

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی و بهینه سازی ارائه سرویسهای جانبی با بکارگیری

الگوریتم هوشمند

نگارش:

رضا جمالزاده

استاد راهنما:

دکتر مرتضی محمدی اردهالی

استاد مشاور:

دکتر مسعود رشیدی نژاد



تاریخ:

شماره مدرک

مشخصات دانشجو	نام خانوادگی: جمالزاده	نام: رضا	شماره دانشجویی: ۸۳۱۲۳۱۲۴
	دانشکده: برق	رشته تحصیلی: مدیریت انرژی الکتریکی	گروه: قدرت
عنوان	بررسی و بهینه سازی ارائه سرویسهای جانبی با بکارگیری الگوریتم هوشمند		

Title :	Investigation and Optimization of Electrical Power Ancillary Services Delivery Utilizing Intelligent Algorithm
---------	--

استاد راهنما	نام خانوادگی: محمدی اردهالی	درجه و رتبه	نام خانوادگی:	درجه و رتبه
	نام: مرتضی	دانشیار	نام:	
استاد مشاور	نام خانوادگی: رشیدی نژاد	درجه و رتبه	نام خانوادگی:	درجه و رتبه
	نام: مسعود	استادیار	نام:	

دانشنامه	کارشناسی <input type="radio"/> ارشد <input checked="" type="radio"/> دکترا <input type="radio"/>	سال تحصیلی: ۸۵-۸۶
----------	--	-------------------

نوع پروژه	کاربردی <input type="radio"/> بنیادی <input type="radio"/> توسعه ای <input type="radio"/> نظری <input checked="" type="radio"/>
-----------	---

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات: ۱۲۵	تصویر: <input checked="" type="radio"/>	جدول: <input checked="" type="radio"/>	نمودار: <input checked="" type="radio"/>	نقشه: <input type="radio"/>	واژه نامه: <input checked="" type="radio"/>	تعداد مراجع: ۴۳	تعداد ضمايم: <input type="radio"/>
--------------	------------------	---	--	--	-----------------------------	---	-----------------	------------------------------------

زبان متن	فارسی <input checked="" type="radio"/> انگلیسی <input type="radio"/>	چکیده	فارسی <input checked="" type="radio"/> انگلیسی <input type="radio"/>
----------	--	-------	--

یادداشت	لوح فشرده <input checked="" type="radio"/> دیسکت فلاپی <input type="radio"/>
---------	--

توصیفگر	
---------	--

کلید واژه فارسی	سرویسهای جانبی ، مناقصه همزمان ، مناقصه Rational Buyer ، مناقصه قیمت گذاری مرزی ، نقض قیمت ، تخصیص رزرو چرخان ، الگوریتم ژنتیک
-----------------	---

کلید واژه لاتین	ancillary services, simultaneous auction, rational buyer auction, marginal pricing auction, price reversal, spinning reserve allocation, genetic algorithm
-----------------	---

تقدیم به پدر فداکار و مادر مهربانم

که در همه حال یار و یاور من بوده اند.

با سپاس فراوان از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر مرتضی محمدی اردهالی

که با پیگیریهای مستمر و راهنماییهای ارزنده مرا در انجام این مهم یاری نمودند و

مدیون زحمات بی دریغ ایشان هستم

و با تشکر بسیار از جناب آقای دکتر مسعود رشیدی نژاد که راهنماییهای ایشان همواره راهگشا

بوده است.

