New Economy and Trade, Institute for Humanities and Cultural Studies (IHCS)
Quarterly Journal, Vol. 16, No. 4, Winter 2021-2022, 1-40
Doi: 10.30465/JNET.2022.33934.1654

Proposing a new approach to the presence and trade of retailers in economic contracts of the electricity market based on interval optimization and customer participation in energy consumption optimization

Kourosh Apornak[*], Soodabeh Soleymani[**]
Faramarz Faghihi[***], Babak Mozafari[****]

Abstract

The retail electricity market is the intermediary between end-user customer and the wholesale market to supply customers' energy. One of the basic tools in interaction between the retailer and the end-user customer is use of demand response programs. In this research, a business-economic model with the aim of maximum interaction between retailer and other electricity market players based on interval optimization and demand response programs is proposed to achieve an optimal decision of retailer in bilateral contracts and the pool electricity market. This proposed model calculates the retailer's profit before and after the implementation of appropriate demand response program and ultimately maximizes the difference between these two values. The results show that by using price-based demand response programs

* PhD Candidate- Department of Electrical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, kourosh.apornak@srbiau.ac.ir

** Associate Professor - Department of Electrical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, (Corresponding Author) s.soleymani@srbiau.ac.ir

*** Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, faramarz.faghihi@srbiau.ac.ir

**** Associate Professor - Department of Electrical Engineering, , Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, mozafari@srbiau.ac.ir

Date received: 23/10/2021, Date of acceptance: 13/01/2022

Copyright © 2018, This is an Open Access article. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

and price elasticity of each customer, maximum participation of customer in reducing peak load of the power grid can be achieved. On the other hand, based on proper modeling of uncertainties such as price elasticity and pool electricity market prices, the retailer's profit will increase with a suitable level of risk. For retailer profit, it can be concluded that based on application of fuzzy and epsilon constraint method, determining an optimal pareto points and retailer profit maximization will occur in real time pricing tariff compared to time of use pricing tariff . From the maximum interaction point of view between the retailer and the end-user customer in the electricity market based on the current research, the preferred policy is the policy of using intelligent methods of price-based demand response programs.

Keywords: Business-Economical Model, Electricity Market, Retailer-Customer Interaction, Electricity Retail Market, Demand Response

JEL Classification: K32-L81-Q43-O13

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

اقتصاد و تجارت نوین، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
فصل‌نامهٔ علمی (مقالهٔ علمی ـ پژوهشی)، سال ۱۶، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۰، ۳ - ۴۰

ارائهٔ رویکرد نوین جهت حضور و تجارت خرده‌فروش در قراردادهای اقتصادی بازار برق مبتنی‌بر بهینه‌سازی بازه‌ای و مشارکت مصرف‌کننده در بهینه‌سازی مصرف انرژی

کوروش آپرناک*

سودابه سلیمانی، فرامرز فقیهی***، سیدبابک مظفری*****

چکیده

بازار خرده فروشی برق واسطی میان مصرف‌کننده نهایی و بازار عمده فروشی جهت تامین انرژی مصرف‌کننده می‌باشد. یکی از ابزارهای اساسی در تعامل میان خرده‌فروش و مصرف‌کننده نهایی، بهره‌گیری از برنامه‌های پاسخگویی بار می‌باشد. در این پژوهش مدلی تجاری-اقتصادی با هدف حداکثر تعامل میان خرده‌فروش و سایر بازیگران بازار برق مبتنی‌بر بهینه‌سازی بازه‌ای و برنامه‌های پاسخگویی بار به منظور تصمیم‌گیری بهینه خرده‌فروش در قراردادهای دوجانبه و بازار حوضچه پیشنهاد شده است. این مدل پیشنهادی سود خرده‌فروش را قبل و بعد از اجرای برنامه مناسب پاسخگویی بار

* دانشجوی دکتری،گروه مهندسی برق قدرت و کنترل، دانشکدهٔ مکانیک، برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، kourosh.apornak@srbiau.ac.ir

** دانشیار، گروه مهندسی برق قدرت و کنترل، دانشکدهٔ مکانیک، برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران (نویسندهٔ مسئول)، s.soleymani@srbiau.ac.ir

*** استادیار، گروه برق قدرت و کنترل، دانشکدهٔ مکانیک، برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، faramarz.faghihi@srbiau.ac.ir

**** دانشیار، گروه مهندسی برق قدرت و کنترل، دانشکدهٔ مکانیک، برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، mozafari@srbiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳

Copyright © 2018, This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International, which permits others to download this work, share it with others and Adapt the material for any purpose.

محاسبه کرده و در نهایت اختلاف میان این دو مقدار را حداکثر می‌کند. نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که با بکارگیری برنامه‌های قیمت محور پاسخ‌گویی بار حداکثرشدن مشارکت مصرف‌کننده در کاهش میزان اوج بار شبکه براساس میزان کشش قیمتی هر مشترک قابل دستیابی است. در طرف مقابل نیز براساس مدلسازی مناسب عدم‌قطعیت‌ها از جمله کشش قیمتی مشتریان و قیمتهای بازار حوضچه، سود خرده‌فروش با حد مناسبی از ریسک افزایش خواهد یافت. در مورد سود خرده‌فروش می‌توان نتیجه گرفت که براساس اعمال رویکرد فازی و اپسیلون محدود و تعیین نقاط بهینه پرتو حداکثر سود در تعرفه قیمت‌گذاری زمان لحظه‌ای در مقایسه با تعرفه قیمت‌گذاری زمان استفاده رخ خواهد داد. از نقطه نظر حداکثر تعامل میان خرده‌فروش و مصرف‌کننده نهایی در بازار برق براساس پژوهش کنونی، سیاست مطلوب سیاست استفاده از روش‌های هوشمند برنامه‌های قیمت–محور پاسخگویی بار می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: مدل تجاری–اقتصادی، بازار برق، تعامل خرده‌فروش و مشتری، بازار خرده‌فروشی برق، پاسخگویی بار

طبقه‌بندی JEL: K32-L81-Q43-O13

۱. مقدمه

تبادلات و تجارت انرژی الکتریکی فعالیتی است که معاملات در آن به طور مستقیم بین دو شرکت‌کننده و یا غیرمستقیم انجام می‌گردد. تجدید ساختار و ایجاد بازار برق در شیلی و آمریکا شروع شد. کشور انگلستان اولین کشور اروپایی بود که اقدام به تغییر ساختار و مقررات‌زدایی نمود. در آسیا چین و ژاپن اولین کشورهایی آسیایی بودند که این تغییر ساختار را شروع نمودند. فرآیند تجدید ساختار در صنعت برق در آفریقا از کشور آفریقای جنوبی در جنوب این قاره آغاز شد، در شمال آفریقا اولین کشورها مراکش و مصر آغازگر بودند؛ در غرب این قاره نیز نیجریه شروع به مقررات‌زدایی نمود. در بازارهای برق که منتج از گسترش تجدید ساختار در صنعت برق بوده است، بازیگران مختلفی از جمله خرده‌فروشان انرژی، عمده‌فروشان انرژی ایجاد شده‌اند. از جمله مسائلی که لازم است به‌طور کامل و بهینه مورد بررسی قرار گیرد رقابت خرده‌فروشان با یکدیگر و تعامل آن‌ها با مصرف‌کنندگان نهایی می‌باشد.

۲. مبانی نظری

در بازار برق، خرده‌فروش، انرژی الکتریکی را از بازار عمده فروشی خریداری کـرده و آن را به مشترکین نهایی می‌فروشـد. از ایـن رو خـرده‌فروشـان دو مجموعـه از قراردادهـا را بایـد مدیریت کنند. قرارداد با سمت تقاضا و قرارداد با سمت عرضه.

در سمت عرضه، براساس پژوهش یانـگ و همکـاران (Yang et.al, 2018)خـرده‌فـروش میزان تقاضا را از طریق حوضچه‌های برق و واحدهای تولید خود تامین و تقسـیم مـی‌کنـد. قیمت‌های حوضچه برق همواره متغیر و در حال تغییر می‌باشند. از ایـن‌رو خـرده‌فـروش بـا عدم قطعیت روبروست. خرده‌فروش بازار برق همواره بـا یـک ایجـاد مصـالحه بـین منـابع مختلف تامین انرژی روبروست.

وجود بازار خرده‌فروشـی در انـرژی الکتریکـی و همچنـین گزینـه‌هـای مختلـف بـرای مصرف‌کنندگان نهایی ضمن حضور آنها در بازار برق همگی در جهـت رسـیدن بـه اهـداف مورد انتظار در برنامه تجدیدساختار در صنعت برق از ضروریات اساسی است.

سه روش قیمت‌گذاری زمان استفاده، قیمت‌گذاری پیک بحرانـی و قیمـت‌گـذاری زمـان حقیقی از نوع قیمت محور هستند که در آن‌ها تعرفه‌ی انرژی بـرای مشـترکین متناسـب بـا هزینه‌ی تولید انرژی در هر لحظه خواهد بود. در این پژوهش نیز از برنامـه زمـان اسـتفاده و زمان حقیقی که از زیرشاخه‌های قیمت محور می‌باشد استفاده شده است. براسـاس پـژوهش شاریف و همکاران (Shareef et al, 2018) تعرفه قیمت‌گذاری زمان حقیقی به دلیل انعکـاس شرایط واقعی بازار از مرسوم‌ترین برنامه‌های پاسخگویی بار قیمت–محور می باشند.

همواره هدف اصلی و اساسی خرده‌فروش در بازار برق حداکثرسازی سود مـورد انتظـار خود در یک بازه زمانی مشخص می‌باشد. براین اساس سود خرده‌فروش در بازه زمـانی t = 0……T به معنای اختلاف میان هزینه‌های خرید انرژی از بالادسـت و درآمـدهای ناشـی از فروش انرژی به مصرف‌کننده نهایی خواهد بود. این مفهوم را می‌توان به صـورت رابطـه (۱) نشان داد.

$$Max \int_0^T Profits(t)dt = Max \int_0^T \big(Revenue(t) - Costs(t)\big)dt \qquad (۱)$$

بنابراین سود نهایی خرده فروشان در بازار برق به مقدار و قیمت انرژی فروخته شده و خریداری شده بستگی دارد. بنابراین، حداکثر سود در بازه زمانی t = 0……T به صورت رابطه (۲) معرفی می‌گردد.

$$Max \int_0^T Profits(t)dt = Max \int_0^T ((\rho_{sell}(t) * E_{sell}(t) - (\rho_{buy}(t) * E_{buy}(t))dt \quad (۲)$$

در رابطه فوق:

$\boldsymbol{\rho_{sell}(t)}$: قیمت انرژی فروخته شده

$\boldsymbol{E_{sell}(t)}$: میزان انرژی فروخته شده در بازار خرده‌فروشی

$\boldsymbol{\rho_{buy}(t)}$: قیمت انرژی خریداری شده

$\boldsymbol{E_{buy}(t)}$: میزان انرژی خریداری شده در بازار عمده‌فروشی

به طور کلی مساله تصمیم‌گیری خرده‌فروش در جهت حداکثرسازی سود براساس دو رویکرد اصلی انجام خواهد شد :

۱. حداقل سازی هزینه‌های خرید انرژی

۲. حداکثرسازی درآمد ناشی از فروش انرژی

از نقطه نظر حداکثرسازی درآمد ناشی از فروش انرژی، در شرایط قیمت‌گذاری ثابت یا گاها لحظه‌ای میزان سود خرده‌فروش محدود به مقداری مشخص خواهد بود. از این جهت تعیین قیمت بهینه فروش و ترغیب مشترک به انعقاد قرارداد با خرده‌فروش امری ضروری خواهد بود که در نهایت منجر به مساله‌ای بهینه‌سازی با هدف حداکثرسازی سود خرده‌فروش در شرایط مختلف خواهد شد.

از نقطه نظر حداقل‌سازی هزینه‌های خرید انرژی می‌توان دو حالت برنامه‌ریزی را برای خرده‌فروش در نظر گرفت:

- برنامه ریزی بلند مدت که این نوع برنامه‌ریزی را می توان با استفاده از قراردادهای تجاری–اقتصادی بازار انرژی مانند قراردادهای آتی، سلف و بستن قراردادهای دوجانبه براساس تصمیمات دو طرفه میان خرده‌فروش و مصرف‌کننده به‌نتیجه رساند

- برنامه‌ریزی کوتاه مدت که در بر گیرنده فضای آزادتری برای تصمیم‌گیری خرده‌فروش بوده و از طریق بازارهای انرژی که دوره زمانی کوتاه مدتی را فراهم می‌کنند قابل انجام است.

