نشریه علمی(فصلنامه) پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال ششم/ شماره ۲۱/ زمستان ۱۳۹۹/ صفحات ۸۰ – ۴۷

مدیریت تقاضای برق خانگی با اصلاح ساختار تعرفه‌ها: رویکرد مدلسازی عامل‌بنیان

امیرعلی سیف‌الدین
استادیار دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)
saifoddin@ut.ac.ir
حمیدرضا سراج
کارشناس ارشد رشته مهندسی سیستم‌های انرژی دانشگاه تهران
hr.seraaj@gmail.com

اخیرا عدم تعادل در میزان تولید و مصرف برق کشور، موجب به وجود آمدن شرایط بحرانی در برخی ایام سال شده است؛ در این میان بخش خانگی با سهم ۵۱ درصدی، اصلی‌ترین عامل شکل‌گیری بحران‌های اوج مصرف در کشور می‌باشد. در همین راستا مطابق تجربیات جهانی، می‌توان امیدوار بود با بازنگری در ساختارهای تعرفه‌ای بخش خانگی، الگوی مصرف در این بخش تا حد قابل قبولی اصلاح شود. بدین منظور در این پژوهش ابتدا با توجه به زیرساخت‌ها و طرح‌های در حال اجرای کشور، ساختار تعرفه‌ای جدیدی که به صورت ترکیبی از برنامه‌های پاسخگویی بار زمان استفاده و ماکزیمم تقاضا می‌باشد، پیشنهاد شده است. در بخش دوم این پژوهش نیز با اعمال این تعرفه به مشترکین خانگی و توسعه یک مدل عامل‌بنیان، رفتار مصرفی آن‌ها در زمان‌های اوج بار شبیه‌سازی می‌شود. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی‌ها نشان داد می‌توان با اعمال تعرفه جدید به مشترکین، میانگین تقاضای اوج بار آن‌ها را تا ۶/۱۵ درصد کاهش داد.

واژگان کلیدی: مدیریت تقاضا، مدلسازی عامل‌بنیان، ساختار تعرفه، برق خانگی.

تاریخ دریافت: ۲۹ / ۲ / ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۴ / ۹ / ۱۳۹۹

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

۱. مقدمه

افزایش روز افزون تقاضا برای انرژی الکتریکی در بخش‌های مختلف جامعه (شامل صنعت، کشاورزی، خانگی و غیره)، پاسخ گویی به این تقاضا را برای تامین کنندگان انرژی، به خصوص در برخی روزها و ساعات سال (اوج بار)، غیر ممکن یا بسیار هزینه‌بر کرده است. امروزه بخش خانگی با سهم حدود ۵۱ درصدی، اصلی‌ترین عامل شکل‌گیری بحران‌های اوج مصرف در کشور می‌باشد (امیدی نصیرمحله، ۱۳۹۷). بر این اساس حتی در صورتی که درصد مساوی از بخش‌های مختلف به عنوان معیار کاهش اوج بار قرار بگیرند، بخش خانگی بیشترین تاثیر را در کاهش توان مصرفی اوج بار خواهد داشت.

در این زمینه، علاوه بر بهبود بهره‌وری تجهیزات مشترکین برق خانگی، اقدامات دیگری که شامل تغییر در رفتار مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی شود، مورد نیاز خواهد بود. اتخاذ سیاست‌های مناسب در راستای اصلاح و تنوع بخشی به تعرفه‌های برق در این بخش، اقدامی است که طبق تجربیات جهانی می‌تواند منجر به اصلاح الگوی مصرف در بخش خانگی شود. این سیاست علاوه بر سوق دادن مصرف‌کنندگان از طریق اجبار یا تشویق آن‌ها به صرفه جویی و یا مصرف در زمان غیر اوج بار (پیک‌سایی بار)، یکی از راه‌های کنترل مصرف برق در مصارف خانگی می‌باشد.

خوشبختانه در سالیان اخیر با پیشرفت و توسعه تکنولوژی در حوزه اندازه‌گیری انرژی، زیرساخت‌های لازم به منظور اصلاح و تنوع‌بخشی به ساختارهای تعرفه‌ای برق فراهم شده است. در همین راستا طرح فهام (فراسامانه هوشمند اندازه‌گیری و مدیریت انرژی) وزارت نیرو به عنوان یکی از پروژه‌های ملی و مهم در صنعت برق کشور تعداد مشخصی از مشترکین را در بخش خانگی مجهز به کنتور هوشمند و سیستم مخابراتی ارسال و دریافت اطلاعات کرده است. کنتورهای هوشمند در این طرح قابلیت اندازه‌گیری و ارسال روزانه سه داده در زمان‌های اوج بار، کم‌باری و میان‌باری را برای مرکز و مشترکین دارند (وزارت نیرو، ۱۳۹۱). این طرح امکان

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

اطلاع رسانی روزانه میزان مصرف به مشترکین، تنوع‌بخشی به ساختارهای تعرفه‌ای و مشارکت موثر آن‌ها در مدیریت مصرف برق را افزایش می‌دهد؛ و توجیه اقتصادی برای ادامه پیاده‌سازی این طرح ایجاد خواهد کرد.

بدین منظور در این پژوهش ابتدا به معرفی و دستورالعمل پیاده‌سازی ساختار تعرفه‌ای جدیدی که به صورت ترکیبی از برنامه‌های "زمان استفاده" و "ماکزیمم تقاضا" می‌باشد، پرداخته شده است. هدف اصلی از طراحی و اعمال این ساختار تعرفه‌ای در پژوهش، تنوع بخشی به تعرفه‌های برق در راستای طرح فهام وزارت نیرو، ارائه بستری جدید در راستای فروش انرژی الکتریکی به مشترکین خانگی و در نتیجه افزایش اثربخشی این طرح کلان در حوزه مدیریت و اندازه‌گیری انرژی می‌باشد. پس از معرفی ساختار تعرفه‌ای پیشنهادی، با طراحی یک مدل عامل‌بنیان، سعی شده است تاثیر این تعرفه بر رفتار مصرفی مشترکین مشخص شود. در این مدل با معرفی عوامل موثر بر منطق تصمیم‌گیری و متغیرهای تاثیرگذار بر رفتار مصرفی مشترک، پتانسیل کاهش مصرف انرژی در یک جامعه ناهمگن از مشترکین برق خانگی در قالب ساختار تعرفه‌ای پیشنهادی، تخمین زده شده است.

۲. مبانی نظری

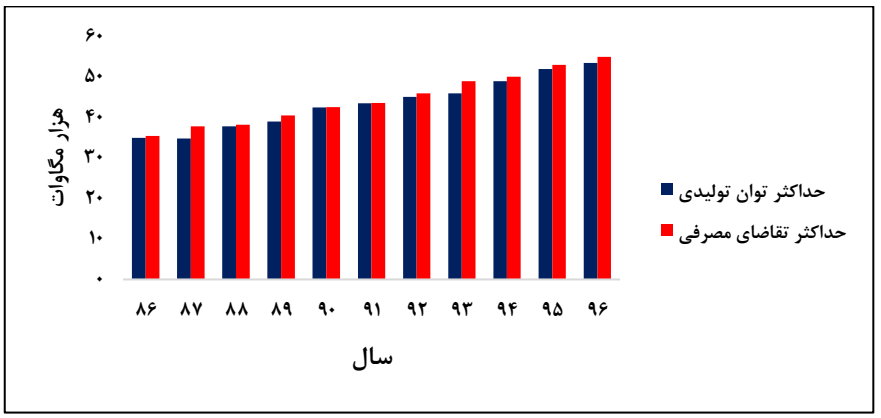
در این بخش، هدف اصلی ارائه تعاریف مهم در حوزه پژوهش و ایجاد چارچوب فکری مناسب برای ادامه مسیر تحقیق می‌باشد. بدین منظور ابتدا وضعیت عرضه و تقاضای برق در بخش‌های مختلف به‌خصوص در زمان‌های اوج بار بررسی شده است. پس از پی بردن به اهمیت بازنگری تعرفه برق در بخش خانگی به منظور اصلاح الگوی مصرف، به معرفی مهم‌ترین سیاست‌های مختلف تعرفه‌گذاری برق در این بخش پرداخته می‌شود.

۲-۱. وضعیت تولید و مصرف برق کشور

یکی از پارامترهای مهم برای تولید برق، رعایت فاصله ایمن بین حداکثر تقاضای مصرفی با حداکثر توان تولید برق است؛ از این رو در شکل ۱ حداکثر تقاضای مصرفی با حداکثر توان تولید برق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

مقایسه شده‌اند. همانطور که در این شکل مشخص است، تقریبا تمامی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶، میزان تقاضای مصرفی در روزهای بحرانی سال بیش از حداکثر توان تولید شبکه بوده است. به همین دلیل در این سال‌ها یا خاموشی در همه بخش‌ها رخ داده و یا اینکه بخشی از بار مورد نیاز از طریق همکاری با بخش‌های صنعت و کشاورزی تامین شده است. علاوه بر این وقتی تمام ظرفیت نیروگاهی کشور با حداکثر توان تولید برق مورد نیاز کشور به کار گرفته شود، اولا امنیت تولید برق کاهش می‌یابد، ثانیا نیروگاه‌ها و تاسیسات برق زودتر فرسوده می‌شوند. در این میان، بالاترین سهم مصرف برق در روزهای اوج تقاضا، مربوط به بخش خانگی است و همانطور که در شکل ۲ مشخص است، بخش خانگی با ۵۰/۸ درصد، اصلی‌ترین عامل شکل‌گیری اوج مصرف می‌باشد.



شکل ۱. حداکثر توان تولیدی و تقاضای مصرفی در روز اوج بار (آزاد و همکاران، ۱۳۹۷)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

شکل ۲. سهم بخش‌های مختلف در تقاضای اوج بار (امیدی نصیرمحله، ۱۳۹۷)

۲-۲. سیاست‌های مختلف تعرفه‌گذاری بخش خانگی

۲-۲-۱. تعرفه پلکانی

در تعرفه ثابت، قیمت واحد انرژی برای هر مقدار مصرف یکسان می‌باشد؛ در حالی که با افزایش مصرف و در نتیجه افزایش تولید، ممکن است برای جلوگیری از فشار بر شبکه و نیروگاه‌ها، نیاز به افزایش قیمت انرژی همراه با افزایش تقاضای آن باشد. برای رفع این مشکل روش‌هایی پیشنهاد شده‌اند که یکی از آن‌ها استفاده از تعرفه انرژی پلکانی است. این تعرفه به صورت یک گروه از تعرفه‌های ثابت، با قیمت واحد (ℓ_n) افزایشی متناسب با طیف‌های بالاتر مصرف می‌باشد. تعرفه انرژی پله‌ای را می‌توان مطابق رابطه ۱ به صورت زیر بیان کرد:

$$\begin{cases} Y = e_1 z_1 + Y_0 \\ Y = e_2 z_2 + Y_0 \\ Y = e_3 z_3 + Y_0 \end{cases} \qquad \begin{matrix} 0 < z_1 < a \\ a \leq z_2 < b \\ b \leq z_3 < c \end{matrix} \qquad (۱)$$

که در آن $\boldsymbol{a},\boldsymbol{b},\boldsymbol{c},....$ حدود مصرف انرژی هستند و $\boldsymbol{e_n}$ بهای واحد انرژی برای طیف‌های مختلف مصرف انرژی می‌باشند. ساختار تعرفه‌ای فوق در شرکت‌های توزیع انرژی معمولا به

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

صورت پلکانی افزایشی طراحی می‌شود بدین صورت که اگر $a<b<c$ باشد، آنگاه $e_1<e_2<e_3$ خواهد بود.

