

اللَّهُمَّ صَلِّ وَسَلِّمْ وَبَارِكْ عَلَى سَيِّدِنَا مُحَمَّدٍ



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق – قدرت

تعیین راهبرد منابع پاسخگوئی بار برای شرکت در بازار ظرفیت

رضا نسائی کلاتی

استاد راهنما:

دکتر محمد کاظم شیخ الاسلامی

زمستان ۱۳۹۳



تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای رضا نسائی کلاقی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان تعیین راهبرد منابع پاسخگویی بار برای شرکت در بازار ظرفیت در تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۱۲ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد قدرت پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمدکاظم شیخ الاسلامی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر حسین سیفی	استاد	
استاد ناظر	دکتر محمدصادق سپاسیان	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر حسین سیفی	استاد	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

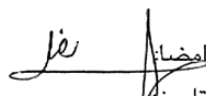
ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود. ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب رضا نسائی کلاتی دانشجوی رشته برق- قدرت ورودی سال تحصیلی ۱۳۹۱ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده برق و کامپیوتر متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضاء: 
تاریخ:
۹۲، ۱۲، ۱۷

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:
«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مهندسی برق قدرت است که در سال ۱۳۹۳ در دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محمدکاظم شیخ الاسلامی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

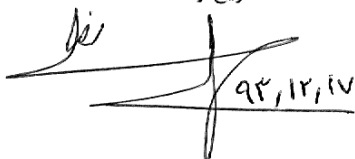
ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتاب های عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب رضا نسائی کلاتی دانشجوی رشته برق-قدرت گرایش سیستم مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: رضا نسائی کلاتی

تاریخ و امضا:


۹۳، ۱۲، ۱۷

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای رابی ماکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا رسید به درخت پر بار وجودشان یاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ
گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم والدینی که بودندشان تاج افتخاری است بر سرم و نشان دلیلی است
بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگاریه، هستی ام بوده اند، دستم را گرفتند و راه رفیق را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب

آموختند

شکر و قدردانی

در ابتدا لازم می‌دانم از جناب آقای دکتر محمد کاظم شیخ الاسلامی به خاطر زحمات و راهنمایی‌های ارزنده ایشان در طول مدت تحصیل این جانب شکر نمایم.

همچنین از سایر اساتید گروه قدرت به ویژه آقایان دکتر محسن پارسا مقدم، دکتر حسین سیفی و دکتر محمود رضاحقی فام کمال شکر و قدردانی را دارم.

چکیده

از مهم‌ترین ویژگی‌های برق به عنوان یک کالای تجارت‌پذیر، عدم امکان ذخیره‌سازی آن در حجم زیاد و نیز تقاضای به شدت متغیر آن در دوره‌های کوتاه‌مدت حتی در طول یک روز است. حفظ قابلیت اطمینان سیستم در سطحی مناسب و اقتصادی از مهم‌ترین اهداف بازارهای برق است که کفایت منابع در بلندمدت شرط لازم برای رسیدن به این هدف است. با توجه به ویژگی‌های برق و مشکلات بازارهای انرژی از قبیل افزایش قیمت‌های انرژی در صورت کمبود ظرفیت و افزایش تقاضا، باید از سازوکاری مناسب برای تأمین کفایت منابع در بلندمدت، استفاده شود. اکنون سازوکار بازار ظرفیت، برای تأمین کفایت منابع در بلندمدت مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به افزایش قیمت حامل‌های انرژی، مسائل زیست‌محیطی، هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری و فرسوده شدن منابع تولیدی، به نظر می‌رسد که باید ترکیب منابع تولیدی در بازار تغییر کند. منابع پاسخگوئی بار و منابع کارایی انرژی، با توجه به فواید اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی که دارند، منابع جدیدی هستند که در بازارهای برق مورد توجه قرار گرفته‌اند.