چکیده

در سیستم‌های قدرت هر لحظه امکان خارج شدن یک یا چند ژنراتور یا خط انتقال از شبکه برق وجود دارد. با توجه به این مساله، باید برای هر واحد قدرت اضافی به عنوان سرویس‌های جانبی پیش‌بینی شود تا از خاموش شدن سیستم جلوگیری گردد. به منظور ایجاد انگیزه و عملکرد مطمئن سیستم در یک محیط رقابتی سالم سرویس‌های جانبی مختلفی باید توسط اپراتور مستقل سیستم ارائه گردند. از طرفی سرویس‌های جانبی مورد نیاز شبکه باید به صورت بهینه بین واحدها تخصیص یافته تا از نظر اقتصادی با اهداف مطلوب سیستم مغایرتی نداشته باشد. اپراتور مستقل سیستم برای ایجاد رقابت در بازار سرویس‌های جانبی مناقصه‌هایی را ترتیب می‌دهد. سرویس‌های جانبی که در این پایان‌نامه مورد بررسی قرار می‌گیرند عبارتند از: تنظیم فرکانسی، رزرو چرخان، رزرو غیر چرخان و رزرو جایگزین شونده. دو روش مناقصه برای فراهم کردن این سرویس‌ها وجود دارد. روش اول، روش متوالی است که در این روش مناقصه برای هر سرویس جانبی به صورت جداگانه انجام می‌شود. روش دیگر روش همزمان است که در این روش سرویس‌های جانبی بر پایه زمان پاسخ اولویت‌بندی می‌شوند. در این پایان‌نامه این روشها بررسی شده‌اند. مناقصه Rational Buyer و مناقصه قیمت‌گذاری مرزی به عنوان دو روش مناقصه همزمان معرفی شده‌اند. روشهای ارائه شده در گذشته برای حل مساله Rational Buyer در این پایان‌نامه توضیح داده شده‌اند و همچنین روشی مبتنی بر ماتریس مشارکت برای حل این مساله ارائه شده است و با دو مطالعه موردی با دو روش دیگر مقایسه شده است. در این پایان‌نامه همچنین مناقصه‌ای بر پایه Rational Buyer ارائه شده است و با مناقصه Rational Buyer و مناقصه قیمت‌گذاری مرزی مقایسه شده است و با مطالعه موردی مزیت این روش مناقصه بر روشهای دیگر تایید شده است.

از طرفی ارائه انرژی و سرویس‌های جانبی برای هر واحد تولیدی پرهزینه است در نتیجه برای بهره‌برداری و مدیریت بهینه باید این دو سرویس به صورت کاملاً اقتصادی توزیع شوند. در این پایان‌نامه برای بررسی دیسپاچینگ توامان انرژی و سرویس‌های جانبی برای سادگی و بدون اینکه به اصل قضیه خدشه‌ای وارد شود، ذخیره چرخان مورد بررسی قرار خواهد گرفت و مدل استفاده شده برای تخصیص بهینه رزرو چرخان بررسی شده است. مساله به صورت مساله بهینه‌سازی اقتصادی بطوریکه تولیدکننده‌ها محدودیت‌های توان (MW) و ظرفیت ذخیره (MW) خود را با قیمت پیشنهادی خود ارائه می‌دهند، فرمول‌بندی شده است. در این پایان‌نامه تخصیص توامان رزرو چرخان و توزیع انرژی بر روی شبکه‌های استاندارد ۶ ژنراتوری ۳۰ باس IEEE و ۱۷ ژنراتوری ۵۷ باس IEEE پیاده‌سازی و شبیه‌سازی شده است و برنامه‌ریزی تولید انرژی و ارائه رزرو چرخان برای دوره ۲۴ ساعته انجام شده است. آنالیز حساسیت، تاثیر تفکیک منطقه‌ای، تاثیر محدودیت‌های ناشی از Ramp-Rate و تاثیر سیستم پرداخت و تسویه بر روی شبکه ۶ ژنراتوری بررسی شده، سپس آنالیز هزینه-

منفعت و قیمت‌گذاری بر روی هر دو شبکه پیاده شده است. در پایان تاثیر تقاضاهای حساس به قیمت بر روی متعادل‌سازی قیمت‌های تمام شده مورد مطالعه قرار گرفته است.

کلید واژه : سرویسهای جانبی ، مناقصه همزمان ، مناقصه Rational Buyer ، مناقصه قیمت گذاری مرزی ، نقض قیمت ، تخصیص رزرو چرخان ، الگوریتم ژنتیک