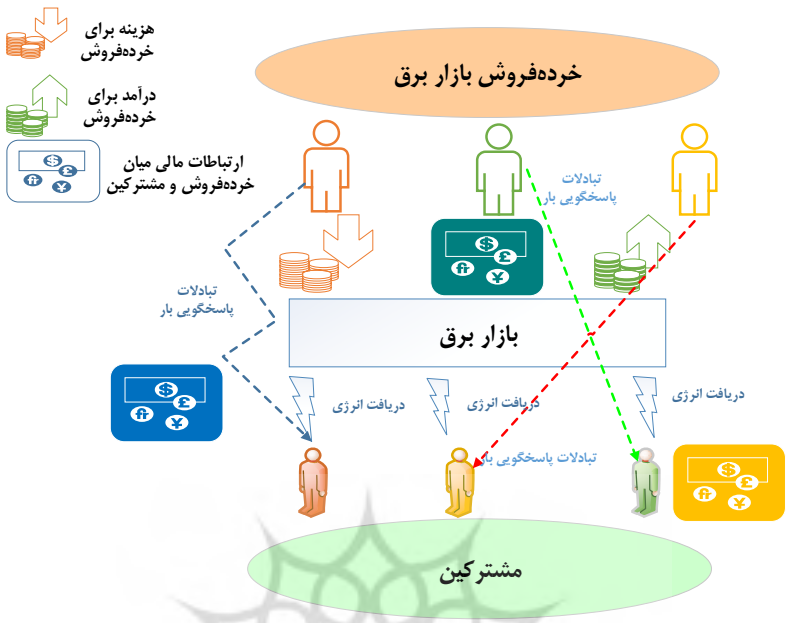
در یک نگاه کلی ایجاد بازار خرده‌فروشی دارای مزایای به ترتیب زیر است:

۱. افزایش بهره‌وری اقتصادی: ماهیت رقابت، سبب افزایش حق انتخاب مصرف‌کنندگان خواهد شد. ایجاد ساختاری به منظور ارایه حق انتخابهای قیمت‌گذاری مختلف، یک مولفه ضروری برای بازارهای رقابتی بوده که نقش اساسی در بهبود رضایت عمومی مصرف‌کننده دارد.

۲. بهبود قابلیت اطمینان: در صورت وجود بازار خرده‌فروشی و حضور مصرف‌کنندگان در بازاری با قیمتهای متفاوت در ساعتهای مختلف، ناگزیر مصرف‌کنندگان الگوی مصرف خود را تغییر داده و مصرف خود را از ساعات با قیمت بالا به ساعات با قیمت پایین جابه‌جا می‌کنند.

۳. بهبود کیفیت محیط‌زیست: در صورتی که مصرف‌کنندگان به قیمت حساس باشند، با جابه‌جایی مصرف از ساعات پیک به ساعات غیرپیک، موجب بهبود ضریب بار و افزایش استفاده از ژنراتورهای موجود شده و در نتیجه موجب کاهش نیاز به ساخت خطوط و ژنراتورهای جدید در شبکه خواهند شد.

ساختار مفهومی مدل تجاری–اقتصادی ناشی از مشارکت خرده فروشان و مشتریان در بازار برق که در این پژوهش نیز از آن استفاده شده است در شکل (۱) نشان داده شده است. این ساختار رابطه بین خرده فروش بازار برق و مشتریان را با استفاده از برنامه‌های پاسخگویی بار نشان می‌دهد بر مبنای این طرح خرده فروشان براساس خرید و فروش انرژی درآمدها و هزینه‌هایی خواهند داشت. همچنین به منظور بهره‌مندی هم‌زمان خرده‌فروش و مشترکین از منافع مد نظر خود ارتباطی از جنس پاسخگویی بار بین آن‌ها برقرار می‌شود و در مجموع تبادلات بین خرده‌فروش و مشترک از نوع پاسخ‌گویی بار و مالی خواهد بود.



شکل ۱. ساختاری کلی از مدل تجاری-اقتصادی بازار برق

منبع: خروجی نرم افزار Visio

۳. مبانی تجربی (پیشینهٔ پژوهش)

مطالعات مختلفی در داخل و خارج مسائل بازار خرده‌فروشی برق را بررسی و مطالعه کرده‌اند. عمده مدلسازیها به صورت تک سطحی در جهت تامین منافع خرده‌فروش یا ترغیب مصرف‌کننده به تعامل انجام شده است.

خرده‌فروشان به منظور تامین برق مورد نیاز برای مشترکینی که توانایی شرکت مستقیم در بازار برق را ندارند باید پاسخگو باشند و آن را با کیفیت مطلوبی به مشترکین تحت‌مدیریت خود برسانند.

خرده‌فروشان برق مورد نیاز مشترکین تحت مدیریت خود را در طی قراردادهای دو جانبه، قراردادهای آتیه، خود تولیدی و مبتنی بر بازار حوضچه تامین می‌کنند که مورد آخر منشا اصلی عدم قطعیت در تصمیم‌گیریهای خرده‌فروش می‌باشد. خودتولیدی منابع تجدیدپذیر به خرده‌فروش کمک خواهد کرد علاوه بر کاهش هزینه‌های خرید، درآمد

ناشی از فروش ناخالص خود در بازار زمان حقیقی را نیز افزایش دهند اما باید نکته‌ای نیز مد نظر خرده‌فروشان قرار گیرد و آن ماهیت تناوبی و عدم قطعیت در منابع تجدید پذیر ازجمله تصادفی بودن تابش خورشید و میزان وزش باد است.

در پژوهش کونجو و همکاران (Conjeo et al, 2010) مساله عدم قطعیت در منابع تجدیدپذیر به عنوان مولفه‌ای مهم در تعیین تصمیم‌گیری بهینه مدلسازی شده است. به‌طور معمول و سنتی می‌توان میزان بار را از روشها و تکنیک‌های آماری یا هوش مصنوعی از جمله رگرسیون، شبکه‌های عصبی، منطق فازی و سیستم‌های خبره که در پژوهش فینبرگ و جنتلیو (Feinberg and Genethliou,2005) به آنها پرداخته شده است پیش‌بینی نمود.

در راستای ایجاد و تشکیل برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا با هدف تعیین مدلی اقتصادی و حداقل‌سازی هزینه و مدیریت بهینه مصرف، پژوهش نوجوان و همکاران (Nojavan et al,2017) به بررسی فعالیت و حضور خرده‌فروشان در قراردادهای آتیه و حوضچه جهت تامین و خریداری انرژی مورد نیاز خود پرداخته است. بنا به عدم‌قطعیت‌ها در قیمت‌های بازار حوضچه، پژوهش مزیدی و همکاران (Mazidi et al, 2016) رویکردی جدید را برای خرده‌فروشان به منظور برنامه‌ریزی بر مبنای رویکرد بهینه‌سازی مقاوم در حضور پاسخ‌گویی بار معرفی نموده است.

پاسخ‌گویی بار در صنعت برق تجدیدساختار یافته همواره به عنوان یک راهکار موثر به‌منظور تعامل بین مشترکین و خرده‌فروش در بازار معرفی شده است. پاسخگویی بار می‌تواند به عنوان یک پاسخ مناسب از طرف مصرف‌کننده در قبال تغییرات قیمت در بازار عمده‌فروشی و یا به خطر افتادن میزان قابلیت اطمینان سیستم معرفی گردد.

براساس پژوهش آلبادی و سادانی (Albadi and Saadany, 2007) پاسخگویی بار می‌تواند در قالب یک عامل مشوق نیز مصرف‌کننده را وارد برنامه‌های مدیریت مصرف نماید و تعامل مناسبی میان خرده‌فروشان بازار و مصرف‌کنندگان نهایی ایجاد نماید.

در پژوهش ژانگ و لی (Zhang and Li,2012) برنامه‌های پاسخگویی بار ابزاری مناسب برای اپراتورهای مستقل سیستم معرفی شده به طوری که این ابزار به عنوان یک منبع مناسب جهت سرویسهای مهم انرژی از جمله ظرفیت و سرویسهای جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برنامه‌های پاسخگویی بار سبب ارتباط میان مصرف‌کننده و شبکه شده و شناخت مصرف‌کنندگان از وضعیت لحظه‌ای شبکه را افزایش می‌دهد. براساس نتایج پژوهش نوجوان و همکاران (Nojavan et al,2017) مهمترین سود و منفعت استفاده از این برنامه‌ها مسطح کردن منحنی بار و کاهش هزینه انرژی در ساعات اوج می‌باشد.

در برخی پژوهشها از جمله پژوهش نوجوان و همکاران (Nojavan et al,2017) برنامه‌های پاسخگویی بار به عنوان یک راهکار و انتخاب موثر به منظور کاهش هزینه خرده‌فروشان تحت شرایط عدم قطعیت معرفی شده است.

برنامه‌ریزی بهینه خرده‌فروش به لحاظ بازه‌های زمانی به دوره‌های کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت تقسیم می‌شود. در پژوهش نظری و فورود (Nazari and Foroud, 2013) تعیین راهکار و استراتژی بهینه برای خرده‌فروش به منظور خرید انرژی در کوتاه مدت مطالعه شده است.

در پژوهش گابریل و همکاران (Gabriel et al, 2006) مساله تنظیم قراردادها میان عرضه‌کنندگان و مشترکین نهایی در جهت دستیابی به حداکثر سود خرده‌فروش با حد قابل‌قبولی از سطح ریسک در تصمیم‌گیری خرده‌فروشان بررسی شده است.

چهارچوب برنامه‌ریزی تصادفی بر مبنای ریسک در قراردادهای آتیه‌ی بازار برق به‌منظور دستیابی به سود بیشینه خرده‌فروش ضمن تعیین میزان بهینه عرضه انرژی در پژوهش کاریون و همکاران (Carrion et al,2007) دیده می‌شود.

به منظور درنظر گرفتن همزمان عدم قطعیت در میزان بار و قیمت یک راهکار مبتنی بر عدم قطعیت دو مرحله‌ای مبتنی بر شاخص‌های ریسک در پژوهش کتونن و بون (Kettunen and Bunn,2010) معرفی شده است.

در پژوهش چاروارد و همکاران (Charwand et al,2017) راهکارهایی به منظور مدل‌سازی عدم قطعیت برای خرده‌فروش به منظور بیشینه سازی سود و مدیریت ریسک در سطوح مختلف ضمن مطالعه تعامل خرده‌فروش با بازار عمده فروشی در سیستمهای قدرت تجدیدساختار یافته بیان شده است.

تعیین قیمت بهینه فروش انرژی در کنار گزینش سیاست بهینه خرید برق از بالادست توسط خرده‌فروش نیز در پژوهش حاتمی و همکاران(Hatmani et al, 2009) براساس مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط مبتنی با درنظرگیری عدم قطعیت‌ها انجام شده است.

در پژوهش احمدی و همکاران(Ahmadi et al, 2013) قیود مبتنی بر ریسک مالی در قراردادهای آتی وابسته به عدم قطعیت قیمتهای بازار برق با استفاده از پایین‌ترین سطح مورد انتظار ریسک توسط یک مساله بهینه‌سازی و در قالب یک مساله عدد صحیح مختلط انجام شده است.

براساس پژوهش واردکاس و همکاران (Vardakas et al, 2015) می‌توان این‌گونه بیان نمود که برنامه‌های پاسخگویی بار و روشهای قیمت‌گذاری آنها همواره به عنوان روشی موثر در تعیین تصمیم‌گیری بهینه خرده‌فروش مطرح بوده‌اند. از دیگر کاربردها و توسعه‌های ناشی از بهره‌مندی از برنامه‌های پاسخگویی بار می‌توان به کنترل بارهای واسبته به ولتاژ، کنترل مصرف انرژی در ساختمانهای تجاری و مسکونی و مدیریت شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی اشاره نمود که در پژوهش هائو و همکاران (Hao et al,2017) بدان پرداخته شده است.

یکی دیگر از تصمیم‌گیری‌های بهینه از طرف خرده‌فروش، استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی دو مرحله‌ای در میان مدت می‌باشد که در پژوهش کاریون و همکاران (Carrion et al,2009) بررسی شده است و براساس این پژوهش خرده‌فروش درباره میزان مشارکت خود در بازار آتیه و حوضچه ضمن تعیین میزان قیمت پیشنهادی به مشترکین خود با هدف بیشینه‌سازی سود مورد انتظار خود با حد قابل قبولی از ریسک تصمیم‌گیری می‌کند.

بر مبنای پژوهش مرزبند و همکاران (Marzband et al,2018) استفاده از رویکرد نظریه بازی‌ها نیز راهکاری بهینه و مناسب به منظور بهره‌برداری از یک شبکه توزیع هنگامی که خرده‌فروش در این شبکه فعالیت می‌کند خواهد بود. همچنین جهت تعیین استراتژی قیمت‌گذاری و بهره‌برداری با در نظرگرفتن برنامه‌های پاسخگویی بار برای خرده‌فروش صاحب ریزشبکه می‌توان از رویکرد سیستمهای انرژی تجمیع یافته(مجتمع) که در پژوهش جین و همکاران (Jin et al,2018) بیان شده است استفاده نمود.

