بسم الله الرحمن الرحیم

.

دانشگاه شهید چمران اهواز

پردیس دانشگاهی

شماره پایان نامه :۹۳٤۰۲۰۲۳٦

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق

گرایش قدرت

عنوان :

خودبرنامه‌ریزی مشترک مزرعه بادی و باتری NaS جهت شرکت در بازارهای انرژی و خدمات جانبی در سیستم‌های قدرت تجدیدساختاریافته

استاد راهنما:

دکتر محسن صنیعی

استاد مشاور:

دکتر سید سعیداله مرتضوی

نگارنده :

لیلا بشیری خوزستانی

شهریور ۹۳

باسمه تعالی

دانشگاه شهید چمران اهواز

پردیس دانشگاهی

(نتیجه ارزشیابی پایان نامه ارشد)

پایان نامه خانم لیلا بشیری خوزستانی دانشجوی رشته: مهندسی برق گرایش: قدرت

دانشکده مهندسی به شماره دانشجویی ۹۱۵۵۵۳۹۱۱۰

با عنوان :

خودبرنامه‌ریزی مشترک مزرعه بادی و باتری NaS جهت شرکت در بازارهای انرژی و خدمات جانبی در سیستم‌های قدرت تجدیدساختاریافته

جهت اخذ مدرک : کارشناسی ارشد در تاریخ :۹۳/۶/۲۹ توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با *درجه عالی* تصویب گردید.

		رتبه علمی	امضاء
۱.	**اعضا ی هیأت داوران :**		
	استاد راهنما: آقای دکتر محسن صنیعی	استادیار	
	استاد مشاور : آقای دکتر سید سعیداله مرتضوی	دانشیار	
	استاد داور : خانم دکتر الهه مشهور	استادیار	
	استاد داور : آقای دکتر رضا کیانی نژاد	دانشیار	
	نماینده تحصیلات تکمیلی : آقای دکتر شاپور مرادی	دانشیار	
۲.	**مدیرگروه :** آقای دکتر محمد سروش	استادیار	
۳.	**معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده :** آقای دکتر علی حقیقی	استادیار	
۴.	**مدیرتحصیلات تکمیلی دانشگاه :** آقای دکتر عبدالرحمن راسخ	استاد	

تقدیم به

پدر و مادر و همسر مهربانم و

به پسر عزیزم امیرمهدی

و

هدیه به تنها برادرم علی عزیز

تشکر و قدردانی

سپاس خداوند مهربان را، که هرچه داریم همه از آن اوست

و عرض احترام و ادای تشکر خالصانه به محضر تمامی استادان و معلمان گرانقدری که روح و جانم سرشار از طراوت جاری جاودانه نامشان و سیراب از جام ارزنده یادشان است.

بی‌تردید، زحمات بی‌شائبه‌ی جناب آقای ***دکتر صنیعی*** در مراحل مختلف این تحقیق، شایان امتنان و قدردانی صمیمانه است. ضمن تشکر فراوان، سرافرازی جاودانه و استمرار توفیقات ایشان را از خداوند منان خواستارم. بی‌گمان سپاس‌گذاری صمیمانه اینجانب از تلاش‌های مستمر جناب آقای ***دکتر گرامی‌مقدم*** که از آغاز دوره تحصیلات تکمیلی و علی‌الخصوص در مراحل تحقیق و تدوین این رساله، نکات دقیقی را به نویسنده یادآور شدند، یادآور کم‌ترین پاس‌داشت آن‌همه همراهی خالصانه است. هم‌چنین از جناب آقای ***دکتر جوادی*** که راهنمایی‌های ماندگاری را ارائه نمودند، تشکر می‌کنم. لازم است از کلیه اساتید عزیز دانشکده برق دانشگاه شهید چمران اهواز و به‌خصوص استاد عزیزم سرکار خانم ***دکتر مشهور***، که در طول مدت تحصیل از ایشان بهره برده‌ام، تشکر خالصانه کنم و از خداوند منان عافیت، سلامت و عاقبت به خیری برایشان مسالت دارم.

تحصیل در این دوره، جز با پشتیبانی‌های معنوی و مادی و کمک‌های بی‌دریغ خانواده عزیزم میسر نمی‌شد، ضمن تقدیم مراتب سپاس خود، از خداوند منان سلامت روزافزون و فرجام نیک را برایشان آرزومندم.

