

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه سمنان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت

تعیین استراتژی بهینه خرده‌فروش برای بازه‌های زمانی

میان مدت و کوتاه مدت با در نظر گرفتن برنامه‌های

پاسخ تقاضا، قراردادهای دوجانبه و بازار حوضچه

نگارش:

مهدی نظری

استاد راهنما :

دکتر اصغر اکبری فرود

مهر ۱۳۹۰

با سپاس فراوان از استاد ارجمند

جناب آقای دکتر اصغر اکبری فرود

تقدیم به پدر، مادر، خواهر و برادران عزیزم

خانواده‌ای که هرچه دارم از اوست

چکیده:

این پایان نامه استراتژی بهینه خردهفروش را برای خرید انرژی از قراردادهای دوجانبه، بازار حوضچه و تعیین قیمت فروش انرژی به مصرف‌کنندگان و نحوه استفاده از قراردادهای بارهای قابل قطع فراهم می‌کند. خرید انرژی از بازار حوضچه و میزان بار قابل قطع مشتریان تصمیمات کوتاه مدت هستند اما میزان خرید انرژی از قراردادهای دوجانبه و تعیین قیمت فروش انرژی تصمیمات میان مدت هستند. در نتیجه لازم است فعالیت‌های خردهفروش به دو برنامه میان مدت و کوتاه مدت تفکیک شوند و تصمیمات کوتاه مدت بر اساس برنامه میان مدت گرفته شوند. برنامه میان مدت ماهانه و برنامه کوتاه مدت روزانه است. برنامه میان مدت یک برنامه تصادفی است که در آن عدم قطعیت قیمت بازار حوضچه و میزان مصرف مشتریان در نظر گرفته شده است. روش پیشنهادی در این پایان نامه بر روی یک حالت واقعی از بازار نوردپول تست شده است و استراتژی خردهفروش در حالت‌های مختلف تست شده است.

کلمات کلیدی: تعیین استراتژی بهینه خردهفروش ، برنامه‌ریزی میان‌مدت ، برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت ، قراردادهای دوجانبه، بازار حوضچه، بارهای قابل قطع، روش مونت کارلو.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۶	فصل دوم: بازار برق
۷	۲-۱- مقدمه
۷	۲-۲- تجدید ساختار در صنعت برق
۸	۲-۳- خصوصیات و ویژگی های بازار برق
۹	۲-۴- رقابت پذیری
۹	۲-۴-۱- انحصار در تمامی سطوح
۹	۲-۴-۲- رقابت در تولید
۱۰	۲-۴-۳- رقابت در بازار کلان
۱۱	۲-۴-۴- رقابت در سطح خرد
۱۳	۲-۵- انواع تبادلات
۱۳	۲-۵-۱- بازار مبتنی بر سیستم حوضچه
۱۳	۲-۵-۲- بازار مبتنی بر تبادلات دو سویه توان
۱۳	۲-۵-۳- بازار بورس تبادل توان (PX)

۱۴	۲-۶- بازه زمانی فعالیت
۱۴	۲-۶-۱- بازار لحظه ای
۱۵	۲-۶-۲- بازار آتی
۱۵	۲-۶-۲-۱- قراردادهای پیش رو
۱۵	۲-۶-۲-۲- قرارداد آتی
۱۶	۲-۶-۲-۳- قرارداد اختیار معامله
۱۶	۲-۷- نهادهای بازار
۱۶	۲-۷-۱- مشتریان
۱۶	۲-۷-۲- شرکت خرده فروش
۱۷	۲-۷-۳- اپراتور بازار
۱۷	۲-۷-۴- شرکت تولید کننده برق
۱۷	۲-۷-۵- شرکت انتقال
۱۸	۲-۷-۶- شرکت توزیع
۱۹	فصل سوم: خرده فروشی در بازار برق
۲۰	۳-۱- مقدمه