تحلیل و بررسی تاثیر ساختار بازار برق و نوع قرارداد بر میزان کشش و تقاضای مصرف‌کننده نیز امری مهم در تصمیم‌گیری بهینه خرده‌فروشان است. بر این اساس مدل‌سازی رفتار مصرف‌کننده همچون پژهشی که کرشن و همکاران (Kirschen et al,2000) بر مبنای ماتریس خودی و متقابل کشش انجام داده‌اند.

از دیگر رویکردهای جدید می‌توان به مدل جدیدی از پاسخگویی بار بر مبنای نظریه بازی اشاره نمود که این مدل در پژوهش پائل و همکاران (Pal et al,2018) دیده شده است. این مدل مبتنی بر تصمیم‌گیری مصرف‌کنندگان و رقابت با یکدیگر است به گونه‌ای که رقابت بین مصرف‌کنندگان در مدیریت مصرف سبب بهره‌مندی بیشتر آنها از منافع مالی اقتصادی مدیریت سمت تقاضا شده و خرده‌فروشان نیز در قبال این رفتار مشترکین با ریسک قابل قبول و مطمئن‌تری وارد بازار شوند.

مساله اساسی دیگری که در پژوهش جینگ و همکاران (Jiang et al,2019)بررسی شده است مقابله با عدم تعادل بین حجم قرارداد خرده‌فروش و مصرف‌کننده و میزان انرژی واقعی تولیدی علی الخصوص در بازارهای ترتیبی است که لازم است در مدل‌سازی تصمیم‌گیری بهینه خرده‌فروش لحاظ شود تا در نهایت احتمال عدم تعادل میان عرضه و تقاضای انرژی به حداقل مقدار ممکن برسد. بخشی از به حداقل‌رساندن عدم تعادل میان عرضه و تقاضا در کنار مدیریت بهینه ریسک در بازار براساس پژوهش کائو و همکاران (Cao et al, 2020) توسط قرارداد با مشتریان صنعتی، تجاری و خانگی که دارای سیستم‌های بزرگ ذخیره‌ساز انرژی هستند و توانایی حضور فعال در برنامه‌های پاسخگویی بار دارند انجام می‌شود به طوری که سیستم ذخیره‌ساز در ساعات اوج شبکه سبب تامین قابل‌توجهی از نیاز مصرف‌کنندگان خواهد شد.

در پژوهش سان و همکاران (Sun et al, 2021) یک رویکرد جدید برای تجدیدساختار در سیستم قدرت به ویژه بازار خرده فروشی پیشنهاد شده است. این ساختار جدید مبتنی بر چندین خریدار و چندین فروشنده است. در نهایت ساختار پیشنهادی سبب تصمیم‌گیری بهینه خرده‌فروش در خصوص مدیریت ریسک و تعیین سبد بهینه خرید انرژی خواهد شد.

در پژوهش اسماعیلی و همکاران (Esmaeili et al, 2019) مساله مدلسازی رقابت میان خرده‌فروش و ریزشبکه‌های موجود در شبکه برق جهت خرید و فروش انرژی در فضایی اقتصادی-تجاری بازار برق مطالعه شده است. در این پژوهش مدل دوسطحی به منظور ایجاد تعادل در بازار خرده‌فروشی براساس شرایط بهینگی کروش-کان-تاکر(Karush–Kuhn–Tucker) محاسبه شده است. در نهایت این مدل سبب ایجاد فضای رقابتی در بازار برق جهت تامین مناسب انرژی مصرف‌کنندگان خواهد شد.

در پژوهش وئو و همکاران (Wu et al, 2019) مدلی اقتصادی محور مبتنی بر مدیریت انرژی برای خرده فروشان بازار برق در شبکه‌های هوشمند برق ارائه شده است. هدف این مدل حداقل‌سازی هزینه خرید انرژی با استفاده از برنامه‌های پاسخگویی بار و منابع انرژی تجدیدپذیر است. در این مدل، ریسک ناشی از نایقینی منابع تجدیدپذیر لحاظ شده است.

مزایای احتمالی معامله انرژی در بازار بین‌روزی برای مسائل زیست محیطی از دیدگاه خرده فروشان بازار برق در پژوهش برومند و همکاران (Boroumand et al, 2019) بررسی شده است. رویکرد اقتصادی- محیطی ارائه شده در این پژوهش نه تنها به مدیریت بهینه مصرف انرژی منجر می شود، بلکه مزایای زیست محیطی مانند به حداقل رساندن گرمایش جهانی را سبب می‌شود.

گسترش بازار برق در هر کشوری در وهله اول وابسته به ایجاد بستری مناسب از طرف سیاست‌گذاران انرژی در هر کشور می‌باشد. به عبارت دیگر سیاست مناسب می‌تواند موجب ترغیب بخش خصوصی به حضور فعال و موثر در بازار برق شود. چالش مربوط به بهینه‌سازیهای پرتفوی بازیگران بازار برق براساس شرایط و قیود مختلف اقتصادی، فنی و تجاری که نهایتا سبب تصمیم بهینه در بازار برق می‌شود موضوعی ست که در پژوهش احمدی و همکاران (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹:۴۱) بدان پرداخته شده است.

در پژوهش کنونی نیز براساس برنامه‌های پاسخگویی بار قیمت-محور مدل بهینه‌ای جهت تصمیم‌گیری خرده‌فروش در قراردادهای دوجانبه بازار برق و بازار حوضچه ارائه شده است. در این پژوهش ابتدا مدل فرمول‌بندی شده سود خرده‌فروش قبل از برنامه جابه‌جایی بار و اعمال پاسخگویی بار ارائه می‌شود. پس از اصلاح قیمت، مدل فرمول‌بندی‌شده غیرخطی سود خرده‌فروش بعد از جابجایی بار ارائه می‌گردد. در ادامه حداکثرسازی اختلاف میان این دو مقدار در قالب تابع نهایی سود خرده‌فروش با درنظرگرفتن قراردادهای دوجانبه و بازار حوضچه و قیود حاکم بر مدل براساس بهینه‌سازی بازه‌ای انجام خواهدشد. تعیین نقاط پرتو براساس تعرفه‌های قیمت‌گذاری زمان استفاده و زمان لحظه‌ای براساس روش اپسیلون محدود و فازی ضمن تبیین پارامترهای پوشش دهنده ریسک نیز در مدل پیشنهادی در تصمیم بهینه خرده‌فروش لحاظ شده است. برنامه‌ریزی غیرخطی نهایی جهت تعیین تصمیم بهینه خرده‌فروش توسط نرم‌افزار GAMS و با حل‌کننده مناسب اجرا می‌شود.

مشارکت (نوآوری) پژوهش کنونی را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

- تحلیل مدلی تجاری-اقتصادی به منظور حداکثر تعامل میان خرده‌فروش و مصرف‌کننده براساس مدلسازی برنامه‌های پاسخگویی بار
- دستیابی به مدلی جهت حضور همزمان خرده‌فروش در قراردادهای دوجانبه و بازار حوضچه براساس مدلسازی ریسک
- رویکردی اقتصادی با هدف حداکثرسازی مشارکت مصرف‌کننده در مدیریت مصرف انرژی

۴. روش پژوهش

۱.۴ مدل‌سازی تجارتی اقتصادی پژوهش جهت تصمیم‌گیری بهینهٔ خرده‌فروش در بازار برق

براساس مدل تجاری-اقتصادی پیشنهادی طبق روابط (۳) و (۴) تصمیم‌گیری اولیه خرده‌فروش انجام می‌شود. در این حالت سود عبارتست از اختلاف میان درآمد فروش انرژی به مشترک و هزینه خرید انرژی در قراردادهای دوجانبه و بازار حوضچه:

$$F_0 = \sum_{t=1}^{N_T} \sum_{j=1}^{N_J} \lambda_{jt}^{c} P_{jt}^{c} L_t^C - \sum_{b=1}^{N_B} \lambda_b^B P_b^B L_b^B \qquad (۳)$$
$$\sum_{\omega=1}^{N_\omega} \sum_{t=1}^{N_T} \sum_{r\in\theta_{tr}} \pi_\omega \lambda_{r\omega}^P L_r^P \left(\sum_{j=1}^{N_J} P_{jt}^C - \sum_{b\in\Omega_{rb}} P_b^B - \right)$$

به منظور ایجاد مشارکت در برنامه‌های پاسخگویی بار و ترغیب مشترک به حضور در برنامه جابجایی بار و جابجا نمودن مصرف خود از ساعات با تعرفه بالا در بازار حوضچه به ساعات با تعرفه پایین‌تر خرده‌فروش بازار برق مقدار قیمت فروش λ_{jt}^{C} را اصلاح نموده که پس از اصلاح قیمت فروش انرژی به مشترک سود خرده‌فروش از رابطه(۴) به‌دست خواهد آمد. یکی از معیارهای مدل پیشنهادی جهت تعیین تصمیم بهینه خرده‌فروش حداکثرسازی عبارت سود نهایی خرده‌فروش که حاصل از اختلاف میان F_0 و F_L است، می‌باشد.

$$F_L = \sum_{\omega=1}^{N_\omega} \sum_{t=1}^{N_T} \sum_{j=1}^{N_J} \pi_\omega (\lambda_{jt}^C + \Delta\lambda_{jt}^C) \times (P_{jt}^C + \Delta P_{jt\omega}^C) L_t^C - \qquad (۴)$$
$$\sum_{b=1}^{N_B} \lambda_b^B P_b^B L_b^B + \sum_{\omega=1}^{N_\omega} \sum_{r=1}^{N_R} \pi_\omega \lambda_{r\omega}^P L_r^P \sum_{b\in\Omega_{rb}} P_b^B$$

$\sum_{\omega=1}^{N_\omega}\sum_{t=1}^{N_T}\sum_{r\in\theta_{tr}}\pi_\omega\lambda_{r\omega}^{P}L_r^{P}\sum_{j=1}^{N_j}(P_{jt}^{C}+\Delta P_{jt\omega}^{C})$

هم‌چنین مدلسازی و ارزیابی ریسک خرده‌فروش در این پژوهش بر مبنـای معیـار ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR) و با استفاده از بهینه‌سازی رابطه (۵)–(۷) که در پـژوهش سانگ و املین (Song and Amelin et al,2017) نیز آمده است مطرح می‌گردد:

$$CVaR=Maximize_{\xi,\eta_\omega\ \forall\omega}\quad \xi-\frac{1}{1-\alpha}\sum_{\omega=1}^{N}\pi_\omega\eta_\omega \qquad (۵)$$

s.t

$$\eta_\omega\geq \xi-R_\omega\ ;\ \forall\omega \qquad (۶)$$

$$\eta_\omega\geq 0\ ;\ \forall\omega \qquad (۷)$$

در رابطه(۶) R_ω سود خرده‌فروش بوده که براساس رابطه (۸) محاسبه شده و رابطـه (۹) نیز تبیین‌کننده امید ریاضی سود خرده‌فروش است.

$$R_\omega=\sum_{t=1}^{N_T}\sum_{j=1}^{N_J}(1-E_{jt\omega})\Delta\lambda_{jt}^{c}P_{jt}^{c}L_t^{C}-\sum_{t=1}^{N_T}\sum_{j=1}^{N_j}\frac{E_{jt\omega}P_{jt}^{c}L_t^{C}}{\lambda_{jt}^{c}}(\Delta\lambda_{jt}^{c})^2+ \qquad (۸)$$

$$\sum_{t=1}^{N_T}\sum_{r\in\theta_{tr}}\sum_{j=1}^{N_J}\frac{E_{jt\omega}P_{jt}^{c}}{\lambda_{jt}^{c}}L_r^{P}\lambda_{r\omega}^{P}\Delta\lambda_{jt}^{c};\ \forall\omega$$

$$EXP=\sum_{\omega=1}^{N_\omega}\pi_\omega R_\omega \qquad (۹)$$

در ادامـه پـارامتر (β) کـه شاخصـی جدیـد بـرای پوشـش‌دهـی ریسـک در مـدل پیشنهادی می‌باشد معرفی می‌شود که براساس رابطه (۱۰)مشـخص مـی‌شـود. ایـن رابطـه از دو قسمت تشکیل شده است. سود مورد انتظار برای خرده‌فروش و حاصل‌ضـرب CVaR و β. این رابطه در مدل پیشنهادی تصمیم‌گیری بهینـه در قالـب منـافع خـرده‌فـروش مـاکزیمم خواهد گشت:

$$ObjVal:\ \beta\left(\sum_{\omega=1}^{N_\omega}\pi_\omega R_\omega\right)+(1-\beta)\ CvaR \qquad (۱۰)$$

۲.۴ قیود حاکم بر پژوهش

$$\sum_{t=1}^{N_T}\lambda_{jt}^{c}P_{jt}^{c}L_t^{C}\leq 0;\quad \forall j,\forall\omega \qquad (۱۱)$$

$$\lambda_{jt}^{C}+\Delta\lambda_{jt}^{c}\geq 0;\quad \forall j,\forall t \qquad (۱۲)$$

$$P_{jt}^{C}-\frac{E_{jt\omega}P_{jt}^{c}}{\lambda_{jt}^{c}}\Delta\lambda_{jt}^{c}\geq 0 \qquad \forall j,\forall t,\forall \boldsymbol{\omega} \qquad (۱۳)$$

$$-aP_{jt}^{C}\leq -\frac{E_{jt\omega}P_{jt}^{c}}{\lambda_{jt}^{c}}\Delta\lambda_{jt}^{c}\leq aP_{jt}^{C} \qquad \forall j,\forall t\in\Lambda_{tm},\forall m,\forall \boldsymbol{\omega} \qquad (۱۴)$$

قید(۱۱) تبیین‌کننده این است که مقدار پرداختی مشترکین قابل افزایش نخواهد بود.

