

## اجرای بهینه برنامه پاسخگویی بار TOU با ارائه یک مدل اقتصادی مربوط به رفتار مشترکین برق خانگی

<sup>۱</sup> سید مهدی کاظم پور، <sup>۲</sup> اشکان عبدالی سوسن\*، زهرا عابدی<sup>۳</sup>

### چکیده

عیب مهم مدل‌های اقتصادی پیشین در این است فرض بر آن است که رفتار همه مصرف‌کنندگان بر منطق استوار است و با افزایش قیمت مصرف خود را کاهش داده و هیچ مشکلی را در کنترل خود ندارند. این در حالی است که پارامترهای مختلفی از جمله طریقه زندگی افراد، عادت‌ها و احساسات و مواردی از این قبیل می‌تواند تأثیرگذار باشد. در این مقاله برای حل این مشکلات با کمک تئوری انتخاب مصرف‌کننده و دو ابزار مهم آن یعنی تابع مطلوبیت و قید بودجه از مدل جدیدی به نام مدل نسل‌های همپوش و تابع CRRA که یکی از توابع مورد علاقه اقتصاددانان است بهره گرفته شد تا بتوان بر مشکل مدل‌های موجود غلبه نمود. از مدل مذکور سه ضریب  $\rho_1$  و  $\rho_2$  (ضرایب جایگزینی) و  $\theta$  (ثابت ریسک‌گریزی) حاصل می‌شود که این ضرایب سبک زندگی و تمایل هر خانوار را در انتقال و کاهش بار نشان می‌دهد. در این مطالعه مشخص شد با تنظیم ثابت ریسک‌گریزی و ضرایب جایگزینی مصرف‌کننده علاوه بر کاهش هزینه‌های مصرف‌کننده پروفیل بار صافی ایجاد خواهد شد، همچنین از طریق این مدل کارایی نامناسب برنامه پاسخگویی بار TOU در تهران نشان داده شد.

تاریخ دریافت:

۱۳۹۷/۱۱/۱

تاریخ پذیرش:

۱۳۹۷/۱۱/۲۴

کلمات کلیدی:

زمان کم باری،  
زمان میان باری،  
زمان اوج بار،  
پاسخگویی بار،  
الاستیسیته،  
ضریب جایگزینی،  
ثابت ریسک‌گریزی.

۱. کارشناس ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، گروه مهندسی انرژی و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران  
mahdi11997@gmail.com  
۲. استادیار گروه فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آستارا، ایران (نویسنده مسئول)  
a.abdali@srbiau.ac.ir  
۳. استادیار گروه مدیریت محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران  
abedi2015@yahoo.com

## ۱. مقدمه

با ظهور تجدید ساختار در بازارهای برق، طرف عرضه (تولید کنندگان) به سرعت با محیط جدید سازگار شدند، در حالی که رفتار در طرف تقاضا (مصرف کنندگان) متفاوت بود و بی‌تحرکی سمت تقاضا در برابر افزایش قیمت‌های سمت عرضه باعث افزایش قیمت‌ها شد [۶]. در نتیجه انتقال دارایی هنگفت از طرف تقاضا به سمت عرضه می‌تواند به عنوان مهمترین تأثیر بازسازی سیستم عرضه در نظر گرفته شود. دلایل اصلی این ناسازگاری در سمت تقاضا، فقدان دانش کافی و ابزارهایی برای برخورد با مشارکت مؤثر در بازارهای برق بود که در بعضی مواقع باعث فروپاشی بازارهای برق شد [۷]. سمت تقاضا برای مقابله با این مشکلات، به دنبال یافتن ابزارهای مقابله‌ای افتاد. این ابزارها به سه دسته مختلف به شرح زیر می‌باشند:

۱. برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا (DSM)

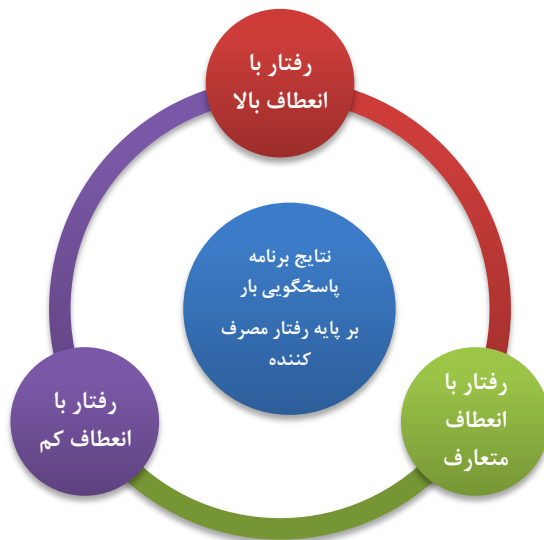
۲. تخصیص خرید

۳. استراتژی قیمت‌دهی

با استفاده از برنامه‌های DSM، طرف تقاضا به هدف افزایش سود خود به اصلاح پروفیل بار خود می‌پردازد. با کمک ابزار تخصیص خرید، ریسک خرید از یک بازار را با ایجاد تنوع در خرید از بازارهای متفاوت کاهش داد و با کمک ابزار استراتژی قیمت‌دهی به توسعه استراتژی پیشنهاد قیمت مطلوب برای دستیابی به سود بیشتر پرداخت [۸]. در ادامه با توجه به موضوع مقاله تنها به بررسی و ارزیابی اولین ابزار یعنی برنامه‌های DSM پرداخته تا بتوان با یک آگاهی همه جانبه قدم در ارزیابی و توسعه مدل پاسخ‌گویی بار گذاشت.

در نهایت در این مقاله بررسی می‌گردد که چگونه می‌توان مصرف کنندگان با سبک‌های مختلف زندگی و آداب و رسوم و بودجه‌های متفاوت را در نحوه استفاده از انرژی الکتریکی در یکی از

برنامه‌های پاسخگویی بار<sup>۱</sup> ارزش‌گذاری و تفکیک (شکل ۱) و در نهایت رفتار و الگوی مصرف آنها را پیش‌بینی نمود تا شرکت‌های خرده‌فروش با اطلاعات دقیق‌تر در بازار آتی برق شرکت نمایند و اینکه با وجود نبود زیرساخت‌ها و کنتورهای هوشمند و همچنین نبود اطلاعات بار پایه و پروفیل بار مشترکین برق خانگی در ایران چگونه می‌توان از طریق این مدل اقتصادی میزان کارایی برنامه پاسخگویی بار شرکت توزیع تهران در مشترکین برق خانگی را مشخص کرد. برای بررسی این موضوع، به دلیل نبود زیرساخت‌های مذکور و به تبع آن نبود اطلاعات بار پایه در مشترکین برق خانگی در ایران از داده‌های یک پروفیل بار پایه خانگی در شهر آشتیان از استان مرکزی جهت صحت‌سنجی مدل پیشنهادی استفاده و در نهایت در صورت صحت عملکرد آن، مدل مورد نظر برای سنجش رفتار مصرف‌کنندگان در ۱۵ مشترک خانگی در شهر تهران استفاده می‌شود.



شکل ۱. اثر برنامه پاسخگویی بار بر رفتار مصرف‌کنندگان

1. Demand Response

## ۲. پیشینه تحقیق و مقایسه مدل ارائه شده با مدل‌های قبلی

در مرجع [۵] بیان شده که ایران در حال گذار از ساختار انحصار طبیعی به به بازارهای رقابتی و ساختار جدید است که تولید کنندگان برای فروش انرژی به رقابت با یکدیگر می‌پردازند. در این مرجع به بررسی تابع تقاضای مصرف برق خانگی به همراه بررسی تغییر ساختار قیمتی صورت گرفته طی سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۷۰ و ۱۳۷۱-۱۳۸۹ می‌پردازد که در این راستا از مفاهیم آزمون جمعی انگل-گرنجر<sup>۱</sup> و آزمون هم جمعی دوربین - واتسون<sup>۲</sup> استفاده شده و نتایج بیانگر آن است که در هر دو بازه زمانی، مصرف کنندگان نسبت به تغییرات قیمت حساسیت بسیار اندک داشته اند، اما در بازه زمانی دوم این وابستگی افزایش یافته و به طور کلی با افزایش جمعیت، تقاضای برق به طور فزاینده‌ای افزایش پیدا کرده است.