۲-۲-۲. تعرفه بلوکی

در ساختار تعرفه‌ای پلکانی، وقتی که مصرف انرژی به حد بالای یکی از پله‌های مصرف نزدیک می‌شود، با افزایش مصرف و ورود به پلکان بعدی کل هزینه انرژی افزایش می‌یابد. اما در ساختار بلوکی، یک بهای معین برای یک هر بلوک مصرف انرژی بکار می‌رود؛ یعنی کل انرژی مصرفی هرچه باشد، هزینه هر بلوک مصرفی آن با بهای واحد همان بلوک محاسبه می‌شود و رد شدن از حد مصرفی یک بلوک انرژی، منجر به افزایش بهای هر واحد انرژی در بلوک‌های قبلی نمی‌شود. تعرفه انرژی بلوکی را می‌توان به به صورت رابطه ۲ بیان کرد:

$$Y = e_1 z_1 + e_2 z_2 + e_3 z_3 + \ldots + e_n[z - (z_1 + z_2 + z_3 + \ldots + z_n)] + Y_0 \qquad (۲)$$

که در آن $z_1, z_2, z_3, \ldots, z_n$ مقدار مجاز مصرف در هر یک از بلوک‌های انرژی (KWh) می‌باشد.

۲-۲-۳. تعرفه‌های مبتنی بر زمان

در این ساختارهای تعرفه‌ای، قیمت هر واحد برق مصرفی (KWh) متناسب با هزینه تولید انرژی در هر بازه زمانی تغییر می‌کند. با اعمال این سیاست، مشترکین با انتقال مصرف برق به دوره‌های با تعرفه پایین و جلوگیری از مصرف در ساعات با تعرفه بالا، الگوی تقاضای خود را به منظور کاهش هزینه مصرف انرژی تنظیم می‌کنند. بنابراین اعمال تعرفه‌های متغیر با زمان، چه در سیستم‌های قدرت تجدیدساختار یافته و چه در سیستم‌های سنتی، سبب بهبود ضریب بار و کاهش تقاضای

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

اوج مصرف می‌شود. از متداول‌ترین ساختارهای تعرفه‌ای زمان محور می‌توان به برنامه‌های زمان استفاده[1]، زمان واقعی[2] و ساعات اوج بحرانی[3] اشاره کرد (وزارت نیرو، ۱۳۹۵).

در ساختار زمان استفاده، قیمت انرژی معمولا در سه بازه اوج بار، میان‌باری و کم‌باری بر اساس قیمت متفاوت انرژی در هر حالت محاسبه و دریافت می‌شود. این تعرفه می‌تواند در ساعات مختلف هر روز، هفته و یا ایام سال محاسبه شود؛ به عبارتی دیگر این ساختار می‌تواند روزانه یا به صورت فصلی اعمال شود. همچنین بازه‌های زمانی و قیمت برق در هر بازه، می‌تواند در شرکت‌های مختلف توزیع با توجه به پیک بارشان در روز، فصل و سال متفاوت باشد.

در ساختار زمان واقعی، قیمت برق در هر ساعات (یا حتی ۱۵ دقیقه) با هزینه تولید انرژی مرتبط می‌شود و در همان روز یا یک روز قبل به مشترک اطلاع داده می‌شود تا وضعیت جاری بهره‌برداری از سیستم وهزینه نهایی تولید را در نقطه‌ای که مشترک در آن قرار دارد، منعکس سازد. اقتصاددانان عقیده دارند که RTP مستقیم‌ترین و مناسب‌ترین ساختار تعرفه‌ای برای بازار رقابتی می‌باشد؛ ولی از آنجایی که دنبال کردن و مواجه شدن با قیمت‌های واقعی بازار تولید به صورت ساعتی در عمل برای مصرف‌کنندگان خانگی امری دشوار است، بنابراین بیشترین کاربرد ساختار RTP برای مصرف‌کنندگان بزرگ می‌باشد (وزارت نیرو، ۱۳۹۵.

نوع دیگری از ساختارهای تعرفه‌ای زمان محور، تعرفه ساعات اوج بحرانی می‌باشد که در واقع تعرفه‌ای است که در ساعات به‌خصوصی به برنامه قیمت‌گذاری ثابت یا زمان استفاده اضافه می‌شود. ساعات بحرانی تنها در چند روز از یک سال (زمانی که سیستم و یا بازار با بحران پاسخگویی به تقاضا روبرو است) اتفاق خواهد افتاد و مصرف‌کنندگان از روز قبل از این وضعیت

1 Time Of Use
2 Real Time Pricing
3 Critical Peak Pricing

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

مطلع خواهند شد تا نسبت به تغییر در الگوی بار و کاهش حداکثری تقاضا در ساعات اوج تقاضا اقدام کنند.

در مجموع بین تمامی ساختارهای تعرفه‌ای مبتنی بر زمان، برنامه زمان استفاده اگرچه از لحاظ کارآیی دارای محدودیت‌هایی می‌باشد اما به دلیل عدم نیاز به زیرساخت‌های پیچیده و هزینه‌بر به منظور برقراری ارتباط دوطرفه با مشترکین، بیشتر از سایر برنامه‌های موجود در این حوزه مثل RTP یا CPP توسط شرکت‌های توزیع اعمال می‌شود.

۲-۲-٤. تعرفه ماکزیمم تقاضا

در این ساختار تعرفه‌ای، مشترکین علاوه بر پرداخت بهای مجموع مصرف واحد انرژی (KWh) در طول دوره، هزینه جداگانه‌ای بابت حداکثر توان مورد استفاده از شبکه (KW) می‌پردازند. این ساختار تعرفه‌ای را می‌توان به طور خلاصه در رابطه ۳ نشان داد:

$$\begin{cases} Y = e_1 z + p_1 e_1' + Y_0 & 0 < p_1 < a \\ Y = e_2 z + p_2 e_2' + Y_0 & a \le p_2 < b \\ Y = e_3 z + p_3 e_3' + Y_0 & b \le p_3 < c \end{cases} \qquad (۳)$$

که در آن P_n حداکثر میزان توان مورد استفاده از شبکه (KW) در طول دوره و e_n' بهای واحد حداکثر توان گرفته شده از شبکه می‌باشد. این ساختار تعرفه‌ای معمولا به گونه‌ای طراحی می‌شود که اگر $a < b < c$ باشد، آنگاه $e_3 > e_2 > e_1$ و $e_3' > e_2' > e_1'$. یعنی افزایش ماکزیمم تقاضا در طول دوره نه تنها منجر به افزایش هزینه مربوط به هر واحد توان مصرفی (KW) خواهد شد، بلکه بر هزینه کل انرژی مصرف شده (KWh) نیز اثر خواهد گذاشت, بنابراین با اعمال این ساختار تعرفه‌ای مشترکین به منظور کاهش هزینه مصرف انرژی ملزم می‌شوند توان لحظه‌ای مورد تقاضا از شبکه را پایین‌تر از حد معینی نگه دارند (Mercados, 2015).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

۲-۳. ساختار تعرفه برق بخش خانگی ایران

در حال حاضر ترکیبی از ساختارهای تعرفه‌ای بلوکی و زمان استفاده برای مشترکین در کشور اعمال می‌شود. در این راستا ابتدا ۷ بلوک قیمتی برای سقف‌های مختلف مصرف در اقصی نقاط کشور تعریف می‌شود. برای تعیین سقف مجاز مصرف در این بلوک‌ها، مناطق مختلف کشور با توجه به شرایط آب و هوایی، به ۵ منطقه تقسیم‌بندی می‌شوند؛ که با توجه به نیاز استفاده از تجهیزات سرمایشی در مناطق گرمسیر کشور، سقف مجاز مصرف در بلوک‌های تعیین شده در این مناطق بیشتر می‌باشد. همچنین قیمت پایه هر کیلووات ساعات مصرف برق در بلوک‌های مصرفی مناطق ۵ گانه کشور به صورت متفاوت محاسبه می‌شود؛ بطوریکه برای مثال در مناطق گرمسیر، هزینه مصرف انرژی (KWh) در بلوک اول تا سقف ۱۰۰۰ کیلووات ساعت، ۱۷۵ ریال تعیین شده ولی در مناطق عادی و غیرگرمسیر سقف مجاز مصرف در بلوک اول ۱۰۰ کیلووات ساعت معین شده است که قیمت پایه هر کیلووات ساعت انرژی مصرفی در این بلوک ۵۲۴ ریال می‌باشد. بدین صورت با توجه به ساختار گفته شده، تعرفه بلوکی بر مجموع مصرف انرژی مشترکین مناطق مختلف کشور اعمال می‌شود (وزارت نیرو، ۱۳۹۸).

از طرفی دیگر به منظور تشویق مشترکین برای جابجایی مصرف از ساعات اوج بار، پس از محاسبه بهای مجموع برق مصرفی طبق ساختار گفته شده، تعرفه زمان استفاده با توجه به الگوی مصرف مشترکین برای آن‌ها اعمال می‌شود. بدین صورت که اضافه پرداختی مصارف اوج بار و تخفیف مصارف کم‌باری برای مشترکین به شکل زیر محاسبه می‌شود (وزارت نیرو، ۱۳۹۸):

- اضافه پرداختی مصارف اوج بار = کل مصرف اوج بار دوره × تعرفه ساعات اوج بار
- تخفیف مصارف کم باری = کل مصرف کم باری دوره × تخفیف ساعات کم باری

لازم به ذکر است که ساعات اوج بار، میان باری و کم باری در الگوی بار کشور به صورت یکپارچه محاسبه می‌شود و تعیین تعداد ساعات، شماره ساعات و فصول بار در برنامه زمان استفاده اعمال شده برای مشترکین با توجه به مطالعات بار کشوری انجام شده است ارتباطی با شرایط

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

منطقه‌ای مشترکین ندارد. در مجموع می‌توان ساختار تعرفه‌ای برق بخش خانگی کشور را در رابطه ۴ خلاصه کرد:

$$Y = e_1 z_1 + e_2 z_2 + e_3 z_3 + e_4 z_4 + e_5 z_5 + e_6 z_6 + e_7 z_7 + e'_1 z'_1 - e'_2 z'_2 + Y_0 \qquad (۴)$$

که در آن $z_1, z_2, \ldots, z_7$ میزان مصرف در بلوک‌های قیمتی، $e_1, e_2, \ldots, e_7$ قیمت پایه هر KWh)، کیلووات ساعت برق مصرفی در هر بلوک، z'_1 میزان مصرف در ساعات اوج بار (e'_1 تعرفه مصرف در ساعات اوج بار، z'_2 میزان مصرف در ساعات کم باری، e'_2 تخفیف مصرف در ساعات کم باری و Y_0 هزینه ثابت خدمات شرکت توزیع می‌باشد. همچنین در معادله فوق همواره شرط $e'_2 < e_1, e_2, \ldots, e_7$ برقرار است؛ بدین معنی که تخفیف مصارف کم‌باری همیشه کمتر از تعرفه مصرف در هر یک از بلوک‌ها می‌باشد.