- ۲۰ - ۲-۳- تاریخچه پیدایش شرکت های خرده فروش
- ۲۱ - ۳-۳- فعالیت شرکت خرده فروش
- ۲۱ - ۳-۳-۱- تخمین بار مشتریان
- ۲۱ - ۳-۳-۲- پیش بینی قیمت برق
- ۲۲ - ۳-۳-۱- تغییرات فصلی
- ۲۲ - ۳-۳-۲- بی ثباتی
- ۲۲ - ۳-۳-۳- جهش های قیمتی
- ۲۳ - ۳-۳-۳- شناخت مشتریان
- ۲۴ - ۳-۳-۴- استراتژی شرکت خرده فروش
- ۲۵ - ۳-۴- انواع روش های قیمت گذاری فروش انرژی
- ۲۵ - ۳-۴-۱- قیمت گذاری ثابت
- ۲۵ - ۳-۴-۲- قیمت گذاری زمان - استفاده
- ۲۶ - ۳-۴-۳- قیمت گذاری پیک بحرانی
- ۲۶ - ۳-۴-۴- قیمت گذاری زمان - واقعی

۲۸	۳-۵- مروری بر تحقیقات مرتبط با خرده فروشی در صنعت برق
۲۸	۳-۵-۱- مراجع مرتبط با شرکت خرده فروش به صورت مستقیم
۲۸	۳-۵-۱-۱- مراجع پایه
۲۹	۳-۵-۱-۲- تخمین بار شرکت خرده فروش
۲۹	۳-۵-۱-۳- تعیین قیمت فروش انرژی الکتریکی به وسیله خرده فروش
۳۰	۳-۵-۱-۴- تشکیل منحنی تقاضا بر حسب قیمت
۳۰	۳-۵-۱-۵- سایر موارد
۳۰	۳-۵-۲- مراجع مرتبط با موضوع خرده فروشی به صورت غیر مستقیم
۳۰	۳-۵-۲-۱- تامین بار مصرف کنندگان به وسیله یک نهاد تامین کننده بار
۳۱	۳-۵-۲-۲- حضور مستقیم مصرف کنندگان بزرگ در بازار
۳۲	۳-۶- اهداف و نوآوری پایان نامه
۳۴	فصل چهارم: تعیین استراتژی بهینه میان مدت و کوتاه مدت خرده فروش
۳۵	۴-۱- مقدمه
۳۶	۴-۲- چارچوب تصمیم گیری برنامه میان مدت و کوتاه مدت
۳۷	۴-۲-۱- خرید انرژی از قرارداد دوجانبه
۴۱	۴-۲-۲- خرید انرژی از بازار حوضچه
۴۲	۴-۲-۳- بارهای قابل قطع

- ۴۳ ۴-۲-۴- درآمد خرده‌فروش از فروش انرژی
- ۴۴ ۴-۳- تابع هدف خرده‌فروش در برنامه میان مدت و کوتاه مدت
- ۴۴ ۴-۳-۱- تابع هدف خرده‌فروش در برنامه میان مدت
- ۴۶ ۴-۳-۲- تابع هدف خرده‌فروش در برنامه کوتاه مدت
- ۴-۴- تعیین قیمت فروش انرژی به مصرف کنندگان با در نظر گرفتن رفتار الاستیک مشتریان
- ۴۷ رفتار الاستیک مشتریان
- ۴۸ ۴-۴-۱- مدل سازی رفتار الاستیک مشتریان در برنامه میان مدت
- ۵۰ ۴-۴-۲- تابع هدف خرده‌فروش در برنامه میان مدت با در نظر گرفتن رفتار الاستیک مشتریان
- ۵۱ ۴-۵- فلوجارت برنامه میان مدت و کوتاه مدت
- ۵۳ فصل پنجم : نتایج عددی
- ۵۴ ۵-۱- مقدمه
- ۵۴ ۵-۲- داده های مورد استفاده
- ۵۷ ۵-۳- نتایج عددی بدون در نظر گرفتن منحنی تکه‌ای خطی
- ۵۷ ۵-۳-۱- نتایج برنامه میان مدت بدون در نظر گرفتن منحنی تکه‌ای خطی
- ۶۰ ۵-۳-۲- نتایج برنامه کوتاه مدت بدون در نظر گرفتن منحنی تکه‌ای خطی
- ۶۲ ۵-۴- نتایج عددی با در نظر گرفتن منحنی تکه‌ای خطی
- ۶۳ ۵-۴-۱- نتایج برنامه میان مدت با در نظر گرفتن منحنی تکه‌ای خطی