نویسندگان مرجع [۴] برنامه‌های مدل سازی شده بر منحنی مصرف برق استان کرمانشاه در تاریخ ۹۴/۴/۳۱ پیاده‌سازی کرده‌اند و اثرات اجرای آنها را بر کاهش هزینه، بهبود مشخصات منحنی بار و در نتیجه افزایش قابلیت اطمینان شبکه تجزیه و تحلیل شد.

نویسندگان مرجع [۶] هم اظهار داشتند که پس از تجدید ساختار سیستم‌های قدرت، برنامه‌های پاسخگویی بار بخش عمده‌ای از برنامه‌های مدیریت مصرف را تشکیل می‌دهند. در این تحقیق علاوه بر معرفی روش‌های پاسخگویی بار، مکانیزمی جهت اجرای همزمان برنامه مشارکت واحدها و برنامه پاسخگویی بار اضطراری و بارهای قابل قطع/کاهش ارائه می‌شود که علاوه بر کاهش هزینه‌های پرداختی، سبب مسطح شدن منحنی بار و افزایش قابلیت اطمینان سیستم شده است.

در مرجع [۲] دو روش از روش‌های نه گانه پاسخگویی بار، قیمت زمان استفاده<sup>۳</sup> (TOU) و پاسخگویی بار اضطراری<sup>۴</sup> (EDRP)، بیان و مدل ریاضی آنها (مدل‌های تک پریودی، چند پریودی و نهایی) با توجه به ضرایب حساسیت دیماندا - قیمت استخراج شده است. در پایان، مدل‌های یاد شده با

1. Augment Engel-Graner Test

2. Cointegration Regression Durbin-Watson Test

۳. برنامه پاسخگویی بار زمان استفاده (Time Of Use) روشی است که در آن قیمت انرژی در سه حالت پیک (ساعت ۱۹-۲۳) میان باری (۷-۱۹) و کم باری (۲۳-۷) بر اساس قیمت متفاوت انرژی در هر حالت محاسبه و دریافت می‌شود.

4. Emergency Demand Response Programs

لحاظ سناریوهای مختلف بر روی منحنی بار روزانه کشور ایران مورد تست و ارزیابی قرار گرفته و منحنی‌های مصرف جدید، میزان انرژی مصرفی، درصد کاهش پیک، مبلغ در آمد شرکت برق، میزان جایزه پرداختی و مقدار سود مشتری در هر سناریو محاسبه شده است.

با توجه به اینکه اطلاعات الاستیسیته قیمتی بار داخل کشور وجود ندارد از روش تخمین الاستیسیته (معادل نصف مقادیر الاستیسیته بازار انگلستان و ولز) استفاده شده (در مراجع ۱ و ۲ و ۴) که با توجه به تفاوت فرهنگ‌ها و سبک زندگی این کشورها نمی‌توان این الاستیسیته را معیاری دقیق برای پیش‌بینی رفتار و تفکیک مصرف‌کنندگان کشورمان قرارداد. در واقع در مدل‌های پیشین ضرایب حساسیت دیماند - قیمت اساس کار را تشکیل داده در صورتی که در مدلی که در این مقاله ارائه میشود به ریسک‌گریز بودن هر مشترک برق خانگی در تغییر میزان مصرف برق خود و همچنین سبک زندگی آنها در انتقال بار خود ضرایب و ثابت‌هایی اختصاص می‌یابد و با استفاده از کدهای نوشته شده در نرم افزار MATLAB با تغییر این ضرایب خروجی مدل بررسی و مورد بحث قرار می‌گیرد.

### ۳. فرضیات و اهداف تحقیق

- پیاده سازی مدل اقتصادی پیشنهادی و رعایت شرایط آن باعث کاهش هزینه مصرف‌کننده می‌شود.
- با اجرای این مدل اقتصادی می‌توان پیک زدایی در زمان اوج مصرف بار انجام داد و با به‌کارگیری مدل اقتصادی معرفی شده پروفیل بار صاف‌تری خواهیم داشت.
- فرض می‌شود که مصرف‌کننده دارای کنتور سه تعرفه‌ای، مصرف خود را در سه بازه زمانی در طول شبانه روز (با توجه به منحنی مطلوبیت خود) طوری تنظیم می‌کند تا حداکثر مطلوبیت را در مصرف برق به‌دست می‌آورد.
- این مدل قابلیت محاسبه الاستیسیته هر خانواده را در غالب ثابتی به نام ثابت ریسک‌گریزی داشته و در نهایت از طریق این مدل مشخص می‌شود افزایش یک‌نواخت ۹ درصدی سالیانه تعرفه برق خانگی در تهران در بازه‌های تعریف شده در کنتورهای سه تعرفه‌ای تأثیر چندانی در الاستیسیته مصرف‌کنندگان برق ندارد.
- مدل اقتصادی معرفی شده توانایی پیش‌بینی رفتار مصرف‌کننده و تفکیک آنها را بر اساس سبک زندگی و فرهنگ هر خانواده، با توجه به ضرایب جایگزینی و ثابت ریسک‌گریزی منحصر به خود را

داشته و شرکت‌های خرده‌فروش می‌توانند جهت شرکت در بازارهای آتی و خرید برق مورد نیاز از آن استفاده نمایند.

- در صورت مشارکت مناسب مشترکین برق خانگی در برنامه TOU ضرایب جایگزینی آنها در انتقال بار از اوج بار به میان بار و از اوج بار و میان بار به کم باری عددی منفی بین ۰ و -۱ - ضمناً ثابت ریسک‌گریزی عددی مثبت خواهد بود که با کاهش این ثابت به سمت ۰ کاهش بار بیشتری در زمان پیک بار رخ خواهد داد.

#### ۴. معرفی متغیرها و مدل اقتصادی پاسخگویی بار برای استفاده در برنامه TOU

یکی از موفق‌ترین مدل‌های اقتصادی که تاکنون معرفی شده است مدل نسل‌های همپوش<sup>۱</sup> (OLG) است. برای بیان این مدل فرض بر آن است که زندگی هر فردی به ۱) دوران کاری و ۲) دوران بازنشستگی تقسیم‌بندی می‌شود و در دوران کاری فرد به کسب درآمد می‌پردازد. درآمد حاصله از این دوران بایستی در هر دو دوره هزینه شود [۹].

پس فرد بایستی مقداری از درآمد خود را در دوران اول  $C_{1,t}$  مصرف نموده و مابقی را برای دوران دوم  $C_{2,t+1}$  پس انداز می‌نماید. حال بایستی این فرد طوری به تنظیم مصرف در هر یک از این دو دوره بپردازد که بیشترین سود را کسب نماید [۱۰].

$$U_t = (C_{1,t}, \frac{1}{1+\rho} C_{2,t+1}) \quad (1)$$

مقدار  $\rho$  بیانگر ضریب جایگزینی یا نرخ ترجیح زمانی<sup>۲</sup> است اگر مقدار مثبت داشته باشد بیانگر آن است که مطلوبیتی که توسط فرد در بازه زمانی بعدی کسب می‌شود، ارزش کمتری نسبت به بازه زمانی جاری دارد و مقدار منفی آن نیز عکس این قضیه را نشان می‌دهد. فرد می‌تواند با تغییر این پارامتر ارجحیت هر دوره را برای مصرف مشخص نماید.

1. Overlapping Generations Model

2. Rate of time preference

لذا این فرد برای یافتن مناسب‌ترین مقدار مصرف در هر دوره خود، در پی حداکثر کردن سود خود می‌باشد و همان‌طور که گفته شد برای بیان تابع مطلوبیت، توابع بسیاری وجود دارد اما در مدل نسل‌های همپوش از تابع CRRA<sup>۱</sup> که یکی از توابع مورد علاقه اقتصاددانان در اقتصاد خرد است بهره‌گرفته شده است [۱۱]:

$$U(C) = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{1+\rho} \frac{C_{t+z}^{1-\theta}}{1-\theta} \quad 0 < \theta < 1; -1 < \rho < 0 \quad (2)$$

که  $\theta$  بیانگر ریسک‌گریزی نسبی<sup>۲</sup> است که ارتباط مستقیمی با تعقر تابع سود دارد و هر چه تعقر تابع سود فرد بیشتر باشد، فرد ریسک‌گریزتر خواهد بود. در بخش بعدی به بررسی مدل پاسخگویی بار برای روش TOU با سه بازه زمانی پرداخته می‌شود.

