دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بسمه تعالی

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

آقای مرتضی میردار پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **برنامه ریزی نیروگاه مجازی برای شرکت در بازارهای خدمات جانبی** در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۲۶ 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 مشاور	دکتر حسین سیفی	استاد	
استاد ناظر	دکتر محسن پارسامقدم	استاد	
استاد ناظر	دکتر حسن قاسمی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محسن پارسامقدم	استاد	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تائید است
امضای استاد راهنما
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
دانشگاه تربیت مدرس

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

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی 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 هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی : **مرتضی میردار**

امضاء

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (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 می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» 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 ۱۳۹۰ در دانشکده **مهندسی برق و کامپیوتر** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر **محمدکاظم شیخ‌الاسلامی**، مشاوره جناب آقای دکتر **حسین سیفی** از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

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

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

ماده ۶: اینجانب **مرتضی میردار** دانشجوی رشته **مهندسی برق قدرت** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: **مرتضی میردار**

تاریخ و امضا:

دانشگاه تربیت مدرّس
دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق–قدرت

برنامه‌ریزی نیروگاه مجازی برای شرکت در بازارهای خدمات جانبی

مرتضی میردار

استاد راهنما:

دکتر محمدکاظم شیخ‌الاسلامی

استاد مشاور:

دکتر حسین سیفی

بهمن ۱۳۹۰

تقدیم

به آنکه آفتاب مهرش در آستانه قلبم، همچنان پابرجاست و هرگز غروب نخواهد کرد. به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر.

به او که نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی اش. به پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم.

به امید بخش جانم که آسایش او آرامش من است. همسرم، اسطوره زندگیم، پناه خستگیم و امید بودنم.

اگر در خور تقدیم باشد...

مرا عهدی است با جانان که تا جان در بدن دارم　　هواداران کویش را چو جان خویشتن دارم

از اساتید ارجمند، جناب آقای دکتر محمد کاظم شیخ الاسلامی و جناب آقای دکتر حسین سیفی به خاطر راهنمایی های ارزنده ایشان و به خاطر انتقال تجارب گرانقدرشان به اینجانب در طول دوران تحصیل، کمال تشکر و قدردانی را دارم که افزون بر مسیر علم، مسیر زندگی را نیز بر اینجانب روشن و میسر نمودند.

هم چنین، بر خود فرض می دارم که از دیگر اساتید گران قدر و محترم گروه قدرت دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس، آقایان دکتر محسن پارسا مقدم، دکتر محمودرضا حقی فام، دکتر مصطفی محدیان و دکتر علی یزدیان صمیمانه قدردانی نمایم. همواره خود را مدیون زحمات ارزنده آنان می دانم و سربلندی و توفیق روزافزون آنان را از خداوند منان مسئلت می نمایم.

از اساتید گرامی، آقایان دکتر محسن پارسا مقدم و دکتر حسن قاسمی، به خاطر ارزیابی پایان نامه اینجانب، تشکر و سپاس گزارم.

از خانواده عزیزم، بسیار سپاس گزارم که حمایت های همه جانبه و بی دریغ شان، همواره همراه و یاورم بوده است. سلامتی و سربلندی شان را از خداوند متعال خواستارم. از همه هم کلاسی ها، هم آزمایشگاهی ها و هم اتاقی های عزیزم نیز بخاطر کلیه زحماتشان صمیمانه متشکرم.