۶۶	۵-۴-۲- نتایج برنامه کوتاه مدت با در نظر گرفتن منحنی تکه‌ای خطی
۶۸	۵-۴-۳- مقایسه استراتژی خرده‌فروش در حالت‌های مختلف
۷۳	فصل ششم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۷۴	۶-۱- نتیجه‌گیری
۷۶	۶-۲- پیشنهادات
۷۷	۷- مراجع
۸۰	۸- ضمیمه

علائم و نشانه‌ها

گرچه توضیحات و تعاریف علائم و نشانه‌ها پس از استفاده، در پایان نامه بیان شده است. در این قسمت نیز، توضیح تمام علائم و نشانه‌ها برای سهولت دسترسی بیان شده است.

متغیرها

$q_{1,hj}^{LL}$	میزان بار قطع شده از مشتریان نوع اول برای بازه زمانی hj
$q_{2,hj}^{LL}$	میزان بار قطع شده از مشتریان نوع دوم برای بازه زمانی hj
q_{hj}^P	میزان خرید انرژی از بازار حوضچه در ساعت h در روز j ام
q_{hj}^B	میزان انرژی مصرف شده در ساعت h در روز j ام از انرژی خریداری شده در قرارداد دوجانبه
R_{ej}^{LL}	درآمد خرده فروش از فروش انرژی برای بازه زمانی ej با در نظر گرفتن برنامه بارهای قابل قطع
SC_j	کل هزینه خرید انرژی در کوتاه مدت برای روز j ام
SC_j^P	هزینه خرید انرژی از بازار حوضچه در کوتاه مدت برای روز j ام
SC_j^B	هزینه انرژی قرارداد دوجانبه در کوتاه مدت برای روز j ام
	هزینه جریمه مربوط به قرارداد دوجانبه در کوتاه مدت در صورت تخلف از رنج مجاز انرژی خریداری شده
C_{ej}^R	در میان مدت برای بازه زمانی j
λ_e^R	قیمت فروش انرژی به مصرف کنندگان نوع یک در بازه زمانی e

قیمت فروش انرژی به مصرف کنندگان در تکه m ام منحنی تکه ای خطی قیمت-تقاضا در بازه زمانی e

$$\lambda_{e,m}^R$$

متغیر باینری که در صورتی که قیمت فروش انرژی به مصرف کننده در فاصله $[\bar{\lambda}_{e,m-1}^R, \bar{\lambda}_{e,m}^R]$ باشد

$$u_{e,m}$$

یک در غیر اینصورت صفر است

$$w_{ej}^{up}, w_{ej}^{down}$$

متغیرهای باینری مربوط به قرارداد دو جانبه برای بازه زمانی e در روز j ام

انرژی مصرف شده از قرارداد دو جانبه در بلوک i ام از تابع جریمه برای بازه زمانی e در روز j ام $x_{i,ej}$

میزان خرید انرژی از قرارداد دو جانبه در نمونه ω و بازه زمانی ej $Q_{ej}^B(\omega)$

متوسط میزان خرید انرژی از قرارداد دو جانبه در بازه زمانی ej \bar{Q}_{ej}^B

برآورد خرده فروش از میزان خرید انرژی از بازار حوضچه در نمونه ω و بازه زمانی ej $P_{ej}^P(\omega)$

هزینه خرید انرژی از قرارداد دو جانبه در میان مدت در نمونه ω و بازه زمانی ej $MC_{ej}^B(\omega)$

برآورد خرده فروش برای هزینه خرید انرژی از بازار حوضچه در میان مدت

در نمونه ω و بازه زمانی ej $MC_{ej}^P(\omega)$

در آمد خرده فروش در میان مدت در نمونه ω و بازه زمانی ej $MR_{ej}(\omega)$

پارامترها

میزان مصرف انرژی مشتریان نوع اول برای بازه زمانی hj $d_{1,hj}$

میزان مصرف انرژی مشتریان نوع دوم برای بازه زمانی hj $d_{2,hj}$

قیمت پیش بینی شده بازار حوضچه برای بازه زمانی hj $\lambda_{hj}^{P,est}$

$\lambda_{ej}^P(\omega)$ قیمت بازار حوضچه در نمونه ω و بازه زمانی ej بر اساس تابع توزیع احتمال قیمت