بخش اول : مقدمه و مروری بر ادبیات موضوع

۱	مقدمه	۱
۲	تجدید ساختار در صنعت برق	۴
۲.۱	مقدمه	۵
۲.۲	رقابت در صنعت برق	۵
۲.۳	اهداف تجدید ساختار	۶
۲.۴	سرویسهای جانبی	۷
۲.۵	بازار رقابتی برق	۹
۲.۶	ساختار بازار برق	۱۱
۲.۶.۱	بازار رقابتی عمده فروشی	۱۲
۲.۶.۲	بازار رقابتی برق خرده فروشی کاملاً مجزا (FUCREM)	۱۳
۲.۷	ذخیره سازی و سرویسهای جانبی در صنعت برق	۱۵
۲.۸	برنامه ریزی سیستم قدرت	۱۸
۲.۹	ملاحظات اقتصادی بازار رقابتی برق	۱۹
۲.۱۰	سیستمهای پرداخت و قیمت گذاری	۲۰
۲.۱۰.۱	پرداخت مبتنی بر قیمت پیشنهادی (PABP)	۲۱
۲.۱۰.۲	پرداخت مبتنی بر قیمت یکنواخت (UP)	۲۲
۲.۱۱	دیسپاچینگ انرژی و رزرو	۲۳
۲.۱۱.۱	دیسپاچینگ مبتنی بر درجه مزیت (MOBD)	۲۳
۲.۱۱.۲	دیسپاچینگ ترتیبی (SD)	۲۴
۲.۱۱.۳	دیسپاچینگ توامان (JD)	۲۵
۳	الگوریتم ژنتیک	۲۶
۳.۱	مقدمه	۲۷

۲۷	الگوریتم‌های تکاملی	۳.۲
۲۸	فرآیند الگوریتم‌های تکاملی	۳.۳
۳۱	الگوریتم‌های ژنتیکی	۳.۴
۳۱	پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک	۳.۵
۳۲	انتخاب	۳.۶
۳۲	انتخاب براساس رتبه بندی	۳.۶.۱
۳۴	انتخاب براساس چرخ گردان	۳.۶.۲
۳۴	عملگر ترکیب	۳.۷
۳۴	ترکیب مقادیر باینری	۳.۷.۱
۳۶	ترکیب مقادیر حقیقی	۳.۷.۲
۳۸	عملگر جهش	۳.۸
۳۸	جهش مقادیر باینری	۳.۸.۱
۳۹	جهش مقادیر حقیقی	۳.۸.۲
۴۰	گزینش نسل جدید	۳.۹
۴۰	همگرایی الگوریتم‌های تکاملی	۳.۱۰

بخش دوم : فعالیتهای انجام شده در پایان‌نامه

۴۱	ارائه سرویسهای جانبی	۴
۴۲	مقدمه	۴.۱
۴۲	سرویسهای جانبی	۴.۲
۴۳	مناقصه سرویسهای جانبی	۴.۳
۴۴	روش متوالی مناقصه سرویسهای جانبی	۴.۴
۴۵	طراحی بازار مناقصه سرویسهای جانبی	۴.۵
۴۸	روش همزمان مناقصه سرویسهای جانبی	۴.۶
۴۹	گزینه های طراحی برای مناقصه همزمان سرویسهای جانبی	۴.۷
۵۰	مناقصه Rational Buyer	۴.۸
۵۰	تابع هدف	۴.۸.۱
۵۱	محدودیت تقاضا تجمعی	۴.۸.۲
۵۲	محدودیت های فیزیکی هر ژنراتور	۴.۸.۳
۵۳	محدودیت تفکیک منطقه‌ای	۴.۸.۴
۵۴	حل مساله Rational buyer	۴.۹
۵۴	حل مساله با استفاده از برنامه‌ریزی دینامیکی	۴.۹.۱