#### ۴-۱. بسط مدل DR برای برنامه پاسخ‌گویی بار TOU از طریق روش لاگرانژ

در این بخش به ارائه مدل پاسخگویی بار به روش TOU با سه بازه زمانی، بر اساس مدل نسل‌های همپوش دیاموند پرداخته شد. در روش TOU با سه بازه زمانی، طول یک شبانه روز به سه بازه زمانی اوج بار، میان‌باری<sup>۳</sup> و کم‌باری تقسیم شده و فرض می‌شود که قیمت در هر یک از این بازه‌های زمانی به ترتیب برابر است با  $P_{\text{peak}}$ ،  $P_{\text{shoulder}}$  و  $P_{\text{off-peak}}$  می‌باشد.

مقدار مصرف توان الکتریکی در هر دوره برابر با مصرف پیک ( $C_{\text{peak}}$ )، مصرف میان‌باری ( $C_{\text{shoulder}}$ ) و مصرف کم‌باری ( $C_{\text{off-peak}}$ ) و با هزینه صورت‌حساب "B" است. مصرف‌کننده به هدف افزایش سود خود و کاهش هزینه صورت‌حساب خرید انرژی الکتریکی خود از "B" به " $B > B$ " در برنامه پاسخ‌گویی بار شرکت نموده و با اجرای برنامه پاسخ‌گویی بار، مقادیر  $C_{\text{peak}}$ ،  $C_{\text{shoulder}}$ ،  $C_{\text{off-peak}}$  و با هزینه صورت‌حساب B تغییر می‌نمایند.

هدف مصرف‌کننده از اجرای برنامه پاسخگویی بار، حداکثر سازی سود با در نظر گرفتن قید بودجه:

1. Constant Relative Risk Aversion
2. Coefficient of relative risk aversion
3. Shoulder time

$$MAX \left\{ U_t = \frac{C_{peak}^{1-\theta}}{1-\theta} + \frac{1}{1+\rho_1} \frac{C_{shoulder}^{1-\theta}}{1-\theta} + \frac{1}{1+\rho_2} \frac{C_{off-peak}^{1-\theta}}{1-\theta} \right\} \quad (۳)$$

s.t.

$$B = C_{peak} \cdot P_{peak} + C_{shoulder} \cdot P_{shoulder} + C_{off-peak} \cdot P_{off-peak}$$

و در نهایت با حل رابطه (۳) طبق روش لاگرانژ خواهیم داشت:

$$C_{peak} = \frac{B}{P_{peak} + P_{shoulder} \left( \frac{P_{peak}}{P_{shoulder} (1+\rho_1)} \right)^{\frac{1}{\theta}} + P_{off-peak} \left( \frac{P_{peak}}{P_{off-peak} (1+\rho_2)} \right)^{\frac{1}{\theta}}} \quad (۴)$$

$$C_{shoulder} = \left( \frac{P_{peak}}{P_{shoulder} (1+\rho_1)} \right)^{\frac{1}{\theta}} * \frac{B}{P_{peak} + P_{shoulder} \left( \frac{P_{peak}}{P_{shoulder} (1+\rho_1)} \right)^{\frac{1}{\theta}} + P_{off-peak} \left( \frac{P_{peak}}{P_{off-peak} (1+\rho_2)} \right)^{\frac{1}{\theta}}} \quad (۵)$$

$$C_{off-peak} = \left( \frac{P_{peak}}{P_{off-peak} (1+\rho_2)} \right)^{\frac{1}{\theta}} * \frac{B}{P_{peak} + P_{shoulder} \left( \frac{P_{peak}}{P_{shoulder} (1+\rho_1)} \right)^{\frac{1}{\theta}} + P_{off-peak} \left( \frac{P_{peak}}{P_{off-peak} (1+\rho_2)} \right)^{\frac{1}{\theta}}} \quad (۶)$$

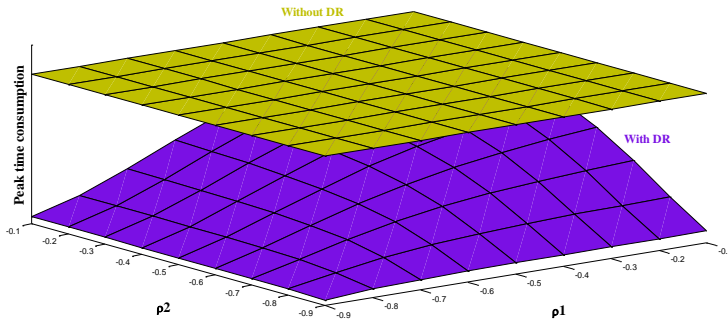
#### ۲-۴. تحلیل حساسیت مدل اقتصادی

در این قسمت ابتدا به تحلیل حساسیت مدل پاسخگویی بار ارائه شده پرداخته خواهد شد تا بتوان خروجی حاصل از مدل‌ها را مشاهده و به قابلیت‌ها و ضعف‌های آن پی برده و چاره اندیشی نمود. سپس با داده‌های واقعی به ارزیابی مدل ارائه شده پرداخته خواهد شد.

شکل (۲) تغییرات مصرف توان الکتریکی در زمان اوج بار با و بدون اجرای برنامه‌های پاسخگویی

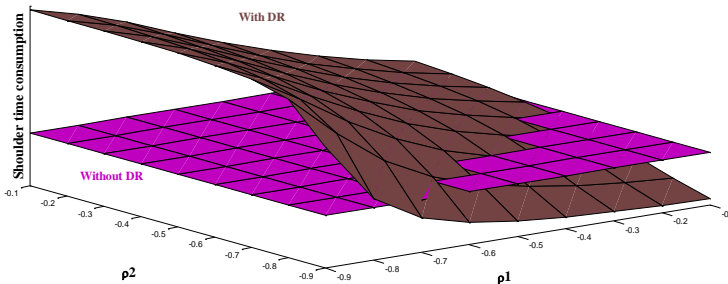
بار را نشان می‌دهد.





شکل ۲. تغییرات در مصرف توان الکتریکی با و بدون اجرای برنامه پاسخگویی بار در زمان اوج بار با استفاده از نرم افزار متلب

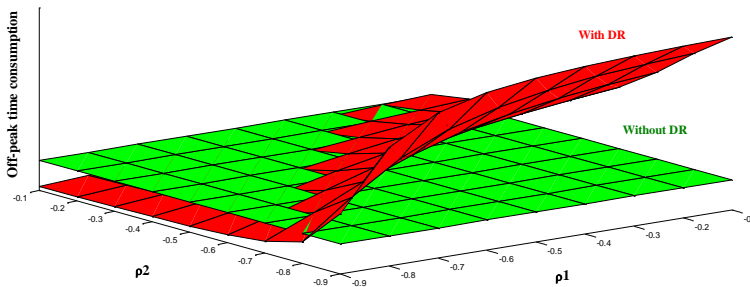
مشخص است که با اجرای برنامه پاسخگویی بار و با اعمال تغییرات در  $\rho_1$  و  $\rho_2$  (مقدار  $\theta = 0.5$ ) ثابت در نظر گرفته می‌شود) مقدار مصرف در اوج بار تغییر می‌یابد و لذا با انتخاب مقادیر مناسب برای این دو پارامتر، می‌توان میزان دلخواه برای مصرف در اوج بار را تعیین نمود. هر چه مقدار این دو پارامتر بیش تر شده و از منفی یک به سمت صفر حرکت می‌کند میزان مصرف در اوج بار بیش تر می‌شود.



