمولاً بر روی مقادیر متوسط کمیتها انجام می‌دهیم و به ارتباطاتی بین متغیرها می‌پردازیم که در این فاصلهٔ زمانی معنادار هستند.

برای بررسی نوسان سرمایه‌گذاری، بازاری را فرض کرده‌ایم که ظرفیت کل نصب شده در آن در سال مبنا ۲۰۰۰۰ مگاوات است. همچنین پیک تقاضا در سال مبنا به میزان ۱۸۰۰۰ مگاوات درنظر گرفته شده است. فرض می‌شود که منحنی استمرار بار (LDC)[2] یک منحنی خطی مطابق شکل ۴ باشد. برای سهولت، الگوی این منحنی طی سالهای مختلف تفاوتی نمی‌کند.



شکل ۴: منحنی استمرار بار (LDC)

در مورد نوع تعامل شرکت کنندگان در بازار فرض می‌کنیم که تعداد شرکت کنندگان در بازار زیاد است (بازار کامل) و یا مشکلاتی که در اثر تبانی شرکتها و یا قدرتهای تاثیر گذار بازار ممکن است پدید آید صرفاً در سیاستگذاریهای کوتاه مدت‌تر بازار اثرگذار باشد. در نتیجه، تنها عرضه و تقاضای واقعی عامل تغییر قیمتها در بلند مدت خواهد بود.

میزان سرمایه گذاری برای هر کیلووات برق بطور متوسط ۶۰۰ دلار فرض شده است که تقریبا معادل با سرمایه‌گذاری برای واحدهای سیکل ترکیبی گازی است. این واحدها در شرایط فعلی دارای راندمان مناسب و توجیه اقتصادی است.

1. Causal diagram

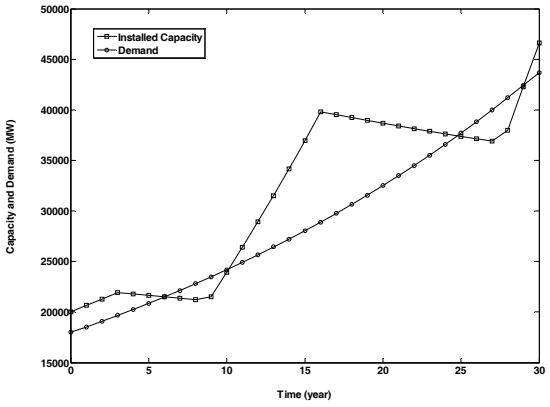
2. Load duration curve

عمر متوسط واحدها ۳۰ سال و زمان متوسط صدور مجوز و ساخت هر واحد ۳ سال درنظر گرفته شده است. همچنین محاسبات اقتصادی با نرخ مورد نیاز بازگشت سرمایه به میزان ۸ درصد انجام می‌شود. میزان رشد متوسط سالیانه تقاضا ۳ درصد فرض شده است.

محاسبات قابلیت اطمینان بر اساس نرخ خروج اضطراری متوسط ۰,۰۴ برای تمام واحدها و همچنین ظرفیت متوسط ۱۲۵ مگاوات برای واحدهای منصوبه در شبکه انجام می‌پذیرد.

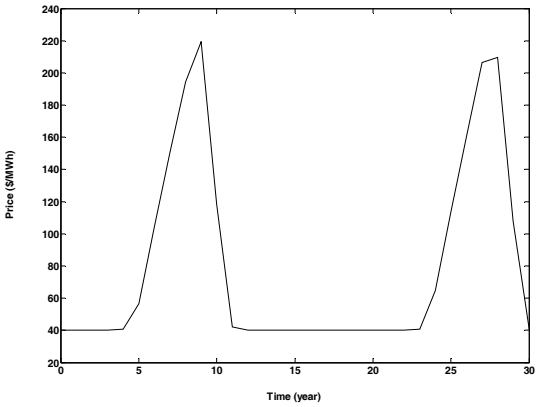
اولین اجرای شبیه‌سازی در شرایطی انجام می‌شود که هیچ نوع مبلغی بابت ظرفیت به تولیدکنندگان پرداخت نمی‌شود. شکل ۵ نمایانگر منحنی تقاضا و ظرفیت تولید (عرضه) در طول یک دوره ۳۰ ساله است. همانطور که ملاحظه می‌شود نوسانات شدیدی در ظرفیت تولید در طی دوره مطالعه مشاهده می‌شود. دامنه این نوسانات آنقدر زیاد است که در سالهایی کل ظرفیت نصب شده در بازار از میزان حداکثر تقاضا کمتر می‌شود. در این شرایط بحرانی، قیمتها به شدت افزایش خواهد یافت (شکل ۶). همچنین در بعضی از سالها آنچنان افزایش تولید وجود دارد که عملاً تولید کنندگان منتفع نمی‌شوند و قیمتها تا میزان هزینه حدی تولید کاهش می‌یابد.