۳. پیشینه پژوهش

همانطور که می‌دانیم، یکی از اصول اولیه هر پژوهشی بررسی تحقیقات صورت گرفته پیشین پیرامون موضوع مورد مطالعه است. به این ترتیب می‌توان از تجربیات و نتایج کسب شده پژوهشگران بهره برد و امکان تجربه خطاها و مشکلات محتمل مشابه را به حداقل رساند. در همین راستا در ادامه این بخش، اهداف و نتایج برخی گزارش‌ها و مقالات معتبر چاپ شده در حوزه پژوهش، تحلیل و بررسی شده‌اند.

در گزارشی تحت عنوان تنوع بخشی به تعرفه‌های برق که از طرف سازمان بهره‌وری انرژی ایران منتشر شده (۱۳۹۵)، مطالعات جامعی در خصوص اصلاح ساختار تعرفه‌ای زمان استفاده از منظر تنظیم ساعات اوج بار، میان‌باری، کم باری و تعرفه‌های مختص هر بازه، انجام گرفته است. از آنجایی که ساعات اوج بار و کم‌باری مناطق مختلف کشور و حتی گروه‌های گوناگون مشترکین یک منطقه با یکدیگر هماهنگ نیست، ارایه برنامه واحد زمان استفاده در کل کشور دسترسی به اهداف مورد نظر را ناممکن می‌کند. بنابراین در این گزارش پیشنهاد شده است در هر منطقه از کشور با توجه به الگوی بار منطقه‌ای و قیمت تمام شده انرژی، برنامه زمان استفاده

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

ویژه‌ای طراحی و اجرا گردد تا کارآمدی و سودمندی برنامه مذکور ارتقاء یابد. از طرف دیگر در همین گزارش، اجرای ساختار تعرفه‌ای ساعات اوج بحرانی با هدف مدیریت تقاضا در روزهای بحرانی کمبود تولید یا تجاوز از ظرفیت شبکه قدرت بررسی و پیشنهاد شده است. همچنین مطالعات عددی این برنامه نیز برای دو منطقه پایلوت در کشور به منظور نمایش عملکرد ساختار تعرفه‌ای پیشنهادی می‌باشد.

در پژوهش دیگری از این حوزه، فردان و همکاران (۲۰۱۷) با پیشنهاد یک ساختار تعرفه‌ای جدید برای دو مرکز تجاری در کشور عربستان سعودی، سعی در مدیریت تقاضا و ضریب بار شبکه داشتند. بدین منظور، در این پژوهش اطلاعات جامعی از پروفایل بار، هزینه تولید برق، تجهیزات انرژی‌بر و ... آن مراکز ارائه شده است. تحلیل اطلاعات فوق برای مرکز تجاری A نشان داد تقاضای برق سالیانه به طور میانگین ۱۱۸ هزار کیلووات ساعت و حداکثر ۲۵۲ هزار کیلووات ساعت می‌باشد؛ همچنین ضریب بار شبکه معادل با ۵۰ درصد محاسبه شد. مشابه همین اطلاعات برای مرکز تجاری B به ترتیب معادل با ۷۲هزار، ۹۰ هزار و ۷۱ درصد می‌باشد. در نهایت با اعمال سختار جدید تعرفه‌ای که نوع بهینه‌شده سیستم تعرفه‌گذاری زمان استفاده است، نتایج زیر برای هر یک از دو مجتمع تجاری بدست آمد:

- کاهش ۸/۸ درصدی مصرف کل سالیانه
- کاهش ۱۹ درصدی تقاضای اوج بار
- افزایش ضریب بار شبکه تا ۱۰ درصد بیش از حالت اولیه

همچنین نتیجه‌گیری شد در صورت تعمیم این ساختار تعرفه‌ای به سایر مجتمع‌های تجاری کشور عربستان سعودی، می‌توان انتظار داشت تقاضای اوج بار به میزان ۳۷۷۰ گیگاوات در سطح ملی کاهش یابد.

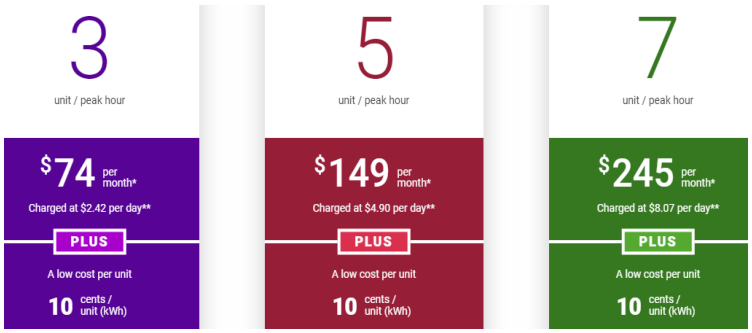
در زمینه تاثیر مدل تعرفه‌گذاری برق بر رفتار مصرفی مشترکین می‌توان به مطالعات تایال و اورز (۲۰۱۸) اشاره کرد. آن‌ها در پژوهشی به مطالعه رفتار مصرف‌کنندگان برق و تعرفه‌های مختلف برق خانگی به منظور اصلاح ساختار قیمت‌گذاری برق در غرب استرالیا پرداختند. از دید

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

آن‌ها، ساختار فعلی قیمت‌گذاری برق نشان دهنده قیمت واقعی سرویس ارائه شده به مشترکین نمی‌باشد؛ همچنین در شرایط فعلی انگیزه لازم به‌منظور تغییر زمان مصرف از ساعات اوج بار به ساعات کم‌باری بین مصرف کنندگان ایجاد نشده است. به همین دلیل بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ میزان پیک مصرف بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد در نقاط مختلف این کشور افزایش داشته است. در این راستا آن‌ها به منظور تشویق مصرف کنندگان به تغییر در زمان مصرف، ساختارهای تعرفه‌ای مختلفی پیشنهاد کرده و مزایا، معایب، اثر احتمالی و مقبولیت آن‌ها بین مصرف‌کنندگان خانگی را بررسی کردند. از جمله این ساختارهای تعرفه‌ای می‌توان به روش‌های قیمت‌گذاری بر مبنای ماکزیمم تقاضا، زمان استفاده و قیمت‌گذاری‌های دینامیک اشاره کرد. در انتها نیز آن‌ها به معرفی یک ساختار تعرفه‌ای جدید که ترکیبی از روش‌های قیمت‌گذاری ماکزیمم تقاضا و زمان استفاده است پرداخته‌اند. این ساختار تعرفه‌ای از سال ۲۰۱۸ برای مشترکین شرکت "هوریزون پاور[1]" استرالیا در شهر "پورت هدلند[2]" به صورت آزمایشی اعمال می‌شود. در گزارش ارائه شده توسط این شرکت (۲۰۱۸)، یک ساختار تعرفه‌ای "بسته محور"، مشابه مدلی که برای فروش داده در شرکت‌های مخابراتی پیاده می‌شود، ارائه شده و تاثیر آن بر میزان و الگوی مصرف مشترکین خانگی بررسی شده است در شکل ۳ نمونه‌ای از بسته‌های قیمتی-مقداری ارائه شده برای مشترکین در این طرح را نشان می‌دهد.

1 Horizon Power
2 Port-Hedland

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]



شکل ۳. نمونه‌ای از بسته‌های قیمتی-مقداری برق عرضه شده به مشترکین شرکت هوریزون پاور

ایده کلی این طرح بدین صورت است که مصرف کنندگان با توجه به سابقه مصرفشان، تضمین می‌دهند که مصرف آن‌ها در ساعات اوج بار از میزان مشخصی (مثلا ۲۵۰ کیلووات ساعت در ماه) بیشتر نشود و هزینه سقف مجاز مصرف در ماه را می‌پردازند؛ همچنین در صورت رعایت نکردن این میزان مجاز، جریمه‌هایی برای آن‌ها اعمال می‌شود. مشترکین حاضر در این طرح، با دریافت یک نرم افزار از این شرکت، می‌توانند مصرف خود را به صورت روزانه یا ساعتی پایش کرده و در صورت افزایش آن، میزان و الگوی مصرف انرژی خود را مدیریت کنند. به منظور پیاده‌سازی این ساختار تعرفه‌ای، منازل مشترکین باید مجهز به کنتور هوشمند یا مودم‌های قرائت از راه دور کنتورهای برق باشد؛ بنابراین در حال حاضر این طرح در مناطق محدودی از جمله شهر پورت هدلند با حدود ۱۰ هزار مشترک اعمال می‌شود. نتایج حاصل از این تحقیقات نشان داد میزان اوج بار پس از اعمال این طرح، به طور میانگین ۱۱/۵ درصد کاهش پیدا کرده است. همچنین ۲۵ درصد مشترکین توانسته‌اند مصرف خود را در ساعات پیک بار، بیش از ۱۵ درصد کاهش دهند. بنابراین با توجه به نتایج حاصله، این شرکت اعلام کرده است که به زودی ساختار تعرفه‌ای ذکر شده را به مناطق بیشتری توسعه خواهد داد.