شرکت منابع پاسخگوئی بار و منابع کارایی انرژی در بازار ظرفیت، موضوعی است که در پژوهش‌های گذشته کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است. در این پایان‌نامه شرکت این منابع در بازار ظرفیت از دید یک فراهم‌کننده‌ی منابع سمت مصرف¹ (CSP)، مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا به مسائلی پرداخته شده است که یک CSP باید برای شرکت در بازار ظرفیت در نظر بگیرد. سپس مدلی برای شرکت منابع سمت مصرف در بازار ظرفیت از دید CSP ارائه شده است. از آنجایی که شرکت منابع سمت مصرف در بازار با عدم قطعیت‌هایی همراه است، در مدل ارائه شده برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها از برنامه‌ریزی تصادفی استفاده شده است. در نهایت شرکت منابع سمت مصرف در بازار ظرفیت از نقطه نظر اقتصادی و در قالب یک مسئله‌ی بهینه‌سازی، مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه: بازار ظرفیت، برنامه‌ریزی تصادفی، منابع سمت مصرف، منابع کارایی انرژی

¹ Curtailment Service Provider

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ه.....	فهرست علایم و نشانه‌ها
ح.....	فهرست جدول‌ها
ی.....	فهرست شکل‌ها
۱.....	فصل ۱- مقدمه.....
۱.....	۱-۱- پیشگفتار
۱.....	۱-۲- ضرورت انجام تحقیق
۲.....	۱-۳- فرضیات تحقیق
۲.....	۱-۴- نوآوری‌های تحقیق
۳.....	۱-۵- ساختار پایان‌نامه
۴.....	فصل ۲- پیشینه‌ی تحقیق.....
۴.....	۲-۱- مقدمه.....
۴.....	۲-۲- بازارهای صرفاً انرژی
۵.....	۲-۳- روش‌های ارائه شده برای جبران پول از دست‌رفته در بازار انرژی
۶.....	۲-۴- سازوکارهای ظرفیت
۷.....	۲-۴-۱- چرا باید بازار ظرفیت داشته باشیم؟.....
۸.....	۲-۵- بازار ظرفیت
۸.....	۲-۵-۱- هدف بازار ظرفیت.....
۸.....	۲-۵-۱-۱- قابلیت اطمینان یا پول از دست‌رفته
۹.....	۲-۵-۲- بازارهای ظرفیت اولیه.....
۱۰.....	۲-۵-۲-۱- تعریف کالا.....
۱۱.....	۲-۵-۳- پیاده‌سازی بازار ظرفیت.....
۱۱.....	۲-۵-۳-۱- گام زمانی اجرای بازار
۱۲.....	۲-۵-۳-۲- روش پاداش‌دهی.....
۱۲.....	۲-۶- عناصر اصلی طراحی موفق بازار
۱۲.....	۲-۶-۱- تعریف کالای ظرفیت.....
۱۳.....	۲-۶-۱-۱- ظرفیت یا قابلیت اطمینان

- ۲-۱-۶-۲ ویژگی‌های کالای ظرفیت ۱۴
- ۲-۱-۶-۳ تعریف کالای ظرفیت ۱۵
- ۲-۶-۲ ظرفیت کل ۱۵
- ۳-۶-۲ مکان ظرفیت ۱۶
- ۲-۳-۶-۱ نیازمندی‌های مکانی ظرفیت ۱۶
- ۴-۶-۲ کاهش ریسک ۱۷
- ۵-۶-۲ قدرت بازار در بازار لحظه‌ای انرژی ۱۷
- ۷-۲ - قیمت‌گذاری ظرفیت ۱۷
- ۲-۷-۱ - قیمت‌گذاری یکنواخت یا غیر یکنواخت ۱۷
- ۸-۲ - بازارهای ظرفیت نصب‌شده در آمریکا ۱۸
- ۲-۸-۱ - بازارهای ظرفیت نصب‌شده ۱۸
- ۲-۸-۲ قراردادهای پیش‌خرید برای ظرفیت ۱۹
- ۳-۸-۲ طرح بازار ظرفیت آتی نیوانگلاند ۲۰
- ۴-۸-۲ مشکلات موجود در مدل FCM و RPM ۲۱
- ۹-۲ - بازار ظرفیت PJM ۲۲
- ۱-۹-۲ نیازمندی‌های متغیر منابع (منحنی تقاضا) ۲۳
- ۲-۹-۲ طرح مدل قیمت‌گذاری قابلیت اطمینان PJM ۲۴
- ۳-۹-۲ حاشیه‌ی رزرو نصب‌شده ۲۵
- ۴-۹-۲ حد مجاز وارد کردن ظرفیت اضطراری ۲۶
- ۵-۹-۲ تقاضا ۲۶
- ۶-۹-۲ منابع ۲۶
- ۷-۹-۲ مزایده‌ها ۲۷
- ۸-۹-۲ عملکرد منابع ۲۷
- ۹-۹-۲ تولیدکننده ۲۸
- ۲-۱۰-۱ - منابع پاسخگوئی بار (DR) ۲۸
- ۲-۱۰-۱-۱ پیشینه‌ی پاسخگوئی بار (DR) ۲۸
- ۲-۱۰-۲ تعریف پاسخگوئی بار ۲۹
- ۳-۱۰-۲ انواع منابع پاسخگوئی بار ۳۱
- ۲-۱۰-۳-۱ - منابع پاسخگوئی بار اضطراری ۳۱
- ۲-۱۰-۳-۲ - منابع پاسخگوئی بار اقتصادی ۳۱
- ۲-۱۰-۳-۳ - منابع پاسخگوئی بار خدمات جانبی ۳۱
- ۲-۱۰-۳-۴ - منابع پاسخگوئی بار قابل توزیع ۳۱