چکیده

منابع انرژی پراکنده به تنهایی انعطاف‌پذیری، قابلیت کنترل و ظرفیت کافی برای شرکت در بازار برق را ندارند. با تجمیع این منابع در قالب نیروگاه مجازی، می‌توان این مشکل را برطرف کرد. منابع انرژی پراکنده به کمک مفهوم نیروگاه مجازی به بازار برق دسترسی پیدا می‌کنند و قابل رویت می‌شوند. یکی از اهداف انجام این پایان‌نامه برنامه‌ریزی نیروگاه مجازی تجاری در بازارهای هم‌زمان انرژی، تنظیم، ذخیره‌ی چرخان و ذخیره‌ی غیرچرخان است. سبد تولید نیروگاه مجازی تجاری مفروض شامل منابع تولید پراکنده، ذخیره‌کننده‌های الکتروشیمیایی و بارهای قابل قطع است. مسئله‌ی نیروگاه مجازی به شکل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح مدل شده است. در این راستا یک مدل خطی عددصحیح برای ذخیره‌کننده-های الکتروشیمیایی پیشنهاد شده است. هر منبع انرژی پراکنده در سبد سهام نیروگاه مجازی تجاری ممکن است در مناطق جغرافیایی مختلفی باشد. بنابراین نیروگاه مجازی تجاری قیود شبکه‌ی توزیع را در نظر نمی‌گیرد (تنها قیود بهره‌برداری از منابع انرژی پراکنده را در نظر می‌گیرد). نتایج شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار گمز انجام می‌شود. این نتایج درستی روش پیشنهادی را نشان می‌دهند.

هدف دیگر این پایان‌نامه برنامه‌ریزی نیروگاه مجازی فنی می‌باشد. بهره‌بردار سیستم توزیع به عنوان نیروگاه مجازی فنی در نظر گرفته شده است. مهمترین وظیفه‌ی نیروگاه مجازی فنی برقراری قیود شبکه-ی توزیع است. روش پیشنهادی برای نیروگاه مجازی فنی برقراری قیود شبکه با حداقل انحراف از توان-های برنامه‌ریزی‌شده توسط نیروگاه‌های مجازی تجاری است. بدین منظور مسئله به کمک آنالیز حساسیت و با هدف کمینه‌سازی انحراف از توان‌های برنامه‌ریزی شده و با درنظر گرفتن قیود بهره‌برداری از منابع و قیود شبکه‌ی توزیع به صورت تابع هدف حداقل مربعات و قیود خطی مدل شده است. نتایج شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار متلب انجام می‌شود. این نتایج درستی روش پیشنهادی را نشان می‌دهند.

کلیدواژه: آنالیز حساسیت، بازار انرژی، بازار تنظیم، بازار ذخیره، برنامه‌ریزی حداقل مربعات با قیود خطی، برنامه‌ریزی خطی عددصحیح، نیروگاه مجازی تجاری، نیروگاه مجازی فنی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۲- تاریخچه و هدف از نگارش پایان‌نامه ۳

فصل ۲- یکپارچه‌سازی منابع تولید پراکنده ۷

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- شبکه‌های توزیع فعال و غیرفعال ۷