حل مساله با استفاده از جستجوی جامع مبتنی بر تعداد ژنراتورها و مطالعه موردی ۴ ژنراتوری.....	۴.۹.۲
حل مساله با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مطالعه موردی ۱۵ ژنراتوری.....	۴.۹.۳
ارائه روشی جدید مبتنی بر ماتریس مشارکت برای حل مساله Rational Buyer.....	۴.۱۰
بکارگیری روش حل ارائه شده در مطالعه موردی ۴ ژنراتوری.....	۴.۱۱
بکارگیری روش حل ارائه شده در مطالعه موردی ۱۵ ژنراتوری.....	۴.۱۲
بازار مناقصه قیمت‌گذاری مرزی.....	۴.۱۳
مقایسه روش مناقصه Rational Buyer و مناقصه قیمت‌گذاری مرزی.....	۴.۱۴
ارائه روش مناقصه‌ای جدید بر پایه Rational Buyer.....	۴.۱۵
بررسی کارایی روش مناقصه Rational Buyer تصحیح شده در مطالعه موردی ۴ ژنراتوری در مقایسه با مناقصه	۴.۱۶
Rational Buyer و مناقصه قیمت‌گذاری مرزی.....	۷۸
۵. تخصیص بهینه رزرو چرخان و انرژی.....	
مقدمه.....	۵.۱
برنامه ریزی اقتصادی بار (ELD).....	۵.۲
مینیم سازی هزینه تحویل انرژی.....	۵.۳
مینیم سازی هزینه تدارک رزرو.....	۵.۴
مینیم سازی توامان هزینه های انرژی و رزرو.....	۵.۵
مدل تخصیص توامان انرژی و رزرو چرخان.....	۵.۶
تابع هدف.....	۵.۶.۱
مدل اقتصادی هزینه‌ها.....	۵.۶.۲
محدودیت تعادل عرضه و تقاضا.....	۵.۶.۳
محدودیت‌های فیزیکی.....	۵.۶.۴
محدودیت‌های رزرو چرخان.....	۵.۶.۵
محدودیت‌های رزرو مورد نیاز منطقه‌ای.....	۵.۶.۶
دسته بندی واحدها.....	۵.۶.۷
تخصیص رزرو چرخان و توزیع انرژی.....	۵.۷
شبکه استاندارد ۶ ژنراتوری ۳۰ باس IEEE.....	۵.۷.۱
شبکه استاندارد ۱۷ ژنراتوری.....	۵.۷.۲
تخصیص منطقه ای رزرو چرخان در شبکه ۶ ژنراتوری.....	۵.۸
آنالیز حساسیت بر روی شبکه ۶ ژنراتوری.....	۵.۹
بررسی اثرات افزایش تقاضای انرژی.....	۵.۹.۱
بررسی اثرات کاهش رزرو چرخان مورد نیاز.....	۵.۹.۲

۱۰۶.....	بررسی اثر Ramp-Rate در شبکه ۶ ژنراتوری.....	۵.۱۰
۱۱۱.....	آنالیز هزینه- منفعت و قیمت گذاری.....	۵.۱۱
۱۱۱.....	فرصت از دست رفته ناشی از بازار رزرو و تفکیک منطقه ای در شبکه ۶ ژنراتوری.....	۵.۱۱.۱
۱۱۴.....	فرصت از دست رفته ناشی از بازار رزرو و Ramp-Rate در شبکه ۱۷ ژنراتوری.....	۵.۱۱.۲
۱۱۵.....	بررسی اثر نوع سیستم پرداخت در شبکه ۶ ژنراتوری.....	۵.۱۲
۱۱۶.....	بررسی مدل برای تقاضاهای حساس به قیمت در شبکه ۶ ژنراتوری.....	۵.۱۳

بخش سوم : نتیجه گیری

۱۱۹.....	نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات.....	۶
۱۲۲.....	مراجع.....	

فهرست اشکال

- شکل ۲-۱: ساختار بازار رقابتی برق عمده فروشی ۱۳
- شکل ۲-۲: ساختار بازار رقابتی برق خرده فروشی کاملاً مجزا ۱۴
- شکل ۲-۳: شماتیک کلی ظرفیت تولید یک واحد ۱۶
- شکل ۲-۴: مبادله بین قابلیت اطمینان و مسائل اقتصادی ۲۰
- شکل ۳-۱: شمایی از روند کلی الگوریتم تکاملی ۳۱
- شکل ۳-۲: مقایسه رتبه گذاری خطی و غیر خطی ۳۳
- شکل ۳-۳: چرخ گردان ۳۴
- شکل ۳-۴: عملگر ترکیب تک نقطه ای ۳۵
- شکل ۳-۵: عملگر ترکیب چند نقطه ای ۳۵
- شکل ۳-۶: موقعیت های ممکن فرزندان بعد از باز ترکیب مجزا ۳۷
- شکل ۳-۷: عملگر باز ترکیب میانی ۳۷
- شکل ۳-۸: عملگر باز ترکیب خطی ۳۸
- شکل ۴-۱: مدل PoolCo ۴۴
- شکل ۴-۲: مناقصه متوالی سرویسهای جانبی ۴۵
- شکل ۴-۳: ظرفیت قابل ارائه در بازار سرویسهای جانبی ۵۲
- شکل ۴-۴: منحنی عرضه برای یک سرویس جانبی ۵۴
- شکل ۵-۱: فلوچارت مدل تخصیص رزرو چرخان و توزیع انرژی به صورت بهینه ۸۶
- شکل ۵-۲: دسته بندی واحدها از نظر توانایی افزایش انرژی و رزرو ۸۹
- شکل ۵-۳: دیاگرام تک خطی شبکه استاندارد ۳۰ باس IEEE ۹۰
- شکل ۵-۴: منحنی تقاضای انرژی و رزرو چرخان مورد نیاز سیستم ۳۰ باس IEEE ۹۰
- شکل ۵-۵: منحنیهای تولید انرژی ژنراتورهای شبکه ۳۰ باس IEEE ۹۲
- شکل ۵-۶: منحنیهای تدارک رزرو چرخان ژنراتورهای شبکه ۳۰ باس IEEE ۹۲
- شکل ۵-۷: برنامه تولید انرژی و تدارک رزرو چرخان به تفکیک ژنراتورهای شبکه ۳۰ باس IEEE ۹۳
- شکل ۵-۸: منحنی تقاضای انرژی و رزرو چرخان مورد نیاز سیستم ۵۷ باس IEEE ۹۴
- شکل ۵-۹: برنامه تولید انرژی ژنراتورهای شبکه ۵۷ باس IEEE ۹۶
- شکل ۵-۱۰: برنامه تدارک رزرو چرخان ژنراتورهای شبکه ۵۷ باس IEEE ۹۶

