دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد برق

گرایش قدرت

عنوان :

مدل احتمالاتی کمینه سازی هزینه پرداختی قیمت برق با درنظرگرفتن عدم قطعیت انرژی باد

استاد راهنما:

دکتر محمود جورابیان

استاد مشاور:

دکتر مرتضی رزاز

نگارنده :

سمانه مصباح

شهریور ۹۳

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و مروری بر پژوهش‌های انجام شده پیشین ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ مروری بر پژوهش‌های گذشته ۳

۱-۳ معرفی مسئله اصلی ۶

۱-۴ ساختار کلی پایان‌نامه ۷

فصل دوم: تجدید ساختار بازارهای برق ۸

۲-۱ عملیات بازار در سیستم‌های الکتریکی قدرت ۹

۲-۲ اهداف تجدید ساختار و تشکیل بازار برق ۱۰

۲-۳ مدل‌های بازار برق ۱۱

۲-۴ ساختار بازار برق ۱۲

۲-۵ انواع بازار توان ۱۹

۲-۵-۱ بازارهای انرژی، خدمات جانبی و انتقال ۱۹

۲-۵-۲ بازارهای پیشرو و زمان حقیقی ۲۲

فصل سوم: نیروگاه بادی، شبیه‌سازی مونت‌کارلو و سری‌های زمانی ۲۴

۳-۱ انرژی باد ۲۴

۳-۱-۱ توربین‌های بادی ۲۵

۳-۱-۱-۱ توربین‌های بادی با محور چرخش عمودی. ۲۵
۳-۱-۱-۲ توربین‌های بادی با محور چرخش افقی. ۲۶
۳-۱-۲ مدل‌سازی توربین بادی. ۲۷
۳-۲ روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو. ۲۹
۳-۲-۱ تولید اعداد اتفاقی. ۳۲
۳-۲-۲ نتایج مشابه‌سازی. ۳۲
۳-۳ سری‌های زمانی. ۳٤
۳-۳-۱ روابط سری زمانی. ۳٤
۳-۳-۲ حرکات یا تغییرات سری‌های زمانی. ۳۵
۳-۳-۲-۱ حرکات دراز مدت یا روندی. ۳٦
۳-۳-۲-۲ حرکات دوره ای. ۳۷
۳-۳-۲-۳ حرکات فصلی. ۳۷
۳-۳-۲-٤ حرکات نامنظم یا تصادفی. ۳۸
۳-۳-۳ تفکیک سری‌های زمانی. ۳۹
۳-۳-٤ مدل چند سری زمانی رایج. ٤۲

فصل چهارم: معرفی روش‌های PCM و OCM، الگوریتم حل مسئله. ٤٤
٤-۱ حراج در بازار برق. ٤٤
٤-۱-۱ ساختار پیشنهاددهی سمت عرضه در بازار برق. ٤۵
٤-۱-۲ پیشنهاد سمت تقاضا. ٤٦
٤-۱-۳ قیمت تسویه بازار. ٤٦
٤-۲ معرفی روش‌های PCM و OCM. ٤۷

٤-٢-١ مسئله OCM ٤٨
٤-٢-٢ مسئله PCM ٤٩
٤-٢-٣ مقایسه عددی دو روش PCM و OCM ٥٠
٤-٣ حل مسئله PCM و OCM با درنظر گرفتن اثرات انرژی باد ٥٥
٤-٣-١ مدل‌سازی سرعت باد ٥٥
٤-٣-٢ تعداد مورد نیاز برای نمونه‌های مونت‌کارلو ٥٨
٤-٣-٣ مدل کمینه‌سازی کل هزینه تولید (OCM) با درنظر گرفتن اثرات انرژی باد ٥٩
٤-٣-٤ مدل کمینه‌سازی کل هزینه پرداختی (PCM) با درنظر گرفتن اثرات انرژی باد ٦١
٤-٣-٥ محاسبه مقدار وجه پرداختی ٦٢
٤-٤ روش حل مسئله به‌کمک الگوریتم ژنتیک ٦٤

فصل پنجم: شبیه‌سازی‌ها و ارائه نتایج ٦٩
٥-١ معرفی سیستم تست و داده‌های مسئله ٦٩
٥-٢ ارائه و تحلیل نتایج ٧١
٥-٢-١ تحلیل و مقایسه نتایج جداول ٥-٢و ٥-٣ ..... ٧٢
٥-٢-٢ تحلیل و مقایسه نتایج جداول ٥-٤و ٥-٥ و بررسی تابع توزیع احتمال ٧٣

فصل ششم: نتیجه گیری ٧٩
٦-١ نتیجه گیری ٧٩
٦-٢ جمع بندی ٨٠
٦-٣ پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده ٨١
فهرست مراجع ٨٢

