بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش سیستم‌های قدرت و فشار قوی

عنوان

برنامه احتمالاتی مشارکت واحدها (UC) در حضور برنامه پاسخگویی بار احتمالاتی (DR)

نگارش

شبنم ضیائی

استاد راهنما

دکتر مسعود علی‌اکبرگلکار

آذر ۱۳۹۲

تقدیم به

پدر و مادر دلسوزم که تمام پیشرفت‌هایم را مدیون فداکاری‌های آن‌ها هستم

و

همسر مهربانم که حمایت‌های او مرا سرشار از امید ساخت

تأییدیه هیأت داوران

هیأت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان:

برنامه احتمالاتی مشارکت واحدها (UC) در حضور برنامه پاسخگویی بار احتمالاتی (DR)

توسط خانم شبنم ضیائی صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش سیستم‌های قدرت و فشار قوی در تاریخ ۹۲/۰۹/۲۳ مورد تأیید قرار می‌هند.

استاد راهنما: جناب آقای دکتر مسعود علی‌اکبرگلکار امضا: .....

استاد ممتحن داخلی: جناب آقای دکتر محمد توکلی بینا امضا: .....

استاد ممتحن خارجی: جناب آقای دکتر شهرام جدید امضا: .....

نماینده تحصیلات تکمیلی امضا: .....

اظهار نامه دانشجو

اینجانب شبنم ضیائی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق قدرت گرایش سیستم و فشار قوی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان نامه با عنوان برنامه احتمالاتی مشارکت واحدها (UC) در حضور برنامه پاسخگویی بار احتمالاتی (DR) با راهنمایی استاد محترم جناب دکتر مسعود علی‌اکبرگلکار، توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت واصالت مطالب نگارش شده در این پایان نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ‌جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

اینجانب شبنم ضیایی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت گرایش سیستم و فشار قوی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت نگارش شده مورد تایید می‌باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر فقط متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه قابل واگذاری وبهره برداری نیست. همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

امضا دانشجو:

تاریخ:

پس از حمد و ثنای حق که مرا توفیق دانش‌اندوزی عطا فرمود، برخود لازم می‌دانم به رسم ادب و حق‌شناسی از زحمات و راهنمایی‌های بی‌دریغ استاد گرانقدرم، جناب آقای دکتر مسعود علی‌اکبرگلکار تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین مراتب سپاس خود را از همه اساتیدی که در دوره کارشناسی ارشد از محضرشان بهره بردم، اعلام می‌دارم.

چکیده

در سیستم‌های قدرت تجدید ساختار شده، اپراتور مستقل سیستم (ISO) از برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظر گرفتن قیود امنیت سیستم (SCUC) برای تسویه بازار روز بعد بهره می‌گیرد. در این پایان‌نامه نیز برای تسویه بازار همزمان انرژی و ذخیره از برنامه SCUC استفاده شده است. از طرفی تجربه نشان داده است که عدم حضور مصرف‌کنندگان در بازار قدرت منجر به افزایش قیمت ناگهانی برق، گرفتگی خطوط انتقال، مصرف سوخت بالاتر، کمبود تولید در ساعات اوج مصرف و ... می‌شود. راه حل های مدیریت سمت مصرف به عنوان راهکاری برای کاهش مصرف انرژی به کار گرفته شده اند.

در این پایان نامه برنامه ریزی تصادفی مشارکت واحدها با در نظر گرفتن ذخیره ژنراتورها و ذخیره تأمین شده از سوی بار تحت برنامه پاسخگویی بار اضطراری (EDRP) و برنامه زمان استفاده (TOU) با در نظر گرفتن محدودیت‌های امنیتی شبکه قدرت ارائه شده است. در برنامه پیشنهادی از مدل عملکرد اقتصادی مصرف‌کنندگان و منحنی کشش قیمتی تقاضا جهت تعیین سود مصرف‌کنندگان ناشی از مشارکت در این برنامه‌ها استفاده شده است. در این پایان نامه برنامه‌های پاسخگویی بار در ساعات اوج مصرف جهت پیک زدایی و یکنواختی پروفیل مصرف و در مواقع بحرانی به عنوان ذخیره بهره‌برداری سیستم به کمک اپراتور شبکه می‌آید.

