بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت گرایش سیستم های قدرت و فشار قوی الکتریکی

استراتژی پیشنهاددهی بهینه برای شرکت‌های نیروگاهی شامل واحدهای بادی و پمپ ذخیره‌ای در بازار برق رقابتی با استفاده از تئوری بازی

فاطمه سرخوش

استاد راهنما:

دکتر سید مسعود مقدس تفرشی

تابستان ۱۳۹۰

تقدیم به

ساحت مقدس ولی عصر (عج)

تقدیم به:

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشتند، سختی های زندگی را به جان خریدند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده ام برسم؛

خواهر عزیزم

که وجودش شادی بخش و صفایش مایه آرامش من است؛

و همسر گرامی ام

که در این مدت همواره تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات بود و وجودش مایه دلگرمی من می باشد.

اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه: ***استراتژی پیشنهاددهی بهینه برای شرکت‌های نیروگاهی شامل واحدهای بادی و پمپ ذخیره‌ای در بازار برق رقابتی با استفاده از تئوری بازی***

استاد راهنما: دکتر سید مسعود مقدس تفرشی

نام دانشجو: فاطمه سرخوش

شماره دانشجوئی: ۸۷۰۶۳۹۴

اینجانب **فاطمه سرخوش** دانشجوی دوره **کارشناسی ارشد** مهندسی **برق** گرایش **قدرت** دانشکده **برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی** گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تائید می باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری درهیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:۱۳۹۰/۶/۲۲

فرم حق طبع ونشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها باموافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

ضمنا متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

شکر و سپاس خداوند مهربان را که بزرگترین امید و یاور در لحظه لحظه زندگیست.

در اینجا بر خود لازم می‌دانم که از زحمات بی‌دریغ استاد گرامی جناب آقـای دکتـر سـید مسـعود مقـدس تفرشی که در انجام این پایان‌نامه صبورانه مرا راهنمایی نمودند، قدردانی نمایم.

همچنین از جناب آقای مهندس عظیم سلیمی‌نیای لاهیجی به خاطر زحمات و کمکهای ایشان در انجام این پایان‌نامه نهایت تشکر را دارم.

در پایان بدینوسیله از اعضای محترم هیئت داوران و کلیه عزیزانی که در حین انجام پروژه مرا مرهون الطاف و کمک‌های خود نموده‌اند قدردانی می نمایم.

چکیده

در این پایان‌نامه استراتژی قیمت‌دهی در بازار برق برای یک شرکت نیروگاهی شامل واحدهای بادی و پمپ ذخیره‌ای در محیط بازار برق بررسی می‌شود. شیوه قیمت‌دهی این شرکت نیروگاهی مبتنی بر تئوری بازی می‌باشد، زیرا با توجه به لزوم استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و افزایش نفوذ نیروگاه‌های بادی می‌توان نتیجه گرفت که پس از این دیگر شرکت‌های تولیدی دارای نیروگاه‌های بادی به عنوان گیرنده قیمت محسوب نمی‌گردند و باید خودشان سازنده قیمت باشند. این در حالیست که بررسی مراجع پیشین نشان می‌دهد که تمام مدل‌های ارائه شده تاکنون، نیروگاه‌های بادی را به صورت گیرنده قیمت در نظر گرفته‌اند. همچنین با توجه به اینکه یکی از اصلی‌ترین معایب انرژی باد عدم اطمینان ناشی از تناوبی بودن ذاتی باد و غیرقابل کنترل بودن آن است. با استفاده از واحدهای پمپ ذخیره‌ای در کنار واحدهای بادی می‌توان این نقیصه را جبران نمود. برای پیشنهاددهی قیمت در سیستم رقابتی از مدل کارنات و برای بهینه‌سازی تابع هدف از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است و همچنین از قیود انتقال صرفنظر شده است. نتایج شبیه‌سازی این بازار نشان می‌دهد که واحدهای بادی با برنامه‌ریزی مشترک با یک واحد پمپ ذخیره‌ای بخوبی می‌توانند مانند واحدهای حرارتی سازنده قیمت باشند.