شکل ۷ شاخص قابلیت اطمینان سیستم (LOLD)[1] را نشان می‌دهد. LOLD مدت زمانی است که بار توسط تولید در طول یکسال پوشش داده نمی‌شود.

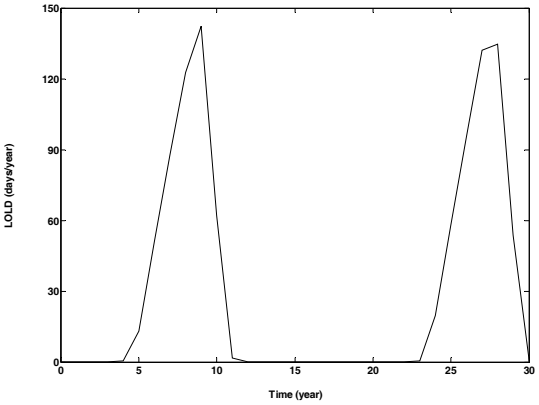


شکل ۵: تغییرات عرضه (ظرفیت تولید) و تقاضا در بازار

1. Loss of load duration



شکل ۶ : تغییرات قیمت متوسط برق



شکل ۷: مدت زمان از دست دادن بار (LOLD)

در سالهایی که تقاضا از ظرفیت تولید در بازار پیشی می‌گیرد، قیمت برق به شدت افزایش می‌یابد و به چندین برابر مقدار معمول خود می‌رسد. همچنین قابلیت اطمینان شبکه به شدت کاهش خواهد یافت. آنچه از این تغییرات شدید دریافت می‌شود دورنمایی از یک بحران واقعی است که در صورت عدم توجه سیاستگذاران می‌تواند گریبانگیر بازار برق شود.

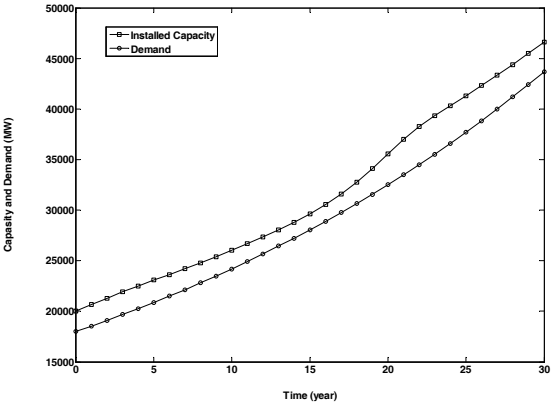
در دومین اجرای برنامه، شبیه‌سازی را برای حالتی انجام داده‌ایم که قراردادهای تضمینی ظرفیت با تولیدکنندگان وجود دارد. در این حالت، بازگشت تمام مبلغ سرمایه‌گذاری تضمین می‌شود ($k=1$). نتایج حاصل مبین آنست که دامنه نوسان ظرفیت بسیار کاهش یافته است و ظرفیت تولید با فاصله مناسبی از تقاضا، آن را دنبال می‌کند (شکل ۸).

نکته مهمتر در مورد قیمت روی داده است. قاعدتاً پرداختی که بابت ظرفیت صورت می‌گیرد مستقیماً به متقاضی برق تحمیل خواهد شد. جدول ۱ نشان‌دهنده قیمت متوسط پرداختی توسط مصرف‌کننده در طول ۳۰ سال، همچنین مقدار متوسط شاخص قابلیت اطمینان ($\overline{LOLD}$)برای همین مدت است. با اینکه حداقل قیمت برق نسبت به شبیه‌سازی اول افزایش پیدا کرده است ولی به علت اینکه نوسان در سرمایه‌گذاری بازار وجود ندارد، تغییرات قیمت نیز زیاد نیست (کمتر از۱۰ درصد) بنابراین در بلند مدت مصرف‌کننده هزینه کمتری بابت برق خواهد پرداخت و این به نفع اوست (شکل ۹ و جدول ۱).