شکل ۳. تغییرات در مصرف توان الکتریکی با و بدون اجرای برنامه پاسخگویی بار در زمان میان باری با استفاده از نرم افزار matlab

در شکل (۳) در بعضی از نواحی با اجرای برنامه پاسخ‌گویی بار افزایش مصرف و در بعضی از نواحی کاهش مصرف داشته است. این به هیچ وجه به معنای ناپیوستگی در الگوی تصمیم‌گیری مصرف‌کنندگان نمی‌باشد و می‌تواند به دو معنا تلقی شود:

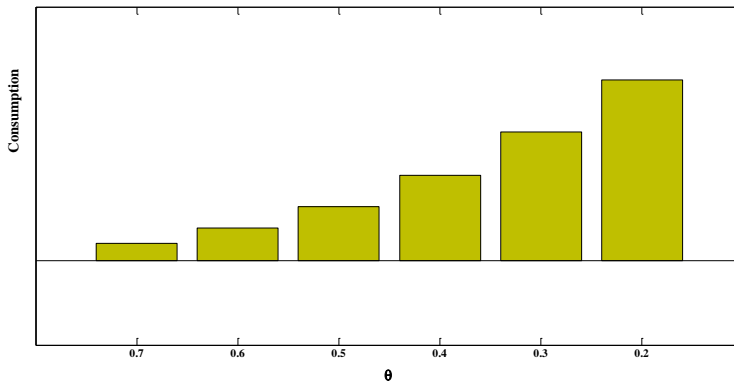
- حالت صرفه‌جویی در انرژی: مصرف‌کننده بخشی از توان خود در میان‌باری را به بی‌باری منتقل می‌نماید. که به دلیل قیمت پایین‌تر انرژی در بی‌باری نسبت به میان‌باری است (سطح قهوه‌ای زیرین).
- حالت مصرف انرژی: مصرف‌کننده بخشی از توان خود در اوج‌بار را به میان‌باری منتقل می‌نماید. که به دلیل قیمت پایین‌تر انرژی در میان‌باری نسبت به اوج‌باری است (سطح قهوه‌ای بالایی).



شکل ۴. تغییرات در مصرف توان الکتریکی با و بدون اجرای برنامه

پاسخ‌گویی بار در زمان کم‌باری با استفاده از نرم افزار **matlab**

در شکل (۴) با تغییرات در  $p_1$  و  $p_2$  در نواحی (مکان‌هایی که صفحه قرمز در زیر صفحه سبز است) الگوی تصمیم‌گیری مصرف‌کننده دچار ناپیوستگی می‌شود. زیرا در این مکان‌ها میزان مصرف در زمان کم‌باری با اجرای برنامه پاسخ‌گویی بار به جای آن که افزایش یابد، کاهش یافته است. لذا در انتخاب مقادیر این پارامترها بایستی به این موضوع توجه شود.

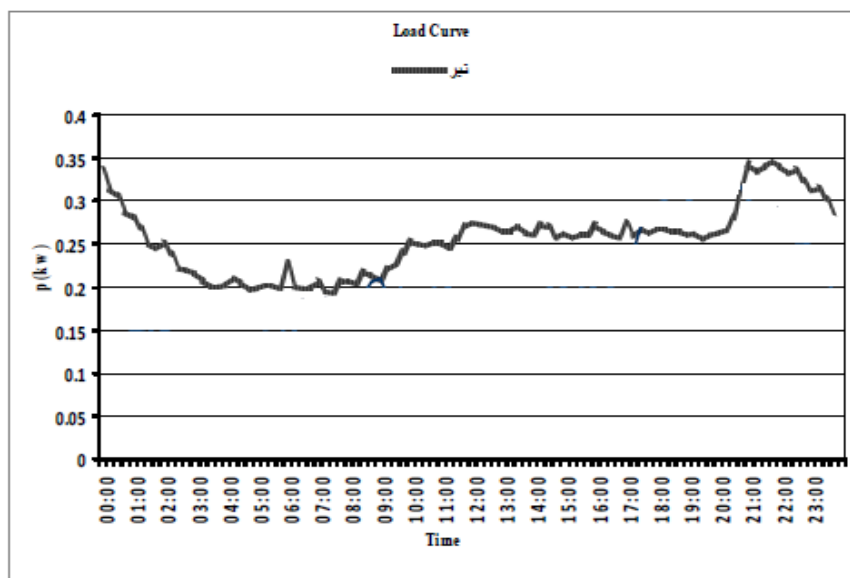


شکل ۵. نمودار سطح مشارکت در برنامه پاسخگویی بار  
تحت سناریوهای مختلف دوره کم باری با استفاده از نرم افزار در **matlab**

شکل (۵) به بررسی تغییرات تقاضای توان الکتریکی با اجرای برنامه پاسخگویی بار در کم‌باری می‌پردازد. در زمان کم‌باری با کاهش  $\theta$  و به عبارتی افزایش سطح مشارکت مصرف‌کننده، مصرف توان الکتریکی در پاسخ به قیمت‌های کم‌تر، افزایش خواهد یافت که صحت عملکرد مدل ارائه شده به وضوح در شکل مشخص است.

## ۵. ارزیابی و تحلیل مدل با داده‌های واقعی

در این بخش به بررسی عملکرد مدل ارائه شده با داده‌های واقعی پرداخته می‌شود. پروفیل بار استفاده شده در این قسمت از (۱۱) استخراج شده است. شکل ۶ منحنی بار متوسط مصرف خانگی یک پست برق در شهر آستین است که با توجه به اینکه کنتور سه تعرفه‌ای در سال ۸۹ گسترش چندانی نداشته است این نمودار می‌تواند به عنوان الگوی رفتار مشترکین قبل از اجرای برنامه پاسخگویی بار در نظر گرفته شود.



شکل ۶. پروفیل بار خانگی نمونه تیر ۱۳۸۹ در شهر آشتیان

اطلاعات قیمتی از بخش تعرفه برق خانگی شرکت برق در سال ۱۳۸۹ استخراج شده است [۱۲]. با توجه به مصرف ماهیانه حدوداً ۱۸۵ کیلووات ساعتی مشترک خانگی نمونه، متوسط قیمت ۲۹۵ ریال برای هر کیلووات ساعت است. با نصب کنتورهای سه تعرفه‌ای و اجرای برنامه TOU خواهیم داشت:

جدول ۱. تعرفه برق در بازه‌های زمانی مختلف در مصارف خانگی ایران در سال ۱۳۸۹

| بازه زمانی                       | اوج بار         | میان باری      | کم باری        |
|----------------------------------|-----------------|----------------|----------------|
| ساعت هر بازه زمانی               | ۱۹:۰۰ الی ۲۳:۰۰ | ۷:۰۰ الی ۱۹:۰۰ | ۲۳:۰۰ الی ۷:۰۰ |
| قیمت (ریال برای هر کیلووات ساعت) | ۵۹۵             | ۲۹۵            | ۱۴۵            |

مأخذ: نتایج تحقیق

از روابط به دست آمده برای این مدل به وضوح دیده شد که مدل ارائه شده قابلیت مدل سازی بار را با کمک سه پارامتر  $(\rho_1, \rho_2, \theta)$  دارد. در این قسمت همانند ارزیابی مدل در تحلیل حساسیت، سناریوهای مختلف برای یک مصرف کننده بخش خانگی در نظر گرفته شده و تأثیر برنامه های پاسخگویی بار TOU در هر سناریو مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرد. سناریوهای منتخب از محدوده مجاز این پارامترها در رابطه (۲) و شکل ۴، استخراج شده است.

نتایج به دست آمده از سناریوهای در نظر گرفته شده در جدول ۲ آورده شده است. همان طور که از نتایج مشخص است با کاهش  $\theta$  یا همان ریسک گریزی، مقدار تقاضا در اوج بار کاهش می یابد و به عبارتی سطح مشارکت افزایش یافته است که این با تحلیل حساسیت صورت گرفته کاملاً منطبق است. پارامتر  $\theta$ ، همان پارامتری است که وظیفه تنظیم سطح مشارکت مصرف کننده را در برنامه های پاسخگویی بار دارد و تحلیلی که در ارتباط با تغییرات  $\theta$  و تأثیر آن بر میزان تقاضا در اوج بار گفته شد در این قسمت نیز معتبر است. نتایج زمان کم باری نیز به خوبی نشان داده که با کاهش  $\theta$  و افزایش سطح مشارکت میزان بیشتری از تقاضا (از سایر بازه ها با قیمت بالای انرژی) به این بازه (با قیمت پایین تر انرژی) منتقل شده است.