کلمات کلیدی: استراتژی قیمت‌دهی، نیروگاه بادی، تئوری بازی، نیروگاه پمپ ذخیره‌ای.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... ج
فهرست شکل‌ها ..... ه

پیشگفتار ۱

فصل ۱- کلیاتی از تئوری بازی و استراتژی قیمت دهی مبتنی بر تئوری بازی ۵
۱-۱- بررسی اهمیت پیشنهاد قیمت از دید بازیگران بازار ۵
۱-۲- استراتژیهای قیمت دهی از دید عرضه کنندگان توان ۷
۱-۳- تئوری بازی ۱۰
۱-۴- مدلسازی تئوری بازی ها در بازار برق ۱۳
۱-۴-۱- مدل رقابت کامل ۱۳
۱-۴-۲- مدل رقابت ناکامل ۱۴
۱-۵- نتیجه گیری ۱۷

فصل ۲- مروری بر مطالعات پیشین ۱۸
۲-۱- بررسی مراجع با موضوع پیشنهاددهی شرکتهای نیروگاهی بادی و پمپ ذخیره ای ۱۸
۲-۲- بررسی مراجع با موضوع استفاده از تئوری بازی در بازار برق ۲۲
۲-۳- نتیجه گیری ۲۷

فصل ۳- مدلسازی تعاملات بازار بین بازیگران جهت ارائه پیشنهاد قیمت ۲۸
۳-۱- مقدمه ۲۸
۳-۲- مدلسازی تعاملات بازار بین شرکت نیروگاهی شامل واحدهای بادی، پمپ ذخیره ای و حرارتی با سایر بازیگران جهت ارائه پیشنهاد قیمت ۳۰
۳-۲-۱- پیشنهاد قیمت واحدهای تولیدکننده ۳۱
۳-۲-۱-۱- پیشنهاد قیمت واحد حرارتی ۳۲
۳-۲-۱-۲- پیشنهاد قیمت واحد پمپ ذخیره ای ۳۴
۳-۲-۱-۳- پیشنهاد قیمت واحد بادی ۳۹
۳-۲-۲- مدل تسویه بازار ۴۰
۳-۲-۳- تابع هدف مدل پیشنهادی جهت برنامه ریزی توأم نیروگاه های پمپ ذخیره ای، بادی و حرارتی ۴۲
۳-۲-۴- محدودیت های بهینه سازی تابع هدف واحدهای بادی، پمپ ذخیره ای و حرارتی ۴۳
۳-۲-۵- اعمال الگوریتم ژنتیک برای مسئله استراتژی پیشنهاد قیمت توسط یک GENCO ۴۵
۳-۲-۶- فلوچارت نحوه پیشنهاددهی ۴۷