۳۲	۲-۱۰-۳-۵- پاسخگوئی قیمت‌گذاری پویا (منابع پاسخگوئی بار غیر قابل توزیع)
۳۲	۲-۱۱- منابع پاسخگوئی بار در بازار ظرفیت
۳۹	۲-۱۲- نتیجه‌گیری
۴۰	فصل ۳- مدل‌سازی شرکت منابع سمت مصرف در بازار ظرفیت
۴۰	۳-۱- مقدمه
۴۰	۳-۲- تعریف مسئله
۴۱	۳-۳- فرضیات و کلیات طراحی
۴۳	۳-۴- انواع کالاهای ظرفیت
۴۵	۳-۵- انواع نیازمندی‌های ظرفیت و نحوه‌ی تسویه‌ی آن
۴۶	۳-۶- سناریوبندی
۴۷	۳-۷- شبکه‌ی مورد مطالعه
۴۹	۳-۸- نحوه‌ی تعیین قیمت تسویه‌ی بازار
۵۳	۳-۹- مدل مسئله
۵۴	۳-۹-۱- مدل‌سازی ریسک
۵۴	۳-۹-۲- تابع هدف
۵۸	۳-۹-۳- قیود حاکم بر مسئله
۶۰	۳-۱۰- نتیجه‌گیری
۶۱	فصل ۴- شبیه‌سازی و نتایج عددی
۶۱	۴-۱- مقدمه
۶۱	۴-۲- شبکه‌ی مورد مطالعه
۶۲	۴-۳- تعریف مسئله
۶۲	۴-۴- انواع نیازمندی‌های ظرفیت
۶۳	۴-۵- سناریوبندی
۶۶	۴-۶- مقادیر در نظر گرفته شده برای پارامترها
۶۷	۴-۷- نتایج حاصل از شبیه‌سازی
۶۷	۴-۷-۱- تسویه‌ی نیازمندی‌ها با منابع با کیفیت یکسان (حالت اول)
۷۱	۴-۷-۲- تسویه‌ی نیازمندی‌ها با منابع با کیفیت بالاتر (حالت دوم)
۷۶	۴-۷-۳- تعیین قیمت تسویه‌ی بازار توسط منحنی VRR (حالت سوم)
۸۰	۴-۸- نتیجه‌گیری

فصل ۵ - نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....	۸۱
۵-۱ - نتیجه‌گیری.....	۸۱
۵-۲ - پیشنهادات.....	۸۲