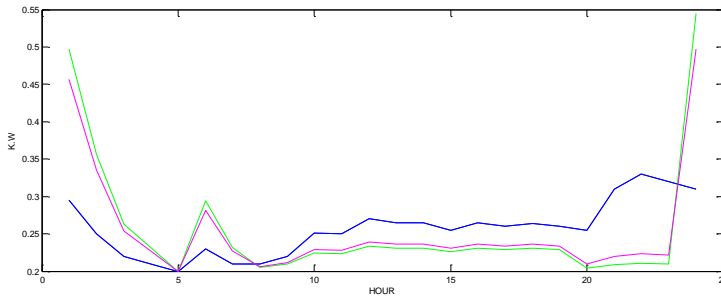
جدول ۲. تغییرات تقاضای توان الکتریکی در زمان اوج، میان باری و کم باری

بر اساس تعرفه برق سال ۱۳۸۹ آشتیان  $(\rho_1 = -0.4 \text{ \& } \rho_2 = -0.3)$

| برنامه                       | $\theta$ | $D_{\text{peak}}$ (kWh)<br>تقاضا در اوج بار | $D_{\text{shoulder}}$ (kWh)<br>تقاضا در میان باری | $D_{\text{off-peak}}$ (kWh)<br>تقاضا در کم باری | $D_{\text{all}}$ (kWh)<br>تقاضا در کل شبانه روز | رفتار مصرف کننده در برنامه پاسخگویی بار |
|------------------------------|----------|---|---|---|---|---|
| حالت پایه (بدون برنامه)      | -        | ۱/۲۱۵                                       | ۳/۰۳۵   | ۱/۹۲۵   | ۶/۱۷۵   | -                                       |
| با اجرای برنامه پاسخگویی بار | ۰/۹      | ۰/۸۹۴۱                                      | ۲/۷۷۲۷  | ۲/۴۲۵۸  | ۶/۰۹۳   | انعطاف کم                               |
|                              | ۰/۸      | ۰/۸۶۱۸                                      | ۲/۷۴۳۸  | ۲/۵۱۶۸  | ۶/۱۲۲   | انعطاف متعارف                           |
|                              | ۰/۷      | ۰/۸۴۷۳                                      | ۲/۷۲۶۹  | ۲/۵۶۲۷  | ۶/۱۳۶   | انعطاف زیاد                             |
|                              | ۰/۶      | ۰/۸۳۲۸                                      | ۲/۷۰۲۸  | ۲/۶۱۸۱  | ۶/۱۵۴   | انعطاف زیاد                             |

مأخذ: نتایج تحقیق

همان طور که از جداول (۲) مشخص است افراد با بودجه‌ها و فرهنگ‌های متفاوت قبل و بعد از شرکت در برنامه پاسخگویی بار عکس‌العمل‌ها و ضرایب ریسک‌گریزی متفاوتی نسبت به هم دارند که در نهایت میزان مشارکت آنها را در برنامه پاسخگویی بار TOU معین می‌کند.



without DR

 $\theta = 0.9$  $\theta = 0.6$ 

شکل ۷. سطوح مشارکت مصرف‌کننده تحت سناریوهای مختلف ( $\rho_1 = -0.4$  و  $\rho_2 = -0.3$ )

دو سناریو از سناریوهای جدول (۲) در شکل (۷) ترسیم شده است. این بار برای مصرف‌کننده خانگی مورد نظر ضریب ریسک‌گریزی را ثابت فرض کرده و ضرایب جایگزینی را تغییر می‌دهیم. در این حالت انتظار داریم مجموع مصرف مشترک از پیک بار به ساعات کم باری و میان باری منتقل شود. جدول ۳. تغییرات تقاضای توان الکتریکی در زمان اوج بار بر اساس تعرفه برق سال ۲۰۱۶ داکوتای شمالی ( $\theta = 0.9$ )

| برنامه                  | $\rho_1$ | $\rho_2$ | $D_{\text{peak}}$ (kWh)<br>تفاضل در اوج بار | $D_{\text{Shoulder}}$ (kWh)<br>تفاضل در میان باری | Doff-peak (kWh)<br>تفاضل در کم باری | رفتار مصرف‌کننده در برنامه پاسخگویی بار |
|-------------------------|----------|----------|---|---|-------------------------------------|---|
| حالت پایه (بدون برنامه) | -        | -        | ۱/۲۱۵                                       | ۳/۰۳۵   | ۱/۹۲۵                               | -                                       |
| با اجرای برنامه         | -۰/۲     | -۰/۰۵    | ۰/۹۰۲                                       | ۲/۷۴۸۹  | ۲/۴۴۴۵                              | انعطاف کم                               |
|                         | -۰/۴     | -۰/۱۵    | ۰/۸۹۵۰                                      | ۲/۷۲۴۴  | ۲/۴۸۸۵                              | انعطاف متعارف                           |
| پاسخگویی بار            | -۰/۶     | -۰/۵     | ۰/۸۵۵۱                                      | ۲/۷۸۸۶  | ۲/۴۷۳۱                              | انعطاف زیاد                             |

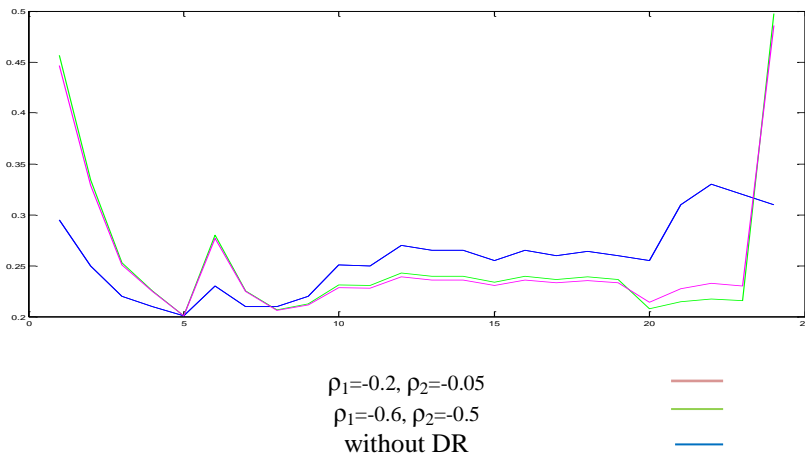
مأخذ: نتایج تحقیق

جدول ۴. تغییرات بودجه و تقاضای کل توان الکتریکی بر اساس تعرفه‌های برق سال ۲۰۱۶ ایالت داکوتای شمالی

| برنامه                       | $\rho_1$ | $\rho_2$ | $D_{all}$ (kWh)             | Budget (Rials) |
|------------------------------|----------|----------|-----------------------------|----------------|
|                              |          |          | مصرف برق کل در یک شبانه روز |                |
|                              |          |          | ( $\theta=0.9$ )            |                |
| حالت پایه (بدون برنامه)      | -        | -        | ۶/۱۷۴                       | ۲۱۱۴           |
| با اجرای برنامه پاسخگویی بار | -۰/۲     | -۰/۰۵    | ۶/۰۹۷۳                      | ۱۷۰۴           |
|                              | -۰/۴     | -۰/۱۵    | ۶/۰۸۹۸                      | ۱۷۰۳           |
|                              | -۰/۶     | -۰/۵     | ۶/۱۱۶۷                      | ۱۶۹۰           |

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول (۴) تغییرات بودجه و تقاضای کل توان الکتریکی را بر اساس جدول (۳) و بر اساس تغییر ضرایب جایگزینی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است با ثابت بودن ضریب ریسک‌گریزی (یک سطح مشارکت ثابت) تقاضای کل توان الکتریکی با و بدون اجرای برنامه پاسخ‌گویی بار تقریباً یکسان است که نشان‌دهنده درستی فرض اولیه ما است که هدف از اجرای برنامه تنها انتقال مصرف آن از زمان‌ها با قیمت بالاتر به زمان‌ها با قیمت پایین‌تر است. در مورد بودجه نیز به خوبی اختلاف هزینه با و بدون اجرای برنامه پاسخ‌گویی بار مشخص است و علاوه بر آن مقدار بودجه در زمان اجرای برنامه پاسخ‌گویی بار در سناریوهای مختلف متفاوت است که این مرتبط با میزان سطح مشارکت و سبک زندگی است. به طور مثال با کاهش  $\rho_1$  و  $\rho_2$  و افزایش انتقال بار (کاهش ضرایب جایگزینی) بودجه کاهش یافته است.



شکل ۸. تأثیر ضرایب جایگزینی مختلف در انتقال بار مصرف‌کننده با  $\theta$  ثابت ( $\theta = 0.9$ )

## ۵-۱. ضرایب جایگزینی و ثابت ریسک‌گریزی در تعدادی از مشترکین خانگی در ایران

در ایران برخلاف سال‌های گذشته مدتی است که نرخ برق در کم باری، اوج باری و میان باری به‌صورت شناور و به‌صورت پلکانی (با توجه به سقف‌های تعیین شده) محاسبه می‌شود. لذا برای مشخص شدن قیمت هر کیلو وات ساعت در سه زمان کم باری، میان باری و اوج باری از طریق تفکیک هزینه‌های هر یک از آنها از هزینه کل قبض و تقسیم آن بر تعداد روز دوره مصرف اقدام شده و در نهایت در جدول ۶ بر اساس قبوض برق دوره سوم (تابستان) سال‌های ۹۶ و ۹۷ تعدادی از مشترکین منطقه برق تهرانپارس، نیاوران و شمیران تهران  $\rho_1$ ،  $\rho_2$  و  $\theta$  هر مشترک بر اساس دستگاه سه معادله سه مجهول غیر خطی حاصل از روابط ۴ و ۵ و ۶ محاسبه شده است.