۲-۳- انواع روش‌های یکپارچه‌سازی منابع تولید پراکنده ۹

۲-۳-۱- ریز شبکه ۹

۲-۳-۱-۱- ریزشبکه‌ی اروپایی ۱۱

۲-۳-۲- مرکز فعالیت انرژی ۱۳

۲-۳-۳- نیروگاه مجازی ۱۴

۲-۳-۳-۱- مفهوم نیروگاه مجازی ۱۶

۲-۳-۳-۲- انواع بهره‌برداری از نیروگاه مجازی ۱۹

۲-۳-۳-۲- تعامل بین نیروگاه مجازی فنی و نیروگاه مجازی تجاری ۲۳

۲-۴- گذری بر تحقیقات انجام شده در این زمینه ۲۵

۲-۵- چارچوب تحقیق ۲۹

۲-۶- نتیجه‌گیری ۳۰

فصل ۳- برنامه‌ریزی نیروگاه مجازی ۳۱

۳-۱- مقدمه ۳۱

۳-۲- برنامه‌ریزی نیروگاه مجازی تجاری در بازار روز-پیش ۳۱

۳-۳- برنامه‌ریزی نیروگاه مجازی فنی در بازار روز-پیش ۳۳

۳-۴- مدل‌سازی ریاضیاتی نیروگاه مجازی تجاری ۳۴

۳-۴-۱- مدل پیشنهادی برای ذخیره‌کننده‌ی الکتروشمیایی ۳۴

۳-۴-۲- تابع هدف ۳۶

۳-۴-۲-۱- محاسبه‌ی درآمد نیروگاه مجازی ۳۷

۳-۴-۲-۲- محاسبه‌ی هزینه‌ی نیروگاه مجازی ۳۹

۳-۴-۳- قیود بهره‌برداری ۴۲

۳-۴-۳-۱- قیود فنی تولیدات پراکنده ۴۲
۳-۴-۳-۲- قیود فنی ذخیره‌کننده‌ها ۴۷
۳-۴-۳-۳- قیود فنی بارهای قابل قطع..... ۴۸
۳-۴-۳-۴- قیود تعادل ۴۹
۳-۴-۴- خطی‌سازی تابع هزینه‌ی کاو ۴۹
۳-۴-۵- حل مسئله برنامه‌ریزی نیروگاه مجازی تجاری ۵۱
۳-۵- مدل‌سازی ریاضیاتی نیروگاه مجازی فنی..... ۵۱
۳-۵-۱- ساختار داخلی پیشنهادی برای نیروگاه مجازی فنی ۵۱
۳-۵-۲- متغیرهای کنترلی..... ۵۳
۳-۵-۳- محاسبه‌ی بردارهای ضرایب حساسیت..... ۵۵
۳-۵-۴- محاسبه‌ی بردار ضرایب حساسیت انحراف از ولتاژ..... ۵۵
۳-۵-۴-۱- محاسبه‌ی بردار حساسیت انحراف تلفات شبکه ۵۶
۳-۵-۴-۲- محاسبه‌ی بردار حساسیت انحراف جریان..... ۵۷
۳-۵-۵- تابع هدف ۵۸
۳-۵-۶- قیود ۶۰
۳-۵-۶-۱- قیود توان مجازی ۶۱
۳-۵-۶-۲- محدوده‌ی توان مبادلاتی با شبکه انتقال ۶۲
۳-۵-۶-۳- قیود ولتاژ شین‌ها و جریان خطوط ۶۳
۳-۵-۶-۴- قیود بهره‌برداری منابع انرژی پراکنده ۶۳
۳-۵-۷- حل مسئله برنامه‌ریزی نیروگاه مجازی فنی ۶۴
۳-۶- نتیجه‌گیری ۶۴

فصل ۴- مطالعات عددی ۶۵

۴-۱- مقدمه ۶۵
۴-۲- معرفی نیروگاه مجازی تجاری مطالعه‌شده..... ۶۵
۴-۳- ارزیابی مدل پیشنهادی برای نیروگاه مجازی تجاری ۶۹
۴-۳-۱- شرکت نیروگاه مجازی تجاری در بازار انرژی- سناریوی اول ۶۹
۴-۳-۲- شر کت نیروگاه مجازی تجاری در بازارهای انرژی و خدمات جانبی ۷۴
۴-۴- معرفی نیروگاه مجازی فنی مطالعه‌شده..... ۷۷
۴-۵- ارزیابی مدل پیشنهادی برای نیروگاه مجازی فنی ۸۱
۴-۵-۱- سناریوی اول- بررسی قیود ولتاژ با فرض مرز برابر با ۰/۰۲ ..... ۸۲
۴-۵-۲- سناریوی دوم- بررسی قیود ولتاژ با فرض مرز برابر با ۰/۰۱ ..... ۸۲
۴-۵-۳- سناریوی سوم- بررسی قیود جریان با فرض مرز برابر با ۰/۰۱ ..... ۸۵