قید(۱۲) تبیین‌کننده این است که میزان قیمت فروش انرژی بعد از اصلاح قیمت نباید منفی باشد.

قید(۱۳) الزام‌کننده مثبت بودن میزان مصرف مصرف‌کنندگان پس از جابجایی بار است.

قید(۱۴) مقدار مجاز مصرف در هر ماه را مشخص می‌کند ($0\leq a\leq 1$). هم‌چنین در روابط فوق $E_{jt\omega}$ کشش قیمتی مشترکین می‌باشد که طبق رابطه (۱۵) مدلسازی آن انجام شده است.

$$E_{jt\omega}=\frac{-\Delta P_{jt\omega}^{C}/P_{jt}^{C}}{\Delta\lambda_{jt}^{C}/\lambda_{jt}^{C}} \qquad (۱۵)$$

در ادامه تابع نهایی سود خرده فروش براساس رابطه(۱۶) به منظور حداکثرسازی معرفی می‌شود. بخش اول این رابطه درآمد خرده‌فروش ناشی از فروش انرژی به مشترک بوده و بخش دوم و سوم به ترتیب هزینه شرکت در بازار حوضچه و قرارداد دوجانبه است. در این پژوهش متغیر قیمت فروش در دو حالت شامل قیمت قیمت گذاری زمان استفاده و قیمت گذاری زمان واقعی تعیین می شود. معادله (۱۷) هزینه خرید توان از بازار را نشان می دهد. همچنین هزینه خرید توان از قراردادهای دوجانبه در معادله (۱۸) نشان داده شده است.

$$Maxf(x)=\sum_{t=1}^{T}P(t)D(t)-\sum_{t=1}^{T}\lambda_{r\omega}^{P}P_{t}^{P}-\sum_{b}^{B}\sum_{t=1}^{T}\lambda_{b}^{B}P_{b}^{B} \qquad (۱۶)$$

قید (۱۷) بیانگرآن است که حداکثر توان خریداری شده از قرارداد دوجانبه در بازه حداقل و حداکثر تقاضا قرار دارد و قید (۱۸) بیانگر کل توان خریداری شده از قرارداد دوجانبه است.

$$P_{b}^{min}<P_{b,t}<P_{b}^{max} \qquad (۱۷)$$

$$P_{t}^{BC}=\sum_{b=1}^{B}P_{b,t} \qquad (۱۸)$$

۳.۴ روش بهینه‌سازی بازه‌ای در پژوهش

همواره یک مدل بهینه‌سازی استاندارد برای مسئله بهینه‌سازی قطعی می‌تواند ارائه شود. این مدل بهینه‌سازی با قیود متساوی و نامتساوی در حضور پارامتر دارای عدم قطعیت ρ به شکل استاندارد به صورت رابطه (۱۹-۲۱) ارائه می‌شود:

$$Min\ f(X,U,\rho) \qquad (۱۹)$$

$$s.t.$$

$$g(X,U,\rho)=0 \qquad (۲۰)$$

$$h(X,U,\rho)\le 0 \qquad (۲۱)$$

در روش بهینه‌سازی بازه‌ای پیشنهادی مقادیر کران بالا و پایین پارامتر به جای مقادیر مورد انتظار ($\rho \in U=[U^{Min},U^{Max}]$) در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، پارامتر دارای عدم قطعیت به صورت یک پارامتر بازه‌ای بیان می‌شود. بنابراین به جای اینکه برای مقدار مورد نظر در نظر گرفته شود کران بالا و پایین برای تابع هدف به دست می آید ($f(x)\in[f^{-}(X),f^{+}(X)]$). معادلات (۲۲) و (۲۳) به ترتیب کران‌های بالا و پایین تابع هدف می‌باشند.

$$f^{+}(X)=\max_{\rho\subseteq U} f(X) \qquad (۲۲)$$

$$f^{-}(X)=\min_{\rho\subseteq U} f(X) \qquad (۲۳)$$

یک تابع هدف بازه‌ای مبتنی بر عدم قطعیت می‌تواند به یک مدل چندهدفه قطعی با متوسط سود و تغییرات سود به صورت یک تابع هدف متضاد تبدیل شود که در آن متوسط سود باید بیشینه شود در حالی که تغییرات سود باید کمینه شود.. مدل چند هدفه پیشنهادی مبتنی بر روش بهینه‌سازی بازه‌ای از طریق روابط (۲۴-۲۶) بیان می‌شود:

$$Min\ f(x)=\min(-f^{M}(X),f^{W}(X) \qquad (۲۴)$$

$$f^{M}(X)=\frac{f^{+}(X)+f^{-}(X)}{2} \qquad (۲۵)$$

$$f^{W}(X)=\frac{f^{+}(X)-f^{-}(X)}{2} \qquad (۲۶)$$

در روابط فوق $f^M(X)$ و $f^W(X)$ به ترتیب متوسط سود و تغییرات سود خرده‌فروش می‌باشند.

۴.۴ اعمال رویکرد اپسیلون محدود و فازی در پژوهش

جهت دست‌یابی به نقاط بهینه پرتو در بهینه‌سازی بازه‌ای پیشنهادی از رویکرد اپسیلون محدود استفاده شده است. در نهایت بر مبنای روش فازی تصمیم‌گیری برای نهایت پرتو انجام می‌شود. در روش اپسیلون محدود در مرحله اول حداقل و حداکثر مقدار متوسط سود و انحراف سود خرده‌فروش محاسبه می‌شود($f^M_{max}(X)$، $f^M_{max}(X) - f^M_{min}(X)$ و $f^W_{max}(X) - f^W_{min}(X)$). در مرحله دوم تابع متوسط سود به عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته شده و تابع انحراف سود به عنوان قید تابع هدف اصلی تلقی شده که توسط پارامتر ε محدود خواهد شد. این رویکرد در رابطه (۲۷) به صورت ریاضی بیان شده است.

$$OF=\min(-f^M(x)) \qquad (۲۷)$$

s.t.

$$-f^W(x) \le \varepsilon$$

سایر قیود

در مرحله سوم پارامتر محدودکننده اپسیلون بر روی حداقل مقدار انحراف سود تنظیم‌شده و مقدار آن از حداقل مقدار انحراف($f^W_{min}(X)$) تا حداکثر مقدار انحراف ($f^W_{max}(X)$) افزایش می‌یابد. از طرفی متوسط سود به عنوان تابع هدف اصلی مساله از حداکثر مقدار($f^M_{max}(X)$) تا حداقل مقدار ($f^M_{min}(X)$) مقداردهی می‌گردد.

در ادامه رویکرد فازی براساس روابط(۲۸)-(۳۰) به مساله بهینه‌سازی بازه‌ای اعمال می‌شود. قابل ذکر است که $f^M(X)_{pu}$ و $f^W(X)_{pu}$ مقادیر نرمالیزه شده متوسط سود و تغییرات سود خرده‌فروش می‌باشند. این مقادیر براساس رابطه (۲۸) و(۲۹) محاسبه شده و در هر تکرار با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

$$f^M(X)_{pu} = \frac{f^M(X) - f^M_{min}(X)}{f^M_{max}(X) - f^M_{min}(X)} \qquad (۲۸)$$

$$f^W(X)_{pu} = \frac{f^W_{max}(X) - f^W(X)}{f^W_{max}(X) - f^W_{min}(X)} \qquad (۲۹)$$

پس از تعیین تمامی مقادیر نرمالیز شده حداقل مقدار توسط رابطه (۳۰) انتخاب می‌شود.

$$f_n = \min(f_1^n, \dots\dots\dots\dots, f_N^n)\,; n = 1, \dots\dots\dots, N \qquad (۳۰)$$

در نهایت حداکثر مقدار بین تمامی مقادیر حداقل به عنوان پارامتر تصمیم‌گیرنده در مساله چندهدفه پیشنهادی طبق رابطه (۳۱) انتخاب می‌شود.

$$f^{max} = \max(f^1, \dots\dots\dots, f^N) \qquad (۳۱)$$

۵.۴ فرضیات پژوهش و مقداردهی داده‌ها (کالیبره‌کردن داده‌ها)

۱. عملکرد خرده‌فروش در بازار برق براساس قرارداد دوجانبه به طور مستقیم با مصرف‌کننده نهایی در نظر گرفته شده است.

۲. قیمت‌ها در بازار حوضچه و قرارداد دوجانبه به صورت شش بلوک زمانی فرض شده است.

۳. ۶ بلوک زمانی به صورت شنبه تا چهارشنبه ساعات اوج و غیراوج، پنج‌شنبه ساعات اوج و غیراوج و جمعه ساعات اوج و غیراوج فروض شده است.

۴.تعرفه‌های مورد استفاده بر مبنای برنامه پاسخگویی بار قیمت محور از نوع قیمت‌گذاری زمان لحظه‌ای(RTP)و قیمت‌گذاری زمان استفاده(TOU) می‌باشد.

۵.خرده‌فروش در مدل پیشنهادی انرژی را به سه گروه از مشترکین خانگی، تجاری و صنعتی می‌فروشد.

۶. دوره‌های زمانی اوج و غیراوج مصرف انرژی به دو بلوک ۱۲ ساعته در شبانه‌روز تقسیم شده‌اند.

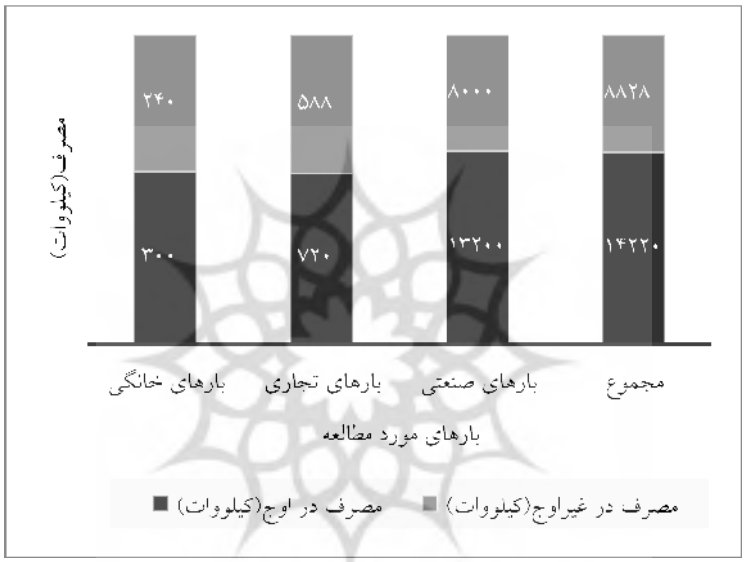
۷. سناریوهای مربوط به کشش قیمتی مشترکین براساس تابع توزیع نرمال با یک مقدار متوسط و یک مقدار انحراف از معیار انتخاب شده‌اند.

۸. مقدار متوسط تابع توزیع نرمال برای مشترکین خانگی، تجاری و صنعتی به ترتیب ۰.۳، ۰.۷ و ۱.۱ می‌باشد.

۹. مقدار انحراف از معیار تابع توزیع ترمال برای مشترکین خانگی، تجاری و صنعتی به‌ترتیب ۰.۱۵، ۰.۳۵ و ۰.۰۷ می‌باشد.

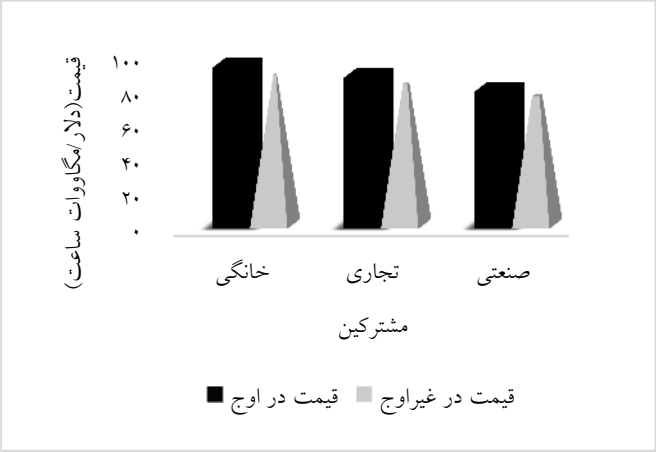
۱۰. افق زمانی قرارداد دوجانبه میان خرده‌فروش و مصرف‌کننده یک ماه در نظر گرفته شده است.