لازم به ذکر است این ضرایب به‌صورت میانگین برای یک دوره حدوداً ۵۵ روزه محاسبه شده است و تنها برای صحت سنجی فرمول و همچنین بررسی نسبی رفتار مصرف‌کنندگان در پیک بار تابستان طی دو سال گذشته می‌باشد.



جدول ۵. میزان مصرف، قیمت و بودجه روزانه شش مشترک خانگی در تابستان سال‌های ۹۶ و ۹۷ شهر تهران

| میانگین مصرف، قیمت و بودجه روزانه برق تعدادی از مشترکین خانگی تهران در تابستان سال ۹۷ |                |               |              |                |               |                           | میانگین مصرف، قیمت و بودجه روزانه برق تعدادی از مشترکین خانگی تهران در تابستان سال ۹۶ |                |               |              |                |               |                           | شماره مشترک        | شماره مشترک |
|---|----------------|---------------|--------------|----------------|---------------|---------------------------|---|----------------|---------------|--------------|----------------|---------------|---------------------------|--------------------|-------------|
| Po (rial)   | Ps (rial)      | Pp (rial)     | Co (kwh)     | Cs (kwh)       | Cp (kwh)      | B هزینه روزانه برق (ریال) | Po (rial)   | Ps (rial)      | Pp (rial)     | Co (kwh)     | Cs (kwh)       | Cp (kwh)      | B هزینه روزانه برق (ریال) | شماره پرونده مشترک | شماره مشترک |
| قیمت کم باری  | قیمت میان باری | قیمت پیک باری | مصرف کم باری | مصرف میان باری | مصرف پیک باری |                           | قیمت کم باری  | قیمت میان باری | قیمت پیک باری | مصرف کم باری | مصرف میان باری | مصرف پیک باری |                           |                    |             |
| ۱۴۴۳  | ۱۶۶۸           | ۲۱۱۸          | ۷/۶۹         | ۱۲/۵۸          | ۴/۶۳۶         | ۵۲۶۵۳                     | ۱۴۴۳  | ۱۶۶۸           | ۲۱۱۸          | ۷/۶۹         | ۹/۸۷۲          | ۳/۸           | ۳۵۹۹۸                     | ۱۸۱۲۵۶۴            | ۱           |
| ۴۳۷   | ۶۸۲            | ۱۱۷۲          | ۲/۵۴۷        | ۴/۰۷۵          | ۱/۶۰۴         | ۵۶۰۷                      | ۷۶۷   | ۹۹۲            | ۱۴۴۲          | ۴/۴۲۵        | ۵/۸۹           | ۲/۵۲          | ۱۲۸۷۵                     | ۳۹۸۱۵۲۶            | ۲           |
| ۱۰۲۶  | ۱۲۷۱           | ۱۷۶۱          | ۴/۴۵         | ۷/۳۶           | ۳/۰۹          | ۱۹۳۷۱                     | ۸۸۰   | ۱۱۰۵           | ۱۵۵۵          | ۴/۲۲         | ۷/۱۳           | ۲/۸           | ۱۵۹۴۹                     | ۳۳۸۰۳۳۳            | ۳           |
| ۴۰۱   | ۶۲۶            | ۱۰۷۶          | ۲/۴۸         | ۵/۵۸۵          | ۲/۲۸۳         | ۹۸۳۸                      | ۴۰۱   | ۶۲۶            | ۱۰۷۶          | ۲/۴۸         | ۴/۲۴۱          | ۱/۵۳۷         | ۵۱۷۵                      | ۳۹۸۱۵۲۷            | ۴           |
| ۹۴۶   | ۱۱۹۱           | ۱۶۸۱          | ۴/۲          | ۶/۶۵           | ۳/۱۶          | ۱۷۲۱۴                     | ۵۷۴   | ۷۹۹            | ۱۲۴۹          | ۳            | ۵/۴۲           | ۲/۳۸          | ۹۰۳۴                      | ۴۵۲۵۵۱۶            | ۵           |
| ۴۱۸   | ۶۶۳            | ۱۱۵۳          | ۲/۹۸         | ۳/۷۱           | ۱/۵۴          | ۵۴۸۵                      | ۴۸۳   | ۷۰۸            | ۱۱۵۸          | ۳/۲          | ۴/۷۳           | ۲/۱           | ۷۳۳۳                      | ۴۵۲۵۵۱۹            | ۶           |
| ۱۰۵۱  | ۱۲۹۶           | ۱۷۸۶          | ۴/۳۸         | ۷/۶۳           | ۳/۲           | ۲۰۵۹۱                     | ۹۳۴   | ۱۱۵۹           | ۱۶۰۹          | ۴/۰۵         | ۷/۷۱           | ۳/۰۳۶         | ۱۷۹۸۰                     | ۱۸۱۲۵۳۶            | ۷           |
| ۹۰۹   | ۱۱۵۴           | ۱۶۴۳          | ۳/۶۱         | ۶/۷۵           | ۳/۲۸۵         | ۱۶۸۳۶                     | ۹۲۹   | ۱۱۵۴           | ۱۶۰۴          | ۳/۸۹         | ۶/۷۴۵          | ۳/۲۷۲         | ۱۶۰۵۲                     | ۱۸۱۲۵۳۴            | ۸           |
| ۵۰۱   | ۷۴۶            | ۱۲۳۶          | ۳/۰۷۲        | ۴/۴۲۷          | ۱/۸۷۲         | ۷۱۵۵                      | ۴۵۱   | ۶۷۶            | ۱۱۲۶          | ۲/۸۳۹        | ۴/۵۷۱          | ۲/۰۷۱         | ۶۷۰۲                      | ۳۹۸۱۵۲۰            | ۹           |
| ۶۵۸   | ۹۰۳            | ۱۳۹۳          | ۳/۱۳         | ۵/۴۵           | ۲/۵۱          | ۱۰۸۴۹                     | ۶۲۲   | ۸۴۷            | ۱۲۹۸          | ۳/۰۵۴        | ۵/۳۸           | ۲/۸۲          | ۱۰۴۸۷                     | ۱۸۱۲۵۶۷            | ۱۰          |
| ۸۸۳   | ۱۱۲۸           | ۱۶۱۸          | ۳/۱۱         | ۶/۱۱۳          | ۳/۳۶          | ۱۴۱۹۴                     | ۷۵۱   | ۹۷۶            | ۱۴۲۶          | ۲/۷۹۶        | ۶/۰۱۸          | ۳/۰۹۳         | ۱۱۶۲۵                     | ۳۹۸۱۵۲۸            | ۱۱          |
| ۲۶۷   | ۵۱۲            | ۱۰۰۲          | ۱/۵۲         | ۲/۲۵           | ۰/۸۳          | ۲۳۸۱                      | ۲۵۹   | ۴۸۲            | ۹۳۴           | ۲/۰۷۷        | ۲/۷۵           | ۱/۳۱          | ۳۰۹۲                      | ۴۵۲۵۵۷۱            | ۱۲          |

| میانگین مصرف، قیمت و بودجه روزانه برق تعدادی از مشترکین خانگی تهران در تابستان سال ۹۷ |           |           |          |          |          |                           | میانگین مصرف، قیمت و بودجه روزانه برق تعدادی از مشترکین خانگی تهران در تابستان سال ۹۶ |           |           |          |          |          |                           | شماره مشترک | شماره پرونده مشترک |
|---|-----------|-----------|----------|----------|----------|---------------------------|---|-----------|-----------|----------|----------|----------|---------------------------|-------------|--------------------|
| Po (rial)   | Ps (rial) | Pp (rial) | Co (kwh) | Cs (kwh) | Cp (kwh) | B هزینه روزانه برق (ریال) | Po (rial)   | Ps (rial) | Pp (rial) | Co (kwh) | Cs (kwh) | Cp (kwh) | B هزینه روزانه برق (ریال) |             |                    |
| ۳۵۰   | ۵۹۵       | ۱۰۸۶      | ۱/۵۸۹    | ۳/۳۵۷    | ۱/۶۷۸    | ۴۳۷۵                      | ۳۰۹   | ۵۳۴       | ۹۸۳       | ۱/۷۲۷    | ۳/۱۴۵    | ۱/۵۴۵    | ۳۷۳۱                      | ۳۹۸۱۵۲۹     | ۱۳                 |
| ۷۵۸   | ۱۰۰۳      | ۱۴۹۳      | ۳/۹۱     | ۴/۷۶۸    | ۲/۹۲۸    | ۱۱۹۹۷                     | ۵۷۱   | ۷۹۶       | ۱۲۴۶      | ۳/۷۲۷    | ۳/۸۹     | ۲/۶      | ۸۱۳۹                      | ۱۸۱۲۵۳۳     | ۱۴                 |
| ۴۲۵   | ۶۷۰       | ۱۱۶۰      | ۳/۳۳     | ۳/۳۸     | ۱/۹۴۵    | ۶۱۰۸                      | ۳۷۸   | ۶۰۳       | ۱۰۵۳      | ۲/۷۸     | ۳/۴۷     | ۱/۸۸     | ۵۱۲۵                      | ۴۵۲۵۵۵۰     | ۱۵                 |