چکیده

نام خانوادگی : بشیری خوزستانی	نام: لیلا	شماره دانشجویی :۹۱۵۵۵۳۹۱۱۰

عنوان پایان نامه :

خودبرنامه‌ریزی مشترک مزرعه بادی و باتری NaS جهت شرکت در بازارهای انرژی و خدمات جانبی در سیستم‌های قدرت تجدیدساختاریافته

استاد راهنما: آقای دکتر محسن صنیعی

استاد مشاور: آقای دکتر سید سعیداله مرتضوی

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

تاریخ فارغ التحصیلی : ۹۳/۶/۲۹ **تعداد صفحه: ۱۰۳**

کلید واژه ها : مزرعه بادی، باتری‌های NaS، بازارهای انرژی و ذخیره چرخان، عدم‌قطعیت، بهره‌برداری یکپارچه

در این پایان‌نامه، همکاری منابع انرژی محدود و مزارع بادی در سیستم‌های قدرت تجدیدساختار یافته بررسی شده‌است. در مدل پیشنهادی این پایان‌نامه از برنامه‌ریزی تصادفی استفاده شده و برای سرعت باد به‌عنوان متغیر تصادفی، سناریوهایی تعریف شده است که برنامه‌ریزی با توجه به سناریوهای یاد شده صورت می‌گیرد. در این روش یک شرکت تولیدی که همزمان مالک مزرعه بادی و باتری-های NaS به‌عنوان منابع انرژی محدود است، با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی، براساس سناریوهای مختلف سرعت باد و به‌منظور کاهش خطاهای ناشی از حضور مزرعه بادی در هنگام مشارکت در بازار و با هدف بیشینه‌نمودن درآمد خود، اقدام به حل مسئله خودبرنامه‌ریزی می‌کند. بازارهای انرژی روز بعد و بازار خدمات جانبی ذخیره چرخان به‌عنوان بازارهای هدف این شرکت برق، مورد مطالعه قرار گرفته شده‌اند. خروجی مدل پیشنهادی، میزان تولید ۲٤ ساعت آینده این شرکت برای حضور در بازارهای یاد شده است که در آن سهم تولید باتری‌های NaS و مزرعه بادی مشخص می‌شود و در عین حال محدوده‌هایی از ظرفیت باتری‌های NaS را برای پوشش خطاهای پیش‌بینی سرعت باد در نظر می‌گیرد. در حالت کلی می‌توان انتظار داشت، در حالتی‌که مالک مزرعه بادی اقدام به بهره-برداری یکپارچه از باتری NaS در کنار مزرعه بادی می‌کند، هم به‌لحاظ درآمد برای او وضعیت مناسبی ایجاد می‌شود و هم از دید بهره-بردار سیستم شرایط مناسب‌تری جهت شرکت در بازار برق وجود خواهد داشت.

خودبرنامه‌ریزی مشترک مزرعه بادی و باتری NAS جهت شرکت در بازارهای انرژی و خدمات جانبی در سیستم‌های قدرت تجدیدساختاریافته

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول ۱

مقدمه و مروری بر پژوهش های پیشین ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- راه بردهای پیشنهاددهی در بازار ۳

۱-۲-۱- انواع مدل های بازار برق بر اساس چگونگی ارائه پیشنهاد ۳

۱-۲-۱-۱- مدل MaxIso ٤

۱-۲-۱-۲- مدل MinIso ٥

۱-۲-۲- راه برد پیشنهاد در مدل MAXISO ۷

۱-۲-۳- راه برد پیشنهاد در مدل MINISO، مسئله خودبرنامه ریزی ۸

۱-۲-٤- روش های حل مسئله خودبرنامه ریزی ۸

۱-۳- مروری بر ادبیات پیشینه خودبرنامه ریزی مشترک منابع انرژی محدود و مزارع بادی ۱۰