۴-۶- نتیجه‌گیری ۸۶
فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ : مثال‌هایی از پارامترهای به کار رفته‌ی ژنراتورها و بارهای کنترل‌پذیر در مشخصه‌بندی‌کردن VPP. ۱۸
جدول ۴-۱: پارامترهای بهره‌برداری از منابع تولید پراکنده ۶۷
جدول ۴-۲ : پارامترهای بهره‌برداری از ذخیره‌کننده‌های الکتروشیمیایی ۶۷
جدول ۴-۳ : پارامترهای بهره‌برداری از بارهای قابل قطع ۶۷
جدول ۴-۴: توافقات بین نیروگاه مجازی تجاری و تقاضاها- قیمت پیش‌بینی‌شده برای بازار انرژی و خدمات جانبی ۶۸
جدول ۴-۵: وضعیت شارژ ذخیره‌کننده‌های الکتروشیمیایی در سناریوی اول ۶۹
جدول ۴-۶ : وضعیت دشارژ ذخیره‌کننده‌های الکتروشیمیایی در سناریوی اول ۷۰
جدول ۴-۷: برنامه‌ریزی زمانی تولیدات پراکنده برای شرکت در بازار انرژی- ساعات ۱ تا ۱۱ ..... ۷۱
جدول ۴-۸: برنامه‌ریزی زمانی تولیدات پراکنده برای شرکت در بازار انرژی- ساعات ۱۲ تا ۲۴ ..... ۷۲
جدول ۴-۹: پارامترهای منابع انرژی پراکنده برای شرکت در بازارهای خدمات جانبی ۷۴
جدول ۴-۱۰: پارامترهای بهره‌برداری از منابع تولید پراکنده ۷۷
جدول ۴-۱۱: پارامترهای بهره‌برداری از ذخیره‌کننده‌های الکتروشیمیایی ۷۸
جدول ۴-۱۲: توان‌های برنامه‌ریزی‌شده‌ی منابع تولید پراکنده-مخابره شده توسط نیروگاه‌های مجازی تجاری (MWh) ۷۸
جدول ۴-۱۳: مقادیر شارژ و دشارژ ذخیره‌کننده‌ها-مخابره شده توسط نیروگاه‌های مجازی تجاری (kW) ۷۹
جدول ۴-۱۴ : مقادیر پیشنهاد ذخیره‌کننده‌ها به ذخیره‌ی غیرچرخان (kW) ۸۰
جدول ۴-۱۵: حالت شارژ ذخیره‌کننده‌ها- SOC (kW) ۸۱
جدول ۴-۱۶: مقادیر برنامه‌ریزی‌شده و جدید محصولات در ساعت ۱۷ (MW)-سناریو ۱ ..... ۸۳
جدول ۴-۱۷: مقادیر برنامه‌ریزی‌شده و جدید محصولات در ساعت ۱۷ (MW)-سناریو ۲ ..... ۸۳
جدول ۴-۱۸ : مقادیر برنامه‌ریزی‌شده و جدید محصولات در ساعت ۱۷ (MW)-سناریو ۳ ..... ۸۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: تاثیر مدیریت فعال در ظرفیت مورد نیاز سیستم ۲
شکل ۲-۱: معماری کنترل ریزشبکه ۱۲
شکل ۲-۲: یکی از ساختارهای مهم ریزشبکه ۱۲
شکل ۲-۳: مرکز فعالیت انرژی ۱۳
شکل ۲-۴ : مشخصه‌بندی کردن DERها به صورت یک VPP ۱۶
شکل ۲-۵ : ورودی‌ها و خروجی‌های نیروگاه مجازی تجاری..... ۲۰
شکل ۲-۶ : ورودی‌ها و خروجی‌های نیروگاه مجازی فنی ۲۳
شکل ۲-۷: فعالیت‌های TVPP و CVPP در بازار برق و مدیریت سیستم ۲۴
شکل ۳-۱: بهره‌برداری از نیروگاه مجازی تجاری پیشنهادی ۳۲
شکل ۳-۲: بهره‌برداری از نیروگاه مجازی فنی پیشنهادی..... ۳۳
شکل ۳-۳: الگوریتم به کار رفته در نیروگاه مجازی فنی ۵۲
شکل ۴-۱: تجمیع خروجی منابع انرژی پراکنده، مقدار تقاضا و پیشنهاد فروش به بازار انرژی ۷۳
شکل ۴-۲: پیشنهاد فروش نیروگاه مجازی تجاری به بازار انرژی- کمیت و قیمت..... ۷۳
شکل ۴-۳ : پیشنهاد فروش نیروگاه مجازی تجاری به بازار انرژی- کمیت و قیمت..... ۷۶
شکل ۴-۴: پیشنهاد فروش نیروگاه مجازی تجاری به بازارهای ذخیره‌های چرخان و غیرچرخان..... ۷۶
شکل ۴-۵: پیشنهاد فروش نیروگاه مجازی تجاری به بازارهای تنظیم- کمیت و قیمت ۷۷
شکل ۴-۶ :دیاگرام تک خطی شبکه‌ی تست ۸۱
شکل ۴-۷: روند بهبود منحنی ولتاژ شین‌های ۲۸-۱۶ در بازه‌ی زمانی هفدهم-سناریوی اول ۸۴
شکل ۴-۸: روند بهبود منحنی ولتاژ شین‌های ۲۸-۱۶ در بازه‌ی زمانی هفدهم-سناریوی دوم ۸۴
شکل ۴-۹: روند بهبود منحنی جریان شاخه‌های ۹-۱ در بازه‌ی زمانی هفدهم-سناریوی سوم ۸۵