در پژوهش دیگری، لین و همکاران (۲۰۱۶) با توسعه یک سیستم چند عاملی، میزان و الگوی مصرف برق را تحت ساختار تعرفه‌ای "پلکانی" در یک ساختمان اداری در کشور چین

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

شبیه‌سازی کردند. در مدل ارائه شده توسط آن‌ها، سه نوع عامل شامل "مصرف‌کننده"، "سیستم‌های کامپیوتری" و "سیستم روشنایی و تهویه" در نظر گرفته شدند. برای عامل مصرف کننده ۵ حالت "در حال کار"، "در حال استراحت"، "در خانه"، "آخر هفته" و "مشغول خوردن" تعریف شده است که با توجه به نوع فعالیت عامل مصرف کننده، هر یک از عوامل دیگر شامل سیستم‌های کامپیوتری، روشنایی و تهویه به حالت فعال یا غیرفعال هدایت می‌شوند. همچنین در ادامه پارامتر جداگانه‌ای برای نشان دادن میزان آگاهی عامل مصرف‌کننده نسبت به مقوله صرفه‌جویی در مصرف انرژی تعریف شده است که با توزیع نرمال بین ۰ تا ۱۰۰ برای عامل مصرف کننده متغیر می‌باشد. افزایش قیمت برق تحت تعرفه پلکانی و طبق رابطه ۵ منجر به افزایش پارامتر "مدیریت و صرفه‌جویی در انرژی" شده و در نتیجه الگوی مصرف برق را تغییر خواهد داد.

$$M = M_0 + (100 - M_0) \times \frac{\Delta P}{P_0} \qquad (۵)$$

= ضریب آگاهی مصرف‌کننده نسبت به اهمیت صرفه جویی در مصرف انرژی پس از تغییر قیمت M

M_0= ضریب آگاهی مصرف‌کننده نسبت به اهمیت صرفه جویی در مصرف انرژی پیش از اعمال از تغییرات قیمتی

P_0= قیمت اولیه انرژی به ازای هر کیلووات ساعت

ΔP= تغییرات قیمت انرژی در هر کیلووات ساعت

در انتها با شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، مشخص شد پس از افزایش ۹ درصدی قیمت در اولین پلکان، میزان مصرف ۴/۴ درصد کاهش خواهد یافت؛ همچنین با افزایش ۴۱/۸۸ درصدی قیمت در پلکان دوم، میزان مصرف معادل ۱۷/۵ درصد کاسته خواهد شد. همچنین مشخص شد عمده کاهش مربوط به عامل سیستم‌های تهویه و روشنایی می‌باشد و تغییرات به مراتب کمتری در مصرف سیستم‌های کامپیوتری این مجتمع اداری به وجود آمد؛ به نحوی که میزان مصرف آن‌ها به ترتیب معادل ۴۳/۴ و ۷/۳ درصد پس از اعمال ساختار تعرفه‌ای پلکانی کاسته شد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

٤. تبیین ساختار تعرفه‌ای پیشنهادی پژوهش

در تعرفه پیشنهادی، یک مشترک با مجموع مصرف $C_{on-peak}$ کیلووات ساعت برق در ساعات اوج بار یک دوره، باید انتخاب کند که مجموع مصرف خود در ساعات اوج بار دوره آینده کمتر از مقدار معین X_1 $(X_1 < C_{on-peak})$ کیلووات ساعت با قیمت ثابت P_1 یا کمتر از X_2 $(X_2 > C_{on-peak})$ کیلووات ساعت با قیمت P_2 $(P_2 > P_1)$ برای ساعات اوج بار باشد. به عبارت دیگر، پس از اعمال ساختار تعرفه‌ای پیشنهادی، واحد فروش برق به مشترکین در ساعات اوج بار از کیلووات ساعت به بسته‌های "قیمتی-مقداری" انرژی تغییر خواهد کرد. همچنین مابقی مصرف در ساعات غیر پیک نیز به ازای هر کیلووات ساعت معادل P' در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در صورتی که پس از اعمال ساختار تعرفه‌ای پیشنهادی مجموع تقاضای برق مشترک در ساعات اوج بار یک دوره به از $C_{on-peak}$ به $C'_{on-peak}$ تغییر کند، هزینه مصرف برق آن طبق رابطه ۶ محاسبه خواهد شد:

$$\begin{aligned} Y &= P_1 + C_{off-peak} \times P' && C'_{on-peak} < X_1 \\ Y &= P_2 + C_{off-peak} \times P' && X_1 < C'_{on-peak} < X_2 \end{aligned} \qquad (۶)$$

که در این رابطه $C_{off-peak}$ مجموع مصرف مشترکین در ساعات غیر پیک یک دوره می‌باشد.

بنابرآنچه گفته شد، با اعمال ساختار تعرفه‌ای پیشنهادی، مشترکین با اطلاع از میزان مصرف خود در دوره مشابه قبلی، در واقع سه حق انتخاب خواهند داشت؛ کاهش مجموع تقاضای انرژی در ساعات اوج بار یک دوره تا میزان معین (X_1) و صرفه‌جویی در هزینه، افزایش بهای پرداختی به میزان $(P_2 - P_1)$ و در عوض مجاز بودن به افزایش محدود مصرف $(X_2 - C_{on-peak})$ یا عدم مشارکت در این ساختار تعرفه‌ای (برنامه مدیریت بار) که در این حالت هزینه بیشتری نسبت به حالت قبل به مشترک تحمیل خواهد شد. بنابراین می‌توان استنباط کرد برای دستیابی به بهترین نتیجه در ساختار تعرفه‌ای پیشنهادی اتخاذ سیاست‌هایی قیمت و مقدار بسته‌های انرژی (X_n, P_n)، فاصله قیمتی $(P_n - P_{n-1})$ و مقداری

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

$(X_n - X_{n-1})$ بسته‌های انرژی از یکدیگر و تعیین جریمه‌هایی ناشی از عدم مشارکت یا عدم مدیریت تقاضا نقش اساسی در کیفیت پیاده‌سازی این طرح ایفا خواهند کرد.

٤-١. تعیین قیمت و سقف مصرف

منظور از تعیین قیمت و سقف مصرف در واقع مشخص کردن حداکثر تقاضای انرژی در ساعات اوج بار به ازای مبلغ ثابت در بسته‌های قیمتی-مقداری انرژی عرضه شده به مشترکین است. مصرف‌کنندگان پس از اعمال این تعرفه، قادر خواهند بود بسته مصرفی انرژی خود را در مقادیر X_n و قیمت P_n برای مصرف دوره‌ای خود (یک یا دو ماهه) در ساعات اوج بار خریداری کنند. برای مثال یک مشترک با مصرف پیک ۲۳۰ کیلووات ساعت ماهانه، در این ساختار تعرفه‌ای می‌تواند تصمیم بگیرد که بسته‌ای را انتخاب کند که به او اجازه مصرف ۲۰۰ کیلووات ساعت انرژی را در ساعات اوج بار یک ماه با قیمت ثابت P_1 بدهد، یا اینکه بسته‌ای با حجم مجاز مصرف ۲۶۰ کیلووات ساعت انرژی را با قیمت P_2 $(P_2 > P_1)$ خریداری کند. در حالت اول مشترک انتخاب می‌کند مصرف خود را حدودا ۱۵ درصد کم کرده و متعاقبا هزینه‌های خود را به اندازه $P_2 - P_1$ کاهش دهد، ولی در حالت دوم مشترک با وجود دریافت مجوز افزایش ۱۳ درصدی سطح مصرف، مجبور می‌شود هزینه بیشتری به شرکت توزیع بپردازد. تعیین سقف‌های مقداری بسته‌های فروش انرژی به مشترکین یکی از مهم‌ترین بخش‌های فرآیند طراحی این ساختار می‌باشد.

در زمینه تعیین قیمت فروش بسته‌های انرژی به مشترکین، نکته اساسی که می‌تواند میزان اثربخشی این طرح را افزایش دهد، این است که درصد رشد قیمت بسته‌های انرژی ($\frac{P_n}{p_{n-1}}$)، حتما باید بیش از افزایش حجم ($\frac{X_n}{X_{n-1}}$) آن‌ها باشد. در واقع اگر دو بسته انرژی قیمتی-مقداری به حجم مصرف X_1, X_2 کیلووات ساعت و قیمت‌های متناظر P_1, P_2 برای عرضه به مشترکین

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

وجود داشته باشد، به شرطی که: $X_2 > X_1$ و $P_2 > P_1$ آنگاه $\frac{P_2}{P_1} > \frac{X_2}{X_1}$. تنظیم این نسبت‌ها و رشد قیمت با افزایش مصرف یکی از مهم‌ترین وظایف تصمیم‌گیران این حوزه پیش از اعمال این ساختار تغرفه‌ای است.

در صورتی که سیاستگذار با مطالعات بار منطقه مورد نظر تشخیص دهد امکان صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف اوج بار مشترکین وجود دارد و همچنین قیمت پرداختی برق مصرفی، سهم کوچکی از هزینه‌های مشترکان را شامل می‌شود، می‌تواند با افزایش نسبت $\frac{P_2}{P_1}$ مشترکان را به سمت کاهش مصرف و انتخاب بسته قیمتی-مقداری کوچکتر سوق دهد. رعایت این مساله از آن جهت اهمیت پیدا می‌کند که در صورت اعمال این سیاست، ثابت نگه داشتن و افزایش مصرف در ساعات اوج بار برای مشترکین هزینه بر خواهد بود. برای روشن‌تر شدن مساله مجددا مشترکی با سطح مصرف ۲۳۰ کیلووات ساعت برق در ساعات اوج بار یک ماه و دو بسته قیمتی-مقداری ۲۰۰ و ۲۶۰ کیلووات ساعتی با قیمت‌های P_1 و P_2 در نظر می‌گیریم. این مشترک در صورتی که حاضر نشود مصرف خود را به میزان حدودا ۱۵ درصد کاهش دهد و از بسته ۲۰۰ کیلووات ساعتی استفاده کند، بالاجبار باید هزینه پرداختی خود را مطابق رابطه $(\frac{X_2}{X_1} = \frac{۲۶۰}{۲۰۰}) < \frac{P_2}{P_1}$ بیش از ۳۰ درصد افزایش دهد؛ ضمن اینکه در این حالت، حداکثر افزایش مصرف این مشترک نسبت به دوره قبل می‌تواند ۱۳ درصد باشد.

٤-۲. تعیین تعداد و فاصله مقداری بسته‌های انرژی عرضه شده

یکی دیگر از مولفه‌های تاثیرگذار در فرآیند طراحی و اعمال این ساختار تعرفه‌ای، مشخص کردن راهبردی در راستای تعیین تعداد و فاصله بسته‌های قیمتی-مقداری انرژی از منظر سقف مجاز مصرف در بازه‌های اوج بار می‌باشد. تعیین تعداد بسته‌های قابل فروش به مشترکین ارتباط مستقیمی با هدف و انتظار سیاستگذار در زمینه کاهش تقاضای انرژی دارد. بدین ترتیب که هر چه هدفگذاری بر روی مقادیر بیشتری از کاهش تقاضا باشد، تعداد بسته‌های قابل فروش انرژی بیشتر شده و در نتیجه فاصله از

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

نظر مقداری (سقف مجاز مصرف) کاهش می‌یابد. زیرا هر چه هدف صرفه‌جویی تک تک مشترکین کمتر تعیین شود، تعداد بیشتری قادر به اجرای آن خواهند بود؛ بنابراین اگر مشترک متوجه شود صرفه جویی جزئی می‌تواند سطح مصرف خود را به کمتر از سقف مجاز بسته‌های قیمتی-مقداری کوچتر برساند، احتمال خریداری آن توسط مشترک بیشتر خواهد بود.