۱-٥- چارچوب تحقیق ۱۳

۱-٦- ساختار پایان نامه ۱٥

فصل دوم ۱۷

جایگاه منابع بادی در جهان و نحوه حضور آنها در بازارهای برق ۱۷

۲-۱- مقدمه ۱۷

۲-۲- مزایای زیست محیطی منابع بادی ۱۸

۲-۳- مزایای بهره برداری از منابع بادی ۱۸

۲-۳-۱- توربین های بادی منفرد ۱۹

۲-۳-۲- مزارع بادی ۱۹

۲-٤- حضور منابع بادی در سیستم های قدرت تجدیدساختاریافته ۲۰

۲-٤-۱- سرویس های کمکی و بهره برداری سیستم ۲۰

۲-۵- افزایش نفوذ منابع بادی در سیستم های قدرت و بهره برداری شبکه ۲۱
۲-۵-۱- تاثیر منابع بادی بر سیستم های قدرت ۲۲
۲-۵-۱-۱- تاثیر کوتاه مدت منابع بادی بر سیستم های قدرت ۲۲
۲-۵-۱-۲- تاثیر بلند مدت منابع بادی در سیستم های قدرت ۲۵
۲-۵-۲- راه کارهای مدیریت نوسان در سیستم قدرت ۲۶
۲-۵-۲-۱- استفاده از نیروگاههای حرارتی برای افزایش میزان رزرو ۲۷
۲-۵-۲-۲- منابع ذخیره انرژی ۲۷
۲-۵-۲-۳- اتصال به شبکه های مجاور ۲۸
۲-۵-۲-٤- استفاده از تولید همزمان گرما و حرارت (CHP) ۲۹
۲-۵-۲-۵- پاسخ گویی سمت مصرف (DR) ۲۹
۲-۵-۲-٦- قطع کردن مزرعه های بادی ۳۰
۲-٦- سیاست های حمایت از گسترش انرژی های تجدیدپذیر ۳۰
۲-٦-۱- یارانه های دولتی ۳۱
۲-٦-۲- حمایت های مالی ۳۱
۲-٦-۳- حمایت های مالیاتی ۳۲
۲-٦-٤- تغییر در قیمت ها ۳۲
۲-۷- مدل های حمایتی جهت حضور انرژی های تجدیدپذیر در محیط های تجدید ساختاریافته ۳۳
۲-۷-۱- مدل تعرفه ۳۳
۲-۷-۲- مدل سهم مشخص ۳٤
۲-۷-۳- مدل NET METERING ۳۵
۲-۷-٤- اجرای برخی سیاست های مرتبط با بازار ۳۵
فصل سوم ۳۷
جایگاه منابع انرژی محدود و نحوه حضور آنها در بازارهای برق ۳۷
۳-۱- مقدمه ۳۷
۳-۲- مروری بر فناوری های ذخیره کننده انرژی ۳۸
۳-۳- تاثیر منابع ذخیره ساز انرژی بر روی حضور منابع بادی در سیستم های قدرت تجدیدساختاریافته ۳۹
۳-٤- عوامل موثر و محدودکننده بر افزایش نفوذ منابع بادی در سیستم های قدرت و تاثیر سیستم های ذخیره کننده ٤۱
۳-۵- مروری بر مبانی و کاربردهای باتری NAS ٤۹

فصل چهارم ۵۳
مدل پیشنهادی برنامه ریزی مشترک مزارع بادی و باتری های NAS در بازارهای انرژی و خدمات جانبی. ۵۳
٤-۲- منابع تولیدی ٥٤
٤-۲-۱- مزارع بادی ٥٤
٤-۲-۲- باتری های سولفور-سدیم NAS ٥٥
٤-۳- ساختار بازار ٥٦
٤-٤- مسئله خودبرنامه ریزی مشترک مزرعه بادی و باتری های سولفور-سدیم NAS ٥٧
٤-٤-۱- نشانه گذاری ٥٨
٤-٤-۲- تابع هدف ٦١
فصل پنجم ٦٦
نتایج عددی مدل پیشنهادی ٦٦
٥-۱- مقدمه ٦٦
٥-۲- مشخصات واحدهای تولیدی و بازارهای برق ٦٦
٥-۲-۱ مزرعه بادی ٦٦
٥-۲-۲- باتری های NAS ٦٧
٥-۲-۳- بازارهای انرژی و خدمات جانبی ٦٧
٥-۲-٤- قیمت های عدم تعادل توان ابرازشده در بازار انرژی ٦٨
٥-٤- تاثیر کاهش و افزایش جرایم بر رفتار شرکت تولید در مدل پیشنهادی ٧٢
٥-٥- بررسی سود مورد انتظار شرکت تولید ٧٤
٥-٦- بررسی کم تر بودن جریمه اضافه تولید نسبت به کمبود تولید ٧٥
٥-٧- تاثیر افزایش جریمه کمبود تولید بر برنامه ریزی شرکت تولید در بازارهای انرژی و ذخیره چرخان ٧٩
٥-٨- تاثیر افزایش ظرفیت باتری بر رفتار شرکت تولید در بازارهای انرژی و ذخیره چرخان ٨٢
٥-٩- راه کارهای حمایت از تولیدات بادی ٨٦
فصل ششم ۹۰
نتیجه گیری و پیشنهادها ۹۰
٦-۱- نتیجه گیری ۹۰
٦-۲- پیشنهادها ۹۱
پیوست ۹۳
پیش بینی توان بادی و مدل سازی عدم قطعیت ۹۳
۱- مقدمه ۹۳
۲- ضرورت پیش بینی توان بادی ۹۳
۳- پیش بینی توان بادی با استفاده از شبکه عصبی ۹٤