فهرست علائم اختصاری

عنوان	علامت اختصاری
Balancing Responsible Party	BRP
Commercial Virtual Power Plant	CVPP
Distributed Energy Resources	DER
Distribution Management System	DMS
Distribution Network Operator	DNO
Distribution System Operator	DSO
Energy Hub	EH
Information and Communication Technology	ICT
Load Controllers	LC
Local Microgenerator Controllers	MC
MicroGrid	MG
MicroGrid System Central Controller	MGCC
Mixed-Integer Linear Programming	MILP
Non-Spining Reserve Service	NSRS
ReGulation Down Service	RGDS
ReGulation Up Service	RGUS
State Of Charge	SOC
Spining Reserve Service	SRS
Technical Virtual Power Plant	TVPP
Virtual Power Plant	VPP

فهرست نشانه‌ها

اندیس‌ها

dg	اندیس تولیدات پراکنده
int	اندیس بارهای قابل قطع
l	اندیس پله‌های خطی‌سازی
t	اندیس ساعت
str	اندیس ذخیره‌کننده‌های الکتروشیمیایی

پارامترها

β_{dg} ، α_{dg}	پارامترهای ضرایب هزینه‌ی تولید پراکنده
β_{int} ، α_{int}	پارامترهای ضرایب هزینه‌ی بار قابل قطع
β_{str} ، α_{str}	پارامترهای ضرایب هزینه‌ی ذخیره‌کننده
$\lambda_G(t)$	قیمت پیش‌بینی‌شده‌ی بازار انرژی روز- پیش در ساعت t
$\lambda_{NSRS}(t)$	قیمت پیش‌بینی‌شده‌ی بازار ذخیره‌ی غیرچرخان در ساعت t
$\lambda_{RGUS}(t)$	قیمت پیش‌بینی‌شده‌ی بازار تنظیم رو به بالادر ساعت t
$\lambda_{RGDS}(t)$	قیمت پیش‌بینی‌شده‌ی بازار تنظیم رو به پایین در ساعت t
$\lambda_{SRS}(t)$	قیمت پیش‌بینی‌شده‌ی بازار ذخیره‌ی چرخان در ساعت t
$\eta_{str}(str)$	بازده رفت و برگشتی ذخیره‌کننده‌ی str
Ψ	عددی دلخواه که بسیار بزرگتر از ظرفیت ذخیره‌کننده است.
$A(dg)$	هزینه‌ی ثابت تولید پراکنده‌ی dg
C_{RGDS}	هزینه‌ی واحد تنظیم رو به پایین واحد تولید پراکنده
C_{RGUS}	هزینه‌ی واحد تنظیم رو به بالا واحد تولید پراکنده
$D(t)$	مقدار پیش‌بینی‌شده‌ی بار مصرف‌کنندگان در ساعت t
$H(dg,l)$	شیب بلوک lهزینه‌ی متغیر تولید پراکنده‌ی dg
$MDT(dg)$	حداقل زمان توقف منبع تولید پراکنده‌ی dg
$MUT(dg)$	حداقل زمان فعالیت منبع تولید پراکنده‌ی dg
$NSRS_{dg}^{\max}(dg)$	بیشینه خدمت ذخیره‌ی غیرچرخانی است که تولید پراکنده dg