- شکل ۱۱-۵: برنامه تولید انرژی و تدارک رزرو چرخان به تفکیک ژنراتورهای شبکه ۵۷ باس IEEE ۹۷
- ادامه شکل ۱۱-۵: برنامه تولید انرژی و تدارک رزرو چرخان به تفکیک ژنراتورهای شبکه ۵۷ باس IEEE ۹۸
- شکل ۱۲-۵: دیاگرام تک خطی شبکه استاندارد ۳۰ باس IEEE به صورت دو منطقه ۱ و ۲ ۹۹
- شکل ۱۳-۵: برنامه تولید انرژی تولیدکنندههای شبکه ۳۰ باس IEEE با تفکیک منطقه ای رزرو مورد نیاز ۹۹
- شکل ۱۴-۵: برنامه تدارک رزرو چرخان تولیدکنندههای شبکه ۳۰ باس IEEE با تفکیک منطقه ای رزرو مورد نیاز ۱۰۰
- شکل ۱۵-۵: برنامه تولید انرژی و ارائه رزرو چرخان شبکهی ۳۰ باس IEEE با تفکیک منطقه ای رزرو مورد نیاز ۱۰۱
- شکل ۱۶-۵: هزینه انرژی و رزرو چرخان کل سیستم ۱۰۳
- شکل ۱۷-۵: هزینه انرژی چرخان تولیدکننده ها ۱۰۴
- شکل ۱۸-۵: هزینه انرژی کل مربوط به ۴ حالت افزایش تقاضای انرژی ۱۰۴
- شکل ۱۹-۵: برنامه تدارک رزرو چرخان در ۴ حالت مختلف کاهش رزرو مورد نیاز سیستم ۱۰۵
- شکل ۲۰-۵: منحنی تقاضای انرژی و رزرو چرخان مورد نیاز سیستم ۳۰ باس IEEE برای بررسی تاثیر Ramp-Rate ۱۰۶
- شکل ۲۱-۵: برنامه تولید انرژی و تدارک رزرو چرخان شبکه ۳۰ باس IEEE بدون در نظر گرفتن Ramp-Rate ها ۱۰۸
- شکل ۲۲-۵: برنامه تولید انرژی و تدارک رزرو چرخان شبکه ۳۰ باس IEEE با در نظر گرفتن Ramp-Rate ها ۱۰۹
- شکل ۲۳-۵: برنامه تولید انرژی شبکه ۳۰ باس IEEE با/ بدون در نظر گرفتن Ramp-Rate ها ۱۱۰
- شکل ۲۴-۵: قیمت تمام شده انرژی برای دو حالت بخشهای ۵.۷.۱ و ۵.۸ ۱۱۱
- شکل ۲۵-۵: قیمت تمام شده سرویسهای جانبی برای حالت بخش ۵.۷.۱ ۱۱۲
- شکل ۲۶-۵: قیمت تمام شده سرویسهای جانبی در حالت تفکیک منطقه ای بخش ۵.۸ ۱۱۳
- شکل ۲۷-۵: قیمت تمام شده انرژی برای حالت بخش ۵.۱۰ ۱۱۳
- شکل ۲۸-۵: قیمت تمام شده سرویسهای جانبی برای حالت بخش ۵.۱۰ ۱۱۴
- شکل ۲۹-۵: قیمت تمام شده انرژی و سرویسهای جانبی برای حالت بخش ۵.۷.۲ ۱۱۴
- شکل ۳۰-۵: قیمت تمام شده انرژی و سرویسهای جانبی در دو حالت سیستم پرداخت UP و PBP برای بخش ۵.۱۰ ۱۱۵
- شکل ۳۱-۵: هزینه کل انرژی و رزرو چرخان در دو حالت سیستم پرداخت UP و PBP برای بخش ۵.۱۰ ۱۱۵
- شکل ۳۲-۵: تقاضای بارهای وابسته به قیمت در باسهای ۴، ۱۶ و ۳۰ شبکه ۳۰ باس IEEE ۱۱۷
- شکل ۳۳-۵: منحنی تقاضای بارهای غیر وابسته به قیمت ۱۱۷