فهرست علائم و نشانه‌ها

علائم اختصاری	عنوان
i	اندیس نشان‌دهنده‌ی هر ناحیه
j	اندیس نشان‌دهنده‌ی نیازمندی‌ها
k	اندیس نشان‌دهنده‌ی نوع کالای ظرفیت
w	اندیس نشان‌دهنده‌ی سناریوها
g	اندیس نشان‌دهنده‌ی منابع
P_{ICAP}^{DR}	ظرفیت نصب‌شده برای منابع پاسخگوئی بار
P_{ICAP}^{EE}	ظرفیت نصب‌شده برای منابع کارایی انرژی
$P_{NLcurtail}^{DR}$	مقدار نامی کاهش بار برای منابع پاسخگوئی بار
$P_{NLcurtail}^{EE}$	مقدار نامی کاهش بار برای منابع کارایی انرژی
P_{UCAP}^{DR}	ظرفیت غیر اجباری منابع پاسخگوئی بار
P_{UCAP}^{EE}	ظرفیت غیر اجباری منابع کارایی انرژی
Fa_{DR}	ضریب منابع سمت مصرف برای محاسبه‌ی ظرفیت غیر اجباری (UCAP)
FPR	حاشیه‌ی رزرو در نظر گرفته شده برای سال تحویل
MCP_{ij}	قیمت تسویه بازار برای نیازمندی j در ناحیه‌ی i
λ_{ik}	قیمت پیشنهادی منبع با کالای ظرفیت k در ناحیه‌ی i
D_{ij}	میزان نیازمندی ظرفیت j در ناحیه‌ی i
Pr_i	متغیر نشان‌دهنده‌ی محور (محور عمودی) مربوط به قیمت منحنی VRR در ناحیه‌ی i
P_{di}	متغیر نشان‌دهنده‌ی محور (محور افقی) مربوط به ظرفیت منحنی VRR در ناحیه‌ی i
$P_{ij}(x)$	میزان ظرفیت تسویه‌شده‌ی نیازمندی j در ناحیه‌ی i
P_{EEi}	مقدار ظرفیت تسویه‌شده‌ی منابع کارایی انرژی در ناحیه‌ی i
P_{ik}	مقدار ظرفیت تسویه‌شده‌ی منابع پاسخگوئی بار دارای کالای ظرفیت k ، در ناحیه‌ی i
N_P	تعداد کالاهای ظرفیت عرضه شده بوسیله‌ی منابع پاسخگوئی بار در ناحیه‌ی i
N_{Ω}	تعداد سناریوها
α	پارامتر نشان‌دهنده‌ی یک سطح اطمینان مربوط به تابع شاخص ریسک
π_w	احتمال رخ دادن هر سناریو
ζ	متغیر نشان‌دهنده‌ی مقدار مشخصی سود