	می‌تواند فراهم کند.
$NSRS_{str}^{\max}(str)$	بیشینه خدمت ذخیره‌ی غیرچرخانی است که ذخیره‌کننده‌ی str می‌تواند فراهم کند.
$P^{max}(dg)$	حداکثر توان قابل تحمل منبع تولید پراکنده‌ی dg در حالت ماندگار
$P^{min}(dg)$	حداقل توان قابل تحمل منبع تولید پراکنده‌ی dg در حالت ماندگار
$P^{stb}(dg)$	بیشینه مقدار توان در حالت آماده‌باش منبع تولید پراکنده‌ی dg
$P_{int}^{max}(int,t)$	بیشینه مجاز مقدار توان قابل قطع int در ساعت t
$R_{ch}(str)$	حداکثر توانی که یک ذخیره‌کننده می‌تواند در مدت یک ساعت شارژ کند.
$R_{dch}(str)$	حداکثر توانی که یک ذخیره‌کننده می‌تواند در مدت یک ساعت دشارژ کند.
$RGDS_{dg}^{max}(dg)$	بیشینه خدمت تنظیم رو به پایینی است که تولید پراکنده dg می‌تواند فراهم کند.
$RGDS_{str}^{\max}(str)$	بیشینه خدمت تنظیم رو به پایینی است که ذخیره‌کننده‌ی str می‌تواند فراهم کند.
$RGUS_{dg}^{max}(dg)$	بیشینه خدمت تنظیم رو به بالایی است که تولید پراکنده dg می‌تواند فراهم کند.
$RGUS_{str}^{\max}(str)$	بیشینه خدمت تنظیم رو به بالایی است که ذخیره‌کننده‌ی str می‌تواند فراهم کند.
Rev_D	درآمد نهایی حاصل از فروش به مصرف‌کنندگان
$RER(t)$	نرخ فروش انرژی به مصرف‌کنندگان در ساعت t
$RD(dg)$	نرخ شیب کاهشی منبع تولید پراکنده‌ی dg
$RU(dg)$	نرخ شیب افزایشی منبع تولید پراکنده‌ی dg
$S_0(dg)$	تعداد بازه‌های زمانی که واحد dg در قبل از ساعت یک خاموش بوده است.
SHC_{dg}	هزینه‌ی خاموش کردن منابع تولید پراکنده
SC_{dg}	هزینه‌ی راه‌اندازی منابع تولید پراکنده

$SD(dg)$	نرخ شیب خاموشی تولید پراکنده‌ی dg
$SOC^{max}(str)$	مقدار بیشینه‌ی حالت شارژ ذخیره‌کننده‌ی str
$SOC^{min}(str)$	مقدار کمینه‌ی حالت شارژ ذخیره‌کننده‌ی str
$SU(dg)$	نرخ شیب افزایشی راه‌اندازی تولید پراکنده‌ی dg
$SRS_{dg}^{\max}(dg)$	بیشینه خدمت ذخیره‌ی چرخانی است که تولید پراکنده dg می‌تواند فراهم کند.
$SRS_{str}^{\max}(str)$	بیشینه خدمت ذخیره‌ی چرخانی است که ذخیره‌کننده‌ی str می‌تواند فراهم کند.
T	تعداد بازه‌های زمانی بازار و برابر با ۲۴ ساعت
$T(l,dg)$	حد بالایی بلوک l در خطی‌سازی تابع هزینه‌ی تولید پراکنده‌ی dg
$U_0(dg)$	تعداد بازه‌های زمانی که واحد dg در قبل از ساعت یک در مدار بوده است.
$X1$	ضریب انتظاری (احتمال) استفاده از خدمت ذخیره‌ی چرخان
$X2$	ضریب انتظاری (احتمال) استفاده از خدمت ذخیره‌ی غیرچرخان
$X3$	ضریب انتظاری (احتمال) استفاده از خدمت تنظیم

متغیرهای دودویی

$ans(str,t)$	زمانی ارزش یک می‌گیرد که ذخیره‌کننده‌ی str در ساعت t خدمت ذخیره فراهم آورد.
$E(l,t,dg)$	زمانی ارزش یک می‌گیرد که توان تولیدی dg در ساعت t، در بلوک l باشد
$d(str,t)$	زمانی ارزش یک می‌گیرد که ذخیره‌کننده‌ی str در ساعت t حال دشارژ باشد.
$m(str,t)$	زمانی ارزش یک می‌گیرد که ذخیره‌کننده‌ی str در ساعت t حال شارژ باشد.
$nd(dg,t)$	زمانی ارزش یک می‌گیرد که تولید پراکنده‌ی dg در ساعت t، تنظیم رو به پایین فراهم کند.
$nu(dg,t)$	زمانی ارزش یک می‌گیرد که تولید پراکنده‌ی dg در ساعت t،