حال خروجی مربوط به داده‌های جدول ۵ در جدول ۶ ثبت می‌شود.

جدول ۶ استخراج ضرایب  $\rho_1$ ،  $\rho_2$  و  $\theta$  شش مشترک خانگی در تابستان سال‌های ۹۶ و ۹۷ شهر تهران

| میانگین ضرایب تعدادی از مشترکین خانگی تهران در تابستان سال ۹۷ |          |          | میانگین ضرایب تعدادی از مشترکین خانگی تهران در تابستان سال ۹۶ |          |          | منطقه برق | مشترک   |
|---|----------|----------|---|----------|----------|-----------|---------|
| $\theta$  | $\rho_2$ | $\rho_1$ | $\theta$  | $\rho_2$ | $\rho_1$ |           |         |
| ۰/۹۹۹۹۹   | -۰/۱۷    | -۰/۵۴۴   | ۰/۹۹۹۹۹   | -۰/۲۷۵۶  | -۰/۵۱۲۱  | تهرانپارس | مشترک ۱ |
| ۰/۹۹  | ۰/۶۹     | -۰/۳۲    | ۱/۰۰۰۱  | ۰/۰۷     | -۰/۳۷    | مولوی     | مشترک ۲ |
| ۱/۰۰۰۱  | ۰/۱۹     | -۰/۴۱    | ۰/۹۹۹۹  | ۰/۱۷۳    | -۰/۴۴    | نیاوران   | مشترک ۳ |
| ۰/۹۹۲   | ۰/۶۳     | -۰/۳۶    | ۰/۹۹۴   | ۰/۶۶۷۱   | -۰/۳۷    | مولوی     | مشترک ۴ |
| ۰/۹۹۹۹۹   | ۰/۳۴     | -۰/۳۳    | ۱/۰۰۰۲  | ۰/۷۲     | -۰/۳۱    | نیاوران   | مشترک ۵ |

| میانگین ضرایب تعدادی از مشترکین خانگی تهران در تابستان سال ۹۷ |          |          | میانگین ضرایب تعدادی از مشترکین خانگی تهران در تابستان سال ۹۶ |          |          |             |          |
|---|----------|----------|---|----------|----------|-------------|----------|
| $\theta$  | $\rho_2$ | $\rho_1$ | $\theta$  | $\rho_2$ | $\rho_1$ | منطقه برق   | مشترک    |
| ۰/۹۹۹۹۹   | ۰/۴۳     | -۰/۲۷    | ۱/۰۰۰۲  | ۰/۵۷     | -۰/۲۷    | نیاوران     | مشترک ۶  |
| ۰/۹۹۹   | ۰/۲۴     | -۰/۴۲۳   | ۰/۹۹۹   | ۰/۲۹     | -۰/۴۵    | هفده شهریور | مشترک ۷  |
| ۱/۰۰۰۱  | ۰/۶۴     | -۰/۳۱    | ۱/۰۰۰۱  | ۰/۴۵     | -۰/۳۲    | تهرانپارس   | مشترک ۸  |
| ۰/۹۹۹۹۹   | ۰/۵۰     | -۰/۲۹    | ۱/۰۰۰۲  | ۰/۸۲     | -۰/۲۴    | مولوی       | مشترک ۹  |
| ۰/۹۹۹   | ۰/۶۹     | -۰/۳     | ۱/۰۰۰۸  | ۰/۹۲     | -۰/۲     | تهرانپارس   | مشترک ۱۰ |
| ۰/۹۹۹۹۹   | ۰/۹۷     | -۰/۲     | ۰/۹۹۹۹  | ۱/۰۹     | -۰/۲۴    | مولوی       | مشترک ۱۱ |
| ۰/۹۹۹۹۹   | ۱        | -۰/۲۸۷   | ۰/۹۹۹۹  | ۱/۲      | -۰/۰۸    | نیاوران     | مشترک ۱۲ |
| ۰/۹۹۹۹۹   | ۱/۶      | -۰/۰۹    | ۰/۹۹۹۹  | ۱/۸      | -۰/۰۹    | مولوی       | مشترک ۱۳ |
| ۱/۰۰۰۱  | ۰/۴۷     | -۰/۰۸    | ۱/۰۰۰۱  | ۰/۵۲     | ۰/۰۵     | تهرانپارس   | مشترک ۱۴ |
| ۱/۰۰۰۷  | ۰/۵۹     | -۰/۰۰۷۳  | ۱/۰۰۰۱  | ۰/۸۸     | -۰/۰۵۳   | شمیران      | مشترک ۱۵ |

مأخذ: نتایج تحقیق

$\rho_1$  : ضریب جایگزینی مصرف‌کننده در انتقال بار از اوج بار به میان باری

$\rho_2$  : ضریب جایگزینی مصرف‌کننده در انتقال بار از اوج بار و میان باری به کم باری

$\theta$  : ثابت مشارکت مشترک در برنامه پاسخگویی بار (ریسک‌گریزی نسبی)

## ۶. بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه مشخص شد که می توان با استفاده از مدل نسل های همپوش دیاموند برای هر مصرف کننده برق سه ضریب  $\rho_1$  و  $\rho_2$  و  $\theta$  تعریف کرد و با استفاده از این ضرایب رفتار مصرف کنندگان را در برابر برنامه پاسخگویی بار TOU در سه بازه کم باری میان باری و اوج باری مورد سنجش قرارداد و رفتار مصرف کنندگان در برنامه پاسخگویی بار به سه نوع رفتار انعطاف پذیر کم، متعارف و زیاد برای مصرف کنندگان ایالت داکوتای شمالی تقسیم بندی می شود.

همان طور که در جداول ۲ و ۳ مشخص شد این مدل توانایی پیش بینی مصرف انرژی الکتریکی فرد با توجه به ریسک گریز بودن و سبک زندگی اش را دارد. لذا با استخراج این ضرایب و ثابت ها برای هر مصرف کننده و تفکیک آن ها بر اساس روزهای تعطیل و غیر تعطیل و ایجاد یک بانک اطلاعاتی، شرکت های خرده فروش می توانند با روش داده کاوی نسبت به پیش بینی مصرف روز آتی مشتری خود اقدام نمایند.

از جداول ۳ و ۴ مشخص می شود تنها با انتخاب ضرایب  $\rho_1$  و  $\rho_2$  مناسب بدون کاهش جدی در مصرف کل روزانه و با حداقل سطح مشارکت (بالاترین ثابت ریسک گریزی  $\theta = 0/9$ ) می تواند یک پروفیل بار صاف تر و هزینه برق کمتر حاصل شود. همان طور که از جدول ۴ مشخص است اجرای این مدل قابلیت کاهش هزینه مصرف کننده را با کمترین سطح مشارکت ( $\theta = 0/9$ ) و با حداقل ضرایب جابجایی  $\rho_1 = -0/2$  و  $\rho_2 = -0/05$  و بدون آنکه در مجموع مصرف انرژی الکتریکی در طول شبانه روز تغییر چندانی ایجاد شود را داشته و کاهش حداقل ۳۰ درصدی در هزینه ها مشاهده می شود و این موضوع بیانگر این مطلب است که برنامه پاسخگویی بار TOU این مزیت را برای مصرف کننده دارد که بدون کاهش انرژی الکتریکی مورد نیاز خود در طول شبانه روز و تنها با جابجایی و انتقال بارهای خود از پر باری به زمانهای کم باری و میان باری نسبت به کاهش هزینه های خود اقدام نماید.