در این مدل برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های سیستم قدرت از برنامه‌ریزی تصادفی اعداد صحیح مرکب دو مرحله‌ای (SMIP) استفاده شده است. همچنین از روش مونت‌کارلو جهت تولید سناریو برای شبیه‌سازی خروج‌های تصادفی واحدهای تولید و خطوط انتقال، عدم قطعیت در پیش‌بینی بار و عدم پاسخ بارهای پاسخگو استفاده شده است. در نهایت از روش پس‌رونده برای کاهش سناریوهای تولید شده استفاده شده است، بطوریکه علی رغم کاهش حجم محاسبات، دقت حل مسئله در حد مطلوب باقی بماند. مدل پیشنهادی بر روی دو شبکه ٦ و ١١٨ باسه IEEE مورد آزمایش قرار گرفته که نتایج نشان می‌دهد که استفاده از ذخیره بارهای پاسخگو با توجه به محدودیت‌های استفاده از آن، هزینه بهره‌برداری سیستم را کاهش داده و تأثیر بسزایی بر افزایش قابلیت اطمینان سیستم و کاهش قیمت بازار در زمان‌های پیک و بحرانی دارد.

کلید واژه: بازار همزمان انرژی و ذخیره، پاسخگویی‌بار، برنامه‌ریزی مشارکت واحدها با در نظر گرفتن قیود امنیت (SCUC)، برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای، امید ریاضی انرژی تغذیه نشده (EENS)

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱	۱
مقدمه	۱
۱-۱. مقدمه	۲
۱-۲. بازارهای انرژی و ذخیره	۳
۱-۳. مشکلات بازار برق	۷
۱-٤. ساختار پایان‌نامه	۸
فصل ۲	۱۱
مدیریت سمت بار	۱۱
۲-۱. مدیریت سمت بار	۱۲
۲-۲. افزایش بهره‌وری انرژی	۱٤
۲-۳. پاسخگویی بار	۱٤
۲-٤. انواع پاسخگویی بار	۱۵
۲-٤-۱. برنامه‌های پاسخگویی بار بر مبنای تشویق	۱٦
۲-٤-۲. برنامه‌های پاسخگویی بار بر مبنای قیمت	۲۷
۲-۵. ضرورت اجرای برنامه پاسخگویی بار	۳٤
۲-٦. منابع پاسخگویی بار	۳٦
۲-۷. جمع‌بندی	۳۷
فصل ۳	۳۸
برنامه‌ریزی تصادفی در سیستمهای قدرت	۳۸
۳-۱. برنامه‌ریزی تصادفی	۳۹
۳-۱-۱. برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای	٤۰
۳-۱-۲. حل برنامه‌ریزی تصادفی	٤٤
۳-۲. شبیه‌سازی مونت‌کارلو	٤۷
۳-۲-۱. مفاهیم اصلی روش مونت‌کارلو	٤۸

۳-۲-۲. روش تبدیل معکوس برای تولید اعداد تصادفی ۵۰
۳-۲-۳. شبیه‌سازی مونت‌کارلو نامتوالی ۵۲
۳-۲-٤. شبیه‌سازی مونت‌کارلو متوالی ۵٤
۳-۳. کاهش تعداد سناریوها ۵٦
۳-٤. عدم قطعیت‌ها در سیستم قدرت ۵۷
۳-٤-۱. مدل قابلیت اطمینان واحدهای تولید و خطوط انتقال ۵۷
۳-٤-۲. مدل بارهای پاسخگو ۵۹
۳-٤-۳. تولید سناریو ٦۰
۳-۵. جمع بندی ٦٤