نمودار شکل(۲) بیانگر میزان مصرف هر یک از مشترکین در ساعات اوج و غیراوج می‌باشد.



شکل ۲. نرخ مصرف مشترکین در ساعات اوج و غیراوج
منبع: داده‌های برآورد شده مشابه با داده‌های مصرف انرژی منتشر شده توسط وزارت نیرو

نمودار شکل(۳) نیز بیانگر قیمت انرژی در ساعات اوج و غیراوج می‌باشد.



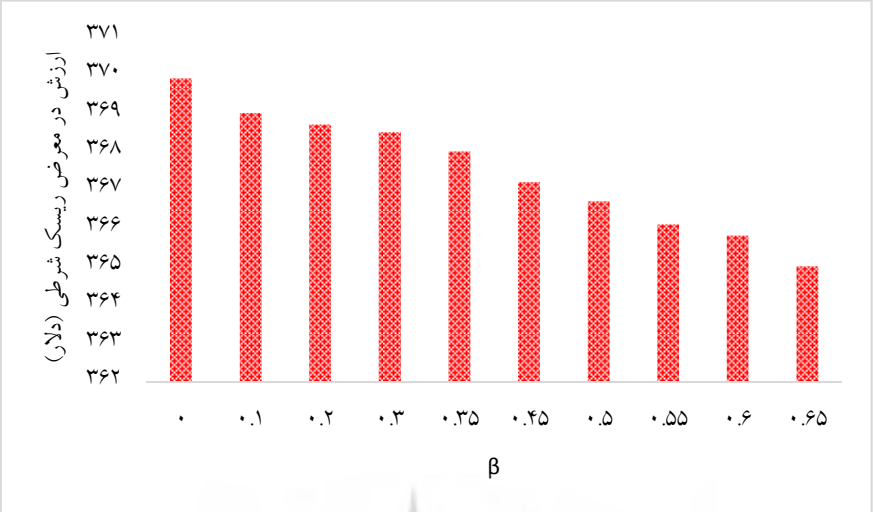
شکل ۳. قیمت در ساعات اوج و غیراوج

منبع: قیمت برق در بازارهای جهانی انرژی با احتساب یارانه انرژی در ایران جهت واقعی کردن پژوهش

۵. تحلیل بحث در یافته‌های تجربی پژوهش

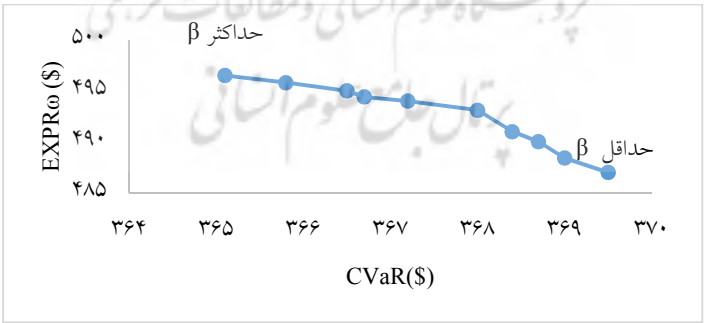
بهینه‌سازی مدل پیشنهادی طبق روابط و قیود (۳)-(۳۱)به منظور تعیین تصمیم بهینه خرده‌فروش انجام شده است. مساله فوق از نوع برنامه‌ریزی غیرخطی است که با استفاده از حل‌کننده SNOPT که در پژوهش فیلیپ و همکاران(Philip et al, 2002) معرفی شده حل خواهد شد. نهایتا براساس انتخاب حل‌کننده مناسب و نرم‌افزار GAMS با RAM 8GB در سیستم عامل ویندوز مدل تحت حل و بهینه‌سازی قرار خواهد گرفت(Rosenthal, 2002).

جهت حل مدل ۴۰ سناریو برای قیمتهای حوضچه و ۲۰ سناریو به طور تصادفی برای کشش مصرف‌کننده تولید شده‌اند. بنابراین در مجموع ۸۰۰ سناریو براساس رویکرد درختی ایجاد شده و سود خرده‌فروش در طی این سناریوها بدست آمده است. شکل (۴) بیان‌گر تغییرات فاکتور وزنی امید ریاضی سود برمبنای پارامتر CVaR (ریسک در معرض شرطی) است. از اینرو با افزایش پارامتر β میزان ریسک در معرض شرطی کاهش خواهد یافت. از طرفی براساس رابطه (۵) با کاهش میزان پارامتر سطح اطمینان α، تغییرات قیمت از سوی خرده‌فروش افزایش بیشتر شده که سبب افزایش جابجایی بار از سمت مصرف‌کننده می‌شود.



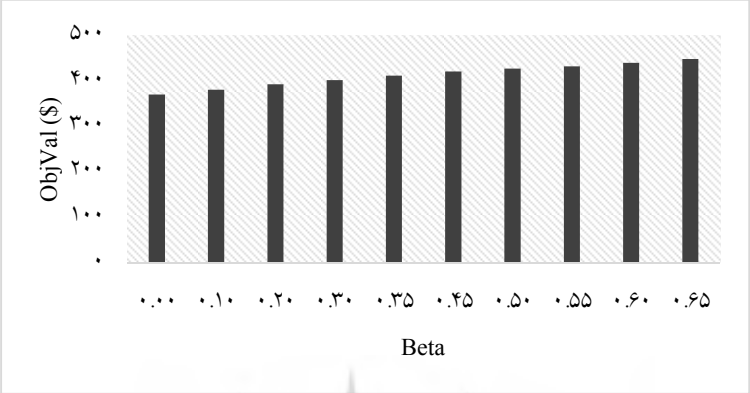
شکل ۴. تغییرات CVaR براساس تغییرات β
منبع: یافته‌های تحقیق

شکل(۵) نیز بیانگر میزان تغییرات CVaR در مقابل سود مورد انتظار خرده‌فروش است. با افزایش β، ضمن کاهش میزان ریسک در معرض شرطی مربوط به سود خرده‌فروش بازار برق میزان سود مورد انتظار خرده‌فروش که در رابطه (۸) بیان شده است افزایش می‌یابد. از طرفی با کاهش یافتن پارامتر α تغییرات مربوط به قیمت اعمالی از سمت خرده‌فروش بازار برق افزایش می‌یابد. افزایش میزان تغییرات قیمتی باعث پاسخ مناسب از سمت مشترکین و جابجایی بار می‌شود.



شکل ۵. تغییرات مربوط به سود مورد انتظار خرده‌فروش بازار برق براساس تغییرات CvaR
منبع: یافته‌های تحقیق

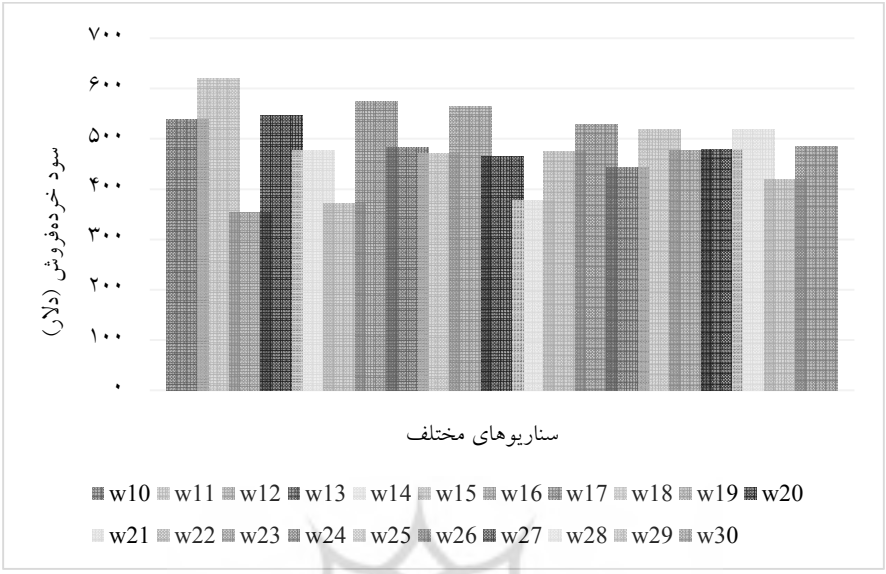
شکل (۶) نشانگر تغییرات پارامتر β براساس تغییرات تابع هدف تعریف شده در رابطه (۹)و (۱۰) می‌باشد.



شکل ۶. تغییرات ObjVal برحسب میزان تغییرات β
منبع: یافته‌های تحقیق

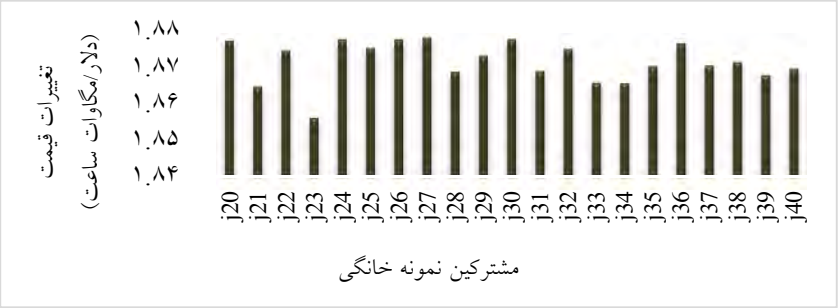
براین اساس بر طبق نمودار (۶) با افزایش میزان β، تابع هدفی که همان رابطه (۹) بیانگر آن است افزایش می‌یابد و به عبارتی میزان سود نهایی خرده‌فروش افزایش یافته است. این افزایش سود خرده‌فروش از آنجا بدست می‌آید که سطح اطمینان α کاهش یافته است، قیمتها در ساعات پیک افزایش یافته و مشترک به منظور کاهش هزینه‌های پرداختی خود لازم است در برنامه‌های پاسخگویی بار شرکت نماید. به عبارتی لازم است مصرف‌کننده مصرف خود را به ساعات غیراوج انتقال دهد تا فرآیند جابجایی بار رخ دهد.

در شکل (۷) میزان سود خرده‌فروش به ازای سناریوهای مختلف که براساس رابطه(۸) در مدل پیشنهادی بدست آمد نمایش داده شده است. براین اساس در زمانهایی که خرده‌فروش بر مبنای برنامه مناسب پاسخگویی بار مصرف‌کننده را متقاعد به جابجایی کرده است هزینه‌های خود را کاهش داده و توانسته میزان سود خود را حداکثر نماید.

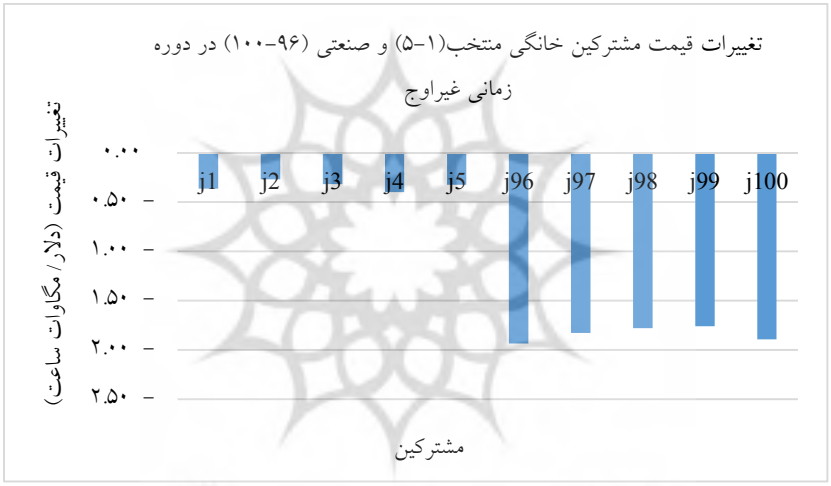


شکل ۷. میزان سود خرده‌فروش به ازای ۲۱ سناریو مختلف در مدل پیشنهادی
منبع: یافته‌های تحقیق

در ادامه شکل(۸) نشان‌دهنده تغییرات برای قیمت در ۲۰ مصرف‌کننده خانگی در بازه زمانی نمونه است. بر مبنای این شکل، خرده‌فروش قیمت فروش انرژی را برای بازه زمانی اوج افزایش داده تا مصرف‌کننده ترغیب به کاهش مصرف در ساعات با قیمت بالای بازار حوضچه شود. از طرفی خرده‌فروش بازار برق در ساعات کم‌باری قیمت فروش انرژی را کم‌تر خواهد نمود تا مصرف‌کنندگان مصرف بیشتری را در این ساعات داشته باشند. به‌طور کلی تحلیل تغییرات قیمت برای مشترکین براساس پارامتر کشش(الاستیسیته) بدین صورت است که تغییرات قیمت برای مشترکین با کشش کم، زیاد خواهد بود. بر این اساس مقایسه تغییرات قیمت برای ۵ مشترک خانگی و ۵ مشترک صنعتی در دو شکل (۹) و (۱۰) در ادامه آمده است. بیشترین و کمترین تغییرات قیمت به ترتیب مربوط به مصرف‌کننده خانگی و صنعتی می‌باشد.