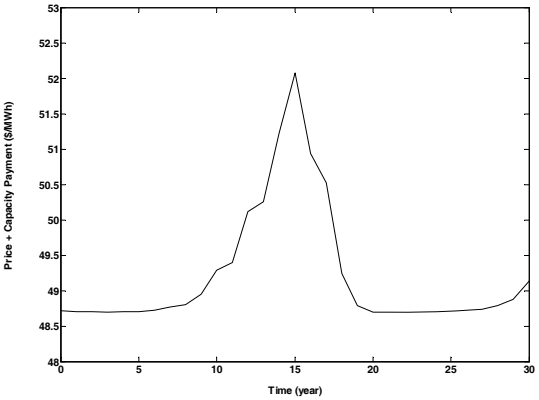
شکل ۱۰ تغییرات قابلیت اطمینان سیستم را در حد قابل قبولی نشان می‌دهد و حاکی از عملکرد مناسب بازار در بلند مدت است.

جدول ۱: مقایسه قیمت متوسط و قابلیت اطمینان در دو سناریوی وجود و عدم وجود قراردادهای تضمینی ظرفیت

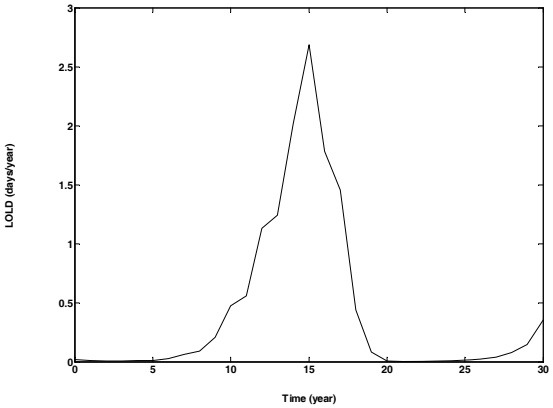
سناریو	قیمت متوسط ۳۰ ساله برق در سمت تقاضا ($/MWh)	$\overline{LOLD}$ (days/year)
بدون قرارداد تضمینی ظرفیت	۷۹,۷	۳۱,۵
با قرارداد تضمینی ظرفیت	۴۹,۲	۰,۴۲



شکل ۸ : تغییرات ظرفیت تولید و تقاضا در بازار در حضور قراردادهای تضمینی ظرفیت



شکل ۹ : قیمت برق در سمت تقاضا (مجموع قیمت برق در سمت عرضه و پرداخت بابت ظرفیت که از مصرف کننده اخذ خواهد شد)



شکل ۱۰: مدت زمان از دست دادن بار در شرایط وجود قراردادهای تضمینی ظرفیت

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله با شبیه‌سازی دینامیک بازار برق در بلند مدت نشان دادیم که به علت خصوصیات این نوع بازار اگر توسط سیاستگذاران بازار تمهیداتی چیده نشود، امکان بوجود آمدن دوره‌های رشد و نزول در سرمایه‌گذاری امری محتوم و نگران کننده است.

در این میان نقش قراردادهای تضمینی ظرفیت در کاهش مشکل مورد بررسی قرار گرفت. ملاحظه شد که قراردادهای تضمین ظرفیت در بلند مدت می‌تواند نقش مهمی را در پایداری بازار ایفا کند و از نوسانات ظرفیت و سرمایه‌گذاری

جلوگیری نماید. همچنین نشان داده شد که انعقاد این نوع قراردادها با تولیدکنندگان ـ با تعریفی که شرح آن رفت ـ علاوه بر اینکه ریسک سرمایه‌گذاری را کاهش می‌دهد سبب کاهش خطر کمبود سرمایه‌گذاری و ظرفیت در بازار می‌شود. از طرفی مصرف‌کنندگان نیز در بلند مدت هزینه کمتری را بابت برق خواهند پرداخت. همینطور قابلیت اطمینان سیستم نیز بهبود قابل توجهی حاصل می‌کند و در محدوده قابل قبولی باقی می‌ماند.

در این مقاله فرض کردیم که قرارداد تضمینی ظرفیت بصورت ثابت در هر سال با سرمایه‌گذاران بسته شود. اما با توجه به پیش‌بینی متولیان بازار از شرایط ظرفیت در آینده می‌توان با تغییر سالانه مبلغ قرارداد، بهبود بیشتری در پایداری بازار ایجاد کرد. تاثیر این موضوع در حال حاضر توسط محققین این مقاله در حال بررسی است.