- شکل ۳۴-۵: منحنی تقاضای انرژی در دو حالت با/ بدون در نظر گرفتن بارهای وابسته به قیمت ۱۱۸
- شکل ۳۵-۵: قیمت تمام شده انرژی برای دو حالت با/ بدون در نظر گرفتن بارهای وابسته به قیمت ۱۱۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: مسائل مرکز دیسپاچینگ بر اساس دوره زمانی. ۱۸
- جدول ۱-۴: پیشنهاد ظرفیت و قیمت ژنراتورها در مطالعه موردی (۱) [۳۰]. ۵۶
- جدول ۲-۴: حد بالا و پایین برای مطالعه موردی (۱). ۵۸
- جدول ۳-۴: حالت‌های ا تا ۴ - حالت‌های غیرممکن. ۶۰
- جدول ۴-۴: حالت ۵ - حالت غیرممکن. ۶۰
- جدول ۴-۵: حالت ۳ - حالت ممکن و حل توسط برنامه‌ریزی خطی. ۶۳
- جدول ۴-۶: حالت بهینه و حل توسط برنامه‌ریزی خطی [۳۰]. ۶۳
- جدول ۴-۷: میزان تولید هر ژنراتور (MW) در مطالعه موردی (۱). ۶۴
- جدول ۴-۸: پیشنهاد قیمت و ظرفیت نیروگاهها در مطالعه موردی (۲) [۳۰]. ۶۵
- جدول ۴-۹: میزان تولید هر نیروگاه در مطالعه موردی (۲) با استفاده از الگوریتم ژنتیک. ۶۶
- جدول ۴-۱۰: میزان تولید هر ژنراتور (MW) در مطالعه موردی ۱ برای ماتریس مشارکت ω_2 ۷۰
- جدول ۴-۱۱: میزان تولید هر ژنراتور (MW) در مطالعه موردی (۱) با استفاده از روش پیشنهادی. ۷۱
- جدول ۴-۱۲: میزان تولید هر ژنراتور (MW) در مطالعه موردی (۲) با استفاده از روش پیشنهادی. ۷۲
- جدول ۴-۱۳: مثال ارائه شده برای توضیح حل مساله قیمت‌گذاری مرزی. ۷۵
- جدول ۴-۱۴: میزان تولید هر ژنراتور در مطالعه موردی (۱) در مناقصه قیمت‌گذاری مرزی. ۷۹
- جدول ۴-۱۵: میزان تولید هر ژنراتور در مطالعه موردی (۱) در مناقصه Rational Buyer تصحیح شده. ۸۰
- جدول ۴-۱۶: مقایسه بین روشهای Rational Buyer، مناقصه قیمت‌گذاری مرزی و مناقصه Rational Buyer تصحیح شده. ۸۱
- جدول ۵-۱: مشخصات فنی تولیدکننده ها و پیشنهاد قیمت انرژی و رزرو چرخان شبکه ۳۰ باس IEEE. ۹۱
- جدول ۵-۲: مشخصات فنی تولیدکننده ها و پیشنهاد قیمت انرژی و رزرو چرخان شبکه ۵۷ باس IEEE. ۹۵
- جدول ۵-۳: رزرو چرخان و انرژی تامین شده توسط هر تولیدکننده برای دو حالت با و بدون تفکیک منطقه ای برای ساعات ۱۶ تا ۲۱. ۱۰۲
- جدول ۵-۴: درصد افزایش هزینه انرژی در مینیمم و ماکزیمم بار. ۱۰۵
- جدول ۵-۵: مشخصات فنی تولیدکننده ها و پیشنهاد انرژی و رزرو شبکه ۳۰ باس IEEE برای بررسی تاثیر Ramp-Rate. ۱۰۷
- جدول ۵-۶: پیشنهاد مصرف انرژی. ۱۱۶