از طرف دیگر، اگر هدف اصلی سیاستگذار افزایش درآمد حاصل از فروش انرژی باشد و نه کاهش سطح انرژی مصرفی، می‌تواند با افزایش فاصله مقداری (سقف مجاز مصرف) بسته‌های انرژی، کار مشترکین برای تحقق بخشیدن به حد لازم صرفه جویی جهت خرید بسته کوچکتر (X_1) را سخت می‌کند؛ و در نتیجه مشترکین وادار به خرید بسته مقداری بزرگتر (X_2) و در نتیجه پرداخت هزینه بیشتر ($P_2 - P_1$) می‌شوند. برای مثال در صورتی که سیاستگذار با توجه به مطالعات بار منطقه مورد نظر هدفگذاری ۸ درصدی کاهش مصرف اوج بار را داشته باشد، می‌تواند فاصله مقداری بسته‌ها را از منظر سقف مجاز مصرف در بازه ۱۲ الی ۱۵ درصدی قرار دهد تا انگیزه لازم برای مشترکان جهت انتخاب بسته قیمتی-مقداری کوچکتر فراهم شود. در صورت افزایش فاصله مقداری بسته‌ها (۲۰ تا ۳۰ درصد)، از آنجایی که هر مشترک به طور متوسط باید بیش از ۱۰ تا ۱۵ درصد از مصرف خود بکاهد، احتمال انتخاب بسته مقداری کوچکتر (X_1) توسط آن‌ها کاهش می‌یابد. این امر منجر به کاهش تاثیر اعمال ساختار تعرفه‌ای بر میزان صرفه‌جویی مشترکین شده و در عوض با انتخاب اجباری بسته قیمتی-مقداری بزرگتر (X_2) توسط مشترکین هزینه پرداختی توسط آن‌ها افزایش افزایش خواهد یافت.

نکته دیگری که در اعمال این ساختار باید در نظر گرفته شود، تفاوت قائل شدن بین مشترکان کم مصرف و پر مصرف است. در واقع تصمیم سازان نباید دو هدف یکسان را برای کاهش مصرف انرژی مشترکان پر مصرف و کم مصرف در نظر بگیرند؛ و با حرکت به سمت دهک‌های بالای مصرف در اوج بار، باید هدفگذاری به منظور کاهش تقاضا نیز افزایش یابد. بدین منظور یکی از راهکارها جهت اجبار مشترکان پرمصرف به مدیریت تقاضا در قالب این

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

طرح، افزایش فاصله مقداری بسته‌های انرژی قابل فروش، همزمان با افزایش قیمت و مقدار این بسته‌ها می‌باشد؛ به طوریکه اگر $X_1, X_2, X_3, ..., X_n$ سقف مجاز مصرف بسته‌های انرژی متوالی باشد، آنگاه: $\frac{X_2}{X_1} < \frac{X_3}{X_2} < ..... < \frac{X_n}{X_{n-1}}$. همچنین با اعمال همین سیاست برای قیمت بسته‌های مورد نظر، به رابطه $\frac{P_2}{P_1} < \frac{P_3}{P_2} < ..... < \frac{P_n}{P_{n-1}}$. که در آن $P_1, P_2, P_3, ..., P_n$ قیمت بسته‌های متوالی انرژی می‌باشد.

در انتها باید گفت یکی از مهم‌ترین فاکتورهای موثر برای اعمال این ساختار تعرفه‌ای، توانایی مشترکان برای پایش میزان مصرف در ساعات اوج بار است. یعنی در گام اول مشترک باید بداند میزان مصرف اوج بار خود در بازه زمانی مشابه سال (یا سال‌های) قبل چه مقدار بوده تا تصمیم بگیرد کدام بسته قیمتی-مقداری انرژی را خریداری کند؛ و در گام دوم اطلاعات روزانه مصرف خود را در ساعات اوج بار دریافت کند. بنابراین سوالی که در روند اعمال این تعرفه برای مصرف‌کنندگان باید پاسخ داده شود این است که آیا ابزار تکنیکی لازم جهت اعمال این ساختار تعرفه‌ای در کشور وجود دارد؟ به عبارت دیگر آیا در حال حاضر مشترکین قابلیت پایش مصرف خود (ماهیانه یا روزانه) در بازه‌های زمانی مختلف یک سال را دارند؟ در جواب باید گفت مشترکینی که در قالب طرح فهام به کنتور هوشمند مجهز می‌شوند، با توجه به امکانات و قابلیت‌های این تجهیزات مشکلی در روند اجرای این طرح ندارند؛ چراکه این کنتورها قابلیت ثبت روزانه سه داده (کم‌باری، اوج‌بار و میان‌باری) را دارند و همچنین می‌توانند اطلاعات خود را به پایگاه داده‌ها، مراکز کنترل و نهایتا نرم افزار ارائه شده برای مشترکین انتقال دهند.

بنابراین در ادامه پژوهش میزان مصرف برق در زمان‌های اوج بار ۱۰۰ مشترک مسکونی شهرستان مشهد در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد سال ۱۳۹۸ استخراج شده و با طراحی یک مدل عامل‌بنیان، تاثیر اعمال ساختار تعرفه‌ای پیشنهادی بر این مشترکان و رفتار مصرفی آن‌ها شبیه‌سازی می‌شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

۵. طراحی مدل عامل‌بنیان به منظور بررسی رفتار مصرفی مشترکین

همانطور که می‌دانیم، در حالت کلی برای توسعه یک مدل عامل‌بنیان، لازم است مراحل زیر طی شود (نیکی‌اسکوئی و همکاران، ۱۳۹۷):

الف) تعریف مجموعه عامل‌ها و محیطی که عامل‌ها در آن با یکدیگر تعامل می‌کنند

ب) طراحی مدل مفهومی عامل‌بنیان، مجموعه روابط و نحوه تراکنش میان عامل‌ها

ج) برنامه‌نویسی و ساخت مدل عامل‌بنیان در محیط نرم‌افزاری

د) اجرای مدل و تحلیل نتایج

لذا به منظور پیش‌بینی رفتار مصرفی مشترکین پس از اعمال ساختار تعرفه‌ای جدید، هر یک از مراحل فوق‌الذکر، با توجه به شرایط ساختاری بازار فروش انرژی الکتریکی در کشور و تعرفه پیشنهادی، به صورت زیر تعریف شده است.

۵-۱. تعریف مجموعه عامل‌ها و محیط

اصولاً انتخاب عامل‌ها بر اساس اهداف مدل صورت می‌گیرد؛ با توجه به اینکه هدف این بخش بررسی رفتار مصرفی مشترکین در قالب ساختار تعرفه‌ای پیشنهادی می‌باشد، لذا مشترین خانگی شبکه برق شهرستان مشهد و شرکت توزیع در نقش ارائه دهنده بسته‌های قیمتی-مقداری انرژی، به عنوان عوامل فعال در بازار فروش برق کشور انتخاب شده‌اند. مبنای انتخاب این دسته از مشترکین بر اساس روند پیاده‌سازی طرح فهام وزارت نیرو است که این مشترکان را به کنتورهای هوشمند مجهز کرده است. کنتورهای نصب شده برای این مشترکان قابلیت اندازه‌گیری و ارسال مصرف روزانه سه داده در زمان‌های پرباری، کم‌باری و میان باری را دارند؛ که این زیرساخت امکان پایش روزانه مصرف اوج بار برای مشترکین را فراهم می‌آورد. بنابراین در این تحقیق با یک مدل دو عاملی و با جمعیت نمونه ۱۰۰ نفر برای عامل مصرف‌کننده (مشترک) و ۶ بسته قیمتی-مقداری انرژی قابل انتخاب برای آن‌ها سروکار خواهیم داشت.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

همانطور که پیش‌تر توضیح داده شد، در مدلسازی عامل‌بنیان ممکن است با یک جمعیت ناهمگن از یک نوع عامل روبرو باشیم. در این مدل نیز مشترکین خانگی از منظر سطح درآمدی، اهمیت قیمت و آگاهی نسبت به مدیریت انرژی به سطوح مختلفی تقسیم شده و یک جمعیت ناهمگن از عامل مصرف‌کننده را تشکیل خواهند داد. از طرف دیگر، ضریب اهمیت قیمت و مقدار مجاز مصرف برای انتخاب بسته‌های قیمتی-مقداری انرژی در این جمعیت متفاوت در نظر گرفته شده است تا بیشتر نمایانگر مجموعه‌ای واقعی از مشترکین در بازار فروش برق باشد. بسته‌های قیمتی-مقداری انرژی ارائه شده توسط شرکت توزیع نیز به عنوان دومین عامل، دارای متغیرهای قیمت و حد مجاز مصرف هستند که باعث تفاوت در انتخاب آن‌ها توسط مشترکین می‌شود.

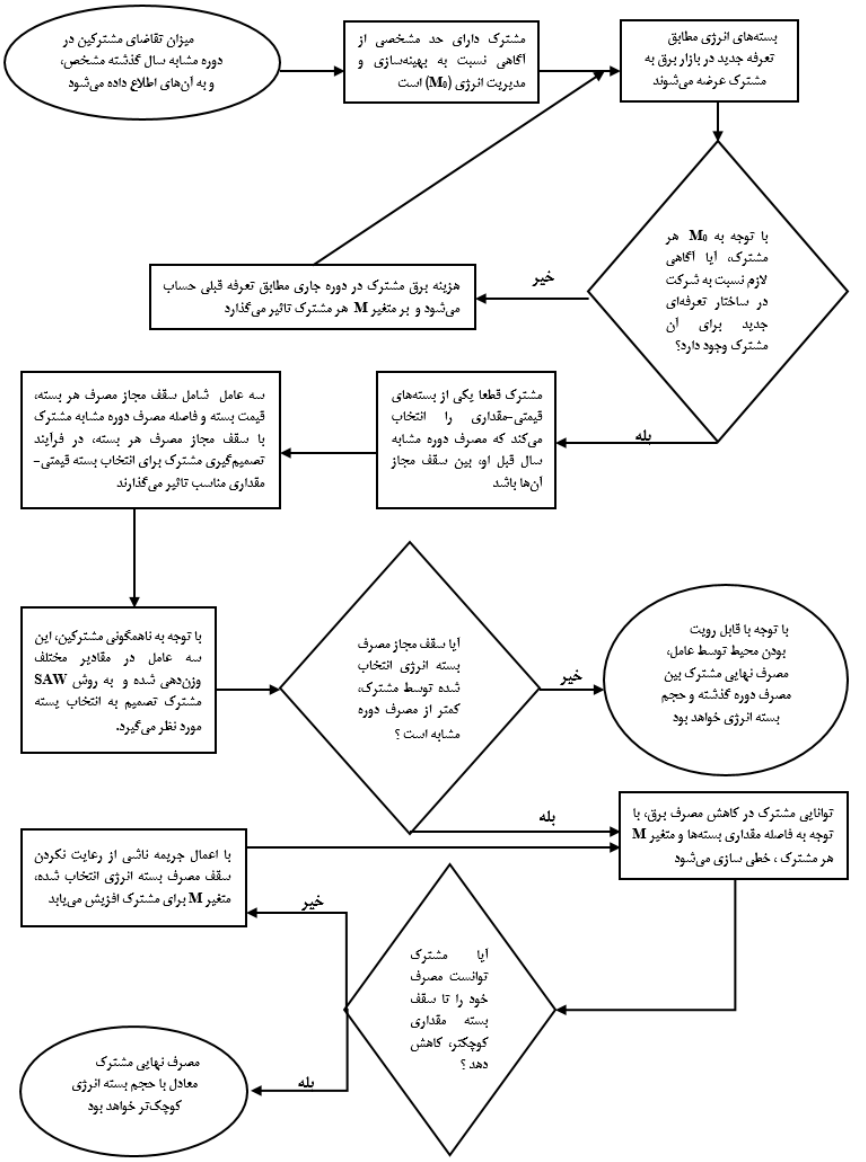
منظور از محیط در این مدل، در واقع بازار فروش برق به مشترکین خانگی می‌باشد. همانطور که پیش‌تر گفته شد، در این بازار مشترکین برق می‌توانند با توجه به سابقه مصرفشان، بسته قیمتی-مقداری انرژی را برای دوره (ماه) جدید خریداری کنند؛ در غیر این صورت با افزایش تعرفه برق در این دوره مواجه خواهند شد.