η_w	متغیر مثبت نشان‌دهنده‌ی مقدار فزونی ζ از سود واقعی در سناریو w
F	تابع هدف
R	درآمد مربوط به شرکت در بازار ظرفیت
C	هزینه‌ی مربوط به شرکت در بازار ظرفیت
β	ضریب وزن‌دهی مربوط به تابع شاخص ریسک تابع هدف
γ_{ik}^w	متغیر باینری نشان‌دهنده‌ی پذیرش پیشنهاد عرضه‌ی منابع پاسخگوئی بار در ناحیه‌ی i
γ_{EEi}^w	متغیر باینری نشان‌دهنده‌ی پذیرش پیشنهاد عرضه‌ی منابع کارایی انرژی در ناحیه‌ی i
λ_{EEi}^w	قیمت تسویه بازار منابع کارایی انرژی در ناحیه‌ی i و سناریو w
P_{EEi}^w	مقدار ظرفیت تسویه‌شده‌ی منابع کارایی انرژی در سناریو w و ناحیه‌ی i
P_{Gik}^w	میزان ظرفیت تسویه‌شده از کالای ظرفیت k در سناریو w و ناحیه‌ی i
λ_{Pik}^w	قیمت تسویه‌ی بازار برای کالای ظرفیت k در سناریو w و ناحیه‌ی i
β_g^{CSR}	متغیر باینری نشان‌دهنده‌ی پذیرش پیشنهاد عرضه‌ی منبع g در بازار
P_{ikg}^w	مقدار ظرفیت تسویه‌شده از کالای ظرفیت k و منبع g در سناریو w و ناحیه‌ی i
C_{penDR}	جریمه‌ی ناشی از عدم عمل به تعهدات توسط منابع پاسخگوئی بار
C_{penEE}	جریمه‌ی ناشی از عدم عمل به تعهدات توسط منابع کارایی انرژی
$\alpha_{pen,ik}^w$	متغیر باینری مربوط به جریمه‌ها در سناریو w و ناحیه‌ی i برای منابع پاسخگوئی بار
α_{penEEi}^w	متغیر باینری مربوط به جریمه‌ها در سناریو w و ناحیه‌ی i برای منابع کارایی انرژی
C_{PEE}	هزینه‌ی سرمایه‌گذاری برای منابع کارایی
C_{CDR}	هزینه‌ی تأمین منابع سمت مصرف
λ_{ki}^C	قیمت پرداختی به مصرف‌کنندگان مشتاق در ناحیه‌ی i به ازای هر MW
P_{Cik}	میزان ظرفیت فراهم‌شده از کالای ظرفیت k در ناحیه‌ی i و سناریو w
$P_{pen,ik}^w$	مقدار ظرفیت تأمین نشده در سناریو w و ناحیه‌ی i توسط منابع سمت مصرف
P_{penEEi}^w	مقدار ظرفیت تأمین نشده در سناریو w و ناحیه‌ی i توسط منابع کارایی انرژی
μ_{ik}^w	درصد تأمین نشده‌ی ظرفیت تعهدشده توسط منابع سمت مصرف در سال تحویل و ناحیه‌ی i
μ_{EEi}^w	درصد تأمین نشده‌ی ظرفیت تعهدشده توسط منابع کارایی انرژی در سال تحویل و ناحیه‌ی i
T_k^w	دوره‌ی زمانی عدم تأمین کامل تعهدات توسط منابع سمت مصرف
T_{EE}^w	دوره‌ی زمانی عدم تأمین کامل تعهدات توسط منابع کارایی انرژی
Pr_{peni}^w	نرخ جریمه برای منابع سمت مصرف در سناریو w و ناحیه‌ی i
Pr_{penEEi}^w	نرخ جریمه برای منابع کارایی انرژی در سناریو w و ناحیه‌ی i

C_{Daily}	جریمه‌ی روزانه
P_{short}	میزان کمبود ظرفیت منابع کارایی انرژی (بر حسب MW)
Pr_{Daily}	نرخ جریمه بر حسب \$/MW-day
RCP_{AWP}	میانگین وزن‌دهی شده‌ی قیمت تسویه‌ی بازار ظرفیت
$Pr_{f,i}^w$	میانگین قیمت بازار پیش‌رو (\$/MW-hour) در ناحیه‌ی i
$Pr_{EEf,i}^w$	میانگین وزن‌دهی شده‌ی قیمت بازار پیش‌رو بر حسب \$/MW-day در ناحیه‌ی i
P_E	میزان کل ظرفیت موجود در داخل ناحیه‌ی i برای نیازمندی z
P_I	میزان کل ظرفیت وارده به ناحیه‌ی i برای نیازمندی z
P_{LD}	میزان تقاضا برای هر نیازمندی z در ناحیه‌ی i
$P_{CR,ikg}$	میزان ظرفیت مربوط به منبع عرضه‌کننده‌ی کالای ظرفیت k موجود در داخل ناحیه‌ی i
L_I	حد مجاز انتقال ظرفیت به ناحیه‌ی i
P_{LDS}	میزان تقاضای تسویه‌شده‌ی مناسب برای نیازمندی z در ناحیه‌ی i
β_g^{CSR}	متغیر باینری نشان‌دهنده‌ی پذیرش یا عدم پذیرش منبع در بازار
P_g^{\max}	حداکثر ظرفیت منبع g
P_g^{\min}	حداقل ظرفیت منبع g
ρ_{ik}	درصدی از ظرفیت فراهم‌شده برای کالای k در ناحیه‌ی i