٤- مدل سازی عدم قطعیت پیش بینی توان بادی ۹۷
فهرست مراجع ۹۹

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱): مدل بازار رقابتی MAXISO ۵
شکل (۱-۲): مدل بازار رقابتی MINISO ۷
شکل (۱-۳): چارچوب مشخص شده برای پایان نامه ۱۵
شکل (۳-۱): در نظر گرفتن منابع بادی به عنوان بار منفی ٤۰
شکل(۳-۲): بالارفتن نفوذ تولیدات بادی و قطع تولید آن ها ٤۲
شکل(۳-۳): تولید نیروگاه های حرارتی در قیمت های زیر قیمت تمام شده برق ٤۳
شکل(۳-٤): مفهوم انعطاف پذیری شبکه قدرت ٤٤
شکل(۳-۵): سیستم قدرت با انعطاف پذیری کم ٤۵
شکل(۳-٦): سیستم قدرت با انعطاف پذیری بالا ٤٦
شکل(۳-۷): قطع تولید نیروگاه های تجدیدپذیر در انعطاف پذیری های مختلف ٤۷
شکل(۳-۸): هزینه نسبی تولید نیروگاه های تجدید پذیر در انعطاف پذیری های گوناگون ٤۸
شکل(۳-۹): قطع تولید نیروگاه های تجدیدپذیر در انعطاف پذیری های مختلف ٤۹
شکل (۳-۱۰): باتری های مکمل مزرعه بادی در شرکت XCEL ENERGY ۵۰
شکل (۳-۱۱): مشخصه دشارژ باتری های NAS ۵۱
شکل (۳-۱۲): سناریوهای پیش بینی شده برای روند کاهش قیمت باتری های NAS تا سال ۲۰۳۰ میلادی ۵۲
شکل (٤-۱): مفهوم فیزیکی یکپارچه سازی دو واحد تولیدی ۵٤
شکل (٤-۲): مفهوم یکپارچه سازی مزرعه بادی و باتری NAS ۵۷
شکل (٤-۳): الگوریتم مدل پیشنهادی ۵۸
شکل (٤-٤): مفهوم یکپارچه سازی مزرعه بادی و باتری NAS (نمایش با نشانه های تعریف شده در بخش نشانه گذاری) ٦۰
شکل (۵-۱): چگونگی مشارکت شرکت تولیدی در بازار انرژی ٦۸
شکل (۵-۲): چگونگی مشارکت شرکت تولیدی و مشارکت باتری NAS و مزرعه بادی در حالت بهره برداری مجزا در بازار انرژی ۷۰