۵-۲. طراحی مدل مفهومی عامل‌بنیان

پس از تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب عامل‌ها و محیط، مرحله بعدی اجرای مدل مفهومی است که ساختار، منطق و مراحل اجرای مدل عامل‌بنیان را تبیین می‌کند. در این مرحله لازم است نحوه عملکرد هر یک از اجزای مدل، سازوکار تصمیم‌گیری و تعامل میان عامل‌ها و مراحل اجرای مدل مشخص گردد. شکل ۴ ساختار کلی مدل و مراحل اجرای آن را به تصویر کشیده است؛ در ادامه نیز به تفصیل درباره آن توضیح داده خواهد شد.

سابقه مصرف مشترکین: همانطور که در شکل ۴ ملاحظه می‌گردد، این مرحله از مدل مشخص کردن میزان تقاضای مشترکین در دوره مشابه سال پیش از اعمال تعرفه جدید (در اینجا ۱۳۹۸) و اطلاع رسانی به مشترکین توسط شرکت توزیع می‌باشد. این مساله در واقع به عنوان اطلاعات اولیه برای هر عامل (مشترک) در مراحل آتی تصمیم‌گیری در مدل به حساب می‌آید و در واقع رویت‌پذیری محیط توسط عامل را افزایش می‌دهد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]



شکل ۴. فلوچارت مدل مفهومی عامل‌بنیان در پژوهش

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

آگاهی مشترک[1]: مرحله بعدی، مشخص کردن آگاهی هر مشترک نسبت به مسئله بهینه‌سازی و مدیریت انرژی است که با متغیر M مشخص می‌شود؛ و مستقیما بر رفتار مصرفی مشترک تاثیر خواهد گذاشت. این متغیر، یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر میزان و نحوه مشارکت مشترکین در ساختار نعرفه‌ای پیشنهادی است. به عبارت واضح‌تر، تا زمانی که این متغیر پائین‌تر از حد مشخصی برای هر مشترک باشد (Triggering Point) او در ساختار تعرفه‌ای جدید مشارکت نخواهد کرد و هزینه برق او مطابق تعرفه قبلی محاسبه می‌شود.

همانطور که می‌دانیم، این متغیر برای هر مشترک وابسته به عوامل مختلفی از جمله قیمت انرژی، تبلیغات در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی و ... می‌باشد. اما در اینجا برای جلوگیری از پیچیدگی بیش از حد مدل و کاهش تعداد پارامترها، تغییرات میزان آگاهی نسبت به بهینه‌سازی مصرف انرژی تنها به صورت تابعی از قیمت انرژی مدل می‌شود. در پژوهش‌های مختلف حوزه مدلسازی عامل‌بنیان، این متغیر به عنوان تابعی از تغییرات قیمت انرژی، مطابق رابطه ۷ بین ۰ تا ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود (Zhang et.al, 2011)، (Sopha et.al, 2011)، (Lin et.al, 2016).

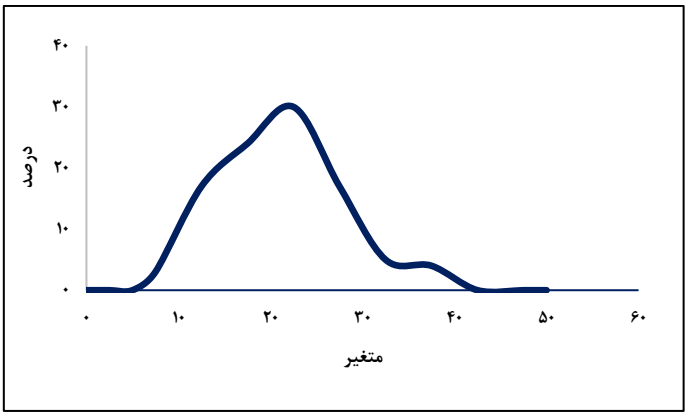
$$M = M_0 + \left[(100 - M_0) \times \frac{\Delta P}{P_0} \times \alpha\right] \qquad (۷)$$

در این رابطه M_0 آگاهی مشترک نسبت به بهینه‌سازی مصرف انرژی پیش از تغییرات قیمتی یا تعرفه‌ای می‌باشد. همانطور که پیش‌تر گفته شد، M_0 عمدتا وابسته به دو عامل تبلیغات و در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی و نسبت قیمت انرژی به درآمد سرانه GDP/KWh اعضای جامعه می‌باشد. همچنین باید در نظر داشت که تبلیغات و قیمت در تمام اعضای یک جامعه به یک میزان بر متغیر M_0 تاثیر نمی‌گذارد. از طرف دیگر فرض می‌شود میزان تبلیغات در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ایران برابر سایر کشورها، و تنها عامل قیمت است که میانگین متغیر

1 Energy Saving Awareness

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

M. را در جامعه جابجا می‌کند. در همین راستا با توجه به نسبت قیمت واحد انرژی به درآمد سرانه ایران و مقایسه با سایر مناطق مورد مطالعه در پژوهش‌های گذشته، متغیر M. ناشی از قیمت انرژی، با یک توزیع نرمال با میانگین ۱۶/۱۵ به اعضاء جامعه تخصیص داده می‌شود. همچنین انحراف معیار به گونه‌ای تنظیم می‌شود که احتمال نمونه‌ای با متغیر M. قیمتی برابر با ۰، کمتر از ۰/۰۰۱ باشد. از طرف دیگر M. ناشی از تبلیغات نیز بین تمام مشترکین برابر در نظر گرفته شده است؛ اما اینکه چه میزان از متغیر M. برای هر مشترک ناشی از قیمت انرژی و چه میزان ناشی از تبلیغات است، در جامعه متفاوت خواهد بود. برای مثال ممکن است ضریب تاثیر قیمت بر متغیر یک M. مشترک ۷۰ درصد و تبلیغات ۳۰ درصد باشد؛ اما در مشترک دیگر این اعداد به ترتیب ۵۵ و ۴۵ درصد باشند. در انتها، شکل ۵ توزیع اولیه متغیر M. برای مشترکین در منطقه مورد مطالعه را مشخص کرده است. همانطور که در این شکل مشخص است، توزیع M. (برآیند عوامل تبلیغات و قیمت) بین مشترکان از حالت نرمال خارج شده و به سمت چپ نمودار نامتقارن است؛ که این مسئله اولا ناشی از این است که M. ناشی از تبلیغات بین تمام مشترکین برابر درنظر گرفته شده و ثانیا تاثیر تبلیغات نسبت به قیمت در متغیر M. هر مشترک کمتر می‌باشد.



شکل ۵. تابع توزیع متغیر M. (برآیند عوامل قیمت و تبلیغات) بین مشترکین

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

همچنین M نیز نشانگر آگاهی از بهینه‌سازی مصرف انرژی پس از اعمال تعرفه جدید، P_0 قیمت اولیه واحد انرژی و ΔP تغییرات قیمتی واحد انرژی می‌باشند. متغیر α در این رابطه نشان می‌دهد که افزایش قیمت هر واحد انرژی تاثیر مشابهی بر تغییرات رفتار مصرفی یک جامعه نمی‌گذارد. این متغیر نیز در مطالعات مدلسازی عامل‌بنیان بین ۰ تا ۱ برای مشترکان یک جامعه مدل می‌شود.

بنابراین در این مدل اگر با اعمال جریمه/تشویق قیمتی متغیر M مشترک بالاتر از مقدار (Triggering Point) قرار گیرد، آنگاه مشترک وارد ساختار تعرفه‌ای شده و از بین بسته‌های انرژی قیمتی-مقداری با توجه به عواملی که در بخش‌های بعدی گفته خواهند شد، یکی را انتخاب می‌کند. در غیر اینصورت با اعمال P درصد جریمه، متغیر M مشترک افزایش یافته و احتمال مشارکت او در دوره بعد افزایش خواهد یافت.

بسته‌های قیمتی-مقداری انرژی: در بخش‌های گذشته به تفصیل درباره بسته‌های قیمتی-مقداری انرژی و تاثیر استراتژی‌های مختلف قیمتی و مقداری بر رفتار مشترک بحث شد. همانطور که می‌دانیم مشترک با مصرف C کیلووات‌ساعت انرژی در یک دوره (ماه) می‌تواند بسته‌های انرژی با حد مجاز مصرف $X_1, X_2, X_3, ..., X_n$ را انتخاب کند. اما در این مدل فرض شده است که مشترک قطعا یکی از دو بسته‌ای را انتخاب خواهد کرد که مصرف دوره گذشته مشابه او بین حد مجاز مصرف آن‌ها قرار گیرد. برای مثال اگر در اینجا داشته باشیم: $X_1 < X_2 < C < X_3 < X_4$، مشترک حتما یکی از دو بسته X_2 یا X_3 را برای دوره جدید انتخاب خواهد کرد. در جدول ۱ حدود مجاز مصرف و ضریب قیمت نسبت به کوچکترین بسته انرژی در این مدل مشخص شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

جدول ۱. بسته‌های قیمتی-مقداری انرژی عرضه شده به مشترکین در مدل

مدل عرضه ۱	سقف مجاز مصرف (کیلووات‌ساعت در ماه)	۳۰		۶۰		۱۰۰		۱۴۰		۲۰۰		۳۰۰
	ضریب قیمتی نسبت به کوچکترین بسته	۱		۲/۳		۴/۴		۷/۲		۱۰/۹		۲۲
مدل عرضه ۲	سقف مجاز مصرف (کیلووات‌ساعت در ماه)	۳۰	۴۰	۵۵	۷۵	۱۰۰	۱۳۰	۱۷۰	۲۲۰	۳۰۰		
	ضریب قیمتی نسبت به کوچکترین بسته	۱	۱/۴	۲	۳	۴/۵	۶/۷۵	۱۰	۱۵	۲۲		