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲: ظرفیت تعهدشده‌ی منابع مدیریت مصرف، عملکرد و نتایج منطقه‌ای (ICAP) در ۲۰۱۰-۲۰۰۹	۳۵
جدول ۲-۲: مقادیر ظرفیت تعهدشده و تأمین‌شده برای هر منطقه (ICAP) در سال ۲۰۱۰-۲۰۰۹	۳۶
جدول ۳-۲: درآمد ماهانه‌ی منابع پاسخگویی بار اضطراری در بازار ظرفیت PJM (سال ۲۰۱۳)	۳۸
جدول ۴-۲: ظرفیت تعهدشده‌ی منابع مدیریت مصرف، عملکرد و نتایج منطقه‌ای (ICAP) در سال ۲۰۱۲	۳۹
جدول ۱-۳: شایستگی منابع برای تسویه‌ی نیازمندی‌ها	۴۵
جدول ۱-۴: انواع منابع، کالای عرضه‌شده توسط هر منبع و محل منبع	۶۲
جدول ۲-۴: مقدار نیازمندی‌ها برای مناطق مختلف	۶۳
جدول ۳-۴: سناریوهای مربوط به منابع کارایی انرژی در هنگام مزایده	۶۳
جدول ۴-۴: سناریوهای مربوط به منابع کارایی انرژی در سال تحویل برای تعیین جریمه	۶۳
جدول ۵-۴: سناریوهای مربوط به عدم تأمین تعهدات توسط منابع سالیانه، تابستانی و محدود در سال تحویل	۶۴
جدول ۶-۴: سناریوهای مربوط به قیمت بازار روزفروش در سال تحویل و فصل فراخوانی منبع پاسخگویی بار	۶۵
جدول ۷-۴: سناریوهای مربوط به قیمت بازار روزفروش در سال تحویل و فصل فراخوانی منبع کارایی انرژی	۶۵
جدول ۸-۴: نوع منابع و سناریو قیمت‌های هر منبع (\$/MWday)	۶۵
جدول ۹-۴: مشخصات منحنی VRR برای RTO و LDA	۶۶
جدول ۱۰-۴: ظرفیت منابع در حالت اول	۶۷
جدول ۱۱-۴: میزان ظرفیت تسویه‌شده‌ی منابع در حالت اول (مقدار مجاز ورود ظرفیت ۷۰ MW)	۶۸
جدول ۱۲-۴: میزان تسویه‌شده برای هر نیازمندی و قیمت تسویه‌ی بازار برای سناریوی ۴ در حالت اول	۶۹
جدول ۱۳-۴: نتایج مربوط به منابع کارایی انرژی برای سناریوی ۴ در حالت اول	۷۰
جدول ۱۴-۴: هزینه‌ی ناشی از جریمه برای منابع در سال تحویل به دلیل عدم انجام تعهدات	۷۰
جدول ۱۵-۴: قیمت پرداختی به مصرف‌کنندگان توسط CSP برای تأمین منابع در حالت اول	۷۱

- جدول ۴-۱۶: هزینه‌ی تأمین منابع، هزینه‌ی منابع کارایی انرژی و هزینه‌ی کلی در حالت اول ۷۱
- جدول ۴-۱۷: مقادیر تابع هدف، سود و شاخص ریسک در حالت اول ۷۱
- جدول ۴-۱۸: ظرفیت منابع در حالت دوم ۷۲
- جدول ۴-۱۹: میزان ظرفیت تسویه‌شده‌ی منابع در حالت دوم (مقدار مجاز ورود ظرفیت MW ۰) ۷۳
- جدول ۴-۲۰: میزان تسویه‌شده برای هر نیازمندی و قیمت تسویه‌ی بازار برای سناریوی ۱۱۲ در حالت دوم ۷۴
- جدول ۴-۲۱: هزینه‌ی ناشی از جریمه برای منابع در سال تحویل به دلیل عدم انجام تعهدات ۷۴
- جدول ۴-۲۲: مقادیر تابع هدف، سود و شاخص ریسک در حالت دوم ۷۵
- جدول ۴-۲۳: مقدار نیازمندی‌ها برای مناطق مختلف برای حالت سوم ۷۶
- جدول ۴-۲۴: ظرفیت منابع در حالت سوم ۷۶
- جدول ۴-۲۵: میزان ظرفیت تسویه‌شده‌ی منابع در حالت سوم (مقدار مجاز ورود ظرفیت MW ۰) ۷۷
- جدول ۴-۲۶: میزان تسویه‌شده برای هر نیازمندی و قیمت تسویه‌ی بازار برای سناریوی ۵۳ ۷۷
- جدول ۴-۲۷: هزینه‌ی ناشی از جریمه برای منابع در سال تحویل به دلیل عدم انجام تعهدات ۷۸
- جدول ۴-۲۸: مقادیر تابع هدف، سود و شاخص ریسک در حالت سوم ۷۸
- جدول ۴-۲۹: سود و شاخص ریسک برای ظرفیت‌های مختلف منابع کارایی انرژی ($\beta=1$) ۸۰