فهرست شکل‌ها و نمودارها

شکل۳-۱ نمونه‌ای از یک توربین بادی با محور چرخش عمودی ۲۶

شکل ۳-۲ نمونه‌ای از یک توربین بادی با محور چرخش افقی ۲۷

شکل ۳-۳ توان خروجی یک واحد بادی برحسب سرعت باد ۲۸

شکل ۳-٤ نمودار یک سری زمانی ۳۵

شکل ۳-۵ نمودار روند در یک سری زمانی ۳٦

شکل ۳-٦ تغییرات دوره ای در یک سری زمانی ۳۷

شکل ۳-۷ تغییرات فصلی در یک سری زمانی ۳۸

شکل ۳-۸ حرکات نامنظم در یک سری زمانی ۳۹

شکل ٤-۱ تابع توزیع نرمال با میانگین μ و انحراف معیار σ ۵٦

شکل ٤-۲ ساختار یک عضو جمعیت ٦۵

شکل ٤-۳ ساختار کل جمعیت ٦٦

شکل ٤-٤ فلوچارت کلی حل مسئله ٦۷

شکل ٤-۵ فلوچارت الگوریتم ژنتیک برای حل مدل PCM برای یک نمونه مونت‌کارلو ٦۸

شکل ۵-۱ مقدار میانگین و انحراف معیار سرعت باد در نیروگاه بادی ۷۰

شکل ۵-۲ توان مورد تقاضای مصرف‌کنندگان طی یک دوره ۲٤ ساعته ۷۰

شکل ۵-۳ نمودار توزیع احتمالی PCM و OCM ۷٤

فهرست جدول‌ها

جدول ٤-١ پارامترهای سیستم نمونه شامل ٤ پیشنهاد ٥١
جدول ٤-٢ نتایج به‌دست آمده از روش OCM برای سیستم نمونه شامل ٤ پیشنهاد ٥٢
جدول ٤-٣ نتایج به‌دست آمده از روش PCM برای سیستم نمونه شامل ٤ پیشنهاد ٥٣
جدول ٥-١ اطلاعات سیستم تست ٧١
جدول ٥-٢ نتایج پخش بار بهینه برای یک نمونه تصادفی سرعت باد، براساس روش PCM . . . ٧٥
جدول ٥-٣ نتایج پخش بار بهینه برای یک نمونه تصادفی سرعت باد، براساس روش OCM . . . ٧٦
جدول ٥-٤ مقدار میانگین ساعتی تمام نمونه‌ها براساس روش PCM ٧٧
جدول ٥-٥ مقدار میانگین ساعتی تمام نمونه‌ها براساس روش OCM ٧٨

چکیده

نام خانوادگي : مصباح	نام :سمانه	شماره دانشجويي:۹۱۴۰۲۱۵

عنوان پایان نامه :
مدل احتمالاتی کمینه سازی هزینه پرداختی قیمت برق با درنظرگرفتن عدم قطعیت انرژی باد

استاد/ اساتیدراهنما: دکتر محمود جورابیان

استاد/ اساتید مشاور: دکتر مرتضی رزاز

درجه تحصيلي:کارشناسی ارشد	رشته :مهندسی برق	گرایش:قدرت
دانشگاه :شهید چمران اهواز	دانشکده :مهندسی	گروه :برق

تاریخ فارغ التحصیلي :
تعداد صفحه:۸۰

کلید واژه ها : مدل کمینه‌سازی هزینه پرداختی قیمت برق، انرژی باد، الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی مونتکارلو، نرم افزار متلب

بازارهای برق عمده‌فروشی تجدید ساختار یافته، توسط اپراتورهای مستقل سیستم اداره می‌شوند. اپراتورهای مستقل سیستم، اغلب برای انتخاب پیشنهادهای بهره‌برداری و سطوح انرژی، مدل " کمینه‌سازی هزینه‌ها براساس پیشنهادهای تولید" را به‌کار می‌گیرند؛ سپس، برای محاسبه وجوه پرداختی مصرف‌کنندگان، از یک مکانیزم تنظیم، براساس قیمت تسویه بازار استفاده می‌نمایند. بنابرین، این مدل، هزینه‌های پرداختی را به‌طور غیرمستقیم کمینه می‌نماید. در این میان، برای انجام پخش بار تولید، مدل دیگری به‌نام "کمینه‌سازی هزینه‌های پرداختی" وجود دارد که وجوه پرداختی مصرف‌کنندگان را به‌طور مستقیم، کمینه می‌نماید.