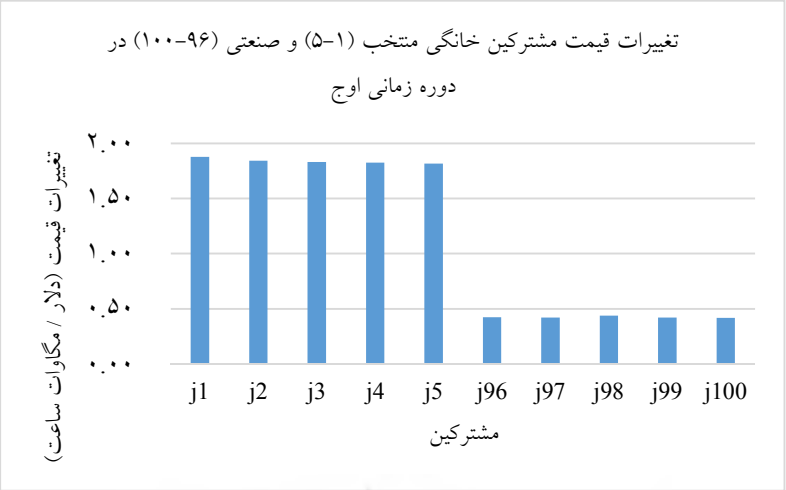


شکل ۸ تغییرات قیمت برای منتخبی از مشترکین خانگی در دوره زمانی اوج
منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۹. مقایسه تغییرات قیمت برای مشترکین خانگی و صنعتی در دوره زمانی غیراوج
منبع: یافته‌های تحقیق

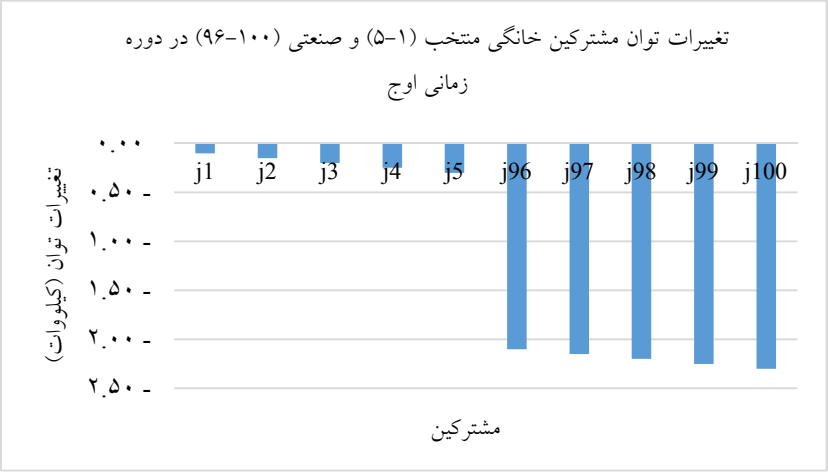
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



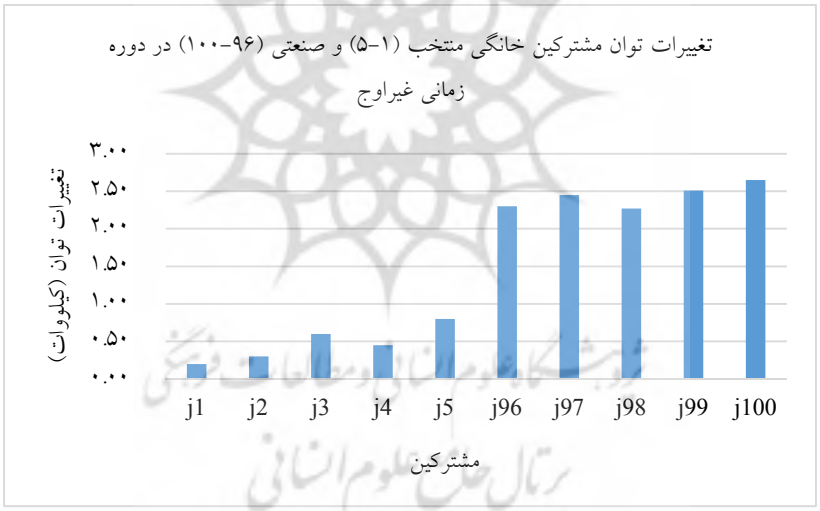
شکل ۱۰. مقایسه تغییرات قیمت برای مشترکین خانگی و صنعتی در دوره زمانی اوج
منبع: یافته‌های تحقیق

تغییرات توان نیز برای هر مصرف‌کننده به کشش قیمتی بستگی دارد که دارای عدم‌قطعیت بوده و این عدم قطعیت با در نظر گرفتن ۲۰ سناریو مختلف برای هر مصرف‌کننده مدل سازی شده است. شکل (۱۱) و (۱۲) به ترتیب مقایسه تغییرات توان برای مصرف‌کنندگان خانگی و صنعتی را در ساعات اوج و غیراوج نشان می‌دهند. همان‌طور که انتظار می رود، مصرف‌کنندگان میزان مصرف خود را در ساعات اوج کاهش و در ساعت غیراوج افزایش می‌دهند و همین موضوع سبب صاف‌تر شدن منحنی تداوم بار می‌شود.

بیش‌ترین و کم‌ترین تغییرات توان به ترتیب مربوط به مصرف‌کننده صنعتی و خانگی می‌باشد.

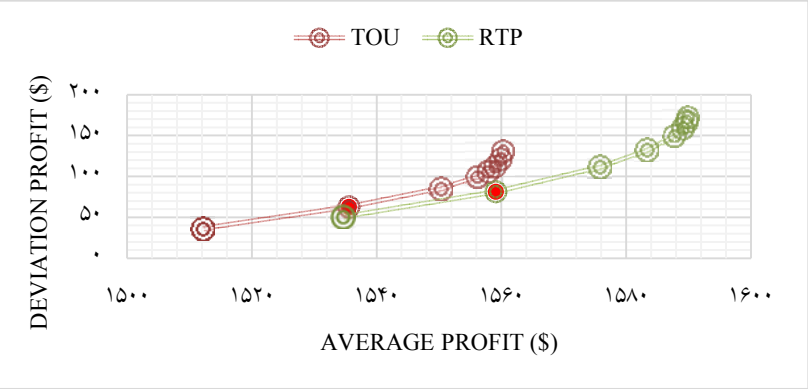


شکل ۱۱. مقایسه تغییرات توان برای مشترکین خانگی و صنعتی در دوره زمانی اوج
منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۱۲. مقایسه تغییرات توان برای مشترکین خانگی و صنعتی در دوره زمانی غیراوج
منبع: یافته‌های تحقیق

شکل(۱۳) میزان سود خرده‌فروش را برای تعرفه‌های زمان استفاده و زمان حقیقی براساس بهینه‌سازی بازه‌ای نشان می‌دهد. (نقاط دایره قرمز رنگ نشان‌دهنده نقطه بهینه انتخاب شده بر اساس منحنی پرتو می‌باشد)



شکل ۱۳. پاسخ‌های پرتو بر مبنای رویکرد بهینه‌سازی چند هدفه بازه‌ای
منبع: یافته‌های تحقیق

مطابق با راه حل‌های پرتو منطبق بر رویکرد بهینه‌سازی بازه‌ای و همچنین بر مبنای قیمت‌گذاری زمان استفاده، سود متوسط خرده‌فروش برابر با ۱۵۳۵/۶۵$ است در حالی که تغییرات سود ۶۲/۸۶$ می‌باشد، همچنین با استفاده از قیمت‌گذاری زمان واقعی، متوسط سود خرده‌فروش ۱۵۵۹/۱$ می‌باشد در حالی که تغییرات سود ۸۱/۰۸۱ می‌باشد. این نتیجه بدین معنی است که متوسط سود خرده‌فروش در قیمت‌گذاری زمان واقعی در مقایسه با قیمت‌گذاری زمان استفاده و قیمت‌گذاری ثابت افزایش یافته است. در نهایت با مقایسه راه‌حل مناسب به دست آمده درقیمت‌گذاری زمان استفاده و قیمت‌گذاری واقعی می‌توان مشاهده کرد که در قیمت‌گذاری زمان واقعی، متوسط سود خرده‌فروش بیشتر از ۱/۵۴ ٪ نسبت به قیمت‌گذاری زمان استفاده افزایش یافته است که این افزایش به دلیل واقعی‌تربودن تعرفه زمان حقیقی نسبت به زمان استفاده می‌باشد.

جدول (۱) نیز نتایج حاصل از بهینه‌سازی بازه‌ای و اعمال رویکرد اپسیلون محدود و فازی در تعیین نقاط پرتو براساس روابط (۱۹)-(۳۱) برای تعرفه‌های زمان استفاده و زمان حقیقی نشان می‌دهد. این در حالی ست که در صورت عدم بکارگیری بهینه‌سازی بازه‌ای نتایج به صورت جدول (۲) می‌باشد.

جدول ۱. نتایج حاصل از رویکرد پرتو در مدل بهینه‌سازی پیشنهادی
منبع: یافته‌های تحقیق

#	متوسط سود (قیمت‌گذاری زمان استفاده)-دلار	انحراف سود (قیمت‌گذاری زمان استفاده)-دلار	متوسط سود (قیمت‌گذاری زمان لحظه‌ای)-دلار	انحراف سود (قیمت‌گذاری زمان لحظه‌ای)-دلار
۱	۱۰۳۳/۵۳	۱۹۲/۱۱	۱۱۶۵/۷۱	۱۹۲/۱۱
۲	۱۰۳۱/۴۷	۱۸۱/۲۱	۱۱۵۰/۶۹	۱۸۱/۲۱
۳	۱۰۲۴/۱۲	۱۷۰/۳۲	۱۱۳۸/۴۳	۱۷۰/۳۲
۴	۱۰۲۲/۴۳	۱۶۲/۱۵	۱۱۲۶/۲۹	۱۶۲/۱۵
۵	۱۰۱۸/۳۵	۱۵۰/۴۳	۱۱۱۲/۷۸	۱۵۰/۴۳
۶	۱۰۱۵/۸۵	۱۴۳/۷۴	۱۱۰۲/۶۶	۱۴۳/۷۴
۷	۱۰۱۱/۶۷	۱۳۹/۶۶	۱۰۸۴/۴۲	۱۳۹/۶۶
۸	۹۹۵/۴۳	۱۲۳/۵۷	۱۰۷۰/۲۷	۱۲۳/۵۷
۹	۹۹۱/۷۵	۱۱۴/۱۸	۱۰۵۳/۱۵	۱۱۴/۱۸
۱۰	**۹۸۴/۴۶**	**۱۰۱/۰۹**	**۱۰۳۱/۴۴**	**۱۰۱/۰۹**

جدول ۲. نتایج حاصل از عدم بکارگیری بهینه‌سازی بازه‌ای(مدل قطعی)
منبع: یافته‌های تحقیق

شاخص	قیمت‌گذاری زمان استفاده	قیمت‌گذاری زمان لحظه‌ای
متوسط سود	۱۰۱۳/۸۷	۱۰۳۵/۶۲
انحراف سود	۲۶۸/۳۱	۲۶۴/۵۴

براساس جداول (۱) و (۲) و همچنین جهت تعیین سیاست بهینه در بازار خرده‌فروشی انرژی می‌توان بیان کرد:

رویکرد قیمت‌گذاری زمان لحظه‌ای سود خرده‌فروش را در مقایسه با قیمت‌گذاری زمان استفاده فزایش می‌دهد. علاوه بر این، می‌توان نتیجه گرفت که سود خرده‌فروش در قیمت‌گذاری زمان لحظه‌ای و زمان استفاده براساس رویکرد بهینه سازی بازه‌ای در مقایسه با رویکرد قطعی(در نظرنگرفتن عدم قطعیت) بدلیل مدلسازی مناسب عدم قطعیت قیمت بازار افزایش می یابد. در این راستا و براساس نتایج موجود در جداول (۱) و (۲)، در رویکرد بهینه‌سازی بازه‌ای ضمن مشاهده کاهش چشمگیر در انحراف سود خرده‌فروش، فقط مقدار اندکی از متوسط سود خرده‌فروش کاهش یافته است.