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۰.....	شکل ۱-۲: خروجی‌های رقابتی و غیر رقابتی در بازارهای ظرفیت اولیه
۱۵.....	شکل ۲-۲: منحنی تقاضا در بازار ظرفیت PJM
۳۷.....	شکل ۳-۲: پیشینه مشارکت انواع منابع مدیریت مصرف در PJM (UCAP)
۴۱.....	شکل ۱-۳: میزان ظرفیت موجود و تسویه‌شده‌ی منابع سمت مصرف و قیمت تسویه در PJM
۴۲.....	شکل ۲-۳: ظرفیت ثبت نام شده‌ی بخش‌های تجاری در بازار PJM برای سال تحویل ۲۰۱۳-۲۰۱۴
۴۸.....	شکل ۳-۳: نمونه‌ای از ترکیب سناریوها برای به دست آوردن سناریوهای نهایی
۴۹.....	شکل ۴-۳: نمونه‌ای از شبکه‌ی مورد مطالعه (شبکه‌ی تست)
۵۰.....	شکل ۵-۳: منحنی تقاضا (VRR) و نیازمندی‌های سالیانه و تابستانی نمونه
۶۱.....	شکل ۱-۴: شبکه‌ی استفاده‌شده در مدل
۷۲.....	شکل ۲-۴: نمودارهای تابع هدف و سود بر حسب شاخص ریسک در حالت اول
۷۲.....	شکل ۳-۴: مقادیر تابع هدف، سود و شاخص ریسک در حالت اول
۷۵.....	شکل ۴-۴: مقادیر تابع هدف و سود مورد انتظار بر حسب شاخص ریسک در حالت دوم
۷۵.....	شکل ۵-۴: مقادیر سود و شاخص ریسک برای LDA با محدودیت انتقال و بدون محدودیت انتقال
۷۶.....	شکل ۶-۴: تابع هدف، سود و شاخص ریسک در حالت دوم
۷۸.....	شکل ۷-۴: تابع هدف و سود بر حسب شاخص ریسک در حالت سوم
۷۹.....	شکل ۸-۴: تابع هدف، سود و شاخص ریسک در حالت سوم
۷۹.....	شکل ۹-۴: مقادیر سود و شاخص ریسک برای سه حالت مختلف

فصل ۱ - مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

مهم‌ترین ویژگی‌های برق به عنوان یک کالای تجارت‌پذیر، عدم امکان ذخیره‌سازی آن در حجم زیاد و نیز تقاضای به شدت متغیر آن در دوره‌های کوتاه‌مدت حتی در طول یک روز است. این ویژگی‌ها همراه با زمان‌بر بودن تاسیس، قیمت‌نهایی برق و مسایل زیست‌محیطی ناشی از تولید انرژی الکتریکی باعث شده است که دیگر نتوان از بازار برق نام برد. بلکه آن‌چه باید مورد توجه قرار گیرد، بازارهایی است که در کنار بازار انرژی وظیفه‌ی تأمین ظرفیت لازم برای تولید برق را بر عهده دارند. به عبارت دیگر برای حفظ پایایی سیستم در بلندمدت، باید راه‌کارهایی اندیشیده شود [۱، ۲].

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

با توجه به مشکلات موجود در بازارهای انرژی، مسائل زیست‌محیطی، بالا رفتن قیمت حامل‌های انرژی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری و همچنین الزام تأمین معیارهای قابلیت اطمینان، به نظر می‌رسد که حضور منابع سمت مصرف در بازارهای انرژی و به خصوص بازار ظرفیت از مباحث جدیدی خواهد بود که در عمل مورد توجه قرار خواهد گرفت [۳].