البته چنانچه ضرایب جایگزنی برای همه مشترکین بیش از حد به  $-1$  نزدیک شود قله های جدید در ساعات کم باری ایجاد می شود. در نتیجه برنامه TOU کارایی خود را از دست می دهد که این موضوع ضرورت پایش این ضرایب را برای شرکت های خرده فروش و حتی شرکت های توزیع دولتی جهت حفظ کارایی برنامه TOU را به اثبات می رساند.

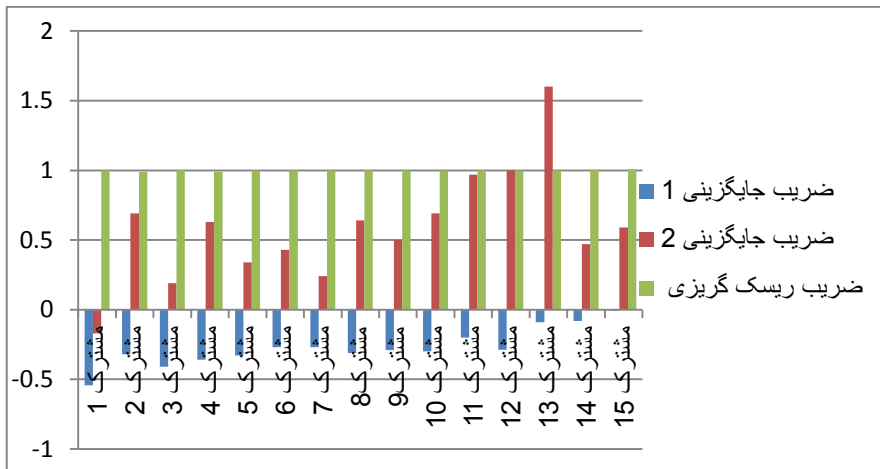
حال با استفاده از ضرایب استخراج شده در جدول ۶ رفتار ۱۵ مشترک برق خانگی مورد مطالعه را تفکیک و در جدول ۷ قید می‌شود.

جدول ۷. تفکیک رفتار مشترکین برق مورد مطالعه در برابر برنامه پاسخگویی TOU در تابستان سال ۹۷ تهران

| نام مشترک        | رفتار مشترکین جامعه مورد مطالعه در برابر برنامه پاسخگویی بار شرکت توزیع |
|------------------|---|
| مشترک ۱          | انعطاف پذیری متعارف   |
| مشترکین ۲ تا ۱۲  | انعطاف پذیری کم   |
| مشترکین ۱۳ تا ۱۵ | انعطاف پذیری خیلی کم  |

مأخذ: نتایج تحقیق

همان‌طور که از جدول (۷) مشخص است غالب مشترکین انعطاف‌پذیری مناسبی را در برابر برنامه پاسخگویی بار شرکت توزیع تهران از خود نشان نداده‌اند.



شکل ۹. میانگین ۵۵ روزه ضرایب تعدادی از مشتری‌های خانگی در تابستان سال ۹۷ در تهران

همان‌طور که در شکل (۹) مشخص است به غیر از مشترک ۱، ضریب جایگزینی ۲ ( $\rho_2$ ) همه مشترکین مثبت بوده و این نشان دهنده کم اهمیت بودن مصرف در کم باری برای مشترکین میباشد که این موضوع کارایی نه چندان مناسب برنامه پاسخگویی بار TOU در تهران را نشان داده و همین

انتقال بار یکپارچه غالب مشترکین به میان باری و همچنین کم اهمیت بودن انتقال بار به کم باری نزد ایشان سبب ایجاد پیک بار جدید در ساعات میان باری شد که در نتیجه آن در تابستان ۹۷ شرکت توزیع تصمیم به قطع برق مشترکین تهرانی در این ساعات نمود.

با عنایت به افزایش قیمت حدود ۹ درصدی تعرفه برق تابستان سال ۹۷ نسبت به تابستان سال ۹۶ (جداول ۵ و ۶) مشاهده می‌شود تغییر چندانی در ثابت ریسک‌گریزی مشترکین ( $\theta$ ) آنها ایجاد نشده و این موضوع نشان دهنده الاستیسیته پایین مشترکین نسبت به افزایش قیمت می‌باشد (با توجه به یارانه اختصاص یافته دولت به هزینه برق مشترکین و عدم خصوصی سازی در بخش توزیع و ایجاد بازار خرده فروشی امری طبیعی است).

با توجه به جدول (۷) می‌توان بر اساس همین رفتارها نسبت به نظام تعرفه گذاری برای مشترکین برق اقدام نمود و به‌طور مثال تعرفه پیک بار و میان بار مشترکین ۲ تا ۵ را ۲۰ درصد و مشترک ۶ را ۳۰ درصد بیشتر از تعرفه مشترک ۱ (که بر اساس مدل اقتصادی مشارکت بهتری در برنامه TOU داشته است) افزایش داده و حتی در زمان‌های بحرانی به ترتیب نسبت به قطع بار مشترکین با انعطاف پذیری خیلی کم و کم اقدام نمود تا مشترکین در انتقال بار خود به کم باری مشارکت بیشتری داشته باشند.

## منابع

- [۱] احمدی، اشکان و جواد نیکوکار (۱۳۹۳). "برنامه ریزی مشارکت واحدها با در نظر گرفتن برنامه‌های پاسخگویی بار اضطراری و بارهای قابل قطع و کاهش به منظور کاهش هزینه‌های پرداختی مصرف‌کنندگان". *ژورنال تحقیقات نوین در برق*. ۳ (۴۸)، صص ۵۸-۱.
- [۲] اعلمی، حبیب‌اله؛ یوسفی، غلامرضا و محسن پارسا مقدم (۱۳۸۷). "تأثیر برنامه‌های پاسخگویی بار بر منحنی مصرف برق روزانه کشور". *نشریه مهندسی برق ومهندسی کامپیوتر*. صص ۳۱۶-۳۰۸.
- [۳] پیمان، صلاح؛ بصیری، علی اکبر؛ عابدی، داود و علی اصغر قدیمی (۱۳۹۵). "یافتن الگوی رفتار و میزان مصرف ساعتی مشترکین خانگی با استفاده از روش اندازه‌گیری تجمعی بار و صورتحساب نرمالیزه مشترکین". *شاهرهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق*، بندر عباس، بهار ۱۳۹۰.
- [۴] دهنوی، احسان و حمدی عبدی (۱۳۹۶). "پتانسیل سنجی اجرای برنامه‌های پاسخگویی بار (مطالعه موردی: استان کرمانشاه)". *نشریه انرژی ایران*. صص ۳۹-۵۵.

[۵] هاتفی مجومرد، مجید؛ جلالی، ام‌البنین و رضا علائی (۱۳۹۵). "برآورد تابع تقاضای برق خانگی با استفاده از مفهوم هم‌جمعی و توجه به تغییر ساختار در سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۵۵". *نشریه انرژی ایران*. صص ۱۲۰-۱۰۱.

[6] Kandil MS., Farghal SA., Hasanin NE. (1990). "Optimum Operating Policy for Energy Storage for an Interconnected Power System. In: IEE Proceedings C-Generation", *Transmission and Distribution*, 137(4), pp. 291-97.

[7] Weinstein Sam, Hall David (2001). *The California Electricity Crisis-overview and International Lessons*. London: Public Services International Research Unit, University of Greenwich.

[8] Sharifi Reza, Fathi S.H. (2017). "A Review on Demand-side Tools in Electricity Market". *Journal of Elsevier*, No.72, pp. 565-572.

[9] Diamond, Peter A. (1970). "Incidence of an Interest Income Tax", *journal of Economic Theory*, 2(3), pp. 211-224.

[10] Samuelson, Paul A. (1958). "An Exact Consumption-loan Model of Interest with or without the Social Contrivance of Money", *Journal of political economy*, 66(6), pp. 467-482.

[11] Tözün, Bahar. (2006). "The Equity Premium Puzzle: a Survey of the Literature", Diss. Bilkent University.

[12] Tariff of Residential Consumer at 1389, IRAN. Available at: <http://tariff.moe.gov.ir>