	تنظیم رو به بالا پایین فراهم کند.
$v(dg,t)$	زمانی ارزش یک می‌گیرد که منبع تولید پراکنده dg در ساعت t روشن باشد.
$y(dg,t)$	زمانی ارزش یک می‌گیرد که منبع تولید پراکنده dg در ساعت t راه‌اندازی شود.
$z(dg,t)$	زمانی ارزش یک می‌گیرد که منبع تولید پراکنده dg در ساعت t خاموش شود.

متغیرهای دیگر

$\delta_{dg}(t,dg,l)$	توان تولیدی تولید پراکنده‌ی dg در بلوک l و در ساعت t
$C_{dg}(dg,t)$	تابع هزینه‌ی یک تولید پراکنده‌ی dg در ساعت t
$C_{int}(int,t)$	تابع هزینه‌ی قطع بار int در ساعت t
$C_{str}(int,t)$	تابع هزینه‌ی بهره‌برداری از ذخیره‌کننده‌ی str در ساعت t
$d(dg,t)$	هزینه متغیر خطی-تکه‌ای برای تولید پراکنده‌ی dg در ساعت t
$F(dg)$	تعداد بازه‌های زمانی که واحد dg باید خاموش بماند تا قید حداقل زمان توقف برقرار شود.
$G(dg)$	تعداد بازه‌های زمانی که واحد dg باید روشن بماند تا قید حداقل زمان فعالیت برقرار شود.
OC_{CVPP}	هزینه‌ی بهره‌برداری از نیروگاه مجازی در مدت یک روز
OC_{Demand}	هزینه‌ی خرید از بازار انرژی هنگام ارزانی برق
OC_{dg}	هزینه‌ی بهره‌برداری از تولید پراکنده
OC_{int}	هزینه‌ی بهره‌برداری از بارهای قابل قطع
OC_{str}	هزینه‌ی بهره‌برداری از ذخیره‌کننده‌ها
OC_{VPP}	هزینه‌ی انتظاری بهره‌برداری از نیروگاه مجازی در مدت یک روز
$Profit$	سود انتظاری نیروگاه مجازی در مدت یک روز
$P^{out}(dg,t)$	مقدار توان خروجی هر منبع تولید پراکنده‌ی dg در ساعت t
$P_{ch}(str,t)$	مقدار توان شارژشده‌ی ذخیره‌کننده‌ی str در ساعت t
$P_{dch}(str,t)$	مقدار توان دشارژشده‌ی ذخیره‌کننده‌ی str در ساعت t
$P_{dg}^{bid}(dg,t)$	میزان انتظاری فروش انرژی تولید پراکنده‌ی dg در ساعت t