امروزه به دلیل مشکلات اشاره شده و رفع این مشکلات، در بیشتر بازارهای بزرگ برق، از سازوکار بازارهای ظرفیت برای رسیدن به سطح قابلیت اطمینان مناسب استفاده می‌کنند. این سازوکار علاوه بر این که یک زنجیره‌ی درآمدی مناسب را برای شرکت‌کنندگان در بازار فراهم می‌کند، این امکان را به شرکت‌کنندگان می‌دهد تا در محیطی سالم و رقابتی و در شرایط یکسان، با یکدیگر به رقابت بپردازند. همچنین این سازوکار علاوه بر این که منابع را بر اساس شایستگی آن‌ها انتخاب می‌کند، دست بهره‌بردار را برای انتخاب معیارهای مناسب‌تر زیست‌محیطی و دیگر معیارها باز می‌گذارد.

با توجه به مشکلات جدی مربوط به مسائل زیست‌محیطی و همچنین افزایش قیمت حامل‌های انرژی و هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری، امروزه برنامه‌های مدیریت انرژی و کاهش مصرف، به طور خاص در بازارهای برق مورد توجه قرار گرفته است. راه‌کارهای متفاوتی در بازارهای مختلف برق، برای شرکت دادن مصرف‌کنندگان مشتاق به کاهش مصرفشان، به کار گرفته شده است. در واقع، در بیش‌تر تحقیقات انجام شده این مصرف‌کنندگان به عنوان یک منبع تأمین توان در نظر گرفته شده‌اند که می‌توانند در بازارهای مختلف شرکت کنند و به رقابت با سایر منابع تولیدی بپردازند.

استفاده از منابع سمت مصرف فواید زیادی از قبیل به تأخیر انداختن سرمایه‌گذاری، فواید زیست‌محیطی و غیره دارد؛ بنابراین پیش‌بینی می‌شود که در آینده‌ی نزدیک سرمایه‌گذاری خوبی در این زمینه صورت پذیرد، هر چند که در حال حاضر بازارهای بزرگی از قبیل بازار PJM، در بازارهای مختلف خود از منابع سمت مصرف به صورت عملی استفاده می‌کند [۳-۶].

مهم‌ترین فایده‌ی ترغیب مصرف‌کنندگان به کاهش مصرف خود و شرکت در بازارهای مختلف، این است که مصرف‌کننده به طور کاملاً اختیاری و به دور از هر گونه اجباری میزان مصرف خود را کاهش می‌دهد، که این موضوع بر عکس قطع اجباری مصرف، به دلیل عدم تعادل تولید و تقاضا، باعث اعتراضات مردمی و پیامدهای ناخوشایند اجتماعی نمی‌شود. همچنین در ساعات اوج بار، شبکه با کمبود تولید روبرو نمی‌شود و نیازی به وارد کردن واحدهای با کیفیت پایین و آلاینده‌ی زیاد، نیست. البته به کارگیری منابع سمت مصرف^۱ مستلزم زیر ساخت‌های خاص و فناوری هوشمندسازی است، که مصرف‌کنندگان از قیمت بازار و سیگنال‌های بهره‌بردار سیستم مبنی بر شرایط شبکه و درخواست بهره‌بردار برای زمان و مدت کاهش مصرف، در زمان‌های مختلف اطلاع پیدا کنند [۷]. به هر حال منابع سمت مصرف دارای مزایا و فواید اجتماعی و اقتصادی فراوانی است که توجه بازارهای مختلف را به خود جلب کرده است.

۱-۳- فرضیات تحقیق

- در این پژوهش از سازوکار بازار ظرفیت استفاده خواهد شد.
 - قوانین کلی حاکم بر بازار ظرفیت مورد نظر در این پژوهش، منطبق بر قوانین بازار ظرفیت PJM خواهد بود.
 - منابع سمت مصرف به عنوان واحدهای تأمین‌کننده‌ی توان منفی در نظر گرفته خواهند شد.
- فرضیات تکمیلی متناسب با بحث، در فصل ۳ آورده شده است.

۱-۴- نوآوری‌های تحقیق

- تعیین راهبرد منابع سمت مصرف برای شرکت در بازار ظرفیت
- مدل‌سازی هم‌زمان منابع سمت مصرف و منابع کارایی انرژی

¹ Demand Response Resource (DRR)