مأخذ: یافته‌های پژوهش

منطق تصمیم‌گیری: بعد از آنکه هر کدام از مشترکین به آگاهی لازم جهت مشارکت در ساختار تعرفه‌ای جدید رسیدند، باید مشخص شود هر مشترک طبق کدام معیار بسته مورد نظر انرژی خود را انتخاب خواهد کرد. در این مدل، سه شاخصه شامل قیمت هر بسته انرژی، سقف مجاز مصرف انرژی هر بسته و فاصله مصرف دوره مشابه مشترک با سقف مجاز مصرف بسته انرژی، معیارهای اصلی انتخاب و روش مجموع ساده وزنی[1] (SAW) به عنوان منطق مشترک برای انتخاب بسته‌ها به کار می‌روند. در ادامه به توضیح بیشتر این روش پرداخته شده است:

1 Simple Additive Weighting

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

در این مدل مشترک با یک مساله تصمیم‌گیری چند معیاره[1] شامل سه معیار و دو گزینه روبروست. در این راستا جهت انتخاب بهترین گزینه برای مشترک با استفاده از منطق تصمیم‌گیری وزن‌دهی ساده، فرآیندی به شکل زیر طی خواهد شد:

تشکیل ماتریس تصمیم: ماتریس تصمیم در این روش شامل جدولی است که ستون‌های آن را معیارها، سطرهای آن را گزینه‌ها و هر سلول این ماتریس را ارزیابی هر گزینه نسبت به معیارها تشکیل می‌دهد.

بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم: برای بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم در روش مجموع وزنی ساده به طریق زیر عمل می‌کنیم:

اگر معیار مثبت باشد، تک تک اعداد ستون را مطابق رابطه ۸ بر بزرگترین عدد تقسیم می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}} \qquad (۸)$$

اگر معیار منفی باشد، کوچکترین عدد آن ستون بر تک تک اعداد آن مطابق رابطه ۹ تقسیم می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{X_j^{min}}{X_{ij}} \qquad (۹)$$

در روابط ۸ و ۹ X_{ij}ها درایه‌های ماتریس تصمیم و r_{ij}ها درایه‌های ماتریس تصمیم بی بعد (نرمالیزه شده) هستند.

لازم به ذکر است در این مدل قیمت بسته‌های انرژی به عنوان اولین معیار در منطق تصمیم‌گیری، به عنوان یک معیار "منفی" اثرگذار خواهد بود؛ بدین معنی که هر چه قیمت بسته انرژی بیشتر باشد، جذابیت انتخاب آن برای مشترکان کاهش می‌یابد. معیار دوم سقف مجاز مصرف است که اثر آن به صورت "مثبت" لحاظ خواهد شد؛ یعنی بسته انرژی که سقف مجاز مصرف بیشتری داشته باشد، مطلوبیت بالاتری برای مشترکین ایجاد می‌کند. در نهایت معیار سوم فاصله مصرف دوره مشابه گذشته مشترک با سقف مجاز مصرف بسته است که این معیار نیز

1 Multi Attribute Decision-Making

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

دارای اثر "منفی" خواهد بود. به عبارت دیگر هرچه فاصله مصرف دوره مشابه گذشته مشترک با سقف مجاز مصرف بسته کمتر باشد، احتمال انتخاب آن توسط مشترک افزایش می‌یابد؛ زیرا در این حالت مشترک کمترین تغییر را در رفتار مصرفی خود ایجاد خواهد کرد.

ماتریس وزنی معیارهای تصمیم‌گیری: هر چند هر سه ویژگی ذکر شده در نحوه تصمیم‌گیری مشترک برای انتخاب بسته‌های انرژی قیمتی-مقداری مهم می‌باشند، اما وزن این معیارها نه تنها یکسان نیست بلکه برای هر مشترک متفاوت نیز می‌باشد. به عنوان مثال برای برخی مشترکین معیار قیمت از اهمیت بالایی برخوردار است؛ در حالی که برای برخی دیگر سقف مجاز مصرف بسته انرژی اهمیت بیشتری دارد. لذا لازم است وزن و اهمیت هر یک از معیارهای تصمیم‌گیری برای هر یک از مشترکین با استفاده از یک ماتریس ۳×۱۰۰ وارد مدل تصمیم‌گیری شود. همچنین باید توجه داشت که توزیع وزن هر یک از معیارها برای هر یک از مشترکین به گونه‌ای است که مجموع وزن‌ها مساوی یک شود (مجموع درایه‌های هر سطر ماتریس برابر با ۱ می‌باشد).

انتخاب نهایی بسته انرژی مورد نظر مشترک: بدین منظور، ابتدا ماتریس تصمیم بی بعد شده در ماتریس وزنی معیارهای تصمیم‌گیری ضرب می‌شود. نتیجه بدست آمده، ماتریس رتبه بندی امتیازی هر یک از بسته‌های انرژی برای مشترکین است. در واقع بسته‌ای که بالاترین امتیاز را در این روش کسب کند، بیشترین مطلوبیت را با توجه به ارزش معیارهای هر مشترک، برای او دارد.

پتانسیل کاهش مصرف انرژی: پس از اینکه مشخص شد هر مشترک کدام بسته قیمتی-مقداری انرژی را انتخاب کرد، باید به پیش‌بینی رفتار او پس از انتخاب بسته انرژی با توجه به متغیر M بپردازیم. در اینجا با دو حالت مختلف روبرو خواهیم شد؛ اول اینکه مشترک بسته قیمتی-مقداری انرژی‌ای را انتخاب کند که حد مجاز مصرف آن، بیش از مصرف دوره مشابه گذشته او باشد (در حالتی که مصرف دوره مشابه گذشته او C کیلووات ساعت و $X_1 < X_2 < ... < X_{n-1} < C < X_n$ باشد، بسته X_n انتخاب شود). در این حالت انتظار می‌رود مشترک حتما بتواند این حد مجاز را رعایت کند و مقدار مصرف دوره او عددی بین مصرف دوره مشابه سال گذشته (C) و حد مجاز مصرف بسته قیمتی-مقداری خریداری شده (X_n) باشد. قابل

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

ذکر است که با توجه به قابل رویت بودن محیط توسط عامل مصرف‌کننده، این عوامل رفتار مصرفی خود را به گونه‌ای تنظیم خواهند کرد که مصرف نهایی خود را به حد مجاز مصرف بسته قیمتی-مقداری خریداری شده (که در هر صورت باید هزینه آن را بپردازند)، نزدیک کنند.

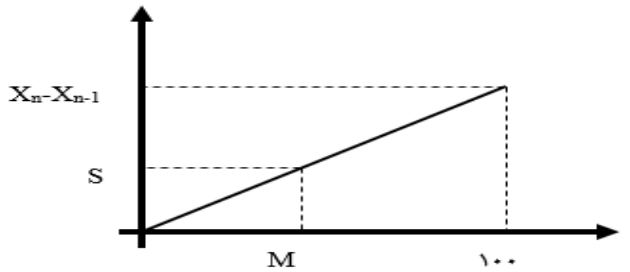
اما از طرف دیگر، اگر مشترک بسته قیمتی-مقداری کوچکتر را برای مصرف در دوره جدید انتخاب کند، باید پتانسیل کاهش مصرف برق او در این دوره بدست آید؛ تا مشخص شود که آیا او می‌تواند مصرف خود را تا حد مجاز بسته انرژی کاهش دهد یا اینکه مشمول جریمه خواهد شد؟

بدین منظور در این مدل فرض می‌شود که مشترکی که دارای حداکثر آگاهی نسبت به مدیریت مصرف و بهینه‌سازی انرژی است ($M = ۱۰۰$)، این قابلیت را دارد که مصرف خود را به اندازه فاصله مقداری دو بسته انرژی متوالی کاهش دهد (برای مثال اگر $X_{n-۱} < C < X_n$ باشد، قادر است مصرف خود را از C به $X_{n-۱}$ برساند؛ حتی اگر $C = X_n - \varepsilon$). همچنین اگر این متغیر برای مشترک حداقل در نظر گرفته شود ($M = ۰$)، این مشترک به هیچ عنوان نمی‌تواند مصرف خود را کاهش دهد.

با وصل کردن این دو نقطه روی نمودار (مطابق شکل ۶)، خطی تشکیل می‌شود که با توجه به پارامتر M برای هر مشترک، پتانسیل صرفه‌جویی و مصرف دوره مشترک را مشخص می‌کند. در انتها اگر مشترک توانست مصرف خود را تا بسته قیمتی-مقداری تعیین شده پایین آورد، متغیر M برای مشترک ثابت می‌ماند؛ اما اگر نتوانست موفق به این کار شود، با اعمال جریمه مطابق رابطه ۷، متغیر M مشترک برای دوره بعد افزایش خواهد یافت و پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در او بیشتر می‌شود. لازم به ذکر است در این شکل متغیر S مقدار انرژی است که مشترک می‌تواند از زمان اوج بار، به زمان‌های غیر پیک منتقل کند.

در ادامه این پژوهش مدل مفهومی تشریح شده، در محیط نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی می‌شود که نتایج آن به صورت خلاصه در فصل پیش‌رو آورده شده‌اند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]



شکل ۶. تعیین پتانسل کاهش مصرف برق مشترک با توجه به متغیر M

٦. نتایج

در این قسمت ساختار تعرفه‌ای پیشنهادی برای منطقه مورد مطالعه اعمال می‌شود و تصمیم‌سازی و رفتار مصرفی مشترکین مطابق مدل عامل‌بنیان، شبیه‌سازی خواهد شد. همانطور که پیش‌تر گفته شد، یکی از مهم‌ترین متغیرهای موثر بر اثربخشی ساختار تعرفه‌ای پیشنهادی، قیمت و مقدار مجاز مصرف بسته‌های انرژی است. بدین منظور در این بخش، دو مدل برای عرضه بسته‌های قیمتی- مقداری انرژی به مشترکین بررسی خواهد شد. یکی از این مدل‌ها مطابق با استراتژی شرکت هوریزون‌پاور استرالیا و دیگری مدلی است که در این پژوهش بررسی می‌شود. مطابق جدول ۱، مدل عرضه ۱ مربوط به استراتژی شرکت هوریزون‌پاور و مدل عرضه ۲، استراتژی بررسی شده در پژوهش است.