$P_{dg}^{demand}(dg,t)$	توان اختصاص‌یافته از تولید پراکنده‌ی dg به تقاضا در ساعت t
$P_{dg}^{str}(str,dg,t)$	توان اختصاص‌یافته از تولید پراکنده dg به شارژ ذخیره‌کننده‌ی str در ساعت t
$P_{dg}^{sync}(dg,t)$	مقدار توان سنکرون در دسترس تولید پراکنده‌ی dg در ساعت t
$P_{market}^{demand}(t)$	مقدار توان خریداری‌شده از بازار برای تقاضا
$P_{market}^{str}(str,t)$	مقدار توان خریداری‌شده از بازار برای شارژ ذخیره‌کننده‌ها
$P_{str}^{bid}(str,t)$	میزان انتظاری فروش انرژی ذخیره‌کننده‌ی str در ساعت t
$P_{str}^{demand}(str,t)$	توان اختصاص‌یافته از ذخیره‌کننده‌ی str به تقاضا در ساعت t
$P_{str}^{bid}(str,t)$	میزان انتظاری فروش انرژی ذخیره‌کننده‌ی str در ساعت t
Rev_{CVPP}	درآمد انتظاری نیروگاه مجازی در مدت یک روز
Rev_{E}	درآمد انتظاری حاصل از بازار انرژی
Rev_{NSRS}	درآمد انتظاری حاصل از شرکت در بازار ذخیره‌ی غیرچرخان
Rev_{RGUS}	درآمد انتظاری حاصل از شرکت در بازار تنظیم رو به بالا
Rev_{RGDS}	درآمد انتظاری حاصل از شرکت در بازار تنظیم رو به پایین
Rev_{SRS}	درآمد انتظاری حاصل از شرکت در بازار ذخیره‌ی چرخان
$RGDS_{dg}(dg,t)$	میزان انتظاری فروش تنظیم رو به پایین تولید پراکنده‌ی dg در ساعت t
$RGDS_{str}(str,t)$	میزان انتظاری فروش تنظیم رو به پایین ذخیره‌کننده‌ی str در ساعت t
$RGUS_{dg}(dg,t)$	میزان انتظاری فروش تنظیم رو به بالای تولید پراکنده‌ی dg در ساعت t
$RGUS_{str}(str,t)$	میزان انتظاری فروش تنظیم رو به بالای ذخیره‌کننده‌ی str در ساعت t
$RGUS_{\text{int}}(int,t)$	میزان انتظاری فروش تنظیم رو به بالای بار قابل قطع int در ساعت t
$SOC(str,t)$	حالت شارژ ذخیره‌کننده str در ساعت t
$SRS_{dg}(dg,t)$	میزان انتظاری فروش ذخیره‌ی چرخان تولید پراکنده‌ی dg در ساعت t
$SRS_{str}(str,t)$	میزان انتظاری فروش ذخیره‌ی چرخان ذخیره‌کننده‌ی str در

	ساعت t
$SRS_{\text{int}}(int,t)$	میزان انتظاری فروش ذخیره‌ی چرخان بار قابل قطع int در ساعت t
$NSRS_{dg}(dg,t)$	میزان انتظاری فروش ذخیره‌ی غیرچرخان تولید پراکنده‌ی dg در ساعت t
$NSRS_{str}(str,t)$	میزان انتظاری فروش ذخیره‌ی غیرچرخان ذخیره‌کننده‌ی str در ساعت t
$NSRS_{\text{int}}(int,t)$	میزان انتظاری فروش ذخیره‌ی غیرچرخان بار قابل قطع int در ساعت t

نشانه‌ها در مسئله‌ی نیروگاه مجازی فنی

$\alpha,\beta,\gamma,\lambda,\varsigma,\sigma,$	ضرایب مثبت ارزش‌دهی به قسمت‌های مختلف تابع هدف نیروگاه مجازی تجاری
$\varphi_{\min}(dg)$	کمینه‌ی ضریب توان تولید پراکنده dg
Δ	تغییرات
$\Delta I(b,t)$	تغییرات جریان خط b در ساعت t
$\Delta\underline{NSRS}_{DER}(t)$	بردار تغییرات پیشنهادات ذخیره‌ی چرخان منابع انرژی پراکنده در ساعت t
$\Delta\underline{P}_{DER}(t)$	بردار ستونی تغییرات توان خروجی منابع انرژی پراکنده در ساعت t
$\Delta\underline{Q}(t)$	بردار تغییرات توان خروجی مجازی منابع تولید پراکنده
$\Delta\underline{SRS}_{DER}(t)$	بردار تغییرات پیشنهادات ذخیره‌ی چرخان منابع انرژی پراکنده در ساعت t
$\underline{H}_{b,\underline{P}}$	بردارهای حساسیت انحراف از جریان خطوط ناشی از تغییر در توان حقیقی تولیدی
$\underline{H}_{b,\underline{Q}}$	بردارهای حساسیت انحراف از جریان خطوط ناشی از تغییر در توان مجازی تولیدی
$I^{k}(b,t)$	جریان شاخه‌ی bام شبکه در ساعت t در تکرار kام
$I^{\max}(b)$	بیشینه‌ی جریان مجاز عبوری از شاخه‌ی b
J^{-1}	معکوس ماتریس ژاکوبین شبکه