در پژوهش‌هایی که تاکنون در این زمینه انجام گرفته، منابع محدودی به بررسی تاثیر انرژی باد پرداخته‌اند. بدین منظور، در این پایان‌نامه، روشی برای بررسی این دو مدل با در نظر گرفتن اثرات انرژی باد، از نقطه‌نظر احتمالاتی، ارائه شده است. این روش براساس الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی مونت‌کارلو طراحی شده و با شبیه‌سازی که به کمک نرم‌افزار متلب، روی یک سیستم نمونه انجام شده، مورد تائید قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد، مدل "کمینه‌سازی هزینه‌های پرداختی" به‌میزان بیشتری موجب کاهش وجوه پرداختی مصرف‌کنندگان می‌شود و با وجود تولید بادی متغیر با نفوذ بالا، به‌لحاظ اقتصادی، مکانیزم کارامدتری برای مصرف‌کنندگان فراهم می‌آورد.

فصل اول

مقدمه و مروری بر پژوهش‌های انجام شده پیشین

۱- ۱ مقدمه

بازارهای برق عمده‌فروشی تجدید ساختار یافته که توسط اپراتورهای مستقل سیستم (ISO[1]) اداره می‌شوند، غالبا برای انتخاب پیشنهادهای بهره‌برداری، سطوح انرژی و خدمات جانبی، یک مکانیزم حراج را به‌کار می‌گیرند. سپس برای تعیین وجوه پرداختی متناظر با پیشنهادهای انتخاب شده، از یک مکانیزم تنظیم استفاده می‌نمایند. در این میان، برای حراج دو مکانیزم اصلی وجود دارد. در مکانیزم اول، مبنای انتخاب پیشنهادها، کمینه‌سازی کل هزینه‌های تولید و بهره‌برداری (OCM[2]) و در مکانیزم دوم، کمینه‌سازی کل پرداخت‌های مصرف‌کنندگان بازار اشتراکی(PCM [3]) می‌باشد. برای تنظیم بازار نیز، دو مکانیزم اصلی وجود دارد. اول "مکانیزم پرداخت براساس پیشنهادها[4]"؛ که برمبنای آن، وجه پرداختی مصرف‌کنندگان ، براساس قیمت پیشنهادی هر تولیدکننده‌ی انتخاب‌شده، خواهد بود و دوم "مکانیزم پرداخت براساس قیمت تسویه بازار[5]"؛ که برمبنای آن، وجه پرداختی مصرف‌کنندگان، به‌ازای تمامی تولیدکننده های انتخاب شده، براساس یک قیمت یکسان(MCP[6])، خواهد بود. معمولا نیز قیمت مربوط به گران‌ترین پیشنهاد، به‌عنوان MCP انتخاب می‌شود. در عمل، مکانیزم تنظیم دوم، به‌طور گسترده‌ای قابل قبول است و مورد استفاده قرار می‌گیرد.

---

[1] *Independent system operator*
[2] *Offer Cost Minimization*
[3] *Payment Cost Minimization*
[4] *Pay-as-bid*
[5] *Pay-at-MCP*
[6] *Market-clearing price*

در حال حاضر، بسیاری از اپراتورهای مستقل سیستم برای حراج، مکانیزم OCM را به‌کار می‌گیرند؛ اما برای تنظیم، از مکانیزم پرداخت براساس MCP استفاده می‌کنند. این مکانیزم‌های حراج و تنظیم با یکدیگر سازگار نیستند، زیرا در مکانیزم حراج OCM، ISO برنامه‌ریزی تولید را براساس کمینه‌سازی هزینه‌های پیشنهادهای تولید و با توجه به قیود مربوطه انجام می‌دهد و سپس براساس نتایج برنامه‌ریزی تولید، MCP مشخص می‌گردد و متعاقبا هزینه‌های پرداختی مصرف‌کنندگان محاسبه می‌شود؛ اما این هزینه‌های پرداختی، معمولا بسیار بیشتر از هزینه‌های کمینه‌شده پیشنهادهای تولید و بهره‌برداری است. [۱] این در حالی‌است که روش PCM، با مکانیزم پرداخت براساس MCP کاملا سازگار است؛ زیرا هزینه‌های کمینه شده توسط این روش، همان هزینه‌های تنظیم شده خواهند بود. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد استفاده از این روش، موجب می‌شود هزینه‌های پرداختی در مقایسه با روش OCM ، به‌میزان قابل توجهی کاهش یابد. [۱]

با توجه به مشکلات ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی، استفاده از انرژی‌های نو در سیستم‌های قدرت به‌طور پیوسته رو به افزایش است. یکی از انرژی‌های پاکی که امروزه در سیستم‌های قدرت به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد، انرژی باد است. استفاده از انرژی باد در سیستم‌های قدرت به‌علت پاک بودن و تجدیدپذیری آن، رو به افزایش است. به‌همین دلیل در مناطق بادخیز، مزارع بادی احداث می‌کنند. با توجه به رایگان بودن انرژی باد، وقتی که سرعت باد به‌میزان مناسبی برای تولید انرژی الکتریکی برسد، تمام توربین‌های در دسترس را وارد مدار می‌کنند تا به تولید انرژی الکتریکی بپردازند. مشکل اصلی استفاده از انرژی باد، عدم قطعیت و ماهیت احتمالی آن است. بدین‌گونه که نمی‌توان به‌طور دقیق پیش‌بینی نمود که در یک ساعت مشخص، سرعت باد چه‌مقدار خواهد بود.

برای مدل‌سازی سرعت باد روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از مناسب‌ترین روش‌ها، روش سری زمانی اتورگرسیو- میانگین متحرک (ARMA[1]) می‌باشد. براساس این روش، وابسته بودن

[1] *Autoregressive Moving Average*

سرعت باد در یک ساعت مشخص به ساعات پیشین و همچنین ماهیت تصادفی و احتمالی آن، قابل شبیه‌سازی است. [۲]

هدف این پایان‌نامه، حل مدل‌های PCM و OCM، با درنظر گرفتن اثرات انرژی باد و مقایسه نتایج حاصل از این دو روش است. روش حل مسئله به‌این‌ترتیب است که در ابتدا برای مدل‌سازی سرعت باد، از سری زمانی ARMA استفاده می‌شود. توسط شبیه‌سازی مونت‌کارلو از سری ذکرشده، به تعداد مورد نیاز، نمونه‌برداری می‌شود. توان بادی معادل هر نمونه، توسط منحنی توان توربین بادی به‌دست‌آمده و میزان توان خروجی نیروگاه بادی، مورد محاسبه قرار می‌گیرد. سپس برای هر نمونه مونت‌کارلو، برای تعیین میزان مشارکت سایر واحدهای نیروگاهی، از الگوریتم ژنتیک استفاده شده و متعاقبا وجه پرداختی مصرف‌کنندگان، محاسبه می‌شود. در پایان، برای به‌دست آوردن پاسخ نهایی، از پاسخ‌های به‌دست آمده، میانگین‌گیری می‌شود. این فرایند برای هر دو روش PCM و OCM انجام خواهد شد و نشان داده خواهد شد که PCM نسبت‌به OCM ، منجربه کاهش بیشتری در وجوه پرداختی مصرف‌کنندگان می‌گردد.

۱-۲ مروری بر پژوهش‌های گذشته

در این بخش پژوهش‌های گذشته در زمینه مورد بحث بیان می‌شوند و در انتها مسئله حل شده در این پایان‌نامه و چرایی مطرح شدن آن بررسی می‌گردد.

در سال ۱۹۹۸ هائو و انگلیدیس، روشی جدید براساس چارچوب بهینه‌سازی متمرکز، برای محاسبه برنامه تولید بهینه ای که هزینه‌های انرژی پرداختی مصرف‌کنندگان بازار را کمینه می‌کند، ارائه دادند. ایشان در پژوهش خود، مسائل مربوط به ساختار و عملکرد بازار، شامل ارزیابی پیشنهادها، هزینه راه‌اندازی و بی‌باری ژنراتورها، محدودیت‌های عملکرد واحدها و قیمت تسویه بازار را نیز

درنظر گرفتند. نتایج به‌دست آمده نشان داد روش ارائه شده، به UC[1] و پخش بار متفاوت و قیمت تسویه بازار کمتری منجر می‌شود. [۳]

در سال ۲۰۰۲ مندِس یک الگوریتم برنامه‌ریزی تولید را براساس مکانیزم PCM ارائه داد. این الگوریتم، ضمن کاهش وجوه پرداختی مصرف‌کنندگان، بازگشت هزینه[2] را برای شرکت‌های تولیدکننده تضمین می‌نمود. [٤]

در سال ۲۰۰۵ ژائو و همکاران، مکانیزم حراج PCM را با درنظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت انتقال، همراه با فرمول‌های تجزیه، نامعادلات قیمت پیشنهادها و قیود دیگر فرمول‌بندی نمودند و برای غلبه‌بر تجزیه‌ناپذیری مسئله منتجه از روش ساده‌سازی لاگرانژ[3] و چارچوب بهینه‌سازی جایگزین[4] استفاده کردند. [۵]

در همین سال، چِن و همکاران، یک روش PCM با درنظر گرفتن پیشنهادهای تقاضا و جبران‌سازی هزینه‌های راه‌اندازی از طریق افزایش قیمت پیشنهادهای تولید، ارائه دادند. ایشان برای حل مسئله از روش لاگرانژ و بهینه‌سازی جایگزین استفاده نمودند و از آنجا که ترکیبات مختلف پیشنهادهای تولید و تقاضا، پیچیدگی مسئله را بسیار افزایش داده بود، پیشنهادهای تقاضا را مستقل از زیرمسئله‌های پیشنهادهای تولید حل نمودند. [٦]

در سال ۲۰۰٦ لو، بلانکسون و همکاران، دو مکانیزم حراج PCM و OCM را بدون درنظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت انتقال، فرمول‌بندی نمودند و برای غلبه‌بر تجزیه‌ناپذیری مسئله منتجه از روش ساده‌سازی لاگرانژ و بهینه‌سازی جایگزین بهره بردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد وجوه پرداختی مصرف‌کنندگان از مدل PCM نسبت‌به OCM ، به‌میزان قابل توجهی کمتر است. [۱]

[1] *Unit Commitment*
[2] *Cost recovery*
[3] *Lagrangian relaxation*
[4] *Surrogate optimization framework*

در سال ۲۰۰۷ ژائو و همکاران، رفتار استراتژیک تامین‌کنندگان توان را در چارچوب تئوری بازی برای هر دو مکانیزم حراج PCM و OCM مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها برای این منظور، ماتریس کلی بازی را به‌وسیله تخمین Nash همراه با الگوریتم‌های حراج ایجاد نمودند. نتایج به‌دست‌آمده نیز این مطلب را که روش PCM نسبت‌به OCM ، منجربه کاهش بیشتری در وجوه پرداختی مصرف‌کنندگان می‌گردد، تایید نمود. [۷]

در سال ۲۰۰۸ انگساکل و همکارش، یک روش لاگرانژ با سرعت بالا برای مسئله برنامه‌ریزی تولید مقید در بازار برق متمرکز ارائه دادند. این روش براساس مکانیزم PCM و با توجه به قیود تعادل توان، رزرو چرخان، خطوط انتقال و عملکرد ژنراتورها طراحی شد و با تعداد تکرارهای کمتر و در نتیجه زمان محاسبه کوتاه‌تر به همگرایی می‌رسید. [۸]

در سال ۲۰۱۰ هان و همکاران، برای مدل PCM، یک فرمول‌بندی خطی با درنظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت انتقال و تلفات، انجام دادند. از آنجا که کارایی حل این مدل خطی از روش معمول شاخه و برش[1] در حل‌گر استاندارد CPLEX MIP از مدل OCM کمتر بود، روش جدید سوییچینگ هدف[2] را برای بهبود عملکرد روش شاخه و برش ارائه نمودند. این روش توانست یک راه حل پیشرفته‌تر برای مسائل NP hard با استفاده از حل‌گر CPLEX MIP فراهم آورد. [۹]

در سال ۲۰۱۱ شارما و همکاران، یک روش مستقیم براساس تئوری ترکیب[3] برای انتخاب پیشنهادها در مدل PCM ارائه دادند. نتایج به‌دست آمده نشان داد روش ارائه شده می‌تواند نقطه بهینه دقیق را به‌دست آورد. ضمن این‌که از سرعت همگرایی بالایی برخوردار است. [۱۰]

در همین سال، گُش و همکاران، به بررسی میزان موثر بودن مکانیزم PCM در کاهش وجوه پرداختی مصرف‌کنندگان طی یک دوره طولانی‌تر از یک روز، با وجود پیشنهاددهندگان هوشمندی که

[1] *Branch-and-cut method*
[2] *Objective switching method*
[3] *Combination theory*

می‌توانند با این مکانیزم تطبیق داده شوند، پرداختند. ایشان برای مدل‌سازی ماهیت رقابتی شرکت‌های تولیدکننده در بازار روزانه، از یک روش جدید براساس تئوری بازی گسسته استفاده نمودند. نتایج به‌دست آمده نیز کارایی بالای روش PCM در کاهش پرداختی‌های مصرف‌کنندگان را تایید نمود. [۱۱]

در سال ۲۰۱۳ ژو و همکاران، روشی برای مدل‌سازی مکانیزم PCM با درنظر گرفتن اثرات انرژی باد ارائه دادند. ایشان برای شبیه‌سازی سرعت باد از روش سری زمانی ARMA استفاده نموده و توسط روش مونت‌کارلو از منحنی سرعت باد نمونه‌برداری کردند و الگوریتم ژنتیک را برای حل مدل PCM برای هر نمونه، به‌کار گرفتند. نتایج به‌دست آمده، میزان پرداختی مصرف‌کنندگان را در حالت احتمالاتی، مشخص می‌نمود. [۲]

۱-۳ معرفی مسئله اصلی

در این فصل کارهای گذشته در زمینه کمینه‌سازی هزینه پرداختی مصرف‌کنندگان در بازار برق تجدید ساختار یافته و مدل‌های PCM و OCM مطرح شدند. با توجه به بررسی کارهای انجام شده، منابعی که تاثیر انرژی باد را درنظر گرفته اند، بسیار محدود بوده‌اند. بدین منظور، هدف این پایان‌نامه، حل مدل‌های PCM و OCM، با درنظر گرفتن اثرات انرژی باد و مقایسه نتایج حاصل از این دو روش است.