از طرف دیگر همان طور که گفته شد، در این تعرفه پیشنهادی باید جریمه مشخصی برای مشترکینی که وارد تعرفه جدید نمی‌شوند یا نمی‌توانند سقف مجاز بسته خریداری شده را رعایت کنند، تعیین شود. بدین منظور با تعیین جریمه ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصدی برای عدم مشارکت و به ترتیب ۳۰، ۲۰ و ۱۵ درصدی برای عدم رعایت سقف مصرف، تاثیر میزان جریمه بر مصرف مشترک در جداول ۲ و ۳ برای هر دو مدل عرضه مشخص خواهد شد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

جدول ۲. خلاصه نتایج حاصل از فروش انرژی به صورت بسته‌های قیمتی-مقداری در مدل شرکت هوریزون‌پاور

میانگین کاهش تقاضای اوج بار (درصد)	حداکثر کاهش تقاضای اوج بار (درصد)	درصد مشارکت اولیه	جریمه عدم رعایت سقف مجاز مصرف بسته‌های انرژی (درصد)	جریمه عدم مشارکت (درصد)
۴/۵۵	۷/۲۰	۱۰	۳۰	۶۰
۵/۱۴	۷/۶۰	۲۵	۳۰	۶۰
۶/۱۵	۷/۸۵	۵۰	۳۰	۶۰
۳/۳۲	۵/۷۶	۱۰	۲۰	۴۰
۴/۷۰	۷/۱۰	۲۵	۲۰	۴۰
۱/۸۲	۳/۲۵	۵۰	۲۰	۴۰
۰/۲۵	۱/۹۴	۱۰	۱۰	۲۰
۱/۷۹	۳/۱۱	۲۵	۱۰	۲۰
۱/۳۹	۳/۴۹	۵۰	۱۰	۲۰

جدول ۳. نتایج حاصل از فروش انرژی در صورت عرضه ۹ بسته قیمتی-مقداری

میانگین کاهش تقاضای اوج بار (درصد)	حداکثر کاهش تقاضای اوج بار (درصد)	درصد مشارکت اولیه	جریمه عدم رعایت سقف مجاز مصرف بسته‌های انرژی (درصد)	جریمه عدم مشارکت (درصد)
۲/۳۹	۴/۳۶	۱۰	۳۰	۶۰
۲/۸۸	۴/۹۷	۲۵	۳۰	۶۰
۳/۷۵	۵/۰۹	۵۰	۳۰	۶۰
۰/۷۴	۲/۳۰	۱۰	۲۰	۴۰
۲/۱۸	۳/۸۳	۲۵	۲۰	۴۰
۲/۵۷	۳/۶۸	۵۰	۲۰	۴۰
-۰/۸۲	۰/۳۲	۱۰	۱۰	۲۰
۱/۲۲	۲/۵۲	۲۵	۱۰	۲۰
۱/۵۷	۲/۵۷	۵۰	۱۰	۲۰

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

۷. جمع‌بندی

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، پس از اعمال تعرفه جدید بر مشترکین خانگی، واحد فروش برق در اوج بار، از کیلووات ساعت به بسته‌های قیمتی-مقداری انرژی تغییر خواهد کرد. بدین معنی که عملا در تعرفه جدید مشترک مجبور می‌شود برای جلوگیری از افزایش قابل توجه هزینه پرداختی، مصرف خود را در ساعات اوج بار تا حد معینی کاهش دهد. همچنین لازم به ذکر است سایر مصرف غیر اوج بار با تعرفه ثابت محاسبه می‌شود. آنچه از ماهیت این تعرفه مشخص می‌باشد، آن است که تعداد بسته‌های قیمتی-مقداری عرضه شده به مشترکین یکی از مهم‌ترین مسائلی است که در اثربخشی این طرح می‌تواند موثر باشد.

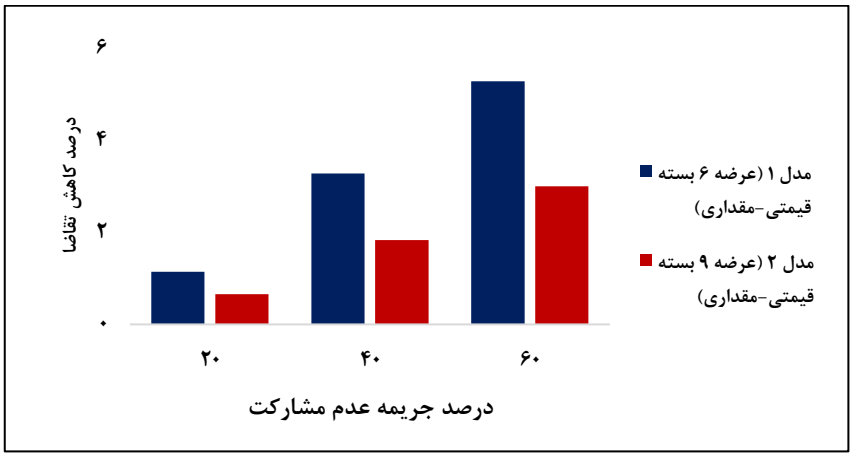
بدین منظور پس از طراحی مدلی که رفتار مصرفی مشترکین را در قالب تعرفه جدید شبیه‌سازی کند و برنامه‌نویسی آن در محیط نرم‌افزار MATLAB، دوسناریو برای عرضه بسته‌های قیمتی-مقداری انرژی طراحی شد. در مدل اول که در واقع مدل عرضه بسته‌های قیمتی-مقداری شرکت هوریزون‌پاور استرالیا می‌باشد، ۶ بسته انرژی به مشترکین عرضه شد. در این مدل عرضه، فاصله قیمتی و مقداری بسته‌های انرژی به گونه‌ای طراحی شد که سقف مجاز مصرف بزرگترین بسته انرژی (۳۰۰ کیلووات ساعت)، ۱۰ برابر کوچکترین بسته باشد (۳۰ کیلووات ساعت)؛ اما با قیمت ۲۲ برابر. در مدل عرضه دوم نیز نسبت قیمتی و مقداری در بزرگترین و کوچکترین بسته رعایت شد، اما با عرضه ۹ بسته قیمتی-مقداری (به جای ۶)، سعی کردیم رفتار مصرفی مشترکین را در این دو حالت با یکدیگر مقایسه کنیم.

پس از آن با لحاظ کردن عدم قطعیت‌های موجود در مدل (مانند جریمه عدم مشارکت در تعرفه جدید، جریمه عدم رعایت سقف مصرف بسته انرژی انتخاب شده و درصدی از جامعه که از اولین ماه اعمال تعرفه جدید در آن مشارکت می‌کنند) رفتار مصرفی مشترکین دارای کنتور هوشمند شهر مشهد برای ۳ ماه اوج بار (خرداد، تیر و مرداد) شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی نشان داد اولا با فروش انرژی در قالب بسته‌های قیمتی-مقداری انرژی تا ۶/۱۵ درصد از میانگین ۳ ماهه تقاضای اوج بار کاسته شد. ثانیا با افزایش تعداد بسته‌های قیمتی-مقداری

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

عرضه شده، ترجیح مشترکین به جای اینکه به سمت کاهش تقاضا و کاهش هزینه برود، به طرف انتخاب بسته‌های بزرگتر رفت. در واقع با نزدیک شدن فاصله قیمتی و مقداری بسته‌های انرژی، بخشی از جامعه تصمیم گرفتند تا با افزایش هزینه (کمتر نسبت به مدل عرضه اول) بتوانند مصرف خود را تا حد معینی افزایش دهند. البته قابل ذکر است که حتی با افزایش تعداد بسته‌های عرضه شده نیز، میانگین کاهش تقاضا تا ۳/۷۵ درصد نسبت به مدت مشابه سال گذشته کاهش یافت. در شکل ۵-۱ میانگین کاهش تقاضای اوج بار در قالب دو مدل عرضه بسته‌های قیمتی-مقداری و در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های اجرای طرح، با یکدیگر مقایسه شده است.

در مجموع نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد می‌توان با اعمال تعرفه مبتنی بر بسته‌های قیمتی-مقداری انرژی و در نظر گرفتن جریمه‌های مناسب برای عدم مشارکت در تعرفه جدید یا رعایت نکردن سقف مصرف بسته‌های انرژی، تا ۶ درصد از میزان تقاضای اوج با کاهش داد.



شکل ۷. درصد کاهش تقاضای اوج بار در تعرفه پیشنهادی پژوهش

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]

منابع

آزاد، صابر؛ قریشی، حمیدرضا و احسان امیدی (۱۳۹۷)، " ارزیابی ابعاد بحران تأمین برق تابستان و راهکارهای مقابله با آن" ، معاونت پژوهشهای زیربنایی و امور تولیدی.

امیدی نصیرمحله، احسان (۱۳۹۷)، "بررسی ابعاد و آثار حل بحران خاموشی برق از طریق اصلاح تعرفه مشترکین پرمصرف خانگی"، کمیته اقتصاد مقاومتی- کمیسیون اقتصادی مجلس شورای اسلامی.

نیکی‌اسکوئی، کامران؛ بهبودی، داود و حسین اصغرپور (۱۳۹۷)، "طراحی مدل عامل‌بنیان برای تعیین استراتژی ایران در تجارت بین‌المللی گاز" ، *پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی، صص. ۶۷-۹۷.*

وزارت نیرو (۱۳۹۱)، "آشنایی با طرح فهام"، سازمان بهره‌وری انرژی ایران.

وزارت نیرو (۱۳۹۵)، " تنوع بخشی به تعرفه‌های برق: برنامه زمان استفاده و برنامه ساعات اوج بحرانی " ، سازمان بهره‌وری انرژی ایران.

وزارت نیرو (۱۳۹۵)، " مدلسازی مدیریت بار و انرژی در سیستم هوشمند اندازه‌گیری ایران-مفاهیم پاسخگویی بار" ، سازمان بهره‌وری انرژی ایران.

وزارت نیرو (۱۳۹۸)، "تعرفه‌های برق و شرایط عمومی آن‌ها".

Al Fardan, A. S., Al Gahtani, K. S. and M. Asif (2017). Demand side management solution through new tariff structure to minimize excessive load growth and improve system load factor by improving commercial buildings energy performance in Saudi Arabia. *IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE),* pp. 302-308.

Mercados, Refe (2015), "Study on Tariff Design for Distribution Systems – Final Report", Technical Report

Tayal, D. and U. Evers (2018), "Consumer preferences and electricity pricing reform in Western Australia", *Utilities Policy*, vol. *54*, pp. 115-124.

BankWest Curtin Economics Centre (2018), "The impact of tariff structure changes on energy vulnerable households".

Lin, H., Wang, Q., Wang, Y., Wennerstern, R. and Q. Sun (2016), "Agent-based modeling of electricity consumption in an office building under a tiered pricing mechanism", *Energy Procedia*, vol. 104, pp. 329-335.

Sopha, B. M., Klöckner, C. A. and E. Hertwich (2011), "Exploring policy options for a transition to sustainable heating system diffusion using an agent-based simulation", *Energy Policy*, vol. 39, pp. 2722-2729.

Zhang, T., Siebers, P. O. and U. Aickelin (2011), "Modelling electricity consumption in office buildings: An agent based approach", *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 2882-2892.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-05-31]