شکل (۵-۳): چگونگی مشارکت شرکت تولیدی در بازار ذخیره چرخان.....۷۰
شکل (۵-٤): میزان انرژی ذخیره شده در باتری در مدل پیشنهادی در سناریوهای مختلف باد.....۷۱
شکل (۵-۵): میزان توان انتقالی از مزرعه بادی به باتری NAS جهت شارژ باتری و ذخیره انرژی در سناریوهای مختلف باد.....۷۲
شکل (۵-٦): توان پیشنهادی شرکت تولید در بازار انرژی با کاهش ۲۰ و ۳۰ درصدی جرایم ۷۳
شکل (۵-۷): توان پیشنهادی شرکت تولید در بازار انرژی با افزایش ۲۰ و ۳۰ درصدی جرایم ۷۳
شکل (۵-۸): رفتار شرکت تولید و مزرعه بادی با کاهش جریمه اضافه تولید در بازار انرژی.....۷٦
شکل (۵-۹) رفتار شرکت تولید و باتری های NAS با کاهش جریمه اضافه تولید در بازار ذخیره چرخان.....۷٦
شکل(۵-۱۰): میزان مشارکت شرکت تولید در بازار انرژی با افزایش قیمت بازار ذخیره چرخان ۷۷
شکل (۵-۱۱): میزان مشارکت شرکت تولید در بازار ذخیره چرخان با افزایش قیمت بازار ذخیره چرخان ۷۸
شکل (۵-۱۲): میزان مشارکت باتری های NAS در بازار انرژی با افزایش قیمت بازار ذخیره چرخان.....۷۹
شکل (۵-۱۳): میزان مشارکت شرکت تولید در بازار انرژی با افزایش ضریب جریمه کمبود تولید به مقدار ۸۰.۲,۵
شکل (۵-۱٤): میزان مشارکت شرکت تولید در بازار ذخیره چرخان با افزایش ضریب جریمه کمبود تولید به مقدار ۲,۵ .....۸۱
شکل (۵-۱۵): میزان مشارکت شرکت تولید در بازار انرژی با افزایش ضریب جریمه کمبود تولید به مقدار ۸۲.۳,۵
شکل (۵-۱٦): میزان مشارکت شرکت تولید در بازارذخیره چرخان با افزایش ضریب جریمه کمبود تولید به مقدار ۳,۵.....۸۲
شکل (۵-۱۷): شرکت تولید در بازار انرژی با افزایش میزان ظرفیت باتری های NAS.....۸۳
شکل (۵-۱۸): میزان مشارکت شرکت تولید در بازار ذخیره چرخان با افزایش میزان ظرفیت باتری های NAS.۸٤
شکل (۵-۱۹): میزان مشارکت شرکت تولید در بازار انرژی با افزایش قیمت بازار ذخیره چرخان و برای ظرفیت های متفاوت باتری NAS.....۸۵
شکل (۵-۲۰): میزان مشارکت شرکت تولید در بازار ذخیره چرخان با افزایش قیمت بازار ذخیره چرخان و برای ظرفیت های متفاوت باتری NAS.....۸۵
شکل (۵-۲۱): مشارکت شرکت تولید در بازار انرژی با اجرای سناریوهای حمایت از تولیدات بادی.....۸۸
شکل (۵-۲۲): مشارکت شرکت تولید در بازار ذخیره چرخان با اجرای سناریوهای حمایت از منابع بادی ۸۹
شکل (۱): پیش بینی توان بادی مزرعه SOTAVENTO با استفاده از شبکه عصبی در هفته انتخابی (روز سوم تا نهم سپتامبر سال ۲۰۰۷) ۹٦
شکل (۲): مراحل مدل سازی عدم قطعیت با محاسبه توابع احتمالاتی تولید.....۹۷
شکل (۳): فرکانس توزیع خطا برای پیش بینی روزانه با استفاده از شبکه عصبی در فصل تابستان ۹۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (٤-١): شرکت منابع موردنظر در بازارهای مختلف ٥٦
جدول (٥-١): سود مورد انتظار برای هر یک از حالت های بهره برداری مجزا و یکپارچه ٧٤

فصل اول

مقدمه و مروری بر پژوهش‌های پیشین

۱-۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های سیاست‌گذاران صنعت برق، حجم وسیع آلاینده‌های زیست-محیطی نیروگاه‌های حرارتی می‌باشد. تامین انرژی الکتریکی با استفاده از انرژی‌های پاک مانند انرژی باد و خورشید، باعث کاهش میزان آلاینده‌های تولیدی از سوی سیستم قدرت می‌گردد. اما ژنراتورهای بادی و سلول‌های خورشیدی، برخلاف ژنراتورهای حرارتی، به‌دلیل ماهیت تصادفی سرعت باد و تابش خورشید نمی‌توانند توان معینی را تولید نمایند. امروزه مزایای زیست محیطی و اقتصادی نیروگاه‌های بادی موجب افزایش استفاده از این نیروگاه‌ها در سیستم قدرت گردیده است. افزایش مشارکت نیروگاه‌های بادی در تولید انرژی، منجر به افزایش تاثیر این نیروگاه‌ها در بازار برق گردیده است. مجموع تولیدات انرژی بادی در اروپا تا پایان سال ۲۰۱۰ میلادی ۸٤۰۷٤ مگاوات بوده و این در حالی است که نفوذ تولیدات بادی در برخی از کشورهای اروپایی در حدود ٪۲۰ می‌باشد و گویای این مطلب است که ٪۵,۳ مصرف انرژی برق در اروپا از طریق تولیدات بادی فراهم می‌شود. اما به‌دلیل طبیعت تصادفی باد، انرژی الکتریکی تولیدی توسط توربین‌های بادی با نوسانات زیادی همراه است و نفوذ انرژی بادی در سیستم‌های قدرت می‌تواند مشکلاتی را از نظر کیفیت توان، طراحی و بهره‌برداری این سیستم‌ها ایجاد کند. این امر موجب می‌شود که تولیدات بادی به منابع پشتیبانی جهت حضور در سیستم قدرت نیاز داشته باشند [۱].

منابع ذخیره‌ساز انرژی الکتریکی با کنترل توان خروجی تولیدات بادی و فراهم آوردن سیستم خدمات جانبی نقش مهمی را در افزایش نفوذ تولیدات بادی در سیستم‌های قدرت ایفا خواهند کرد. در حقیقت این منابع ذخیره‌ساز، نوسانات تولیدات بادی را در خود جای می‌دهند تا این نوسانات به شبکه قدرت منتقل نشوند. عمده‌ترین دلیل گرایش به سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی در سال‌های اخیر نیز استفاده از آن‌ها در کنار منابع تجدیدپذیر انرژی است.

این منابع از طریق ذخیره انرژی در ساعات غیرپیک، که قیمت انرژی پایین است و تولید در ساعات پیک که به‌طبع قیمت انرژی بالاست، از طریق کاهش بار پیک و افزایش بار پایه موجب کاهش هزینه‌های کلی سیستم قدرت می‌شوند. همچنین هزینه تامین رزرو مورد نیاز سیستم قدرت توسط این منابع به‌مراتب اقتصادی‌تر از تامین آن از طریق نیروگاه‌های حرارتی می‌باشد. از سویی دیگر، هنگامی‌که نفوذ تولیدات نوسانی مانند تولیدات بادی در سیستم‌های قدرت افزایش می‌یابد، فاکتور انعطاف‌پذیری در سیستم قدرت جهت برقراری تعادل میان عرضه و تقاضای انرژی الکتریکی، جایگاه ویژه‌ای پیدا می‌کند و سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی الکتریکی نقش تعیین‌کننده‌ای را در بالا رفتن این فاکتور ایفا خواهند کرد. کنترل فرکانس و ولتاژ و هم‌سطح سازی بار نیز از دیگر کاربردهای این منابع ذخیره‌ساز می‌باشد. به این ترتیب، استفاده از منابع ذخیره‌ساز انرژی در کنار منابع بادی باعث کاهش قطع تولید این منابع شده و از این طریق سبب پایین آمدن قیمت تمام شده برق تولیدی توسط آن‌ها خواهد شد.

در این پایان‌نامه یک شرکت تولیدی مشتمل بر مزرعه بادی و باتری‌های NaS به منظور کاهش خطاهای ناشی از حضور مزرعه بادی در هنگام مشارکت در بازارهای انرژی روز بعد و ذخیره چرخان و با هدف بیشینه نمودن درآمد خود، اقدام به حل مسئله خودبرنامه‌ریزی می‌کند. در این خودبرنامه‌ریزی مشترک، برای هر ساعت، مقدار توانی به بازارهای انرژی روز بعد و ذخیره چرخان عرضه می‌شود که تفکیک آن در درون شرکت تولیدی صورت می‌پذیرد اما در بازار هیچ تفاوتی از حیث منبع انرژی تولید شده، وجود ندارد.

مدل MinIso برای مدل‌کردن بازار رقابتی استفاده شده است که در ادامه اساس کار آن به تفصیل شرح داده خواهد شد. در این مدل، هر شرکت تولیدی (GenCo) مسئول حداکثرسازی

سود خود می‌باشد. ورودی مسئله بهینه‌سازی، پیش‌بینی‌های ساعتی بازارهای مختلف و قیود GenCo و خروجی مسئله، پیشنهاد ساعتی تک‌بخشی برای هر ساعت می‌باشد.

۱-۲- راه‌بردهای پیشنهاددهی در بازار[1]

در تجارت‌های مبتنی بر قرارداد[2] نظیر توافقات پیش‌خرید و آتی، مذاکراتی میان خریدار و فروشنده سر می‌گیرد و لذا تفاهمی بر سر کمیت و قیمت حاصل می‌شود. از این‌رو، مسئله طرح پیشنهاد در بازار برق، در مواردی مطرح است که انرژی الکتریکی از طریق حراج، دادوستد می‌شود و لذا عرضه‌کنندگان و مصرف‌کنندگان بزرگ ملزم هستند که کمیت و قیمت‌های مورد نظر خود را به بهره‌بردار بازار[3] اعلام کنند. بهره‌بردار، پیشنهادهای برنده را از طریق ساز و کارهایی تعیین و قیمت تسویه بازار[4] (MCP) را محاسبه می‌کنند. در ادامه، انواع مدل‌های بازار برق بر اساس شرکت‌کنندگان و میزان اطلاعاتی که آن‌ها در اختیار بهره‌بردار بازار قرار می‌دهند، بررسی می‌شوند [۲].

۱-۲-۱- انواع مدل‌های بازار برق بر اساس چگونگی ارائه پیشنهاد [۳]

بازارهای برق با توجه به شرکت‌کنندگان، نحوه پیشنهاددهی آنان، میزان اصلاحاتی که آن‌ها در اختیار بهره‌بردار بازار قرار می‌دهند و نیز نقش بهره‌بردار به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

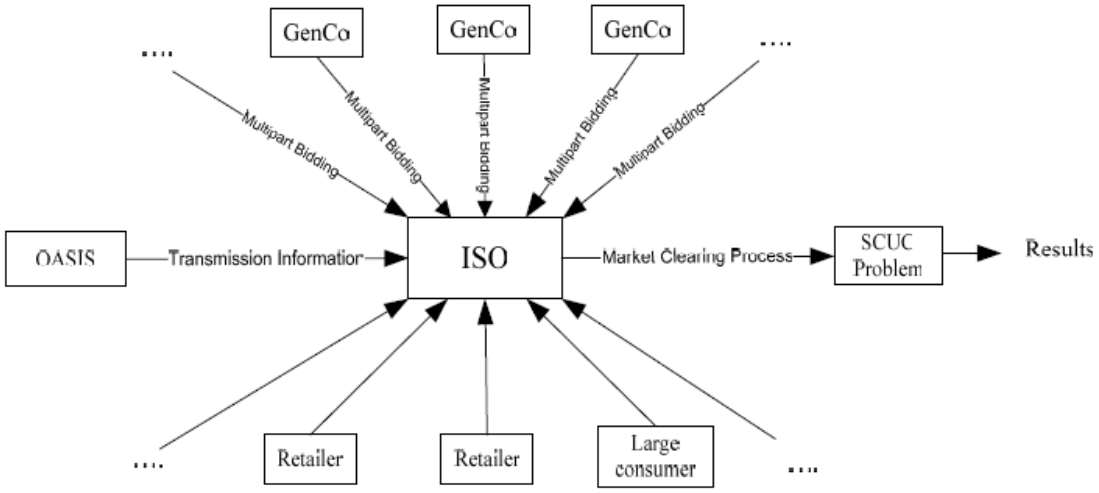
1. Bidding Strategy
2. Contracted Trade
3. Independent System Operator (ISO)
4. Market Clearing Price (MCP)

۱-۲-۱-۱- مدل MaxIso

در نوع اول از بازارهای رقابتی، شرکت‌های تولیدکننده برق پیشنهاد چندبخشی[1] را که نشان‌دهنده هزینه‌های راه‌اندازی، بهره‌برداری و ... واحدهای مختلف خود می‌باشد، به بهره‌بردار ارائه می‌دهند. در واقع، پیشنهاد چندبخشی قیمت‌های متفاوتی را برای انرژی، هزینه‌های راه-اندازی، بی‌باری و خاموشی منظور می‌کند. لذا، شرکت‌کنندگان در بازار بایستی اطلاعات وسیعی از قبیل پیشنهاد انرژی، هزینه راه‌اندازی، هزینه بی‌باری، نرخ‌های مربوط به شیب تولید و حداقل زمان توقف و فعالیت را ارائه کنند. مکانیزم تسویه بازار بایستی متکی به برنامه‌های ریاضی بهینه-سازی باشد تا بتواند برندگان و قیمت بازار را با ملحوظ کردن درخواست‌ها، قیود فنی و اطلاعات اقتصادی تعیین نماید. این رویکرد به‌نوعی برنامه‌ریزی متمرکز مشارکت واحدها[2] (UC) منتهی می‌شود که توسط بهره‌بردار سیستم و بر اساس اطلاعات ارسال شده از سوی پیشنهاددهندگان و با هدف حداکثرسازی رفاه اجتماعی و در عین حال، حفظ قیود ایمنی[3] اجرا می‌شود.

شماتیک این مدل از بازارهای رقابتی در شکل (۱-۱) مشاهده می‌شود. در این مدل، ISO اطلاعات مربوط به خطوط انتقال را از شرکت‌های انتقال[4] دریافت کرده و مسئله برنامه‌ریزی واحدها با قید امنیت[5] (SCUC) را اجرا می‌کند.

1. Multipart Bidding
2. Unit Commitment
3. Security Constraints
4. Transmission Company (TransCo)
5. Security-Constrained Unit Commitment (SCUC)



شکل (۱-۱): مدل بازار رقابتی MaxIso

نتیجه برنامه SCUC، قیمت بازار و نیز میزان تولید هر یک از GenCo ها را تعیین می‌کند. بدیهی است که روش‌ها و شگردهای خاصی برای راه‌برد پیشنهاد GenCo ها در این مدل لازم است. از موارد واقعی استفاده شده از این مدل، می‌توان بازارهای PJM[1] نیویورک و بازار حوضچه انگلستان[2] را ذکر کرد.

۱-۲-۱-۲- مدل MinIso

اساس این مدل، ارائه پیشنهاد تک‌بخشی[3] از سوی GenCo ها می‌باشد. در پیشنهاد تک-بخشی، هر تولیدکننده قیمت‌های مستقل ساعت به ساعت ارائه می‌کند. قیمت تسویه بازار از محل برخورد منحنی پیشنهاد عرضه و تقاضا محاسبه شده، متعاقباً پیشنهادهای برنده و برنامه‌ریزی تولید هر ساعت تعیین می‌شود. این رویکرد غیرمتمرکز است، زیرا بهره‌بردار سیستم برنامه مشارکت واحدها را اجرا نمی‌کند و بنابراین لازم است تولیدکنندگان کلیه هزینه‌ها و قیود فنی مربوطه را در پیشنهاد خود به نحو ضمنی وارد کنند. این پیشنهاد در بازارهای برق New England، کالیفرنیا، استرالیا، نروژ/سوئد و اسپانیا پیاده شده است. لازم به ذکر است که عمده تحقیقات در مبحث

1. Pennsylvania-New Jersey Interconnection Market
2. UK Power Pool
3. Single-Part Bidding

طراحی راهبرد پیشنهاد و ارائه پیشنهادات در این حوزه مطرح شده است. شماتیک این مدل از بازارهای رقابتی در شکل (۱-۲) مشاهده می‌شود. در این مدل، هر GenCo برای ارائه پیشنهاد تک‌بخشی خود، بایستی بر اساس پیش‌بینی‌های قیمت و قیود خود، مسئله خودبرنامه‌ریزی[1] را به‌منظور حداکثرسازی سود اجرا کند. پس از دریافت پیشنهادات از سوی همه GenCo ها، ISO بازار را با قید حفظ امنیت تسویه می‌کند. جهت برقراری امنیت سیستم، از شیوه بازتخصیص تولید[2] استفاده می‌شود. بدیهی است که چگونگی راهبرد پیشنهاد GenCo ها در این نوع مدل متفاوت با مدل قبلی است و در این مدل بایستی GenCo ها بی‌توجه به تعادل بار با تولید سیستم، تنها به حداکثرسازی سود خود اقدام کنند. چگونگی راهبرد پیشنهاد GenCo ها در این نوع مدل، اساس کار این پایان‌نامه خواهد بود.

با توجه به مطالب ارائه شده در بخش قبل، مسلماً راهبرد پیشنهاد یک GenCo در دو مدل بیان شده متفاوت خواهد بود. در ادامه توضیحات بیش‌تری در این‌باره ارائه خواهد شد.

1. Self-Scheduling Problem
2. Generation Reallocation