$\bar{\lambda}_{ej}^P$ متوسط قیمت بازار حوضچه برای بازه زمانی ej

$\bar{\lambda}_{ej,m}^R$ حد بالای قیمت فروش انرژی به مصرف کنندگان در تکه m ام منحنی تکه ای خطی قیمت-تقاضا

λ_{ej}^B قیمت خرید انرژی از قرارداد دو جانبه در بازه زمانی ej

میزان انرژی تامین شده توسط خرده فروش بر اساس منحنی تکه ای خطی قیمت-تقاضا

$\bar{P}_{ej,m}^D(\omega)$ در تکه m ام

اندیس‌ها

$e \in \{v, s, p\}$ اشاره به مجموعه ساعت‌های کم باری، میان باری و پرباری

ej اشاره به مجموعه ساعت‌های کم باری، میان باری و پرباری در روز j ام $e \in \{v, s, p\}$ ، $j = 1-28$

hj اشاره به هر ساعت از روز j ام $h = h_1-h_{24}$ ، $j = 1-28$

ω نمونه تولید شده در شبیه سازی مونت کارلو

Ω_ω مجموعه نمونه های تولید شده در شبیه سازی مونت کارلو

Exp متوسط تابع توزیع احتمال

فهرست جداول

- جدول (۴-۱) : میزان انرژی مصرف شده در هر بلوک بر حسب مقادیر مختلف W_{ej}^{down} و W_{ej}^{up}
- جدول (۵-۱) : میانگین و انحراف معیار قیمت بازار حوضچه برای ۴ هفته بر اساس اطلاعات گذشته بازار
- جدول (۵-۲) : مینیمم و ماکزیمم مقدار قیمت فروش انرژی به مصرف‌کنندگان
- جدول (۵-۳) : ضرایب تابع جریمه
- جدول (۵-۴) : قیمت فروش انرژی به مصرف‌کنندگان
- جدول (۵-۵) : میزان خرید انرژی از قرارداد دوجانبه در هفته اول
- جدول (۵-۶) : نتایج عددی برای هفته اول
- جدول (۵-۷) : انرژی مصرف شده از قرارداد دو جانبه در هر یک از بلوک‌ها تابع جریمه در هفته اول
- جدول (۵-۸) : میزان خرید انرژی از قرارداد دوجانبه
- جدول (۵-۹) : میزان بهینه خرید انرژی از بازار حوضچه و قرارداد دوجانبه و میزان بار قابل قطع مشتریان
- جدول (۵-۱۰) : انرژی مصرف شده از قرارداد دو جانبه در هر یک از بلوک‌ها تابع جریمه در هفته اول
- جدول (۵-۱۱) : هزینه‌های خرید انرژی در حالت‌های مختلف در هفته اول
- جدول (۵-۱۲) : سود خرده‌فروش در حالت‌های مختلف در هفته اول
- جدول (۵-۱۳) : میزان بار قطع شده از مشتریان در هفته اول در حالت ۴

فهرست اشکال

شکل (۱-۲): مدل نمایندگی در بازار برق بر اساس (a) مدل یکپارچه (b) مدل جدا شده

شکل (۲-۲): مدل رقابت عمده‌فروشی در بازار برق

شکل (۳-۲): مدل رقابت خرده‌فروشی بازار برق

شکل (۱-۴): تابع جریمه برای انرژی مصرف شده کمتر و یا بیشتر از حد مجاز

شکل (۲-۴): منحنی تکه‌ای خطی انرژی تامین شده بر حسب قیمت

شکل (۱-۵): متوسط بار مشتریان در چهار هفته برای سه بازه زمانی کم باری، میان باری و پر باری در هر ساعت