همچنین ما تقاضا را به عنوان یک متغیر مستقل از قیمت بازار درنظر گرفته‌ایم. اگر چه این امر در شبیه‌سازیهای مشابه مرسوم است و علت اصلی آن کم بودن کشش قیمتی تقاضا نسبت به رشد آن در بازار است، با این حال تاثیرات بلند مدت قیمت بر روی تقاضا (ناشی از عواملی مانند بهینه‌سازی مصرف، استفاده از انرژیهای جایگزین و ...) را می‌توان در شبیه‌سازیها لحاظ کرد.

دراین پژوهش تنها یک نوع تکنولوژی به عنوان تکنولوژی غالب در بازار در نظر گرفته شده است. واضح است که تکنولوژیهای مختلفی با میزان سرمایه‌گذاری، هزینه بهره‌برداری و طول عمر متفاوت وجود دارد. شبیه‌سازی بازار با چند تکنولوژی، بررسیهای بهتری از وضعیت دینامیک بلند مدت بازار بدست خواهد داد که البته پیچیدگی بیشتری را نیز به مدل تحمیل خواهد کرد.

۶- مراجع

1. I. Dyner, E.R. Larsen, "From planning to strategy in the electricity industry," Energy Policy vol. 29, 2001, pp. 1145–1154.
2. A.G. Kagiannas, D.T. Askounis, J. Psarras, "Power generation planning: a survey from monopoly to competition." Electrical Power and Energy Systems, vol. 26, 2004, pp. 413–421.
3. A. Ford, "Cycles in competitive electricity markets: a simulation study of the western United States," Energy Policy, vol. 27, 1999, pp. 637–658.
4. A. Ford, "Waiting for the boom: a simulation study of power plant construction in California," Energy Policy, vol. 29, 2001, pp. 847-869.
5. S. Gary, E.R. Larsen, "Improving firm performance in out-of-equilibrium, deregulated markets using feedback simulation models," Energy Policy, vol. 28, 2000, pp. 845–855.
7. A. Ford, "System Dynamics and the Electric Power Industry," System Dynamics Review, vol. 13(1) , 1997, pp. 57-85.
8. D.W. Bunn, E.R. Larsen, K. Vlahos, "Complementary Modeling Approaches for Analyzing Several Effects of Privatization on Electricity Investment," Journal of the Operational Research Society, vol. 44(10), 1993, pp. 957-971.
9. D.W. Bunn, "Evaluating the Effects of Privatizing Electricity," Journal of the Operational Research Society, vol. 45(4) , 1994, pp. 367-375.
10. E.R. Larsen, D.W. Bunn, "Deregulation in electricity: understanding strategic and regulatory risk," Journal of the Operational Research Society, vol. 50(4) , 1999, pp. 337-344.
11. A. Ford, "Boom & Bust in Power Plant Construction: Lessons from the California Electricity Crisis," Journal of Industry, Competition and Trade, vol. 2(1-2) , 2002, pp. 59-74.
12. S. Arango, "Simulation of alternative regulations in the Colombian electricity market," Socio-Economic Planning Sciences, vol. 41, 2007, pp. 305-319.
13. K. Vogstad, "Combining system dynamics and experimental economics to analyze the design of Tradable Green Certificates." Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'05), 2005.
14. A. Dimitrovski, M. Gebremicael, K. Tomsovic, A. Ford, K. Vogstad, "Comprehensive long term modeling of the dynamics of investment and growth in electric power systems," Presented at the EPNES Workshop, Mayaguez, Puerto rico, 2004.
15. A. Dimitrovski, A. Ford, K. Tomsovic, "An interdisciplinary approach to long-term modeling for power system expansion," Int. J. Critical Infrastructures, vol. 3(1&2) , 2007, pp. 235-264.
16. A. Ford, K. Vogstad, H. Flynn, "Simulating price patterns for tradable green certificates to promote electricity generation from wind," Energy Policy, vol. 35, 2007, pp. 91-111.
17. J. D. Sterman, "Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World," Irwin/McGraw-Hill, Boston, 2000.
18. Wang, X., McDonald, J.R., Modern Power System Planning, McGraw-Hill, London, 1994.
19. F. Olsina, F. Garces, H. J. Haubrich, "Modeling long-term dynamics of electricity markets," Energy Policy, vol. 34, 2006, pp. 1411–1433.