۳-۳- جمعبندی و نتیجه گیری ۵۰

فصل ۴- مطالعات عددی و تحلیل نتایج ۵۱

۴-۱- اطلاعات اولیه مورد نیاز برای انجام شبیه سازی ۵۱

۴-۲- نتایج شبیه سازی برای استراتژی اول ۵۵

۴-۲-۱- تعیین MCP اولیه ۵۵

۴-۲-۲- صحه گذاری بر نتایج خروجی استراتژی اول ۶۳

۴-۳- نتایج شبیه سازی برای استراتژی دوم ۶۴

۴-۳-۱- تعیین MCP اولیه ۶۴

۴-۳-۲- صحه گذاری بر نتایج خروجی استراتژی دوم ۷۱

۴-۴- مقایسه استراتژی اول و دوم ۷۲

۴-۵- نتیجه گیری ۷۳

فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات ۷۴

۵-۱- نتیجه گیری ۷۴

۵-۲- پیشنهادات ۷۵

ضمیمه أ -مروری بر بازار برق ۷۶

أ-۱- مدلهای بازار برق ۷۹

أ-۲- انواع بازار توان ۸۱

أ-۲-۱- بازار انرژی، خدمات جانبی و انتقال ۸۱

أ-۲-۲- بازارهای پیشرو و زمان- حقیقی ۸۳

أ-۳- قدرت بازار ۸۳

ضمیمه ب- محاسبه تابع هزینه یک واحد پمپ ذخیره ای ۸۵

ضمیمه ج - خلاصه ای از الگوریتم ژنتیک ۸۹

ج-۱- تعاریف ساختارها و عملگرهای الگوریتم ژنتیک ۹۰

ضمیمه د - آشنایی با عملکرد برنامه ۹۲

فهرست مراجع ۹۳

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱: مشخصات واحد بادی GENCO.1 ..... ۵۱

جدول ۴-۲: مشخصات واحد پمپ ذخیرهای GENCO.1 ..... ۵۲

جدول ۴-۳: مشخصات واحد حرارتی GENCO.1 ..... ۵۲

جدول ۴-۴: مشخصات واحدهای حرارتی GENCO.2 ..... ۵۲

جدول ۴-۵: مشخصات واحدهای حرارتی GENCO.3 ..... ۵۳

جدول ۴-۶: پیش بینی تولید واحد بادی در ۲۴ ساعت آینده ۵۳

جدول ۴-۷: میزان تقاضای بازار در ۲۴ ساعت آینده ۵۳

جدول ۴-۸: شاخصهای اعمال شده برای GA ۵۴

جدول ۴-۹: میزان(MCP($/MWh اولیه در ۲۴ ساعت آینده (بدون لحاظ واحد پمپ ذخیره ای)..... ۵۵

جدول ۴-۱۰: ساعات و میزان خرید واحد پمپ ذخیره ای از بازار ۵۶

جدول ۴-۱۱: میزان(MCP($/MWh اولیه در ۲۴ ساعت آینده (واحد پمپ ذخیره ای بعنوان تقاضا).. ۵۷

جدول ۴-۱۲: ساعات و میزان فروش واحد پمپ ذخیرهای ۵۸

جدول ۴-۱۳: میزان(MCP($/MWh اولیه در ۲۴ ساعت آینده (واحد پمپ ذخیره ای بعنوان تقاضا و تولیدکننده) ۵۸

جدول ۴-۱۴: میزان(MCP($/MWh نهایی در ۲۴ ساعت آینده برای استراتژی اول ۵۹

جدول ۴-۱۵: میزان تولید هر یک از واحدها در هر ساعت از شبانه روز برای استراتژی اول..... ۶۱

جدول ۴-۱۶: میزان سود هر یک از شرکتها در هر ساعت از شبانه روز برای استراتژی اول..... ۶۲

جدول ۴-۱۷: قابلیت اطمینان هر یک از ساعات شبانه روز در استراتژی اول..... ۶۳

جدول ۴-۱۸ :نسبت MCP حاصل شده از اجرای مدل به MCP اولیه تعیین شده توسط ISO در استراتژی اول..... ۶۳
جدول ۴-۱۹: میزان(MCP($/MWh اولیه در ۲۴ ساعت آینده (بدون لحاظ واحد پمپ ذخیره ای) .. ۶۴
جدول ۴-۲۰: ساعات و میزان خرید واحد پمپ ذخیره ای از واحد بادی ۶۵
جدول ۴-۲۱: ساعات و میزان خرید واحد پمپ ذخیره ای از بازار ۶۵
جدول ۴-۲۲: میزان(MCP($/MWh اولیه در ۲۴ ساعت آینده (واحد پمپ ذخیره ای بعنوان تقاضا)... ۶۶
جدول ۴-۲۳: ساعات و میزان فروش واحد پمپ ذخیره ای..... ۶۶
جدول ۴-۲۴: میزان(MCP($/MWh اولیه در ۲۴ ساعت آینده (واحد پمپ ذخیره ای بعنوان تقاضا و تولیدکننده) ۶۷
جدول ۴-۲۵: میزان(MCP($/MWh نهایی در ۲۴ ساعت آینده برای استراتژی دوم..... ۶۸
جدول ۴-۲۶: میزان تولید هر یک از واحدها (MW) در هر ساعت از شبانه روز برای استراتژی دوم..... ۶۹
جدول ۴-۲۷: میزان سود هر یک از شرکتها در هر ساعت از شبانه روزبرای استراتژی دوم ۷۱
جدول ۴-۲۸: قابلیت اطمینان هر یک از ساعات شبانه روز در استراتژی دوم..... ۷۱
جدول ۴-۲۹: نسبت MCP حاصل شده از اجرای مدل به MCP اولیه تعیین شده توسط ISO در استراتژی دوم ۷۲
جدول ب-۱:رابطه بین جریان آب، توان مصرفی پمپ و توان تولیدی برای یک واحد پمپ ذخیره‌ای..... ۸۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: شمای کلی ارتباطات در بازار برق ۶