فصل ٤ ٦٦

مدل برنامه‌ریزی مشارکت واحدها در حضور برنامه پاسخگویی بار ٦٦
٤-۱. مروری بر کارهای صورت گرفته ٦۸
٤-۱-۱. نوآوری‌های پایان نامه ۷٦
٤-۲. مدل بازار برق ۷٦
٤-۳. برنامه‌ریزی تصادفی در برنامه SCUC ۷۸
٤-٤. مدل اقتصادی بار ۷۸
٤-۵. مدل پیشنهادی برنامه SCUC ۸۳
٤-۵-۱. تابع هدف برنامه SCUC ۸۵
٤-۵-۲. قیود مربوط به بازار برق ۸۷
٤-۵-۳. قیود مربوط به شرایط واقعی بهره‌برداری ۸۹
٤-٦. قیود مربوط به رزرو سمت بار ۹۱
٤-۷. محاسبات قابلیت اطمینان ۹۳
٤-۸. جمع بندی ۹٤

فصل ۵ ۹٦

شبیه‌سازی و ارائه نتایج ۹٦
۵-۱. مقدمه ۹۷
۵-۲. اجرای مدل بر روی شبکه ٦ باسه ۹۹
۵-۲-۱. معرفی شبکه ٦ باسه ۹۹
۵-۲-۲. اجرای مدل با معیارهای قطعی ۱۰۰

۵-۲-۳. اجرای مدل با معیارهای تصادفی ۱۰٤
۵-۲-٤. آنالیز حساسیت ۱۱۰
۵-۳. اجرای مدل بر روی شبکه ۱۱۸ باسه ۱۱۵
۵-۳-۱. معرفی شبکه ۱۱۸ باسه ۱۱۵
۵-۳-۱. اجرای مدل با معیارهای قطعی ۱۱۵
۵-۳-۲. اجرای مدل با معیارهای تصادفی ۱۱۸
۵-٤. جمع‌بندی ۱۲۱

فصل٦ **۱۲۳**

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات **۱۲۳**
٦-۱ نتیجه‌گیری ۱۲٤
٦-۲. پیشنهادات ۱۲۵
منابع ۱۲۸

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل۱-۱. چهار زیر گروه موجود در هر بازار و خطوط انتقال انرژی و کنترل ٤
شکل۳-۱. درخت سناریو برای برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای ٤٢
شکل۳-۲. مدل دو حالته واحدهای تولیدی و خطوط انتقال ٥٨
شکل۳-۳. روش تغییر بار برای مدلسازی بار پاسخگو ٦٠
شکل۳-٤. روش واحد معادل برای مدلسازی بار پاسخگو ٦٠
شکل۳-٥. الگوریتم تولید سناریو برای واحدهای تولیدی ٦٢
شکل۳-٦. تخمین هفت پله‌ای توزیع نرمال ٦٣
شکل۳-۷. ۱۰۰ سناریو تولید شده برای مصرف بار یک شبکه نمونه ٦٤
شکل٤-۱. تاثیر الاستیسیته تقاضا بر قیمت برق ۸۰
شکل٤-۲. خطی سازی منحنی کشش قیمتی تقاضا ۸۲
شکل٥-۱. دیاگرام تک خطی شبکه نمونه ٦ باسه IEEE ۱۰۰
شکل٥-۲.منحنی بار در نظر گرفته برای شبکه ٦ باسه نمونه IEEE ۱۰۰
شکل٥-۳منحنی بار اولیه و تغییر یافته با اجرای DR با ضریب مشارکت ٪٥۰ در شبکه ٦ باسه ۱۰۳
شکل٥-٤منحنی بار اولیه و تغییر یافته با اجرای برنامه ریزی تصادفی ۱۰۸
شکل٥-٥منحنی بار اولیه و تغییر یافته در صورت رخداد سناریو هشتم ۱۰۹
شکل٥-٦تغییرات LMP در باس ششم در طول ٢٤ ساعت در سناریو هشتم ۱۰۹
شکل٥-۷تاثیر تغییر EDR بر هزینه‌های بهره‌برداری سیستم قدرت ۱۱۱
شکل٥-۲. تاثیر تغییر EDR بر میانگین تامین ذخیره از سوی ژنراتورها و برنامه‌های DR ۱۱۲
شکل٥-۳ تاثیر تغییر عدم قطعیت مشارکت بار بر EENS ۱۱۳
شکل٥-٤ تاثیر تغییر عدم قطعیت مشارکت بار بر میانگین تامین ذخیره ۱۱۳
شکل٥-٥ دیاگرام تک‌خطی شبکه نمونه ۱۱۸ باسه IEEE ۱۱٦
شکل٥-٦ منحنی بار در نظر گرفته برای شبکه ۱۱۸ باسه نمونه IEEE ۱۱٦
شکل٥-۷ منحنی بار اولیه و تغییر یافته با اجرای DR با ضریب مشارکت ٪٥۰ در شبکه ۱۱۸ باسه ۱۱۸
شکل٥-٦ منحنی بار اولیه و تغییر یافته در صورت رخداد سناریو چهارم ۱۲۱