فهرست علائم

C_{SR}	هزینه تهیه سرویس جانبی رزرو چرخان (\$)
Cm_i	ظرفیت ماکزیمم تولیدکننده i (MW)
$CR_{k,z}$	تقاضا تجمعی برای سرویس جانبی k ام در منطقه z (MW)
CR_k	تقاضای تجمعی برای سرویس جانبی k ام (MW)
CS	تولید تجمعی نیروگاهها (MW)
$C_i (SR_i)$	هزینه تولید رزرو چرخان مربوط به واحد i ام (\$)
$C_i (P_{gi})$	هزینه تولید انرژی مربوط به واحد i ام (\$)
$D_{k,z}$	تقاضا سرویس جانبی k ام در منطقه z (MW)
D_k	تقاضا سرویس جانبی k ام (MW)
E_i	ظرفیت ارائه شده توسط تولیدکننده i در بازار انرژی (MW)
M_k	قیمت تسویه بازار سرویس جانبی k ام (\$/MW)
N_G	تعداد ژنراتورها
N_{AS}	تعداد سرویسهای جانبی
PC	پیشنهاد قیمت ظرفیت ذخیره (\$/MW)
PE	پیشنهاد قیمت انرژی (\$/MWh)
$P_{i,k}$	پیشنهاد قیمت ژنراتور i ام برای فراهم کردن سرویس جانبی k ام (\$/MW)
P_D	تقاضای انرژی سیستم (MW)
P_{gi}	توان تولید شده توسط ژنراتور (تولیدکننده) i ام (MW)
$Q^{\max}(i,t)$	مقدار ماکزیمم ظرفیت ژنراتور i در لحظه t (MW)
$Q(i,t)$	مقدار سرویس جانبی واحد i پذیرفته شده در لحظه t (MW)
$Q^{req}(t)$	مقدار نیاز سرویس جانبی در لحظه t (MW)
$Q_{i,k}$	پیشنهاد ظرفیت نیروگاه i ام برای سرویس جانبی k ام (\$/MW)
$R_{i,k}$	نرخ تغییرات توان نیروگاه i ام برای ارائه سرویس جانبی k ام (MW/min)
RR_i^{up}	نرخ تغییرات افزایشی توان (MW/min)
SR_i	مقدار رزرو چرخان ارائه شده توسط واحد i ام (MW)
S_k	زمان مورد نیاز ارائه سرویس جانبی k ام (min)
S_{SR}	تولید کل نیروگاهها برای سرویس جانبی رزرو چرخان (MW)
$T_{i,k}$	تاخیر زمانی نیروگاه i ام برای ارائه سرویس جانبی k ام (min)
TR	تقاضا تجمعی برای سرویس جانبی با پایینترین کیفیت (MW)
$X_{i,k}$	مقدار ظرفیت پذیرفته شده از نیروگاه i ام برای فراهم کردن سرویس جانبی k ام (MW)

$\alpha_{i,k}$ ضریب مشارکت نیروگاه i ام برای ارائه سرویس جانبی k ام
 μ ضرایب لاگرانژ
 ω_s s امین ماتریس مشارکت
 $\bar{\omega}_{RB}$ ماتریس مشارکت که منجر به جواب بهینه برای مساله Rational Buyer می شود
 $\bar{\omega}_{MRB}$ ماتریس مشارکتی که منجر به جواب بهینه برای مناقصه Rational Buyer تصحیح شده می شود

فهرست اختصارات

Abbreviation	Phrase
AS	Ancillary Services
AGC	Automatic Generation Control
AASP	Average Ancillary Services Price
AEP	Average Energy Price
BC	Bilateral Contracts
CAISO	California ISO
CR	Cumulative Requirement
CSM	Centralized Spot Market
CWEM	Competitive Wholesale Electricity Market
DISCO	Distribution Company
ED	Economic Dispatch
ELD	Economic Load Dispatch
FERC	Federal Energy Regulatory Commission
FUCREM	Fully Unbundled Competitive Retail Electricity Market
GA	Genetic Algorithm
GENCO	Generator Company
ISO	Independent System Operator
JD	Joint Dispatch
MCP	Market Clearing Price
MOBD	Merit Order-Based Dispatch
NETA	New Electricity Trading Arrangement
NS	Non-Spinning Reserve
OR	Operating Reserve
OC	Opportunity Costs
PBP	Pay as Bid Price
PBM	Pool Based Market
RDC	Reserve Delivery Capability
RDR	Ramp-Down Rate
RG	Regulation
ROEI	Risk Of Electricity Interruption
RR	Ramp-Rate
RTO	Regional Transmission Organization
RUR	Ramp-Up Rate
RR	Replacement Reserve
SD	Sequential Dispatch
SR	Spinning Reserve
SRA	Spinning Reserve Allocation
TCAS	Total Cost of Ancillary Services
TCE	Total Cost of Energy
TPAS	Total Presented Ancillary Services