شکل ۲-۱: واحد پمپ ذخیره ای..... ۱۸

شکل ۲-۳: چگونگی برنامه ریزی ترکیبی تولید واحدهای بادی و پمپ ذخیره ای ۲۱

شکل ۳-۱: سیستم ترکیبی بادی-پمپ ذخیره ای..... ۲۹

شکل ۳-۲: نحوه تعامل شرکت نیروگاهی شامل واحدهای بادی، پمپ ذخیره ای و حرارتی با سایر بازیگران بازار برق ۳۰

شکل ۳-۳: نمودار ارائه پیشنهاد قیمت تکه ای-خطی..... ۳۲

شکل ۳-۴: منحنی معمول تبدیل آب به توان برای حالتهای پمپی و ژنراتوری با دبی های مختلف..... ۳۴

شکل ۳-۵: نمودارتوان مصرفی پمپ-توان تولیدی ژنراتور..... ۳۷

شکل ۳-۶: نحوه تسویه بازار ۴۱

شکل ۳-۷: روند پیشنهاددهی یک GENCO با استفاده از GA..... ۴۷

شکل ۳-۸: فلوچارت نحوه پیشنهاددهی قیمت..... ۴۹

شکل ۴-۱: نمودار میزان تقاضای بازار در ۲۴ ساعت آینده..... ۵۴

شکل ۴-۲: نمودار میزان MCP اولیه در ۲۴ ساعت آینده(بدون لحاظ واحد پمپ ذخیره ای)..... ۵۶

شکل ۴-۳: نمودار میزان MCP اولیه در ۲۴ ساعت آینده(واحد پمپ ذخیره ای بعنوان تقاضا)..... ۵۷

شکل ۴-۴: نمودار میزان MCP اولیه در ۲۴ ساعت آینده(واحد پمپ ذخیره ای بعنوان تقاضا و تولیدکننده) ۵۹

شکل ۴-۵: نمودار میزان MCP نهایی بازاردر ۲۴ ساعت آینده برای استراتژی اول..... ۶۰

شکل ۴-۶: نمودار میزان MCP اولیه در ۲۴ ساعت آینده(واحد پمپ ذخیره ای بعنوان تقاضا و تولیدکننده) ۶۷

شکل ۴-۷: نمودار میزان MCP نهایی بازاردر ۲۴ ساعت آینده برای استراتژی دوم.....۶۸

شکل ب-۱: نمودار توان تولیدی ژنراتور- توان مصرفی پمپ.....۸۷

شکل ج-۱: تکثیر دونقطه ای.....۸۹

پیشگفتار

تا اواخر دهه ۱۹۸۰ صنعت برق در اکثر کشورهای جهان به صورت شرکت‌های یکپارچه بوده و با ساختار یکپارچه عمودی[1] اداره شده است. در سال‌های اخیر این صنعت دچار تغییرات شگرفی شده و به سمت رقابتی شدن پیش رفته است. این تغییرات جداسازی سه عنصر اصلی صنعت برق یعنی تولید، انتقال و توزیع را ایجاب کرده که از آن به عنوان تجدیدساختار[2] یاد می‌شود. در چارچوب جدید رقابتی، هر یک از اجزا به صورت مجزا از هم فعالیت نموده و برای آنها هدف اصلی کسب سود بیشتر در جهت رسیدن به اهداف بلندمدت و کوتاه‌مدت خود می‌باشد. استراتژی‌های پیشنهاددهی که از مجموعه دوتائی‌های قیمت-تولید تشکیل شده است، برای نائل شدن به اهداف کوتاه‌مدت توسعه یافته‌اند.

بازیگران بازار به دنبال سیاست‌هایی برای تعیین یک شیوه مناسب برای قیمت‌گذاری هستند. بازارهای برق در حالت کلی با یک سری مشکلات سخت و حقیقی از جمله اطلاعات نامتناسب، رقابت ناکامل، تعاملات استراتژیک و تبانی روبرو هستند. بسیاری از این مشکلات با استفاده از تکنیک‌های سنتی اقتصادی قابل مدلسازی نیستند. از طرفی بازار برق یک سیستم پیچیده است و وقتی مفهوم پیچیدگی به میان می‌آید، تحلیل‌های اقتصادی در بازار از سمت و سوی رفتار عقلانی و تعادلی به سمت و سوی رفتارهای استراتژیک و ناهماهنگ پیش خواهد رفت.

بطور ایده‌آل ساختار بازار و مکانیزمها و قوانین مدیریت در یک بازار برق بخوبی طراحی شده‌اند و رقابت بین شرکتهای نیرومند به منظور جهت‌دهی بهره‌برداری از بازار بسمت حداکثر کردن سود نهایی صورت می‌گیرد. به بیان دیگر در یک بازار خوب طراحی شده، راه فراری برای سوء استفاده و مجالی برای بهره‌برداری بگونه‌ای که قیمتها را منحرف کند باقی نمی‌ماند. اگرچه ساختار غیرقابل پیش‌بینی بازار بیشتر شبیه بازاری چندانحصاری[3] تا شبیه بازاری کاملاً رقابتی می‌باشد. دلیل این مسئله طرحهای خاص تولید صنعت برق مثل تعداد محدود تولیدکنندگان و سهم بالای برخی از آنها در تولید کل سیستم،

[1] Vertically integrated
[2] Restructuring
[3] Oligopoly

هزینه بسیار بالای سرمایه‌گذاری در این صنعت و سرمایه‌گذاران کلان و محدودیتهای انتقال می‌باشد که باعث می‌شود مشتریان به بسیاری از ژنراتورها دسترسی نداشته باشند و تلفات انتقال که رغبت مصرف‌کنندگان را نسبت به خرید انرژی از واحدهای دور کاهش می‌دهد. تمام این موارد باعث می‌شود فقط تعداد معدودی از شرکتهای تولیدکننده بتوانند یک ناحیه جغرافیایی را سرویس‌دهی کنند و لذا این فرصت را پیدا می‌کنند که انرژی را با قیمت‌های بالاتر از قیمت حدی خود بفروشند.

یکی از اهداف اصلی پیشنهاد قیمت بهینه تضعیف قدرت بازار می‌باشد. این قدرت بازار از طریق راههای فراری که از ساختار بازار سوء استفاده می‌کنند بوجود می‌آید. در سالهای اخیر، بعضی از تحقیقات در مورد استراتژیهای پیشنهاد قیمت بهینه برای ژنراتورها و مشتریان بزرگی که در حالت رقابت می‌باشند صورت گرفته است.

مسأله پیشنهاد قیمت به طور کلی به صورت یافتن قیمت بهینه و تعیین استراتژی مناسب جهت رقابت با فروشندگان دیگر تعریف می‌شود. تاکنون روش‌های مختلفی برای ارائه قیمت بهینه از دید تولیدکنندگان مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از این روش‌ها استفاده از تئوری بازی برای پیشنهاد قیمت بهینه در بازار برق برای تولیدکننده می‌باشد. هر شرکت کننده در بازار، اطلاعات عمومی درمورد رقبایش دارد؛ ولی از منحنی هزینه و مشخصات آنها، بی‌خبر است. در این شرایط، استفاده از تئوری بازی با اطلاعات ناکامل، مفید به نظر می‌رسد. در این روش هر شرکت‌کننده، اطلاعات ناشناختهٔ رقبایش را به صورت انواع مختلف رقیبها، مدل می‌کند. تئوری بازی شاخه‌ای از ریاضی کاربردی و اقتصاد است و موقعیت‌هایی را بررسی می‌کند که در آن بازیگران، عملکردهای مختلفی را برای حداکثر کردن منفعت خود انتخاب می‌کنند. یک شرکت نیروگاهی می‌تواند از تئوری بازی در فهم رفتار شرکت‌کنندگان دیگر استفاده کند. در واقع تبادل توان شرکت‌های نیروگاهی به صورت بازی استراتژی‌ها مدلسازی می‌شود که در آن شرکت‌کننده‌ها جهت حداکثر کردن منافعشان (منافع اقتصادی) به رقابت می‌پردازند.

همچنین در حال حاضر نگرانی‌های زیادی در مورد تاثیرات زیست‌محیطی و پایداری نیروگاه‌های سوخت فسیلی وجود دارد، در نتیجه منابع انرژی تجدیدپذیر در حال تبدیل شدن به عنوان یکی از

بخش‌های اساسی تأمین کننده برق هستند. یکی از این منابع انرژی باد است که رشد سریع و فزاینده‌ای داشته است. برای مثال تا سال ۲۰۱۰ کشورهای چین، آمریکا، آلمان، اسپانیا، هندوستان به ترتیب ظرفیت نصب شده‌ای برابر با ۴۱۸۰۰، ۴۰۱۸۰، ۲۷۲۰۴، ۲۰۶۷۶، ۱۴۵۵۰ مگاوات داشتند.

یکی از اصلی‌ترین معایب انرژی باد عدم اطمینان ناشی از تناوبی بودن ذاتی باد و غیرقابل کنترل بودن آن است. بعضی از جدیدترین روش‌هایی که این نقیصه را در نظر می‌گیرند بر این اساس هستند که انرژی الکتریکی تولیدی توسط باد را به فرم دیگری از انرژی تبدیل کنند بگونه‌ای که بتواند ذخیره شود و در مواقع لزوم بهره‌برداری گردد. استفاده از واحدهای پمپ ذخیره‌ای و تجهیزات هوای فشرده زیرزمینی از این نوع روش‌ها هستند.

واحدهای تولید برق پمپ ذخیره‌ای قدیمی‌ترین نوع تکنولوژی ذخیره انرژی در مقیاس بزرگ هستند. آنها از سال ۱۹۰۴ بصورت فعال در تامین تقاضا شرکت دارند و تاکنون بسیاری از انواع جدید از آنها ساخته شده است و این به علت عملکرد انعطاف‌پذیر آنها و توانایی آنها در پاسخ سریع به تغییرات بار سیستم می‌باشد.

تولیدکننده‌های پمپ ذخیره‌ای در ساختارهای سنتی صنعت برق بار پیک را تامین می‌کنند و در هنگام کاهش مصرف در شبکه آب را به سمت مخزن بالایی پمپ می‌کنند. در یک بازار برق رقابتی، مالک واحد پمپ ذخیره‌ای می‌تواند برق را در بازارهای روز بعد[1] و همزمان[2] یا در قراردادهای دو جانبه خرید و فروش کند. واحد پمپ ذخیره‌ای در محیط بازار این گونه عمل می‌کند که برای ماکزیمم کردن سود خود، وقتی که قیمت تسویه بازار (MCP)[3] بالاست، بصورت ژنراتور و وقتی قیمت تسویه بازار پایین است بصورت پمپ عمل می‌کند. درآمد واحد پمپ ذخیره‌ای درآمد حاصل از فروش انرژی وقتی که در حالت ژنراتوری کار می‌کند و همچنین با پذیرفته شدن در بازار ذخیره غیرسنکرون[4] وقتی که در هیچ یک از حالت های پمپی و ژنراتوری قرار ندارد، می‌باشد. همچنین واحد پمپ ذخیره‌ای می تواند برای بازار

[1] Day-ahead
[2] Real-time
[3] Market Clearing Price
[4] Non-synchronous reserve market

ذخیره سنکرون[1] هنگامی که در حالت پمپی قرار دارد، تخصیص داده شود، زیرا قادر است به سرعت بار خود را روی شبکه کاهش دهد.

بنابراین در بازار مقررات‌زدایی شده انگیزه‌های قوی برای واحدهای پمپ ذخیره‌ای مستقل وجود دارد که استراتژی‌های قیمت‌دهی خود را توسعه دهند و برنامه‌ریزی خود را بهینه سازند برای اینکه در بازارهای روز بعد شرکت کنند بصورتی که پریود تولیدی آنها در زمان قیمت پیک و پریود پمپی آنها در قیمتهای پایین اتفاق بیفتد. مسئله تبدیل اطلاعات برنامه ریزی واحد پمپ ذخیره‌ای به یک استراتژی قیمت دهی مؤثر با اطمینان از اینکه اپراتور واحد در بازار روز بعد ماکزیمم سود را بدست می‌آورد بسیار مهم است.

در نتیجه با توجه به اینکه واحدهای تجدیدپذیر از جمله واحدهای بادی، در سراسر دنیا در حال رشد روزافزون می‌باشند و همچنین بازارهای برق تجدید ساختار یافته اند، باید این واحدها بتوانند در بازار برق رقابتی شرکت کرده و همانند سایر بازیگران بازار برق به بیشینه کردن سود خود در بازار بپردازند. پس ضروری است چگونگی پیشنهاددهی قیمت این نوع نیروگاهها نیز در بازار برق بررسی گردد.

با توجه به دلایل فوق هدف این پایان نامه، بررسی استراتژی قیمت‌دهی در بازار برق برای یک شرکت نیروگاهی که شامل واحدهای بادی و پمپ ذخیره‌ای می‌باشد، در حالیکه بازار بصورت انحصار چندگانه و نه رقابتی کامل است، با استفاده از تئوری بازی، که برای این واحدها تاکنون به کار نرفته است.

در فصل دوم این پایان نامه مروری بر بازار برق و بررسی اهمیت پیشنهاد قیمت از دید بازیگران بازار انجام گرفته است. همچنین در این فصل کلیاتی در خصوص تئوری بازی و پیشنهاددهی قیمت در بازار برق مبتنی بر تئوری بازی ارائه شده است. در فصل سوم مروری بر مراجع و بررسی مقالات مرتبط انجام شده است. مدلسازی مسئله در فصل چهارم انجام گرفته است و نتایج شبیه سازی‌ها در فصل پنجم مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت نیز جمع بندی و پیشنهادات در فصل ششم آمده است.

[1] synchronous reserve market

فصل ۱- کلیاتی از تئوری بازی و استراتژی قیمت‌دهی مبتنی بر تئوری بازی

در این فصل به بررسی استراتژی‌های پیشنهاد قیمت از دید شرکت‌های نیروگاهی و نیز آشنایی با تئوری بازی و پیشنهاددهی قیمت در بازار برق مبتنی بر تئوری بازی می‌پردازیم. مروری بر بازار برق، آشنایی با عناصر بازار، مدل‌های بازار و انواع آن در پیوست أ آمده است.

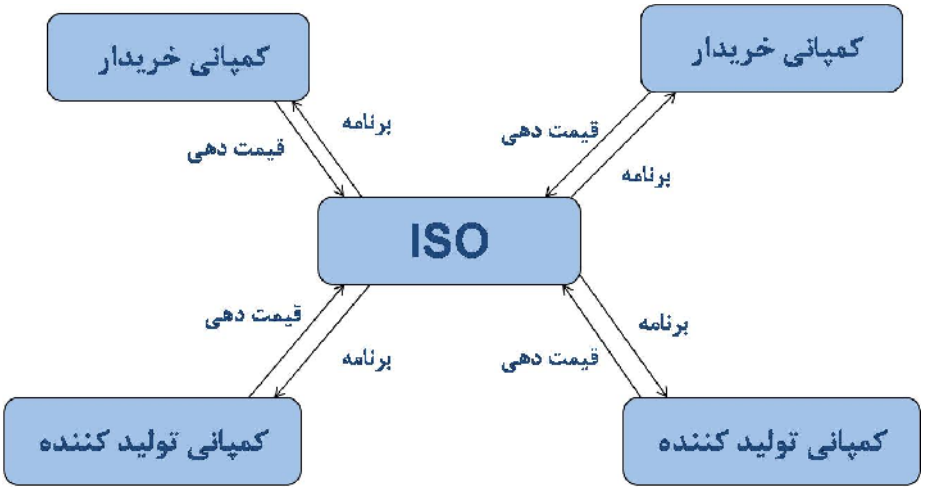
شرکت‌های تولیدی (GENCOs)[1] یکی از بازیگران اصلی در بازار برق می‌باشند و هدف عمدهٔ آنها حداکثرسازی سود است. در صنعت تجدید ساختار شده، ، پیش‌بینی قیمت برای GENCO از همه مهمتر است چرا که قیمت، انعکاسی از شرایط بازار است. قیمت، نشانه‌ای است که GENCO را برای عملی که باید انجام دهد، راهبری می‌کند. همچنین برای کسب حداکثر سود، GENCO باید راهبرد مطلوب پیشنهاد قیمت را بر اساس اطلاعات پیش‌بینی شدهٔ سیستم، داشته باشد. با توجه به اهمیت نحوه پیشنهاد قیمت بهینه در ادامه به بررسی آن می‌پردازیم.

۱-۱- بررسی اهمیت پیشنهاد قیمت از دید بازیگران بازار

بسیاری از سیستمهای قدرت در دنیا دچار تحولات شده‌اند بطوریکه تولیدکنندگان و خریداران توان، براحتی با یکدیگر به رقابت بپردازند. هدف اصلی هر بازیگر، در بازار، بیشینه کردن سود خود از خرید و یا فروش توان می‌باشد. هر تولیدکننده‌ای تمایل دارد، که برق تولیدی خود را با قیمت بالاتری به فروش برساند و سود بیشتری ببرد، در حالیکه هر خریداری تمایل دارد که توان مورد نیاز خود را با قیمت کمتری خریداری کرده تا بتواند منفعت بیشتری کسب نماید. با توجه به مطالب بالا، هر کمپانی اهداف

[1] Generation Company

کوتاه مدت و دراز مدت خود را مشخص می‌کند. شکل (۱-۱) شمای کلی از ارتباطات موجود در بازار برق را نشان می‌دهد که در آن GENCOها و شرکت های توزیع (DISCOs) [۱] ، بطور دایم با اپراتور مستقل سیستم (ISO)[۲] در حال تبادل اطلاعات می باشند.



شکل ۱-۱: شمای کلی ارتباطات در بازار برق [۱]

اطلاعاتی که از طرف تولیدکنندگان و پخش‌کنندگان توان به ISO می رسد، در واقع همان پیشنهادهایی است که از طرف آنها برای خرید و فروش توان به ISO ارائه می‌گردد. ISO با دریافت این پیشنهادات و تعیین قیمت تسویه بازار (MCP)[۳] با توجه به پیشنهادات فوق سهم هر یک را در خرید و فروش برق مشخص کرده و به آنها ابلاغ می‌کند. اما مطلبی که در اینجا برای بازیگران بازار اهمیت دارد نوع پیشنهاد آنها می‌باشد.

اهمیت مطلب فوق را می توانیم در موارد زیر پیدا کنیم:

- تنها تولیدکنندگانی در بازار قابلیت فروش توان را دارند که قیمت پیشنهادی آنها کمتر و یا مساوی (MCP) باشد. لذا اگر یک کمپانی قیمتی را بالاتر از میزان (MCP) ارایه دهد، قادر به

[1] Distribution Company
[2] Independent System Operator
[3] Market Clearing Price