۱-٤ ساختار کلی پایان‌نامه

در فصل دوم به بررسی بازار برق و تجدید ساختار آن در سال‌های گذشته، پرداخته می‌شود.

در فصل سوم، توضیحاتی درباره انرژی باد و توربین‌های بادی بیان می‌شود؛ همچنین به معرفی روش مونت‌کارلو و سری‌های زمانی پرداخته و مدل چند سری زمانی رایج از جمله ARMA معرفی خواهد شد.

در فصل چهارم، مدل‌های کلی PCM و OCM معرفی شده و الگوریتم حل مسئله برای مدل‌های PCM و OCM با درنظر گرفتن اثرات انرژی باد ارائه خواهد شد.

در فصل پنجم، سیستم تست معرفی می‌گردد و شبیه‌سازی‌ها و نتایج حاصل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در فصل ششم نیز به جمع بندی نکات و نتیجه گیری پرداخته خواهد شد. پیشنهاداتی نیز برای پژوهش‌های آینده، ارائه می‌شود.

فصل دوم

تجدید ساختار بازارهای برق [1]

در سرتاسر جهان صنعت برق که در دوره ای طولانی با شرکت‌های یکپارچه با ساختار عمودی اداره شده است، دستخوش تغییرات شگرفی شده است. صنعت برق به صنعت رقابتی و توزیع شده‌ای در حال تبدیل است که در آن قدرت‌های بازار تعیین‌کننده قیمت برق بوده و هزینه خالص از طریق افزایش رقابت، کاهش می‌یابد. اگر چه صنعت برق در ابتدا با احداث واحدهای کوچک و خصوصی تولید برق حیات خود را آغاز کرد، اما به تدریج و با درک اهمیت این صنعت، روند دولتی شدن آن آغاز شد. بنابرین صنعت برق به‌عنوان یک صنعت یکپارچه و کاملا انحصاری در اذهان شکل گرفت که هر کسی توان ورود به این عرصه و انجام فعالیت در آن‌را نداشت. با همین ذهنیت بود که دولت‌ها (به‌طور عام) کنترل صنعت برق را در دست گرفتند. به تدریج و با بروز مشکلاتی در اداره دولتی صنعت برق، همانند ناتوانی دولت در تامین مالی مناسب برای این صنعت، ناکارایی سرمایه گذاری و بهره‌برداری و ... این سوال شکل گرفت که به چه‌نحوی می‌توان از پتانسیل بخش خصوصی در این صنعت استفاده کرد؟ پاسخ به این سوال به نوعی برابر با شکستن انحصار عمودی این صنعت و ورود تدریجی بخش خصوصی به حوزه‌های مختلف فعالیت آن است.

[1] این فصل بر اساس مرجع ۱۲ تنظیم شده است

اولین نتیجه ناشی از این تجدید ساختار، جداسازی سه عنصر اصلی صنعت برق یعنی تولید، انتقال و توزیع را ایجاب می‌کند. این تفکیک زمینه‌ساز تشکیل بازار عمده‌فروشی[1] برق بود. تحولات بعدی صنعت برق را باید مدیون این جسارت و تجربه قلمداد کرد.

۲-۱ عملیات بازار در سیستم‌های الکتریکی قدرت

در صنعت برق تجدید ساختار شده، کنترل مستقل بهره‌برداری شبکه انتقال، بازار رقابتی را برای تولید و دسترسی مستقیم خرده‌فروشی، تسهیل می‌کند. با این وجود استقلال در بهره‌برداری شبکه، بدون وجود هویت مستقلی مانند اپراتور مستقل سیستم (ISO) میسر نیست. لازم است که ISO از شرکت‌کنندگان منفرد بازار از جمله مالکان انتقال، تولیدکنندگان شرکت‌های توزیع و مصرف‌کنندگان نهایی مستقل باشد. به‌منظور عملکرد موثر بازار رقابتی و در عین حال حصول اطمینان از عملکرد مطمئن سیستم قدرت، لازم است ISO به‌عنوان اپراتور بازار، قواعد سالم و بی‌نقصی را در خصوص انرژی و بازار خدمات جانبی[2] برقرار نموده، سیستم انتقال را به‌صورت منصفانه و بدون تبعیض اداره کرده، ابزار لازم را برای مقابله با مخاطرات بازار تسهیل بخشیده و به‌نحوی بازار را تحت نظارت قرار دهد که از استیلای قدرت‌ها بر آن جلوگیری کند. برای نیل به مسئولیت‌های خود، ISO باید مجهز به ابزار محاسباتی لازم برای نظارت بر بازار، طرح های مربوط به حراج[3] خدمات جانبی و مدیریت تراکم[4] باشد.

قانون شماره ۸۸۸ صادره از FERC[5] حکم به گشودن بازار در صنعت نوین تجدید ساختار شده برق داد. انرژی و خدمات جانبی به‌صورت خدماتی رقابتی عرضه شده و شرکت‌های تولید

[1] *Wholesale*
[2] *Ancillary services*
[3] *Auction*
[4] *Congestion Management*
[5] *Federal Energy Regulatory Commission*

(GENCO) با ارائه پیشنهاد رقابتی قیمت به بازار برق، قادر به رقابت در فروش انرژی به مشتریان می‌باشند. آن‌ها بی توجه به منافع کلی سیستم، می‌توانند سود خود را حداکثر کنند. در این بازار شرکت‌های تولید، دیگر توسط کنترل کنندگان سیستم انتقال، کنترل نمی‌شوند و می‌توانند به‌منظور تصمیم گیری های صحیح در این بازار بی ثبات[1] و متغیر، ابزار محاسباتی لازم از جمله برای پیش‌بینی قیمت، برنامه‌ریزی مشارکت واحدها، مدیریت ریسک و معامله همزمان را فراهم آورند.

۲-۲ اهداف تجدید ساختار و تشکیل بازار برق

بروز مشکلاتی ناشی از ساختار سنتی صنعت برق باعث گردید که سیاست‌گزاران و تصمیم‌گیرندگان این صنعت تجدید نظری اساسی در نوع نگاه به این صنعت و چگونگی اداره آن داشته باشند. جدای از مشکلاتی که دلیل اصلی تجدید ساختار بود، تلاش برای ایجاد فضایی جدید که انعطاف‌پذیری بیشتری داشته و با اهداف کلان اقتصادی نیز هماهنگ باشد، به‌طور مضاعفی اجرای برنامه‌های تجدید ساختار را تجویز می کرد. بنابرین به‌طورکلی اهداف تجدید ساختار را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد.

- بهبود فضا برای ارتقای کارایی
- ایجاد فرصت‌های شغلی بیشتر
- شفاف نمودن و تفکیک بخش‌های مختلف
- ایجاد فضای مناسب برای محوری نمودن فاکتورهای اقتصادی در تصمیم‌گیری
- جایگزینی تفکر بنگاهی در صنعت برق به جای تلقی خدمت عمومی از برق

[1] *Volatile*

باید توجه داشت که تجدید ساختار و خصوصی‌سازی[1] دو مقوله متفاوت از هم هستند. در واقع تجدید ساختار زمینه‌ساز خصوصی‌سازی خواهد بود. اهداف خصوصی‌سازی را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

- کاهش تصدی دولت و تقویت بعد نظارتی آن با واگزاری امور به بخش خصوصی
- کاهش بار مالی دولت و انتقال آن به بخش خصوصی

۲-۳ مدل‌های بازار برق

به‌منظور نیل به اهداف بازار برق، چندین مدل برای ساختار بازار درنظر گرفته شده است. سه مدل اصلی در ادامه معرفی می‌شوند.

مدل PoolCo : PoolCo یک بازار متمرکز است که بازار را برای خریداران و فروشندگان، تسویه می‌کند[2]. فروشندگان و خریداران توان، پیشنهادات خود را برای توان 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 شرکت‌کننده‌ای 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 اگر پیشنهاد آن‌ها بیش از حد پایین باشد، ممکن است موفق به خرید نشوند. در این بازار، تولیدکنندگان کم هزینه، برندگان عمده خواهند بود. ISO در PoolCo توزیع اقتصادی بار را انجام خواهد داد و قیمت لحظه‌ای را برای برق که نشانه شفافی برای شرکت‌کنندگان از نظر تصمیمات مصرف و سرمایه گزاری است، ارائه می‌کند. تغییرات در بازار برق، قیمت لحظه‌ای را به سطح رقابتی که مساوی با هزینه نهایی[3]

[1] *Privatization*
[2] *Clears*
[3] *Marginal Cost*

باراندمان ترین پیشنهاددهندگان قیمت است، سوق می‌دهد. در این بازار، به پیشنهاددهندگان برنده، قیمتی لحظه‌ای پرداخت می‌شود که مساوی بالاترین پیشنهاد قیمت برندگان است.

مدل قراردادهای دو جانبه[1]: قراردادهای دو جانبه، توافق‌های مذاکره‌ای بین دو معامله‌گر برای دریافت و تحویل توان است. شرایط مورد توافق، مستقل از ISO است، اما ISO باید تایید کند که ظرفیت انتقال کافی برای اجرای قرارداد و حفظ ایمنی شبکه انتقال را دارد. از این دیدگاه که طرفین می‌توانند شرایط مطلوب خود را تامین کنند، مدل قراردادهای دو جانبه، قابلیت انعطاف زیادی دارد. اما عیوب آن به هزینه بالای مذاکرات و تهیه قراردادها و ریسک نیک نامی[2] طرفین قرارداد، بازمی‌گردد.

مدل ترکیبی[3]: در این مدل ویژگی‌های گوناگون دو نوع مدل قبلی، مخلوط می‌شود. در مدل ترکیبی استفاده از PoolCo اجباری نیست و هر مشتری مجاز است تا بر سر تامین توان خود، به توافق مستقیم با عرضه‌کنندگان برسد یا توان را به قیمت لحظه‌ای بازار خریداری کند. در این مدل، PoolCo به تمام شرکت‌کنندگان (خریداران و فروشندگان) که قراردادهای دو جانبه را امضا نکرده‌اند، خدمات لازم را ارائه می‌دهد. اما اجازه به مشتریان برای مذاکره خرید توان با عرضه‌کنندگان، امکان انتخاب حقیقی را برای آن‌ها فراهم آورده و انگیزه‌ای برای خدمات وسیع متنوع و گزینه‌های قیمت به‌منظور بهترین امکان تامین نیازهای آن‌ها، خواهد بود.

۲-٤ ساختار بازار برق

تجدید ساختار بازار برق، نقش عناصر سنتی در ساختار یکپارچه عمودی را تغییر داده است و عناصر جدیدی را با امکان عملکرد مستقل، ایجاد کرده است. در اینجا عناصر بازار به اپراتور بازار

[1] *Bilateral Contracts Model*
[2] *Credit Worthiness*
[3] *Hybrid Model*

(ISO) و شرکت‌کنندگان در بازار، طبقه‌بندی می‌شود. ISO ، عنصر راهبری در یک بازار توان است و اعمال آن، تعیین‌کننده قواعد بازار است. عناصر کلیدی بازار که در اینجا مورد بحث واقع می‌شوند، شامل GENCO[1]ها و TRANSCO[2]ها است. عناصر دیگر بازار، شامل DISCO[3]ها، RETAILCOها، جمع‌کننده‌ها، کارگزارها، بازاریاب‌ها و مشتریان است.

ISO: لازمه یک بازار رقابتی برق، وجود کنترل مستقل بهره‌برداری شبکه است. کنترل شبکه بدون وجود ISO قابل تضمین نیست. ISO بهای انتقال را تعیین نموده، ایمنی سیستم را حفظ کرده، برنامه‌ریزی تعمیر را هماهنگ کرده و نقشی را در برنامه‌ریزی بلند مدت بازی می‌کند. ISO، مستقل از هر شرکت‌کننده بازار، اعم از مالکین انتقال، تولیدکنندگان، شرکت‌های توزیع و مصرف‌کنندگان نهایی، عمل می‌کند و باید امکان دسترسی آزاد غیر قابل تبعیضی را برای تمام استفاده‌کنندگان از سیستم انتقال فراهم آورد.

ISO قدرت لازم برای در مدار قرار دادن و توزیع بار برخی یا تمام واحدهای تولیدی سیستم را داشته و می‌تواند برای حفظ ایمنی سیستم، بارهایی را قطع کند (به‌عنوان مثال برای حذف انحراف از حدود مجاز انتقال، تعادل بین عرضه و تقاضا و حفظ فرکانس قابل قبول سیستم). همچنین، ISO این اطمینان را ایجاد می‌کند که سیگنال های صحیح اقتصادی به همه شرکت‌کنندگان در بازار ارسال شود که این موضوع، به‌نوبه خود، باعث تشویق استفاده موثر از امکانات موجود و انگیزه مناسب برای سرمایه گزاری در منابع لازم به‌منظور تخفیف و حذف انحرافات فوق الذکر می‌شود.

به‌طورکلی، دو ساختار ممکن برای ISO وجود دارد که انتخاب نوع، به اهداف و اقتدار آن بستگی دارد. اولین ساختار (MinISO) ، بر پایه حفظ ایمنی سیستم انتقال در بهره‌برداری از بازار توان است به قسمی که تبادلات برنامه‌ریزی شده در عین حفظ قیود سیستم، عملی شود. این ساختار ISO

[1] *Generation Company*
[2] *Transmition Company*
[3] *Distribution Company*