شکل (۲-۵): تابع احتمال خرید انرژی از قرارداد دوجانبه برای ساعت‌های پرباری روز اول به ازای ۲۰۰ بار تکرار

شکل (۳-۵): تابع احتمال خرید انرژی از قرارداد دوجانبه برای ساعت‌های میان باری روز اول به ازای ۲۰۰ بار

تکرار

شکل (۴-۵): تابع احتمال خرید انرژی از قرارداد دوجانبه برای ساعت‌های کم باری روز اول به ازای ۲۰۰ بار

تکرار

شکل (۵-۵): تابع توزیع احتمال سود خرده فروش در میان مدت برای ۴ هفته و به ازای ۲۰۰ بار تکرار

شکل (۶-۵): میزان انرژی خریداری شده و بار قابل قطع در روز دوم

شکل (۷-۵): منحنی تکه ای خطی درصد میزان انرژی تامین شده بر حسب قیمت با ۸۰ پله

شکل (۸-۵): تابع احتمال خرید انرژی از قرارداد دوجانبه برای ساعت‌های پرباری روز اول به ازای ۲۰۰ بار

تکرار

شکل (۹-۵): تابع احتمال خرید انرژی از قرارداد دوجانبه برای ساعت‌های میان باری روز اول به ازای ۲۰۰ بار

تکرار

شکل (۵-۱۰): تابع احتمال خرید انرژی از قرارداد دوجانبه برای ساعت‌های کم باری روز اول به ازای ۲۰۰ بار تکرار

شکل (۵-۸): تابع توزیع احتمال سود خرده فروش در میان مدت برای ۴ هفته به ازای ۲۰۰ بار تکرار

شکل (۵-۹): میزان خرید انرژی و بار قابل قطع در روز پنجم

شکل (۵-۱۰): میزان خرید انرژی و بار قابل قطع در روز هفتم

شکل (۵-۱۱): در صد خرید انرژی از بازار حوضچه و قرار داد دوجانبه و بار قطع شده در هفته اول

شکل (۵-۱۲): تغییرات قیمت بازار حوضچه در هفته اول

شکل (۵-۱۳): سود خرده‌فروش در حالت‌های مختلف در هفته اول

فصل اول: مقدمه

با آغاز فرایند تجدید ساختار، صنعت برق که در دوره طولانی با شرکت های یکپارچه با ساختار عمودی اداره شده بود، دچار تغییرات شگرفی شد و به صنعت رقابتی و توزیع شده تبدیل شد. از دیگر نتایج مقررات زدایی، شکل گیری بازار آزاد و رقابتی برای کالای برق و ایجاد نهادهای مختلف با وظایف گوناگون می باشد. یکی از این نهادها، شرکت خرده فروش است. شرکت خرده فروش برق، به عنوان واسط بین شرکت های تولید کننده انرژی الکتریکی و مشتریان عمل می کند. این شرکتها انرژی الکتریکی را از بازار عمده فروشی خریداری کرده و به مشتریان می فروشند. در نتیجه این شرکتها در بازار برق به عنوان نهادی واسط عمل می کنند که قراردادهایی هم با سمت عرضه و هم با سمت تقاضا تنظیم می کنند. با توجه به نقش واسط این نهادها، اتخاذ استراتژی مناسب حائز اهمیت بوده و تاثیر به سزایی در تامین سود یا متحمل شدن ضرر دارد .

در بازار عمده فروشی (بازار حوضچه)، قیمت برق توسط عرضه و تقاضا تامین می شود در نتیجه قیمت بازار حوضچه، قیمتی متغیر و دارای عدم قطعیت است. اتکای بیش از حد به بازار حوضچه ممکن است سبب متضرر شدن و یا در برخی مواقع منجر به ورشکستگی شرکت خرده فروش شود. برای حداقل کردن ریسک قیمت لحظه ای بازار، شرکت خرده فروش از قراردادهای موجود در بازار آتی می تواند استفاده کند که در آن توان ثابت با یک قیمت مشخص برای یک بازه زمانی مشخص صورت می گیرد... بنابراین لازم است مصالحه ای بین مقدار توان خریداری شده از بازار حوضچه و توان تامین شده از قراردادها برقرار کرد.