از میان ۸۰۰ سناریوی کل، ۴۵ سناریو به طـور گزینشـی منتخـب و سـود خـرده‌فـروش به‌ازای هر سناریو در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳. نتایج سود خرده‌فروش به ازای ۴۵ سناریوی منتخب

منبع: یافته‌های تحقیق

شماره سناریو	سود متناظر با هر سناریو (دلار)
۱	۴۲۲/۳۳
۲	۵۰۸/۱۶
۳	۴۰۴/۷۷
۴	۶۳۵/۴
۵	۵۹۷/۰۴
۶	۴۸۳/۵۹
۷	۲۸۸/۱۳
۸	۴۸۵/۶۵
۹	۴۳۹/۳
۱۰	۵۴۹/۷۷
۱۱	۶۳۸/۰۲
۱۲	۳۴۷/۴۵
۱۳	۵۵۶/۵۹
۱۴	۴۸۳.۰۹۹۶۹۱
۱۵	۳۶۷/۶۷
۱۶	۵۸۸/۸۲
۱۷	۴۹۰/۰۳
۱۸	۴۷۶/۲۱
۱۹	۵۷۶/۸
۲۰	۴۶۸/۴
۲۱	۳۷۴/۷۷
۲۲	۴۷۹/۷۲
۲۳	۵۳۹/۰۷
۲۴	۴۴۴/۴۸
۲۵	۵۲۶/۹۹
۲۶	۴۸۱/۹۳

۲۷	۴۸۴/۵۸
۲۸	۵۲۷/۸۷
۲۹	۴۱۸/۲
۳۰	۴۹۱/۵۸
۳۱	۵۰۴/۵۱
۳۲	۴۴۳/۹۳
۳۳	۵۲۸/۴۷
۳۴	۴۹۱/۸۳
۳۵	۴۶۴/۴۷
۳۶	۶۶۰/۷۸
۳۷	۳۷۲/۳۲
۳۸	۶۰۷/۴
۳۹	۴۶۲/۲۴
۴۰	۵۳۰/۷۲
۴۱	۴۳۱/۷۵
۴۲	۵۱۲/۹۳
۴۳	۴۱۵/۱۴
۴۴	۶۳۳/۲۸
۴۵	۵۹۷

۱.۵ اعتبارسنجی و تحلیل حساسیت در پژوهش

به منظور اعتبارسنجی مدل ارائه شده و راستی آزمایی در نتایج پژوهش می‌توان دو حالت زیر را با یک‌دیگر مقایسه نمود:

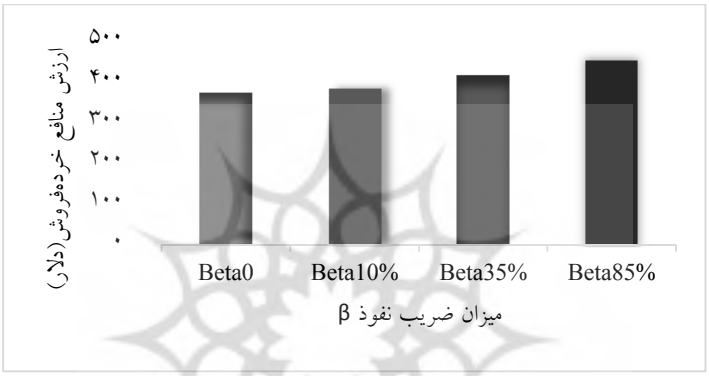
الف) تعیین میزان سود خرده‌فروش در حالت پایه

ب) تعیین میزان سود خرده‌فروش در مدل پیشنهادی

منظور از مدل پایه مدلی است که در آن پارامترهای موثر بر مدل بهینه ارائه شده در پژوهش لحاظ نشده باشد.

نمودار شکل (۱۴) بیانگر منافع خرده‌فروش در حضور و عدم حضور پارامتر β می‌باشد. در این شکل $\beta = 0$ بیانگر حالتی است که مدل پیشنهادی به کار گرفته نشده و سود (منافع)

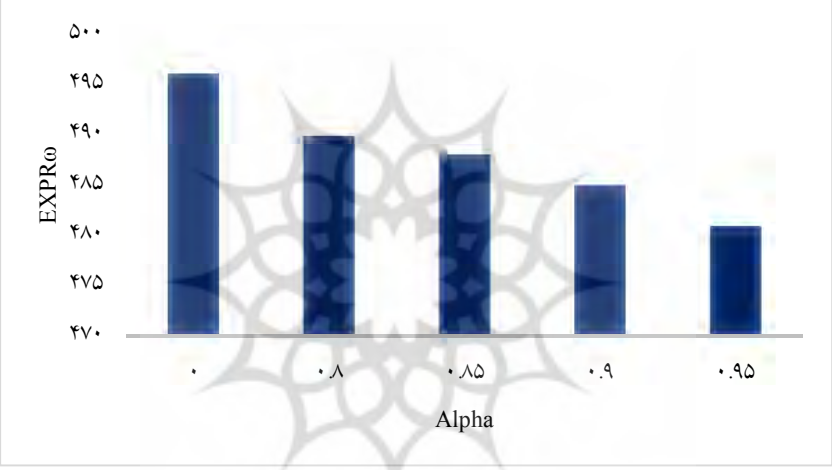
خرده‌فروش در کمترین حالت قرار دارد. سه حالت بعدی بیانگر میزان ضریب نفوذ پارامتر β در مدل ارائه شده است. براین اساس هر چه میزان ضریب نفوذ این پارامتر در بیش‌تر می‌شود حداکثرسازی سود خرده‌فروش صحیح‌تر انجام شده و منافع خرده‌فروش در بیش‌ترین مقدار قرار خواهد گرفت به طوری که β=85 بیانگر نفوذ ۸۵ درصدی این پارامتر در مدل است و سود خرده‌فروش حداکثر مقدار را بین سه مقدار دیگر خواهد داشت. بنابراین تاثیرگذاری پارامترβ بر روی مدل بهینه ارائه شده جهت تصمیم‌گیری خرده‌فروش بر طبق شکل(۱۴) اثبات می‌شود.



شکل ۱۴. اعتبارسنجی مدل ارائه شده بر مبنای ضریب نفوذβ
منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار شکل (۱۵) نیز بیانگر میزان سود مورد انتظار خرده‌فروش در حضور و عدم‌حضور پارامتر پوشش‌دهنده ریسک در مدل تصمیم‌گیری ارائه شده می‌باشد. براساس این نمودار و همچنین سود مورد انتظار خرده‌فروش که در رابطه (۹) بدان اشاره شد در α=0 خرده‌فروش نگرانی بابت ریسک نخواهد داشت(تمایل کامل به ریسک) و به‌عبارتی ریسک خنثی بوده و بالاترین سود مورد انتظار را کسب خواهد کرد. با افزایش سطح اطمینان α خرده‌فروش علاقه به پذیرش ریسک کمتری نشان داده که این عمل سبب کاهش میزان سود مورد انتظار خرده‌فروش نیز خواهد شد. در α=0.95 (پایین‌ترین میزان تمایل به ریسک) خرده‌فروش به طور کامل ریسک‌گریز شده و تمایل بسیار کمی به ریسک از خود نشان می‌دهد که در این صورت پایین‌ترین میزان سود را کسب خواهد نمود.

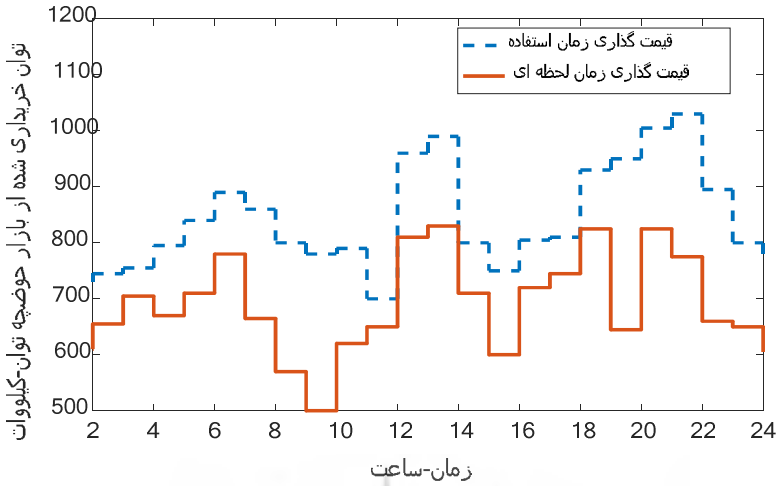
شکل(۱۶) و (۱۷) به ترتیب میزان خرید خرده‌فروش از بازار حوضچه و قرارداد دوجانبه را بر مبنای به‌کارگیری قیمت‌گذاری زمان حقیقی در مدل پیشنهادی نشان می‌دهد. از آن‌جایی که این نوع قیمت‌گذاری نسبت به قیمت‌گذاری زمان استفاده واقعی‌تر بوده و منعکس‌کننده شرایط واقعی بازار برق می‌باشد خرده‌فروش با بکارگیری مدل پیشنهادی میزان خرید خود از بازار حوضچه در روش قیمت‌گذاری زمان لحظه‌ای را به نسبت به قیمت‌گذاری زمان استفاده کاهش می‌دهد(شکل(۱۶)). از طرفی به دلیل ثبات در قیمت قرارداد دوجانبه میزان خرید خرده‌فروش در قیمت‌گذاری زمان لحظه‌ای نسبت به قیمت‌گذاری زمان استفاده، افزایش یافته است (شکل(۱۷)).



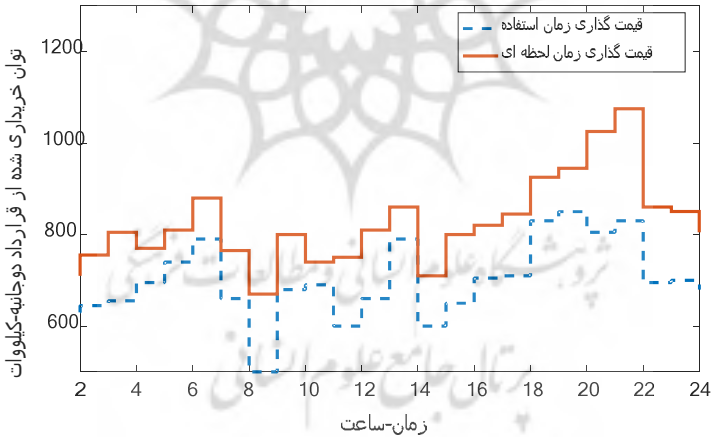
شکل ۱۵. اعتبارسنجی مدل ارائه شده برمبنای سطح اطمینان(α)

منبع: یافته‌های تحقیق

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱۶. خرید خرده‌فروش از بازار حوضچه
منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۱۷. خرید خرده‌فروش در طی قرارداد دوجانبه
منبع: یافته‌های تحقیق

جدول (۴) نتایج حاصل از مدل پیشنهادی بر مبنای برخی پارامترهای اساسی در تصمیم‌گیری خرده‌فروش را نشان می‌دهد. همانطور که در تعیین نقاط پرتو در شکل (۱۳)

نیـز نشـان داده شـد پارامترهـایی از جملـه میـانگین سـود، انحـراف سـود و کـل در آمـد خرده‌فروش در روش قیمت‌گذاری زمان واقعـی بهینـه‌تـر از قیمـت‌گـذاری زمـان اسـتفاده به‌دست آمده است.