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول۵-۱. اطلاعات مربوط به الاستیسیته تقاضا ۹۹
جدول۵-۲. نتایج شبیه سازی برنامه پیشنهادی بر روی شبکه ٦ باسه نمونه ۱۰۱
جدول۵-۳. تاثیر افزایش الاستیسیته خودی با ضریب ثابت ۱۰٤
جدول۵-٤. تاثیر افزایش الاستیسیته متقابل با ضریب ثابت.....۱۰٤
جدول۵-۵. شبیه‌سازی تاثیر برنامه‌های پاسخگویی بار در برنامه‌ریزی تصادفی مدل پیشنهادی.....۱۰٦
جدول۵-٦. بررسی تاثیر افزایش قیمت برق در دو بازه کم‌باری و میان‌باری ۱۱٤
جدول۵-۷. بررسی تاثیر تغییرات عدم قطعیت در قیمت برق.....۱۱٤
جدول۵-۸. نتایج شبیه سازی برنامه پیشنهادی بر روی شبکه ۱۱۸ باسه نمونه.....۱۱۷
جدول۵-۹. شبیه‌سازی تاثیر برنامه‌های پاسخگویی بار در برنامه‌ریزی تصادفی مدل پیشنهادی.....۱۱۹

فصل۱

مقدمه

۱-۱. مقدمه

نیاز روز افزون دنیا به ویژه کشورهای صنعتی به منابع انرژی نگرانی هر چه بیشتر جهان در مورد عرضه انرژی را برانگیخته است. کشورهای پیشرفته صنعتی علیرغم تضاد قابل توجه در منافع، با درک زود هنگام این شرایط ویژه در کنار یکدیگر قرار گرفتند تا برای رفع این مشکل چاره‌ای بیاندیشند که ثمره آن تشکیل آژانس بین‌المللی انرژی در سال ۱۹۷٤ بود. با تشکیل آژانس و با توجه به سهم بالای انرژی الکتریکی در سبد مصرفی کشورهای صنعتی اجرای برنامه‌های مدیریت انرژی از ده هفتاد میلادی شروع شد.

راه حل های مدیریت سمت تقاضا[۱] در سی سال اخیر به عنوان راهکاری برای کاهش مصرف انرژی به کار گرفته شده‌اند. به طور سنتی برنامه‌های مدیریت مصرف بر دو مورد بازدهی انرژی و همچنین تاکید بر برنامه‌های صرفه‌جویی انرژی با هدف بهبود و افزایش قابلیت اطمینان سیستم به خصوص در مواقع بروز خطا در شبکه متمرکز شده است. تشکیل بازار برق و تجدید ساختار در صنعت برق اهداف مدیریت مصرف را نیز دچار دگرگونی‌هایی ساخت و شکل جدیدی از برنامه‌های DSM که تاکید بر پاسخگویی مشترک به تغییرات قیمت برق داشت به وجود آمد.

عوامل اداره‌کننده بازار به سرعت دریافتند که رفع مشکلاتی مانند بی ثباتی قیمت‌ها در بازار و بروز تراکم در خطوط انتقال با دخالت‌دادن مشتری در بازار، قابل حل می‌باشد. لذا به دنبال راه حل‌هایی گشتند تا بتوانند روش‌های مدیریت مصرف برق را مطابق عملیات بازار تعریف کرده و ضمن اینکه مشتری را در بازار شرکت می‌دهند از حالت رقابتی بازار نیز نکاهند. تجربه نشان داده است شرکت فعال و بیش از پیش طرف تقاضا، علاوه‌بر اینکه بازارهای برق را رقابتی‌تر و پر بازده‌تر نموده و به بهبود عملکرد بازار کمک

[۱] Demand Side Management (DSM)

می‌کند، قابلیت اطمینان سیستم قدرت را نیز افزایش می‌دهد.

۱-۲. بازارهای انرژی و ذخیره

در سیستم‌های قدرت سنتی با ساختار عمودی[۱]، از برنامه مشارکت واحدها[۲] برای تعیین وضعیت روشن و خاموش بودن واحدهای تولیدی و توان خروجی آن‌ها در یک بازه زمانی مشخص استفاده می‌شود که هدف اپراتور شبکه در این نوع سیستم تنها تامین بار مشترکین با کمینه‌سازی هزینه بهره‌برداری سیستم (مجموع توابع هزینه واحدها) می‌باشد. قیودی که برای این مسئله در نظر گرفته می‌شود عبارتند از: توازن توان یا تامین بار سیستم، تامین ذخیره بهره‌برداری مورد نیاز سیستم، بیشینه و کمینه ظرفیت واحدها، نرخ تغییر توان[۳] واحدها، کمینه زمان روشن و خاموش بودن[۴] واحدها.

در طی چند دهه گذشته تلاش‌های بسیاری در جهت حل مسئله UC با بکارگیری روش‌های مختلف بهینه‌سازی صورت گرفته است. از جمله پرکاربردترین این روش‌ها می‌توان موارد به آزادسازی لاگرانژ، برنامه‌ریزی پویا، برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح و غیر صحیح[۵] و نیز انواع روش‌های ابتکاری[۶] و تکاملی اشاره کرد.

تجدید ساختار در سیستم‌های قدرت[۷] با هدف ایجاد رقابت میان بازیگران اصلی صنعت برق و افزایش کارایی سیستم‌های قدرت و به دنبال آن امکان عرضه انرژی به مشترکین با نرخ‌های پایین‌تر پدید آمد.

---

[۱] Vertically Integrated
[۲] Unit Commitment (UC)
[۳] Ramp rate
[۴] Minimum up/down time
[۵] Mixed-Integer Programming (MIP)
[۶] Heuristic
[۷] Restructuring in power system

می‌توان بازیگران این بازار را به چهار گروه تقسیم کرد:

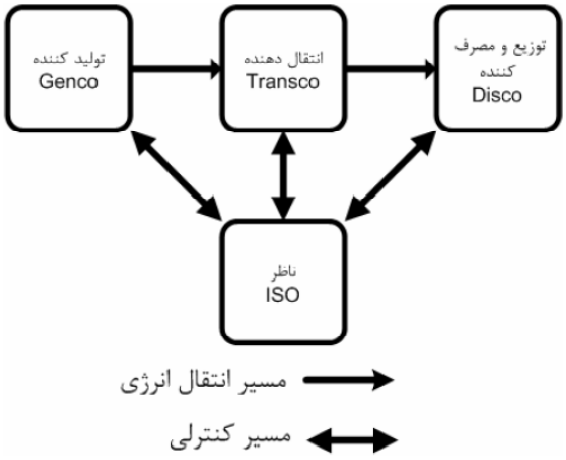
۱- گروه تولید کننده Genco

۲- گروه انتقال دهنده Transco

۳- گروه توزیع و مصرف کنندهDisco

٤- گروه ناظرISO

رابطه چهار گروه فوق در شکل۱-۱ نشان داده شده است.



شکل۱-۱. چهار زیر گروه موجود در هر بازار و خطوط انتقال انرژی و کنترل

از لحاظ امنیتی، سیستم کاملا حساب شده عمل می‌کند و اولویت با ISO است و تمام عناصر بازار باید از نظر مسائل امنیتی، زیر نظر ISO کار کنند. این گروه شامل زیرمجموعه‌هایی می‌باشد:

۱- مجموعه پتانسیل جدید

۲- مجموعه نهاد های اعمال قانون

۳- مجموعه اطلاع رسانی

٤- مجموعه نظارتی(ناظر امنیتی و اقتصادی، ناظر قراردادی، ناظر کیفی، ناظر پتانسیلی)

۵- مجموعه نهادهای غیرمعمول و اضطراری

لازمه رقابت سالم و عادلانه، دسترسی آزاد کلیه عوامل سیستم به خدمات خطوط انتقال است. رقابت با ایجاد بازار عمده فروشی انرژی[۱] و بازارهای خدمات جانبی[۲] برای بهره‌برداری ایمن از سیستم قدرت بوجود می‌آید. بازارهای خدمات جانبی شامل کالاهای الکتریکی[۳] مختلف از جمله انواع ذخیره‌ها، توان راکتیو و تأمین ولتاژ و فرکانس می‌باشد.

رایج‌ترین نوع بازارها، بازارهای روز بعد[٤] می‌باشند که کلیه شرکت‌کنندگان پیشنهادات خود را برای روز بعد (یا چند روز بعد) بصورت ساعتی ارائه می‌کنند. در یک سیستم با محیط رقابتی، اپراتور مستقل سیستم[٥] مسئولیت اداره و تسویه بازارها[٦] را بر عهده دارد. در واقع از طرفی تولیدکنندگان (شرکت‌های تولیدی[۷] یا تولیدکنندگان مستقل توان[۸]) پیشنهادات قیمت[۹] خود را برای عرضه انرژی و ذخیره به ISO تسلیم می‌دارند. از طرف دیگر مصرف‌کنندگان بزرگ، شرکت‌های توزیع[۱۰] و بازاریاب‌ها پیشنهادات قیمت خود را برای خرید انرژی و نیز در برخی موارد تأمین ذخیره، به ISO تسلیم می‌نمایند. ISO براساس پیشنهادات دریافت شده، مقادیر خرید، فروش و قیمت انرژی و ذخیره را تعیین می‌کند. این فرآیند در اصطلاح " تسویه بازار" نامیده می‌شود.

در سیستم‌های تجدید ساختار شده، ISO مسئله برنامه‌ریزی مشارکت واحدها را در مرحله تسویه بازار اجرا می‌کند. اپراتور مستقل شبکه با تعریف تابع هدف به منظور کمینه کردن هزینه نهایی بهره‌برداری

---

۱ Wholesale Energy Market
۲ Ancillary Service Markets
۳ Electricity Commodities
٤ Day-Ahead Market
٥ ISO: Independent System Operator
٦ Market Clearing
۷ Generation Companies (Gencos)
۸ Independent Power Producers (IPPs)
۹ Bids
۱۰ Distribution Companies (Discos)

(مجموع توابع پیشنهاد قیمت انرژی و تأمین انواع ذخیره) و یا بیشینه نمودن سود حاصل از رفاه اجتماعی[۱] در مرحله تسویه بازار، نیازمند انجام بهینه‌سازی است. که در مقایسه با ساختار سنتی به جای توابع هزینه واحدها، توابع پیشنهاد قیمت[۲] آن‌ها در تابع هدف قرار می‌گیرد. همچنین در محیط تجدید ساختار شده، تابع هدف ممکن است شامل پیشنهاد قیمت ذخیره چرخان واحدها[۳] و غیرچرخان واحدهای با راه اندازی سریع[٤] و ذخیره غیرچرخان بارهای پاسخگو و حتی خسارت ناشی از قطع بار نیز باشد. البته قیود مسئله همان قیود قبلی است و علاوه بر آن‌ها، بر حسب مقررات بهره‌برداری ممکن است قیود دیگری نیز به مسئله اعمال گردند. بنابراین مسئله مشارکت واحدها در دو محیط سنتی و تجدید ساختار شده شباهت‌های پایه‌ای دارند.