TPE	Total Presented Energy
TR	Total Requirement
TRANSCO	Transmission Company
TSO	Transmission System Operator
UP	Uniform Price
UC	Unit Commitment

فصل اول

مقدمه

با توجه به احتمال وقوع پیش‌آمدهای غیر قابل پیش‌بینی از قبیل خارج شدن یک خط انتقال و یا یک ژنراتور و برای بهره‌برداری مطمئن از سیستم قدرت باید برای هر واحد قدرت اضافی به عنوان سرویسهای جانبی پیش‌بینی شود تا از خاموش شدن سیستم جلوگیری گردد. به منظور ایجاد انگیزه و عملکرد مطمئن سیستم در یک محیط رقابتی سالم سرویسهای جانبی مختلفی باید توسط اپراتور مستقل سیستم ارائه گردند. این سرویسها می‌تواند برای هر منطقه و یا کشور متفاوت باشد. در کشور ما با وجود اینکه امکان ارائه تعداد زیادی از این سرویسها وجود ندارد ولی معرفی این سرویسها می‌تواند زمینه را برای ارائه آنها فراهم نماید. برای این منظور لازم است مناطقی که ارائه این سرویسها را انجام می‌دهند و راهکارهای ارائه این سرویسها در این مناطق مورد بررسی قرار گیرند. کالیفرنیا و New England بیشتر از همه در این زمینه مورد توجه بوده اند. واضح است که بررسی چگونگی ارائه این سرویسها بسیار ضروری است و مطالعه دقیق بر روی روشهای ارائه شده لازم است تا بتوان با استفاده از تجربیات این بازارها و با اطلاع از بازار موجود در کشور خودمان روشهایی همخوان با بازار موجود ارائه کرد. در این پایان نامه روشهای ارائه سرویسهای جانبی در بازار برق بررسی شده‌اند. از آنجا که منفعت بازار سرویسهای جانبی برای اپراتور مستقل بازار و تمایل تولیدکننده‌ها به شرکت در این بازار بوسیله روشهای ارائه این سرویسها تضمین می‌شود واضح است که مطالعه این روشها از اهمیت زیادی برخوردار خواهد بود. بررسی بازارهای مناقصه مختلف برای ارائه سرویسهای جانبی و بررسی دیسپاچینگ همزمان انرژی و رزرو به عنوان اهداف این پایان‌نامه مطرح شده است.

ساختار پایان‌نامه

فصل اول: در این فصل اهداف انجام پایان‌نامه و ساختار پایان‌نامه بیان شده است.

فصل دوم: در این فصل ابتدا به تعریف اصطلاحات استفاده شده در پایان‌نامه و مرور بر ادبیات موضوع در زمینه ارائه سرویسهای جانبی و همچنین انرژی پرداخته شده است. در این فصل ساختار جدید بازار برق معرفی و مسائل اقتصادی که امروزه در بازارهای برق مطرح است بیان شده است. سرویسهای جانبی مختلف در این فصل معرفی شده‌اند و روشهای مناقصه این سرویسها بیان شده‌اند و در آخر روشهای مختلف دیسپاچینگ انرژی و رزرو بیان شده‌اند.

فصل سوم: در این فصل ابتدا الگوریتمهای تکاملی بعنوان یکی از الگوریتمهای نوین بهینه‌سازی معرفی و روند پیاده‌سازی آنها بررسی شده‌اند. در این راستا الگوریتم ژنتیک به عنوان روشی که در بخشی از پایان‌نامه جهت بهینه‌سازی از آن استفاده شده است و پارامترهای عمده در اجرای این الگوریتم از قبیل عملگرها و سایر پارامترهای مهم مربوط به اجرای این الگوریتم مورد مطالعه قرار گرفته است.