در سمت تقاضا، شرکت خرده فروش ملزم به تامین تقاضای مشتریان خود است. تقاضای مشتریان دائما در حال تغییر بوده و در نتیجه دارای عدم قطعیت است. بنابراین شرکت خرده فروش بایستی عدم قطعیت تقاضای مشتریان را در نظر بگیرد. به علاوه شرکت خرده فروش باید قیمت پیشنهادی فروش به مشتریان را نیز تعیین کند. در صورتی که قیمت پیشنهادی فروش بالا باشد، مشتریان کمی با شرکت خرده فروش قرارداد می بندند. در صورتی که قیمت پیشنهادی فروش پایین باشد، ممکن است شرکت خرده فروش دچار ضرر شود. بنابراین تعیین قیمت پیشنهادی فروش انرژی الکتریکی با در نظر گرفتن استراتژی دیگر خرده فروشان در جذب مشتری، یکی از مهمترین وظایف شرکت خرده فروش است.

همچنین خرده‌فروش با ایجاد انگیزه و تخفیف در قیمت فروش می‌تواند مشتریان را تشویق به شرکت در برنامه بارهای قابل قطع کند. از منظر سیستم قدرت بطور کلی، تاکید پاسخ تقاضا بر کاهش مصرف در زمانهای بحرانی است. زمانهای بحرانی معمولاً ساعت‌های کوتاهی در طول یک روز هستند. یعنی زمانی که قیمت‌های بازار عمده-فروشی در بالاترین وضعیت خود قرارداد یا موقعی که محدوده‌های ذخیره به خاطر حوادث و رخدادهایی از قبیل خروج ژنراتور، پاره شدن خطوط انتقال یا شرایط جوی طاقت فرسا، پایین است.

ماهیت فعالیت‌های شرکت خرده‌فروش از لحاظ بازه زمانی متفاوت می‌باشند. دسته‌ای از آنها برای بازه زمانی میان مدت (ماهانه) و دسته‌ای دیگر در برنامه ریزی کوتاه‌مدت (روزانه) تعریف می‌شوند. خرید انرژی از بازار آتی و تعیین قیمت فروش انرژی به مصرف‌کنندگان در بازه زمانی میان مدت و خرید انرژی از بازار حوضچه و اجرای برنامه پاسخ تقاضا (اجرای برنامه بارهای قابل قطع) در بازه زمانی کوتاه مدت قابل اجرا هستند.

در نتیجه در این پایان نامه دو برنامه بهینه‌سازی برای تعیین استراتژی بهینه خرده‌فروش در میان مدت و کوتاه‌مدت تعریف شده است. در برنامه میان مدت در مورد خرید انرژی از قرارداد دو جانبه و تعیین قیمت فروش انرژی به مصرف‌کنندگان برای هر یک از بازه‌های زمانی کم باری، میان باری و پر باری تصمیم‌گیری می‌شود. در حالی که در برنامه کوتاه مدت بر اساس تغییرات ساعتی قیمت بازار حوضچه، از ترکیب دو بازار آتی و حوضچه در زمینه خرید انرژی برای هر ساعت از بازار حوضچه و نحوه استفاده برای هر ساعت از انرژی خریداری شده از قرارداد دو جانبه‌ای که بر اساس برنامه میان مدت خریداری شده است، تصمیم‌گیری می‌شود. همچنین در برنامه کوتاه مدت میزان بار قابل قطع مشتریانی که قرارداد قطع بار با خرده‌فروش دارند، در ساعت‌هایی که قیمت بازار حوضچه در بالاترین وضعیت خود قرار دارد، مشخص می‌شود.

برنامه میان مدت یک برنامه بهینه‌سازی تصادفی است که در آن عدم قطعیت‌های قیمت بازار حوضچه و میزان مصرف مشترکین دیده شده است و از روش مونت کارلو که مبتنی بر روش تکرار است برای حل آن استفاده شده است. در برنامه کوتاه مدت، خرده‌فروش بار مشتریان خود و قیمت بازار حوضچه را پیش‌بینی کرده و از یک برنامه قطعی استفاده می‌کند.