میزان مصرف مشترکین در شبکه کمیتی مشخص بوده و نسبت به تغییر در پارامترهای حاکم بر بازار مستقل می‌باشد. بنابراین درآمد حاصل از فروش انرژی مقدار ثابتی فرض شده و بیشینه رفاه اجتماعی معادل کمینه‌سازی هزینه تولید انرژی و تأمین ذخیره می‌گردد.

در سیستم قدرت با وقوع رخدادهای پیش‌بینی نشده‌ای همچون افزایش ناگهانی بار، خروج ژنراتور و یا خروج خطوط انتقال موجب برهم خوردن تعادل میان تولید و مصرف می‌گردد که در صورت نبود ظرفیت ذخیره کافی منجر به از دست رفتن بار و بروز خاموشی می‌شود. بنابراین اپراتور مستقل شبکه، در راستای حفظ امنیت و قابلیت اطمینان سیستم در شرایط عدم توازن بار و تولید و یا بروز پیشامد در زمان عرضه انرژی، ذخیره لازم را از بازار روز بعد یا ساعت بعد فراهم می‌کند.

در سال‌های اولیه ظهور بازارهای رقابتی برق، تسویه بازار انرژی و ذخیره بصورت مجزا انجام می‌شد. که

---

[۱] Social Welfare
[۲] Bid function
[۳] Spinning Reserve
[٤] Rapid Start Unit

به نام تسویه متوالی[۱] شناخته شد. در این نوع ابتدا میزان انرژی، سپس ذخیره چرخان و غیر چرخان تعیین می‌گردند. در واقع تعیین محصولات بازار (انرژی و ذخیره) براساس اولویت ها صورت می‌گیرد. بررسی‌های تئوری و نیز تجربیات عملی نشان داده‌اند که این روش علاوه بر امکان خطای بازیگران در نحوه شرکت در بازار می‌تواند منجر به رخداد وارونگی قیمت نیز گردد [۱] . در مقابل، تسویه همزمان[۲] دو بازار انرژی و ذخیره نه تنها از وقوع پدیده برگشت قیمت‌ها جلوگیری می‌نماید، بلکه به مقادیر بهینه‌تری از پاسخ نیز دست می‌یابد.

۱-۳. مشکلات بازار برق

یکی از مشکلات بازار برق، به وجود آمدن جهش‌های فوق‌العاده قیمت در بعضی از ساعات روز یا در فصل است که در مدت زمان کوتاهی پول بسیار زیادی را عاید بعضی از تولیدکنندگان نموده و مشترکین ضرر زیادی بابت آن متحمل می‌شوند. مشکل دیگری که به عنوان گرفتگی[۳] شناخته می‌شود، ناشی از کمبود ظرفیت خطوط انتقال می‌باشد. این مشکل بر اثر انعقاد قرارداد دوطرفه انتقال توان بین دو شرکت تولیدکننده و خریدار پیش می‌آید که موجب عدم وجود ظرفیت خالی خطوط برای انتقال انرژی از محل تولید به محل مصرف می‌گردد. به عبارت دیگر از لحاظ اقتصادی انعقاد این قراردادها مشکلی ندارند اما از لحاظ فنی اجرای این قرار داد امکان‌پذیر نمی‌باشد و در نتیجه مشترکین باید به اجبار برق را از تولیدکنندگان گران‌تر تهیه کنند و در این موارد بازار حالت انحصاری پیدا می‌کند.

---

[۱] Sequential
[۲] Simultaneous
[۳] Congestion