جدول ۴. اعتبارسنجی مدل پیشنهادی براساس پارامترهای اساسی مدل تجاری-اقتصادی
منبع: یافته‌های تحقیق

پارامترهای اساسی در تصمیم‌گیری خرده‌فروش	قیمت‌گذاری زمان استفاده	قیمت‌گذاری زمان لحظه‌ای
متوسط سود خرده‌فروش(دلار)	۱۵۳۵	۱۵۶۰
انحراف سود خرده‌فروش(دلار)	۱۵۵	۱۳۲
کل درآمد خرده‌فروش(دلار)	۲۲۵۹	۲۳۶۶

۶. نتیجه‌گیری

با افزایش میـزان تقاضـای مشـترکین و مقـررات‌زدایـی در صـنعت بـرق، بـازار بـرق دارای ساختاری تجاری-اقتصادی شده است. خرده‌فروشان انرژی نیز بـه دلیـل ارتبـاط مسـتقیم بـا متقاضیان انرژی از یک سمت و تامین‌کنندگان انرژی از سمتی دیگر لازم است جهـت ورود به قراردادهای بازار برق مدل بهینه تجاری-اقتصادی را اتخاذ نمایند. درایـن پـژوهش، مـدل تجاری-اقتصادی مناسبی مبتنی بر رویکر بهینه‌سازی بازه‌ای بـه منظـور حداکثرسـازی سـود خرده‌فروش بر مبنای حضور در قراردادهای دوجانبه و شرکت در بازار حوضچه انجام شـد. برنامه‌ریزی بهینه انجام شده ضمن مدلسازی رفتار مصرف‌کننده و در نظرگـرفتن تعرفـه‌هـای قیمت‌گذاری زمان استفاده و زمان حقیقی نشان از تصمیم‌گیری بهینه خـرده‌فـروش در بـازار برق دارد. در این راستا مقدار بهینه حد مجاز ریسک‌پـذیری بـر مبنـای پارامترهـای مـوثر در مدل‌سازی ریسک تعیین و مورد بحث قـرار گرفـت. بـر مبنـای رویکـرد مـدل ارائـه شـده، خرده‌فروش تصمیم‌گیری مناسبتری بـه منظـور مـدیریت سـود خـود و تقاضـای مشـترکین تحت‌نظر خود داشته و میتوانـد بـازه‌هـایی کـه سـود خـود در آن بیشـینه اسـت را در طـی قراردادهای مختلف و بر مبنای مشارکت دادن مصرف‌کنندگان در برنامه‌های پاسخگویی بـار افزایش دهد. در نهایت بر مبنای به کارگیری رویکرد پرتو-فازی و استفاده از شـاخص‌هـای

متوسط سود و انحراف سود، بهینه‌سازی سود خرده‌فروش و مدیریت خرید انرژی در قراردادهای بازار برق انجام گرفت.

پیوست‌ها

علائم به کار رفته:

L_t^C تعداد ساعات مرتبط با دوره زمانی t(برحسب ساعت)

b بازه‌های زمانی مخصوص تبادلات خرده‌فروش و مصرف‌کننده در قرارداد دوجانبه

N_B دوره‌های زمانی تبادل خرده‌فروش و مصرف‌کننده از طریق قرارداد دوجانبه

λ_b^B قیمت قرارداد دوجانبه خرده‌فروش با شرکت تولیدکننده انرژی در دوره زمانی b (دلار/مگاوات ساعت)

P_b^B توان خریداری شده در طی قرارداد دوجانبه در دوره زمانی b(مگاوات)

L_b^B تعداد ساعات دوره زمانی b(ساعت)

N_J تعداد کل مشترکین

λ_{jt}^c قیمت انرژی برای مشترک j برای دوره زمانی t(دلار/مگاوات ساعت)

P_{jt}^c توان قرارداد شده با مشترک j برای دوره زمانی t (مگاوات)

r بازه‌های زمانی مخصوص تبادلات خرده‌فروش و مصرف‌کننده در بازار حوضچه

θ_{tr} دوره‌های زمانی r مرتبط با دوره زمانی t

$\lambda_{r\omega}^P$ میزان قیمت بازار حوضچه مربوط به دوره زمانی r در سناریو ω (دلار/ مگاوات ساعت)

P_t^p توان خریداری شده از بازار حوضچه(مگاوات)

L_r^P تعداد ساعات دوره زمانی r (ساعت)

t شاخصی مربوط به مجاز بودن دوره زمانی جهت عقد قرارداد خرده‌فروش با مشترک

N_T دوره‌های زمانی تبادل خرده‌فروش و مصرف‌کننده

F_0 سود خرده‌فروش قبل از جابجایی بار (برحسب دلار)

j شاخص معرف مشترکین

Ω_{rb} دوره‌های زمانی b مرتبط با دوره زمانی r

F_L سود خرده‌فروش بعد از جابجایی بار (برحسب دلار)

$\Delta\lambda_{jt}^{c}$ کاهش یا افزایش قیمت انرژی مربوط به مشترک j در دوره t (دلار/ مگاوات ساعت)

$E_{jt\omega}$ کشش قیمتی تقاضا برای مشترک j در دوره زمانی t و سناریو ω

$\Delta P_{jt\omega}^{c}$ کاهش یا افزایش انرژی مصرفی مربوط به مشترک j در دوره t در سناریو ω (مگاوات)

N_R دوره‌های زمانی تبادل خرده‌فروش و مصرف‌کننده از طریق بازار حوضچه

ξ شاخص ریسک با عنوان" ارزش در معیار ریسک"

η_ω متغیر کمکی

α سطح اطمینان و پوشش‌دهنده ریسک

N_ω تعداد سناریوها

ω سناریوهای تعریف شده

π_ω احتمال رخداد سناریو ω

β شاخص جدید موثر بر ریسک

ρ پارامتر معرفی‌کننده عدم قطعیت در بهینه‌سازی بازه‌ای

کتاب‌نامه

سیده اسرا احمدی، مجید سبزه و یاسر کارگری، ("۱۳۹۹") "تئوری پرتفوی و بازار برق: مطالعه مروری". فصلنامه پژوهش های کاربردی در مدیریت و حسابداری، دوره: ۵، شماره: ۱۷، صص ۴۱-۶۷

Ahmadi, A., Charwand, M., Aghaei. J., 2013, Risk-Constrained Optimal Strategy for Retailer Forward Contract Portfolio International Journal of Electrical Power & Energy Systems 53,704-713.

Albadi, M., El-saadany. E.F., 2008, A summary of demand response in electricity markets, *Electric Power System Research* 78, 1989-1996

Albadi, M., El-Saadany, E. F., 2007, Demand Response in Electricity Markets: An Overview, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 1-5.

Bo Sun, Fan Wang*, Jingdong Xie, Xin Sun, 2021, "Electricity Retailer Trading Portfolio Optimization Considering Risk Assessment in Chinese Electricity Market", *Electric Power Systems Research*

Boroumand RH, Goutte S, Guesmi K, Porcher T, 2019, "Potential benefits of optimal intraday electricity hedging for the environment: The perspective of electricity retailers. Energy Policy, 132, 1120–1129.

Carrion, M., Conejo, AJ, Arroyo, JM., 2007, Forward Contracting And Selling Price Determination For a Retailer, *IEEE Transaction on Power Systems* 22, 2105-2114.

Carrion, M., Conejo, A.J., Arroyo, J.M., 2009, A Bilevel Stochastic Programming Approach for Retailer Futures Market Trading. *IEEE Transaction on Power Systems* 24, 1446-1456.

Charwand, M., Gitizadeh, M., Siano, P., 2017, A New Active Portfolio Risk Management for an Electricity Retailer Based on A Drawdown Risk Preference, *Energy* 118,387-398.

Conejo, A.J., Carrión,M., Morales, J.M., 2010, *Decision Making Under Uncertainty in Electricity Markets*, New York, NY, USA, Springer.

Feinberg, E. A., Genethliou, D., 2005, Load Forecasting, *Applied Mathematics for Restructured Electric Power Systems*, 269–285.

Gabriel, SA, Conejo, AJ., Plazas, MA., Balakrishnan S., 2006, Optimal Price And Quantity Determination for Retail Electric Power Contracts, *IEEE Transaction on Power Systems* 21, 180-187.

Gill,P.E., Murray, W., Michael A.S., 2002, Snopt: an SQP Algorithm for Large-Scale Constrained Optimization, Siam Journal on Optimization 47,99-131.

Hao, H., Corbin, C.D., Kalsi,K., Pratt,R.G., 2017, Transactive Control of Commercial Buildings for Demand Response, *IEEE Transaction on Power Systems* 32, 774-783.

Hatami, A.R., Seifi, H., Sheikh-El-Eslami, M.K., 2009, Optimal Selling Price and Energy Procurement Strategies for a Retailer in an Electricity Market, *Electric Power Systems Research* 79,246-254.

J. Yang, J. Zhao, F. Luo, F. Wen, and Z. Y. Dong, 2018, Decision-making for electricity retailers: A brief survey," *IEEE Transaction on Smart Grid*, 9, 4140-4153

Jiang,Y., Hou,J., Lin,Z., Wen,F., Li,J., He,C., Ji,C., Lin,Z., Ding,Y., Yang,L.,2019, Optimal Bidding Strategy for a Power Producer Under Monthly Pre-Listing Balancing Mechanism in Actual Sequential Energy Dual-Market in China, *IEEE Access* 7, 70986-70998.

Jin, M., Feng, W., Marnay, C., Spanos, C., 2018, Microgrid to Enable Optimal Distributed Energy Retail and End-User Demand Response, *Applied Energy* 210, 1321-1335.

Kettunen, J., Salo, A., Bunn DW, 2010, Optimization of Electricity Retailer's Contract Portfolio Subject to Risk Preferences, *IEEE Transaction on Power Systems* 25,117-128.

Kirschen, D., Strbac, G., Cumperayot, P., De Paiva Mendes, D., 2000, Factoring the Elasticity of Demand in Electricity Prices. *IEEE Transaction on Power Systems* 15, 612-617.

Marzband, M., Javadi, M., Pourmousavi, SA., Lightbody, G., 2018, An Advanced Retail Electricity Market for Active Distribution Systems and Home Microgrid Interoperability Based on Game Theory, *Electric Power System Research* 157, 187-199.

Majidi, M., Nojavan, S., Zare, K., 2017, A Cost-Emission Framework for Hub Energy System Under Demand Response Program, *Energy* 134, 157-166.

Mohseni-Bonab, S.M., Rabiee, A., Mohammadi-Ivatloo, B., Jalilzadeh, S., Nojavan, S., 2016, A Two-Point Estimate Method for Uncertainty Modeling in Multi-Objective Optimal Reactive Power Dispatch Problem, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 75,194–204.

Mazidi, M., Monsef, H., Siano, P., 2016, Robust Day-Ahead Scheduling of Smart Distribution Networks Considering Demand Response Programs, *Applied Energy* 178, 929-942.

Nazari, M., Foroud, AA, 2013, Optimal Strategy Planning for A Retailer Considering Medium And Short-Term Decisions, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 45,107-116.

Nojavan, S., Zare, K., Mohammadi-Ivatloo, B., 2017, Risk-Based Framework for Supplying Electricity from Renewable Generation-Owning Retailers to Price-Sensitive Customers Using Information Gap Decision Theory. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 93,156-170.

Nojavan, S., Zare, K., Mohammadi-Ivatloo, B., 2017, Selling Price Determination by Electricity Retailer in The Smart Grid Under Demand Side Management in The Presence of The Electrolyser And Fuel Cell As Hydrogen Storage System, *International Journal of Hydrogen Energy* 42, 3294-3308.

Nojavan, S., Mehdinejad, M., Zare, K., Mohammadi-Ivatloo, B., 2015, Energy Procurement Management for Electricity Retailer Using New Hybrid Approach Based on Combined BICA–BPSO, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 73,411-419.

Nojavan, S., Majidi, M., Najafi-Ghalelou, A., Ghahramani, M., Zare, K., 2017. A Cost Emission Model for Fuel Cell/PV/Battery Hybrid Energy System in the Presence of Demand Response Program: ε-Constraint Method and Fuzzy Satisfying Approach, *Energy Convers and Management* 138, 383–392.

Nojavan, S., Majidi, M., Zare, K., 2018, Optimal Scheduling of Heating and Power Hubs Under Economic and Environment Issues in the Presence of Peak Load Management, *Energy Convers and Management* 156, 34–44.

Pal, S., Thakur, S., Kumar, R., Panigrahi, BK., 2018, A Strategical Game Theoretic Based Demand Response Model for Residential Consumers in a Fair Environment, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 97,201-210.

Q. Zhang and J. Li, 2012 "Demand response in electricity markets: A review," 9th International Conference on the European Energy Market, Florence, pp. 1-8.

S. Esmaeili, A. Anvari-Moghaddam, and S. Jadid, 2019, "Retail market equilibrium and interactions among reconfigurable networked microgrids," *Sustainable Cities and Society,* vol. 49

Rosenthal, R.E., 2008, *GAMS-A User's Guide, GAMS Development Corporation*. Washington, DC.

Shareef, H., Ahmed, M.S., Mohamed,A., Al Hassan.E, 2018, Review on Home Energy Management System

Considering Demand Responses, Smart Technologies, and Intelligent Controllers, *IEEE Access* 6, 24498- 24509.

Song, M., Amelin, M., 2017, Purchase Bidding Strategy for a Retailer with Flexible Demands in Day-Ahead Electricity Market, IEEE Transaction on Power Systems 32, 1839–1850.

T. Wu, G. Li and Z. Bie, 2019 "Power procurement strategies of retailer considering demand response program", *8th Renewable Power Generation Conference*, pp.1-8.

Vardakas, JS, Zorba, N., Verikoukis, CV., 2015, A Survey on Demand Response Programs in Smart Grids: Pricing Methods and Optimization Algorithms, *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 17,152-178.

Y. Cao, Q. Wang, Q. Fan, S. Nojavan, and K. Jermsittiparsert, 2020, "Risk constrained stochastic power procurement of storage-based large electricity consumer," *Journal of Energy Storage*, vol. 28.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی